

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
NÍVEL MESTRADO**

LUCIANO GHILARDI BREITENBACH

**ESTUDO E SIMULAÇÃO DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E SUA
RELAÇÃO COM O REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL
DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

São Leopoldo

2015

Luciano Ghilardi Breitenbach

ESTUDO E SIMULAÇÃO DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E SUA
RELAÇÃO COM O REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica, pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS.

Área de concentração: Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Wander

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Paula Melo – UFSC

Prof. Dr. João Batista Dias - UNISINOS

Profa. Dra. Maria Luiza Sperb Indrusiak - UNISINOS

São Leopoldo

2015

B835e Breitenbach, Luciano Ghilardi.
Estudo e simulação de uma habitação de interesse social e sua relação com o regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética / Luciano Ghilardi Breitenbach. – 2015.

98f. : il., mapa. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2015.

“Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Wander”.

1. Energia elétrica – Consumo. 2. Energia elétrica – Conservação. 3. Conforto humano. 4. Arquitetura e conservação de energia. I. Título.

CDU 621.3

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252)

Trabalho desenvolvido para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, financiado pela bolsa de estudos concedida pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Dr. Paulo Roberto Wander por dispor de seu tempo e me conceder diversos momentos de aprendizado e compartilhar conhecimentos.

Aos professores do curso de mestrado pelo aprendizado e em especial ao professor Dr. Mario Henrique Macagnan pela atenção ao ingressar no curso.

Aos professores integrantes da banca examinadora.

A minha esposa Ana Rita Breitenbach e filha Bruna Breitenbach por diversas vezes abrirem mão de seus momentos para que eu pudesse cumprir as etapas desta conquista.

Aos meus pais Erno Breitenbach e Iara T. Ghilardi Breitenbach e minha avó Irma S. Ghilardi pelo apoio durante todo o processo de estudo que percorri.

Aos colegas de curso pelos bons momentos, em especial a Helmuth Reguly Junior e Bruno Beckerle pelo apoio.

Aos funcionários da UNISINOS e amigos, em especial, Aline Stumpf.

RESUMO

Simulação de uma residência unifamiliar de interesse social pelos métodos prescritivo e de simulação encontrados no RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) que faz parte do selo de eficiência energética do programa Procel Edifica criado pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com o Governo Federal. Este estudo compara e avalia os métodos utilizados para qualificar energeticamente as edificações residenciais no Brasil. Com base nos resultados obtidos nas simulações propõe possíveis meios de ampliar o conforto ambiental e reduzir o consumo energético desse tipo de edificação. A avaliação é feita em uma edificação típica e com padrões mínimos exigidos pelo programa MCMV (Minha Casa, Minha Vida), situada na cidade de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo é comparativo e adota diferentes critérios construtivos, dentre eles: a ampliação das aberturas para comparar a influência da ventilação e iluminação; alteração da absorvidade externa da residência; sombreamento das aberturas que resultará em diferentes absorções de calor e a influência da orientação solar da edificação. Observou-se que, pelos critérios de avaliação encontrados no RTQ-R, para esta zona bioclimática do Brasil, há uma maior preocupação com as temperaturas quentes e, para estas, as medidas tomadas com intuito de ampliar o conforto se mostraram benéficas. A alteração da absorvidade do revestimento externo da residência resultou em maior eficiência entre as demais medidas adotadas. Quando se fazem avaliações com as temperaturas frias e quentes, simultaneamente, e com o mesmo grau de importância, praticamente, temos uma compensação nos resultados, o que nos leva a entender por que o RTQ-R prioriza as temperaturas quentes. Ao serem avaliados os dois extremos de temperaturas focando o conforto ambiental, percebe-se que, pelos resultados encontrados, é mais lógico tratarmos com medidas naturais o extremo de temperaturas mais prejudicial ao conforto, para que, no outro extremo, possa ser utilizado algum sistema artificial de tratamento térmico, mas com menor impacto econômico. Um sistema de tratamento térmico poderia ser o uso do potencial geotérmico. Outro fator analisado é que o RTQ-R poderia ser mais criterioso e, também, demonstrou ser confuso. Neste trabalho propõe-se uma avaliação criteriosa em relação ao conforto ambiental para atender às necessidades dos usuários.

Palavras-chave: Eficiência energética, conforto térmico, etiquetagem de edificações.

ABSTRACT

Simulation of a single-family residence social interest in prescriptive and simulation methods found in the RTQ-R (Quality Technical Regulation for Energy Efficiency Level Residential Buildings) part of the energy efficiency seal *Procel Edifica* program created by the Ministry of Mines and Energy in partnership with the Federal Government. This study compares and evaluates the methods used to qualify the energy residential buildings in Brazil. Based on the results obtained in the simulations proposes possible means of increasing the environmental comfort and reduce energy consumption of this type of building. The assessment is made in a typical building and minimum standards required by the MCMV (*Minha Casa, Minha Vida*), in the city of Porto Alegre in Rio Grande do Sul, Brazil. The study is comparative and adopts different construction criteria, including: the expansion of openings to compare the influence of ventilation and lighting; changing the external absorptivity of residence; shading of the openings will result in different absorption of heat and the influence of solar orientation of the building. It was observed that the evaluation criteria found in the RTQ-R, for this bioclimatic zone of Brazil, there is a greater concern with the warm temperatures and, for these, the measures taken in order to enlarge the comfort proved beneficial. Changing the absorptivity the outer covering of the residence resulted in greater efficiency among the other measures adopted. When making evaluations with the cold and warm temperatures simultaneously and with the same degree of importance, practically, we have a compensation in the results, which leads us to understand why the RTQ-R gives priority to hot temperatures. When evaluated the two extremes of temperatures focusing on the environmental comfort, it is clear that the results found, it is more logical to treat natural extreme measures more harmful to the comfort temperature, so that at the other end, can be used a system artificial heat treatment but with less economic impact. A thermal treatment system could be the use of geothermal potential. Another factor considered is that RTQ-R could be more selective and also proved to be confused. In this paper we propose a careful assessment in relation to environmental comfort to meet the needs of users.

Keywords: Energy efficiency, thermal comfort, tagging buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapeamento das zonas bioclimáticas do Brasil.....	21
Figura 2.2 – Divisão climática.....	23
Figura 2.3 – Método de utilização do gráfico.....	23
Figura 2.4 – Definição das zonas.....	24
Figura 2.5 – Relação entre produção de energia renovável e não renovável.	26
Figura 2.6 – Balanço higrotérmico.	31
Figura 2.7 – Formato das aberturas e a influência na ventilação natural	37
Figura 2.8 – Influência dos protetores solares na ventilação natural.....	37
Figura 3.1 – Planta baixa da edificação simulada	50
Figura 5.1 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Sala	76
Figura 5.2 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Cozinha	78
Figura 5.3 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Banheiro	79
Figura 5.4 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Quarto Fundos	80
Figura 5.5 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Quarto Frente	81
Figura 5.6 – Gráfico comparativo dos resultados simulados da zona “Telhado”	83
Figura 5.7 – Gráfico comparativo do somatório dos resultados simulados dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente	84
Figura 5.8 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou calor do ambiente “Sala”	85
Figura 5.9 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Cozinha”	86
Figura 5.10 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Banheiro”	86
Figura 5.11 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Quarto Fundos”	87
Figura 5.12 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Quarto Frente”	87
Figura 5.13 – Comparativo do somatório total dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Definição das estratégias e zonas	21
Tabela 2.2 – Estratégias climáticas para a ZB 3.....	22
Tabela 2.3 – Zonas e estratégias.....	25
Tabela 2.4 – Relação de aberturas e ventilação.....	25
Tabela 2.5 – Tipo de vedação externa	25
Tabela 2.6 – Demonstrativo de geração de energia do país	26
Tabela 2.7 – Consumo Energético do setor residencial.....	27
Tabela 2.8 – Estimativa das taxas metabólicas.....	34
Tabela 2.9 – Pré-requisitos de absorvidade solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas	40
Tabela 2.10 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana	44
Tabela 2.11 – Taxas metabólicas para cada atividade.....	45
Tabela 2.12 – Padrão de uso da iluminação	46
Tabela 2.13 – Densidade de potência instalada de iluminação	46
Tabela 2.14 – Cargas internas de equipamentos.....	47
Tabela 3.1 – Áreas dos ambientes da residência de estudo.....	49
Tabela 3.2 – Áreas das aberturas da residência de estudo.....	50
Tabela 3.3 – $EqNumEnvAmb_{Resfr} - ZB3$	56
Tabela 3.4 – $EqNumEnvAmb_A - ZB3$	59
Tabela 3.5 – Classificação do nível de eficiência.....	61
Tabela 3.6 – Propriedades para definir resistências térmicas das paredes	63
Tabela 3.7 – Propriedades para definir resistências térmicas do telhado	64
Tabela 3.8 – Cidade de Porto Alegre / RS.....	65
Tabela 4.1 – Percentuais de aberturas para ventilação	66
Tabela 4.2 – Percentuais de aberturas para iluminação.....	66
Tabela 4.3 – GHR encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,6, equivalente à cor do cimento.	67
Tabela 4.4 – GHR encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,2, equivalente à cor branca.	67
Tabela 4.5 – CA encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,6, equivalente à cor do cimento.	67

Tabela 4.6 – CA encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,2, equivalente à cor branca.	67
Tabela 4.7 – Resultado obtido do EqNumEnv	68
Tabela 4.8 – Critérios de avaliação	68
Tabela 4.9 – Resultado das classificações	69
Tabela 4.10 – Estratégias de avaliação para pontos cardeais	70
Tabela 4.11 – Classificação conforme a regulamentação.....	71
Tabela 4.12 – Classificação da simulação por pior ambiente	72
Tabela 4.13 – Comparativo dos melhores resultados e piores resultados encontrados entre os dois métodos.....	74
Tabela 4.14 – Critérios escolhidos para o comparativo.....	74
Tabela 4.15 – Comparativo dos métodos prescritivos e de simulação.....	74
Tabela 5.1 – Média geral das temperaturas externas.....	76
Tabela 5.2 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Sala	76
Tabela 5.3 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Cozinha.....	78
Tabela 5.4 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Banheiro.....	79
Tabela 5.5 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Quarto Fundos	80
Tabela 5.6 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Quarto Frente.....	81
Tabela 5.7 – Resultado das simulações com EnergyPlus da zona “Telhado”	83
Tabela 5.8 – Médias gerais dos somatórios dos resultados simulados dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
CFD	Fluidodinâmica Computacional
EPW	EnergyPlus Weather
FAQ	Frequently Asked Questions
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MCMV	Minha Casa, Minha Vida
NBR	Norma Brasileira
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PD	People Dissatisfied
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Percentage of People Dissatisfied
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Procel Edifica	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
RAC-C	Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SGE	Sistema de Gestão do Empreendimento
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TMY	Typical Meteorological Year
TRY	Test Reference Year

UHs

Unidade habitacional

ZB

Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

A1	Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas na fachada com maior área de abertura para ventilação	[m ²]
A2	Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas não calculadas em A1	[m ²]
AAbs	Área de abertura onde o subscrito “S” representa fachada Sul e pode ser substituído por “N” Norte, “L” Leste ou “O” Oeste	[m ²]
A _{bi}	Percentual de aberturas para iluminação	[m ²]
A _{bs}	Variável binária que define a existência de abertura onde o subscrito “S” representa Sul e pode ser alterado para “N” Norte, “L” Leste ou “O” Oeste	Não “0” ou Sim “1”
Abv	Percentual de abertura para ventilação	[%]
A _i	Área de iluminação	[m ²]
AP _{ambS}	Área de parede externa onde o subscrito “S” representa fachada Sul e pode ser substituído por “N” Norte, “L” Leste ou “O” Oeste	[m ²]
A _{parInt}	Área das paredes internas	[m ²]
AU _{amb}	Área útil do ambiente	[m ²]
A _v	Área de Ventilação	[m ²]
C	Trocax por condução	Adimensional
C _A	Consumo para aquecimento	[kWh/(m ² ano)]
C _D	Coeficiente de Descarga	Adimensional
cob	Variável binária que define se o ambiente possui fechamento superior	Não “0” ou Sim “1”
C _P	Coeficientes de Pressão Superficial	Adimensional
C _Q	Coeficiente do Fluxo de ar por frestas	[kg/(s m)]

CT	Capacidade térmica	[kJ/(m ² K)]
CT _{alta}	Capacidade térmica alta	Não “0” ou Sim “1”
CT _{baixa}	Capacidade térmica baixa	Não “0” ou Sim “1”
CT _{cob}	Capacidade térmica da cobertura	[kJ/(m ² K)]
CT _{par}	Capacidade térmica da parede	[kJ/(m ² K)]
Cv	Trocas por convecção	Adimensional
E	Trocas por evaporação	Adimensional
EqNumAA	Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água	Adimensional
EqNumEnv	Equivalentes numéricos da envoltória	Adimensional
EqNumEnvAmb _A	Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para aquecimento	Adimensional
EqNumEnvAmb _{Refrig}	Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para refrigeração	Adimensional
EqNumEnvAmb _{Resf}	Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento	Adimensional
FS _o	Fator Solar	[%]
F _{vent}	Fator das aberturas para ventilação	Adimensional
GH _R	Grau-hora de Resfriamento	[°C h]
GH _{Rh}	Grau-hora de Resfriamento Horário	[°C h]
Lat	Valor absoluto da Latitude do local	[Graus]
M	Metabolismo	W
MET	Estimativa das Taxas Metabólicas	W/m ²
P _{ambS}	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul e pode ser substituído por “N” Norte, “L” Leste ou “O” Oeste	Não “0” ou Sim “1”
P _D	Pé direito	[m]
P _{il}	Variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis	Não “0” ou Sim “1”
PT _{UH}	Pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma	Adimensional

R	Trocas por radiação	Adimensional
R _v	Relação entre aberturas da residência	Adimensional
solo	Variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo	Não “0” ou Sim “1”
SomA _{parext}	Somatório das áreas de parede externa	[m ²]
somb	Variável binária que define a presença de dispositivos de proteção solar externos das aberturas	Não “0” ou Sim “1”
T _{max}	Temperatura média mensal máxima	[°C]
T _{med}	Temperatura média	[°C]
T _{min}	Temperatura média mensal mínima	[°C]
T _O	Temperatura operativa	[°C]
U	Transmitância Térmica	[W/(m ² K)]
U _{cob}	Transmitância térmica da cobertura	[W/(m ² K)]
U _{max}	Umidade relativa média mensal máxima	[g/m ³]
U _{med}	Umidade relativa média	[g/m ³]
U _{min}	Umidade relativa média mensal mínima	[g/m ³]
U _{par}	Transmitância térmica da parede	[W/(m ² K)]
U _R	Umidade Relativa do Ar	[g/m ³]
α	Absortividade	Adimensional
α _{cob}	Absortividade externa da cobertura	Adimensional
α _{par}	Absortividade das paredes externas	Adimensional
β	Ângulo de altitude solar a normal da fachada	[Graus]
γ	Ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada	[Graus]
φ	Atraso térmico	[Horas]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Delimitações do tema.....	18
1.2 Objetivo	18
1.2.1 Objetivo específico:.....	18
1.3 Justificativa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Eficiência energética.....	20
2.1.1 Zoneamento bioclimático	20
2.1.2 Avaliação energética do País.....	26
2.1.3 Estudos para melhorar a eficiência.....	28
2.2 Conforto ambiental e térmico.....	30
2.3 Etiquetagem das edificações	38
2.3.1 Envoltória	40
2.3.2 Requisitos específicos para simulação	41
2.3.3 O arquivo climático utilizado deve possuir, no mínimo, as seguintes características:....	41
2.3.4 A modelagem da envoltória da edificação deve considerar que:	42
2.3.5 Procedimentos para simular a edificação naturalmente ventilada.....	42
2.3.6 A modelagem do sistema de ventilação natural da edificação deve considerar que:	43
2.3.7 Padrão de uso da iluminação	45
2.3.8 Cargas internas de equipamentos	46
2.3.9 Temperatura do solo	47
2.3.10 Bonificações	48
2.4 Programa EnergyPlus para simulação energética	48
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 Residência de Estudo.....	49
3.2 Cálculo da etiquetagem pelo método prescritivo da RTQ-R.....	51
3.2.1 Ventilação natural.....	51
3.2.2 Iluminação natural	52
3.2.3 Cálculos para classificação da envoltória.....	52
3.3 Simulação com base na RTQ-R.....	61
3.3.1 Processo	61
3.3.2 Definição dos índices.....	62

3.3.3 Critérios descritos na RTQ-R para obtenção dos resultados das simulações	64
4 RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO PRESCRITIVO E DE SIMULAÇÃO CONFORME RTQ-R	66
4.1 Classificação obtida de acordo com o método prescritivo	66
4.1.1 Resultados encontrados da eficiência da edificação	68
4.2 Resultados obtidos pelo método de simulação com base no RTQ-R.	69
4.2.1 Avaliação conforme a regulamentação com ponderação dos resultados	70
4.2.2 Avaliação com o pior resultado entre os ambientes	71
4.3 Comparativo de resultados obtidos pelos métodos prescritivo e de simulação	73
5 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS COM SIMULAÇÃO SEM CONSIDERAR A RTQ-R COMO MÉTODO ANALÍTICO	75
5.1 Resultados das simulações com análise das temperaturas operativas dos ambientes	75
5.2 Resultados das simulações na análise das horas não confortáveis.....	85
6 CONCLUSÃO.....	89
REFERÊNCIAS	92
ANEXO A - PADRÃO MÍNIMO CONSTRUTIVO MCMV	96
ANEXO B - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	98

1 INTRODUÇÃO

Para reduzir o déficit habitacional no País, foi criado em 2009 o programa MCMV (Minha Casa, Minha Vida), que ampliou, consideravelmente, o acesso a residências para a população. Esse programa foi dividido em dois grupos: famílias com renda de até 1.600 reais e famílias com renda de até 5.000 reais (DE OLHO NA QUALIDADE, 2014).

Até fevereiro de 2014, o Ministério do Planejamento (2014) havia entregado 1,51 milhões de moradias e mais de 0,7 milhões estavam em andamento, como mostra o 9º Balanço do PAC 2 (Programa de Aceleração de Crescimento). Esse número tende a continuar em crescimento, já que no último censo realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), constatou-se que em 2010 o déficit habitacional no País era de 6.940.691 moradias, dados apresentados pelo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

Demonstrando preocupação com o cenário atual de uso e geração elétrica no Brasil, o Ministério de Minas e Energia, junto ao Governo Federal, vem adotando sistemas para reduzir a demanda energética por unidade habitacional no País. Um desses sistemas é o Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações), com um método de etiquetagem para residências que qualifica o seu uso, com relação à demanda energética necessária para atender ao item conforto ambiental (PROCEL INFO, 2014).

Medidas de minimização do consumo elétrico têm um potencial de 30% de redução para edificações que passem por intervenções do tipo retrofit (reforma e/ou atualização). No caso de novas edificações, se tomadas decisões durante a fase de projeto, a economia pode chegar a 50% do consumo de energia elétrica, esse potencial tem balizado a reavaliação dos principais focos de atuação do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), o que resultou na criação do subprograma Procel Edifica (PROCEL INFO, 2014).

A ventilação natural é um campo de muita influência na tomada de decisões do projeto de uma residência no contexto da economia energética. Sua utilização afeta, diretamente, o desempenho térmico, portanto o conforto é um ponto de grande interesse para a arquitetura. Antes da popularização dos equipamentos de condicionamento de ar, arquitetos como Le Corbusier destacavam seus projetos demonstrando domínio na forma com que utilizavam a ventilação natural. Esse recurso, bem trabalhado, pode amenizar grande parte dos problemas térmicos nas edificações.

1.1 Delimitações do tema

Este estudo aborda o consumo energético como foco principal, utilizando como base de estudo uma residência seguindo os padrões mínimos construtivos encontrados no programa “Minha Casa, Minha Vida” e os fatores que integram o conjunto de ações que afetam esse consumo, bem como a ampliação do conforto ambiental na edificação.

1.2 Objetivo

Propor critérios para minimização dos problemas térmicos em residências de baixa renda com baixos custos de implantação e manutenção.

1.2.1 Objetivo específico:

- Determinar deficiências e potencialidades construtivas de uma edificação que atenda aos padrões mínimos do programa MCMV;
- Classificar uma residência típica do programa MCMV pela regulamentação técnica da qualidade energética do programa de etiquetagem para edificações residenciais do Procel Edifica.

1.3 Justificativa

Os projetos residenciais do programa “Minha Casa, Minha Vida” visam, por parte das construtoras, questões financeiras antes das preocupações arquitetônicas. Geralmente, essas constroem os imóveis visando o maior lucro possível: sabendo que o governo dispõe de um valor máximo por imóvel e que exige um padrão mínimo, as construtoras, geralmente, atendem a esse padrão, mas cobram o máximo possível. Itens como conforto ambiental, ventilação e iluminação não são de interesse das construtoras, já que esses não fazem parte das exigências do programa.

Essas edificações, normalmente, são destinadas a famílias consideradas de baixa renda. Elevar o custo de vida justamente para esse tipo de famílias e subsidiar a construção sem a preocupação pós-ocupacional é um erro, se entendermos que, para uma residência mal projetada demanda mais energia para atender aos padrões recomendados de conforto

ambiental e maior custo para minimizar os problemas de saúde causados por um ambiente mal arejado ou úmido. (ANSI/ASHRAE 62.1-2007).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho é dividida por tópicos que descrevem áreas de interesses, são elas:

- 2.1 Eficiência energética;
- 2.2 Conforto ambiental e térmico;
- 2.3 Etiquetagem das edificações;
- 2.4 Programa para simulação energética, EnergyPlus.

2.1 Eficiência energética

Este capítulo se divide em duas partes onde: na primeira, é explicado como foram classificadas as zonas bioclimáticas brasileiras junto com a avaliação de alguns dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia e, na segunda parte, encontram-se alguns estudos e soluções para melhorar a eficiência energética.

2.1.1 Zoneamento bioclimático

Como descrito na NBR 15220-3 (2005), a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto quanto após a construção. Em relação à edificação construída: a avaliação pode ser feita através de medições *in loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que, na fase de projeto, essa avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas. Essa parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares e de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um “zoneamento bioclimático brasileiro”, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições fixadas de contorno. Propõem-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada zona, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática.

Na Figura 2.1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observa-se a divisão das zonas bioclimáticas brasileiras, de acordo com a NBR 15220-3 (2005), a cidade de Porto

Alegre está situada na zona bioclimática 3 (Tabela 2.1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A tabela mostra que cada cidade tem algumas letras correspondentes as estratégias que ajudam a melhorar a qualidade térmica das edificações. As orientações para cada zona bioclimática estão na Tabela 2.2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde para a cidade de Porto Alegre devem ser adotadas as estratégias BCFI.

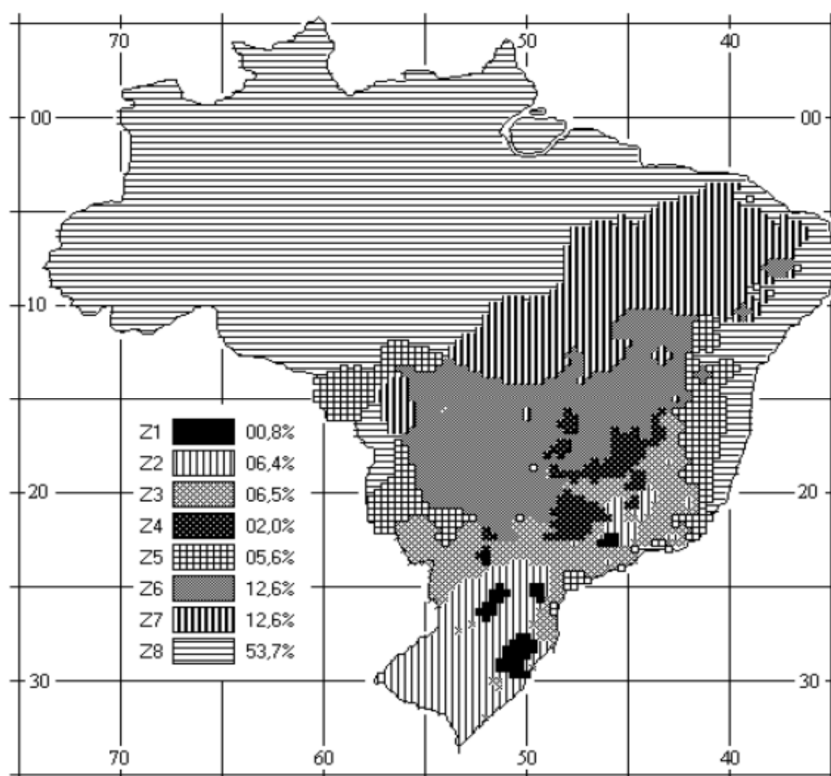


Figura 2.1 – Mapeamento das zonas bioclimáticas do Brasil.

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Tabela 2.1 – Definição das estratégias e zonas

UF	Cidade	Estratégias	Zona
RS	Pelotas	A – B – C – F – I	2
RS	Porto Alegre	B – C – F – I	3
RS	Rio Grande	B – C – F – I	3

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Tabela 2.2 – Estratégias climáticas para a ZB 3

Estratégia	Detalhamento
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para aperfeiçoar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecida.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar.
H + I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando diminuem as temperaturas externas.
I + J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Também se deve atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Para definir as zonas bioclimáticas foi utilizado o sistema demonstrado na Figura 2.2. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, nela foram inseridos dados climáticos de várias cidades brasileiras. Nesta figura faz-se um cruzamento da média mensal de temperatura e umidade de cada cidade do Brasil, onde as cidades são classificadas de acordo com a semelhança dos resultados.

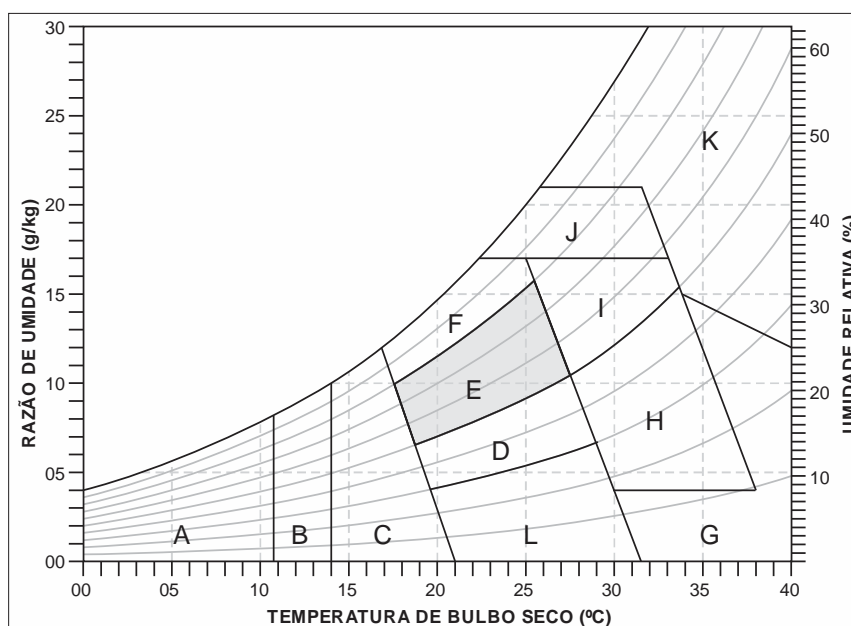


Figura 2.2 – Divisão climática

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Foram levantados os dados médios mensais de temperatura e umidade do ar das cidades e eles foram representados por um cruzamento de informações, onde os dados mínimos e máximos são ligados, obtendo-se uma reta, como exposto na Figura 2.3, a reta é obtida da seguinte forma:

Dados de entrada:

T_{min} (Temperatura média mensal das mínimas);

U_{min} (Umidade relativa média mensal das mínimas);

T_{max} (Temperatura média mensal das máximas);

U_{max} (Umidade relativa média mensal das máximas);

Obtém-se a média das temperaturas e das umidades dividindo-se a soma das máximas e das mínimas por dois.

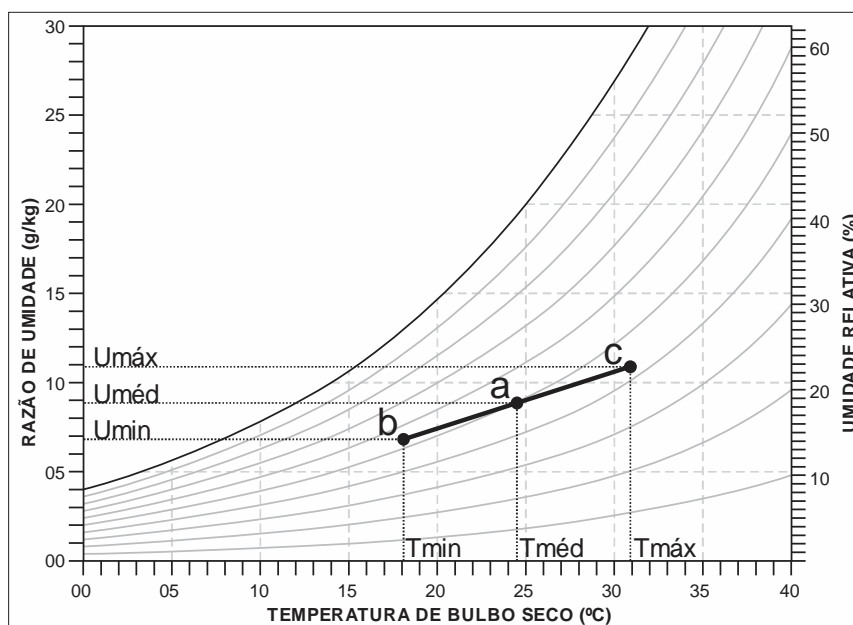


Figura 2.3 – Método de utilização do gráfico

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Foram registrados e classificados os climas de cada cidade do território brasileiro e inseridas retas resultantes das médias de temperaturas e umidades relativas das cidades na Figura 2.3. A figura foi subdividida em regiões e para cada uma são atribuídas denominações de “A” a “L”, como visto na Figura 2.2. As subdivisões formadas nesta figura foram definidas de acordo com diferenças de estratégias que podem ser tomadas para ampliar o conforto

ambiental, essas estratégias são baseadas em umidade e temperatura e, portanto, cada região da figura recebe um tratamento diferenciado. Para cada cidade estudada somaram-se as porcentagens de retas sobrepostas em cada subdivisão do gráfico e com isso pode-se medir quais cidades mais se assemelhavam quanto a umidade e temperatura, como no exemplo da Figura 2.4, que mostra uma cidade qualquer do território brasileiro.

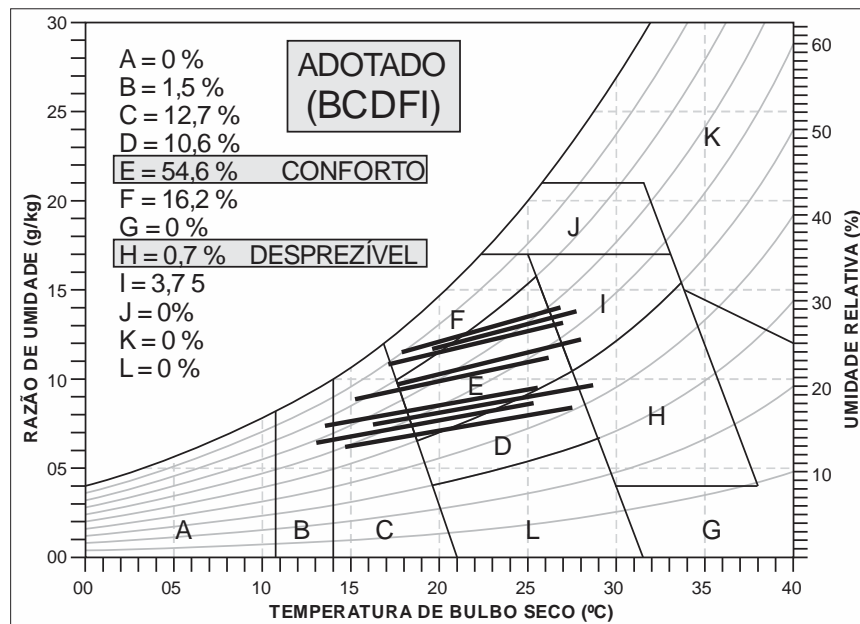


Figura 2.4 – Definição das zonas

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Quanto mais as retas ficam dentro da zona “E”, mais confortável é o clima da cidade e dependendo da porcentagem das retas que estão fora da zona “E” a cidade recebe uma classificação, de acordo com as estratégias que podem ser tomadas para amenizar os problemas causados pelo clima (Tabela 2.3). Cada cidade brasileira possui letras que foram obtidas em sua classificação e correspondem às estratégias de conforto. As cidades foram classificadas e divididas dentro de 8 grandes grupos que foram chamados zonas bioclimáticas.

Tabela 2.3 – Zonas e estratégias

Zona	Estratégia
A	Aquecimento artificial (Calefação)
B	Aquecimento solar da edificação
C	Massa térmica para aquecimento
D	Conforto térmico (Baixa umidade)
E	Conforto térmico (Não precisa fazer nada)
F	Desumidificação (Renovação do Ar)
G + H	Resfriamento Evaporativo
H + I	Massa térmica de refrigeração
I + J	Ventilação
K	Refrigeração Artificial
L	Umidificação do Ar

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

A NBR 15220-3 (2005) especifica as dimensões das aberturas (Tabela 2.4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), para cada tipo de zoneamento bioclimático no qual a cidade se encontra e as vedações externas da residência, como paredes e cobertura apropriadas (Tabela 2.5).

Tabela 2.4 – Relação de aberturas e ventilação

Aberturas para Ventilação	A (em % de piso)
Pequena	$10 \% < A < 15 \%$
Média	$15 \% < A < 25 \%$
Grande	$A > 40 \%$

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Tabela 2.5 – Tipo de vedação externa

Vedação externa		Transmitância térmica - U W/(m ² .K)	Atraso térmico ϕ Horas	Fator Solar FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,0$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve Refletora	$U \leq 3,6$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,2$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Cobertura	Leve Isolada	$U \leq 2,0$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve Refletora	$U \leq 2,3$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,0$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

2.1.2 Avaliação energética do País

Os dados do Ministério de Minas e Energia (2014) mostram que, na década de 70, o Brasil estava em uma zona de conforto, considerando que a produção de energia provinda de fontes renováveis chegava a 80% (Figura 2.5). Hoje, mesmo ainda estando em um cenário privilegiado se comparado ao resto do mundo, a produção de energia renovável caiu para pouco mais de 45% do total (Tabela 2.6).

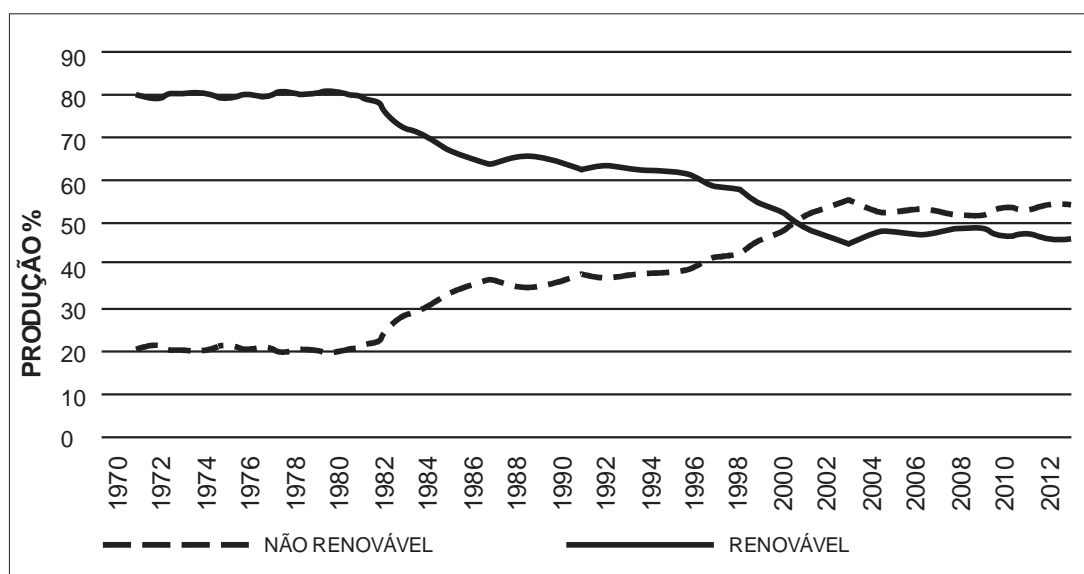


Figura 2.5 – Relação entre produção de energia renovável e não renovável.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2014)

Tabela 2.6 – Demonstrativo de geração de energia do país

Fontes de produção energética brasileira em 2012	%
Petróleo	41,59
Gás natural	9,93
Carvão vapor	0,97
Carvão metalúrgico	0
Urânio (u3o8)	1,50
Total não renovável	54,01
Energia hidráulica	13,88
Lenha	10,00
Produtos da cana	17,54
Outras renováveis	4,55
Total renovável	45,98
Total	100

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2014)

O Ministério de Minas e Energia (2014) mostra que em 2012 o setor residencial consumiu 23.761(10)³ tep (tonelada equivalente de petróleo), considerando apenas o consumo de energia elétrica instalada. A tendência de crescimento estimada é maior, devido à maior estabilidade da economia aliada a uma política de melhor distribuição de renda, que permite o acesso da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias. Soma-se a isso a elevada taxa de urbanização e a expansão do setor de serviços.

De acordo com Nacif, C. L. et al (2014) calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no País seja consumida para proporcionar conforto ambiental aos seus usuários, na manutenção das edificações e nos sistemas artificiais de iluminação, climatização e também no aquecimento de água. Isso demonstra a importância da preocupação de estratégias para reduzir o consumo energético no setor residencial.

Mudança de hábitos, elevação demográfica e aumento de renda da população são demonstrados pela Tabela 2.7 que, nos últimos 40 anos, o setor residencial teve uma alteração dos padrões de usos de energia com redução no consumo provindo da lenha, querosene e gás canalizado, mas ampliando o consumo de outras fontes de energias como a eletricidade, o gás natural e o gás liquefeito de petróleo. Medidas socioeducativas, regulamentação da etiquetagem das edificações, aperfeiçoamento do desempenho de eletrodomésticos da linha branca, televisores, lâmpadas e a melhor eficiência da energia elétrica em relação a outras fontes de energias mostram uma estabilidade no total do consumo energético destes 40 anos (Tabela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**2.7). É preciso reforçar investimentos na geração da energia elétrica e continuar o incentivo na conscientização popular, investir em novas tecnologias e na eficiência do uso da energia para que, com essas medidas, a ampliação do consumo seja suprida não só pela geração da energia, mas, também, pela eficiência e uso racional.

Tabela 2.7 – Consumo Energético do setor residencial

Setor Residencial 10³ tep								
Fontes	1970	1980	1990	2000	2010	2011	2012	2013
Gás Natural	0	0	4	100	255	280	296	321
Lenha	19,070	14,974	7,960	6,570	7,276	6,505	6,472	5,741
Gás Liquefeito De Petróleo	1,297	2,728	4,988	6,325	6,298	6,364	6,393	6,521
Querosene	447	296	128	36	4	5	5	4
Gás canalizado	86	93	91	60	0	0	0	0
Eletricidade	719	2,000	4,184	7,188	9,220	9,629	10,118	10,741
Carvão Vegetal	437	830	639	409	509	483	478	402

Total	22,058	20,921	17,994	20,688	23,562	23,267	23,761	23,730
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2014)

2.1.3 Estudos para melhorar a eficiência.

O objetivo do estudo de Kim, T. J.; Park, J. S. (2010) é a aplicação das aberturas coreanas tradicionais às residências contemporâneas para reduzir o consumo de energia e manter um ambiente interior saudável. O protótipo de abertura de ventilação natural foi desenhado com base na abertura tradicional, e seu desempenho foi medido através de experimentos laboratoriais. A simulação CFD (Fluidodinâmica Computacional) foi também usada para verificar seu desempenho na casa contemporânea. O índice de fluxo de ar do protótipo foi, exponencialmente, aumentado conforme as diferenças de pressão, e variou de 12,6 a 39,6 m³/(m² h) em 3-10 Pa. A quantidade total da recuperação de calor variou de 47,8 para 67,7 W/m², e o índice de recuperação de calor foi calculado em 25%. A partir da simulação CFD descobriu-se que o ar externo foi totalmente suprido através dos protótipos a 67,2 m³/h, equivalentes ao índice de ventilação de 0,2 h⁻¹. Os resultados mostram que o protótipo é capaz de fornecer ventilação natural até mesmo na baixa pressão do vento, além de prevenir a corrente de ar frio nos períodos quentes.

O estudo de Wang, L.; Gwilliam, J.; Jones, P. (2009) identificou soluções para o projeto de “casa de energia zero” no Reino Unido. O projeto ótimo de casa para o Reino Unido é com ênfase à fachada sul. Um sistema doméstico de água quente com 98 l/dia, a área do coletor solar é de 5 m² com uma taxa de massa de 20 kg/h. A eficiência do coletor solar de chapa plana “*flat-plate solar collector*” é de 35% e a economia de energia é de 78,8%. O sistema combinado de aquecimento no pavimento inferior com a bomba de calefação pode reduzir, significativamente, o consumo de energia se comparado com outros sistemas de aquecimento elétrico. Para o sistema de geração de eletricidade, duas pequenas turbinas eólicas, com uma potência instalada de 5,0 kW contribuíram para 91% da geração anual de eletricidade.

Maryanczyk et al (2014) define o termo “casa passiva” como um padrão de construção que garanta clima interior confortável tanto no verão quanto no inverno sem a necessidade de quaisquer sistemas convencionais de aquecimento nem refrigeração. A primeira casa passiva foi construída na Alemanha em 1992. A autoridade no campo da construção de casas passivas é o “*Darmstadt Passivhaus Institut*”, Instituto de pesquisa independente, fundado em 1996.

Segundo estudos, entre os quais o de Maryanczyk et al (2014), a temperatura do solo em certa profundidade (geralmente entre 10 e 20 m, dependendo das condições climáticas e das propriedades do solo) mantém-se, relativamente, constante durante todo o ano. Devido à grande inércia térmica do solo, as flutuações de temperatura presentes na superfície do solo diminuem com o aumento da profundidade. Assim, numa profundidade suficiente, a temperatura do solo sempre é mais alta do que o ar externo no inverno e é mais baixa do que a temperatura do ar externo no verão. A diferença entre a temperatura do ar do lado de fora e a temperatura do solo pode ser usada para o aquecimento do ar de ventilação no inverno ou resfriamento no verão. Para explorar a capacidade térmica do solo, deve ser construído um transmissor de calor. Normalmente, esse transmissor é formado por um conjunto de tubos enterrados em posição horizontal, vertical ou oblíqua que faz a intermediação da transmissão de calor entre o solo e o meio, pode ser usado para pré-aquecer o ar ou como fonte de calor para uma bomba de calor. Já no verão, o transmissor de calor no solo pode refrescar o ar ou servir como condensador do fluido refrigerante de um sistema de condicionamento de ar.

O trabalho de Janssens, B.; Verbruggen, A. (2014) mostra que novas janelas com isolamento por vácuo estão em desenvolvimento e têm o potencial de melhorar a eficiência energética. As janelas com isolamento usam enchimento translúcido, inclusive aerogéis, um material a base de sílica com o maior valor conhecido de isolamento entre os sólidos. Tal enchimento retarda a transferência de calor através da janela, mas não propicia boa visão. Esse enchimento é mais usado em escotilhas.

As janelas com vidros duplos têm o ar retirado entre as vidraças, criando vácuo. Isso reduz a transferência de calor, diminuindo o valor U (Transmitância térmica). Entretanto, o vácuo cria pressão estrutural na janela que, em combinação com as variações normais de pressão causadas por ventos e vibrações, podem comprometer sua integridade. Esse problema pode ser sanado com o uso de pequenos apoios de vidro entre as vidraças, que forneçam alguma estabilidade, mas, também, reduzem a transparência da janela. Uma solução para isso é a tecnologia de vidros que alteram suas características de transparência por influência elétrica (eletrocromicos), essa tecnologia já está disponível no comércio. Outras tecnologias em desenvolvimento, segundo o autor, são janelas capazes de alterar sua transmitância em resposta às flutuações de temperatura (termocrômicas) ou de luz (fotocrômicas).

Janssens, B.; Verbruggen, A. (2014) cita que a ventilação é importante para a refrigeração passiva. As janelas continuam sendo o meio natural mais eficiente para ventilar

uma construção, mas as janelas modernas não têm boa ventilação. As janelas do tipo guilhotina, ou seja, as que se abrem levantando o caixilho inferior funcionam melhor.

Aldossary N. A.; Rezgui Y.; Kwan A. (2014) avalia os padrões de consumo de energia doméstica num clima quente e árido, usando múltiplas abordagens de estudo de caso na cidade de Riyadh (Arábia Saudita), que está situada numa região geográfica conhecida por seu alto consumo energético e altas taxas de emissão de carbono. Foram escolhidas seis edificações: três casas e três apartamentos típicos. O objetivo era analisar a média de consumo energético doméstico de cada propriedade usando dados coletados mensalmente de contas de energia elétrica; esse uso é, então, avaliado com referência aos hábitos do usuário, coletados em entrevistas com os ocupantes das edificações para auxiliar na criação de um modelo detalhado de simulação.

Aldossary N. A.; Rezgui Y.; Kwan A. (2014) diz que especialistas da Arábia Saudita têm debatido uma abordagem para reduzir, drasticamente, o consumo que implicaria no estabelecimento de um código ou padrão claro que promova práticas sustentáveis em geral, em especial que promova reduções de energia e consumo de água nas residências. “Um sistema eficiente pode ser o envidraçado triplo, que pode limitar a transmissão direta da irradiação solar vinda do ambiente externo, enquanto mantém os níveis adequados de iluminação no interior da construção.”

2.2 Conforto ambiental e térmico

Em sua pesquisa, Krause, C. B. (2011) diz que o Conforto Higrotérmico é dirigido à concepção arquitetônica (Figura 2.6) em que o homem tem sua energia vital provinda de fenômenos térmicos em um processo fisiológico chamado metabolismo. Para cada indivíduo, o metabolismo, a partir de um valor básico de sobrevivência, variará em função do tipo de atividade exercida, da idade e do seu estado de saúde. Os recursos dos quais o corpo humano se utiliza para manter essa temperatura nesse patamar giram em torno da sua capacidade de reter ou dissipar calor e umidade: o suor, o arrepios, a redução do trabalho físico, o vestir, o despir, a busca pela sombra ou pelo sol são recursos mais ou menos involuntários que buscam esse equilíbrio. Sempre que o organismo, através de seu sistema termorregulador, necessita trabalhar muito para manter esse equilíbrio, ocorre a fadiga e a consequente queda de rendimento das atividades em um primeiro estágio e, em longo prazo, há algum tipo de dano físico, como tontura ou desmaio.

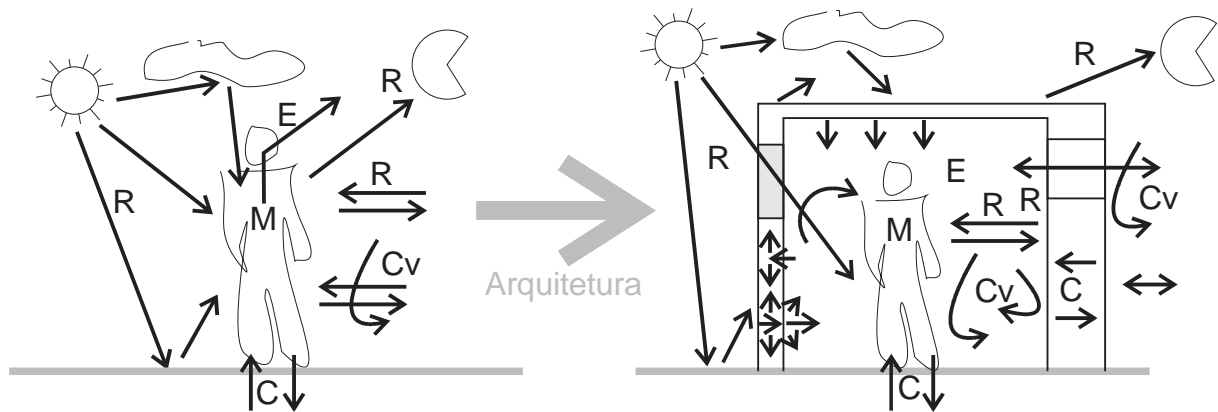


Figura 2.6 – Balanço higrétrmico.

Fonte: Krause, C. B. (2011)

Para garantir as condiçoes de saude do organismo, Krause, C. B. (2011) diz que e preciso que a Equaço 2.1 se mantenha estavel ao longo do tempo.

$$M \pm R \pm C \pm C_v - E = 0 \quad (2.1)$$

onde M e Metabolismo ou a produço de calor interno do corpo e pode ser incrementado por exercicios fisicos ou pela ingestao de alimentos e liquidos, R sao trocas por radiaço entre o Sol e o corpo, entre o corpo e a abobada celeste, entre o corpo e os demais corpos (paredes, tetos, moveis etc.), C sao trocas por conduço, contato entre o corpo e toda superficie em que ele toca, Cv sao trocas por convecço e ocorre entre o corpo e o ar que est em seu contato direto, E sao trocas por evaporaço/sudaço, e eliminaco do calor pela troca pulmonar na expiraço e, atraves da pele, pelos poros.

Krause, C. B. (2011) explica que na realidade existe uma relaco indissociavel entre os valores da temperatura e da umidade do ar para o conforto humano. Assim, em conforto ambiental usa-se o termo *higrotermia* para caracterizar a relaco dessas duas grandezas fisicas, ao invs de simplesmente *termica* ou *higrometria*. Em pais onde os valores de umidade permanecem sempre estaveis ou dentro dos limites aceitaveis, a higrometria tende a ser colocada de lado como fonte de desconforto e estudam-se, somente, os fenomenos termicos.

Adunola, A. O. (2014) estudos indicam que as pessoas residentes em pais quentes preferem temperaturas mais altas das que sao recomendadas pelos padroes americanos e

européus, como as da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) e a equação de conforto de Fanger.

Segundo Prajongsan, P.; Sharples, S. (2012):

“Há várias propostas de estratégias de ventilação natural com o objetivo de aumentar o conforto térmico, sendo que a ventilação tem sido recomendada como a estratégia de refrigeração passiva mais efetiva para climas quentes e úmidos”

“A alta velocidade do ar aumenta a transferência de calor convectiva e a perda de calor do corpo humano por evaporação e evita o desconforto térmico devido à umidade natural da pele, que aumenta o resfriamento fisiológico e dessa forma induz ao conforto térmico.”

A ventilação natural dos edifícios tem o potencial de economizar, significativamente, a energia elétrica de ventiladores e condicionadores de ar como mostra o trabalho de Schulze, T.; Eicker, U. (2012). Entretanto, ainda não foi amplamente aplicada porque há poucas informações sobre o conforto térmico e a qualidade do ar interna de edifícios de escritório sem ar condicionado. Os índices de fluxo de ar foram, então, sistematicamente simulados usando-se tanto métodos analíticos quanto de simulação em laboratório do fluxo de ar em diferentes condições, tais como as diferenças de temperatura e pressão em aberturas de diferentes tipos. Simulações dinâmicas de fluxo de ar nos edifícios foram realizadas para se determinar o conforto térmico anual e a economia de energia. Os resultados de três localidades de clima moderado (Alemanha, Itália e Turquia) demonstraram que, apesar de a qualidade do ar interno poder ser facilmente mantida com todos os tipos de aberturas, o potencial de resfriamento no verão e o conforto térmico dependem de estratégias de ventilação natural. O controle das aberturas é crucial em todos os casos, enquanto, por outro lado, as salas de escritório tendem a esfriar demais mesmo no verão. As horas de conforto térmico anuais em Istambul (Turquia) poderiam ser ampliadas de 8 h para 115 h, substituindo-se janelas tradicionais de correr de 1,6 m de altura por duas frestas de 18 cm de altura cada, uma em cima da parede e outra embaixo com distância vertical entre uma e outra de 2,6 m. Conclui-se, também, que há necessidade de controle das aberturas tanto para evitar esfriamento excessivo quanto para que haja ar fresco suficiente na estação de calor. Para a estimativa da conservação da energia de resfriamento, a ventilação natural controlada foi comparada ao resfriamento e à ventilação mecânicos. O resultado da simulação mostrou que os sistemas de ventilação natural, bem desenhados, economizam energia de resfriamento de 13 a 44 kWh por m² por ano, nas três localidades (Stuttgart, Turim e Istambul). A economia de energia elétrica de ventiladores é de, aproximadamente, 4 kWh por m² por ano.

Conforme a NBR 15220-3 (2005), o conforto ambiental define o espaço onde determinada pessoa sente-se confortável, tanto pela temperatura do ambiente, quanto pelos aspectos: lumínico, sonoro e velocidade e umidade do ar, entre outros. Para cada indivíduo a zona de conforto varia, dependendo de: sua vestimenta, estado psicológico, físico e metabólico. Essa zona de conforto pode variar para a mesma pessoa. Estudos fornecem dados estatísticos que determinam uma zona de conforto médio para grande parte da população.

A ASHRAE 55 (2004) trata das condições térmicas ambientais que uma parcela dos ocupantes irá considerar aceitável. Destina-se à aplicação em projeto, mas não é possível prescrevê-la como regra uma vez que a taxa metabólica dos ocupantes e as vestimentas alteram o “*setpoint*” de aceitação térmica (Tabela 2.8). Esta proporção é obtida por uma relação de PD (insatisfação humana devido ao conforto local), PMV (número médio de votos na escala de sensação térmica), PPD (relação quantitativa da porcentagem de insatisfação pelo resultado térmico obtido por PMV). Vários fatores influenciam o conforto ambiental, mas seis são principais e devem ser levados em consideração em uma simulação: taxa metabólica, isolamento, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade. A maioria dos dados disponíveis sobre conforto térmico refere-se aos sedentários (trabalho de escritório), não contém informações importantes a respeito dos requisitos de conforto para crianças, deficientes ou enfermos. Experimentos mostram que, em espaços naturalmente condicionados onde os ocupantes têm o controle de abertura e fechamento das janelas, a noção subjetiva de conforto é diferente, devido a: experiências térmicas distintas, disponibilidade de controle e as expectativas dos ocupantes. A elevação da velocidade do ar pode ser utilizada para compensar o aumento das temperaturas radiantes médias e do ar não superiores a 3 °C (5,4 °F). Acima desses valores perde-se a zona de conforto pela velocidade do ar excessiva que deve ser no máximo de 0,8 m/s. Em geral, as pessoas são mais sensíveis à radiação causada por um teto quente do que pelas superfícies verticais frias ou quentes.

Tabela 2.8 – Estimativa das taxas metabólicas.

Atividade	Unidades MET	Taxa Metabólica	
		W/m ²	Btu/hft ²
De descanso			
Dormir	0,7	40	13
Reclinar-se	0,8	45	15
Sentar-se, ficar quieto	1,0	60	18
Manter-se relaxado	1,2	70	22
Caminhadas (ao nível horizontal)			
0,9 m/s, 3,2 km/h, 2,0 mph	2,0	115	37
1,2 m/s, 4,3 km/h, 2,7 mph	2,6	150	48
1,8 m/s, 6,8 km/h, 4,2 mph	3,8	220	70
Outras Atividades			
Sentado, lendo ou escrevendo	1,0	60	18
Digitando	1,1	65	20
Arquivando, sentado	1,2	70	22
Arquivando de pé	1,4	80	26
Caminhada aleatória	1,7	100	31
Levantando coisas, empacotando	2,1	120	39

Fonte: ASHRAE 55 (2004)

A abordagem adaptativa de conforto térmico é firmemente apoiada por dados de campo. Essa abordagem prevê o conforto térmico para os usuários dentro dos padrões de temperatura mais amplos, permitindo o uso de estratégias de condicionamento de ar mais econômicas, tal como ampliar a velocidade do ar no interior dos edifícios mais altos (ANSI/ASHRAE 90.1-2010).

Segundo Fergus N. (2004), estudos de campo realizados em climas tropicais revelam que o padrão internacional para o conforto dentro das edificações, com base na ISO7730 (*International Organization for Standardization*), não descreve, adequadamente, as condições confortáveis. Este estudo apresenta algumas evidências as quais as normas internacionais são falhas e como elas podem ser complementadas com padrões de conforto adaptativos derivados dos resultados de pesquisas de conforto locais. Em particular, para os padrões adaptativos de conforto são consideradas as implicações do movimento do ar e da umidade.

No trabalho de Jamaludin et al (2013) há um estudo sobre ventilação em um prédio antigo do campus da University of Malaya (UM) na capital Kuala Lumpur. Esse estudo simula, em oito salas diferentes, dez cenários com estratégias bioclimáticas distintas, que

consideraram radiação e penetração de luz solar, tendo influencia nos valores das temperaturas e umidade do ar. Consta que o mais eficaz é a ventilação natural noturna, já que as temperaturas médias são menores e a umidade é mais elevada.

Estratégias de obtenção de conforto ambiental variam em diferentes tipos de clima, então comparar resultados da Malásia com o Brasil pode ser perigoso, embora ambos os países sejam, predominantemente, tropicais, a Malásia tem temperaturas diurnas de 29°C a 34°C e umidade relativa de 70% a 90%, durante todo o ano, como mostra o trabalho de Abdul, S.; Rahman; Kannan, K. S. (1996). Em nossa ZB 3, mesmo possuindo características semelhantes no verão, elas têm características inversas no inverno.

A cartilha de ventilação natural do Procel Edifica (2010) demonstra que o movimento de ar dentro das construções é governado, principalmente, pela direção externa dos ventos, pela configuração da abertura de entrada do ar e forças de inércia das correntes de ar que resistem a mudanças na direção do fluxo. Em construções com uma única zona (por exemplo, galpões e ginásio de esportes) dotadas com aberturas localizadas em três fachadas e com área aberta representando 30% das suas respectivas fachadas, a adição de outra abertura na quarta fachada produzirá somente um aumento de 5% no fluxo de ar. Em geral, uma construção com aberturas distribuídas em diferentes fachadas aumentará o potencial para se obter uma adequada ventilação natural, pelo fato de produzir significantes gradientes de pressão em vários pontos da mesma.

Fleury (1990) diz que conjuntos habitacionais construídos em linha, com casas ligadas umas às outras, não são tão eficazes na ventilação natural. A ventilação cruzada é otimizada em ambientes que tenham aberturas em três fachadas diferentes, mas espaços com tal configuração não são muito frequentes.

Em suas pesquisas Zhang et al (2009) identificou que o desconforto térmico é causa importante de falta de satisfação nos ambientes de escritórios e está ligado à produtividade do trabalho de seus ocupantes. Pesquisas mostraram também que, ao propiciar-se o controle da temperatura e o movimento do ar para o ocupante, amplia-se o conforto ambiental. Outras pesquisas sugerem que o aumento da circulação de ar melhora a percepção pelos ocupantes da qualidade do ar. Por fim, um estudo de laboratório demonstrou que, nas condições de calor o conforto da cabeça e das mãos se sobrepõe ao desconforto geral de uma pessoa; em condições de frio, o conforto dos pés e mãos se sobrepõe ao desconforto geral. Tais resultados sugerem que um sistema controlado do ambiente de trabalho que enfatize essas partes do corpo pode aumentar, eficientemente, o conforto humano.

O artigo de Perez, I. O.; Østergaard, P. A. (2014) apresenta uma análise da viabilidade do uso da ventilação natural como método para refrescar construções em períodos de superaquecimento. Em uma casa passiva localizada em um país temperado, os autores observam que com o uso correto da ventilação natural, há um potencial de redução de 90% do tempo de uso da ventilação mecânica no verão, o que representou uma economia de 42 kWh em 2009. Eles afirmam que os maiores ganhos de calor são oriundos aos equipamentos elétricos existentes na moradia e ao fluxo convectivo que está presente à noite quando o calor absorvido durante o dia pelas paredes, devido aos ganhos solares, é liberado para o interior da construção. O potencial de economia energética pela ventilação natural é razoável se supor que esse método de ventilação deva funcionar nas construções padrões. Nesse tipo de construção o uso da ventilação mecânica também está presente. Num cenário de maior escala, aqui apresentado como o setor residencial dinamarquês, em 2009, foi avaliado um potencial médio de economia de 107 GWh. Além disso, esse trabalho apresenta uma redução de 60,7 mil toneladas de emissões de CO₂, e estimada uma economia de 13 milhões de Euros.

Para haver ventilação natural adequada são necessárias aberturas em pelo menos dois lados do ambiente, proporcionando ventilação cruzada. O vento predominante gera pressão positiva e entra pela abertura, circula pelo ambiente e sai por outra abertura, formando pressão negativa. Outros fatores, também, interferem no fluxo, como: dimensões e formato das aberturas; influências térmicas em superfícies; ganhos internos de temperatura e diferença de temperatura interna e externa. Basicamente tudo resultando em diferença de pressão.

A ventilação natural juntamente aos benefícios está acompanhada de problemas, dentre eles se destacam a acústica, a presença de insetos e a incidência de chuvas e ventos, mas estes problemas podem ser tratados ou minimizados se considerados nas etapas de projeto.

Em construções de baixa renda não existe um padrão para aberturas menos ou mais eficientes, normalmente são influenciadas pelo custo e podem variar. Neste trabalho foram simuladas janelas de 1,00 m² e 1,80 m². Considerando que, normalmente, para esse tipo de edificação são utilizadas as aberturas mais baratas que possuem duas folhas de venezianas de correr, onde em sua máxima abertura sempre metade estará fechada. A janela passa a ter metade do vão aberto para iluminação e ventilação, dessa forma temos, normalmente, a ventilação em uma abertura vertical, o que não é muito adequado, como é mostrado na Figura 2.7, onde as aberturas verticais são menos eficientes.

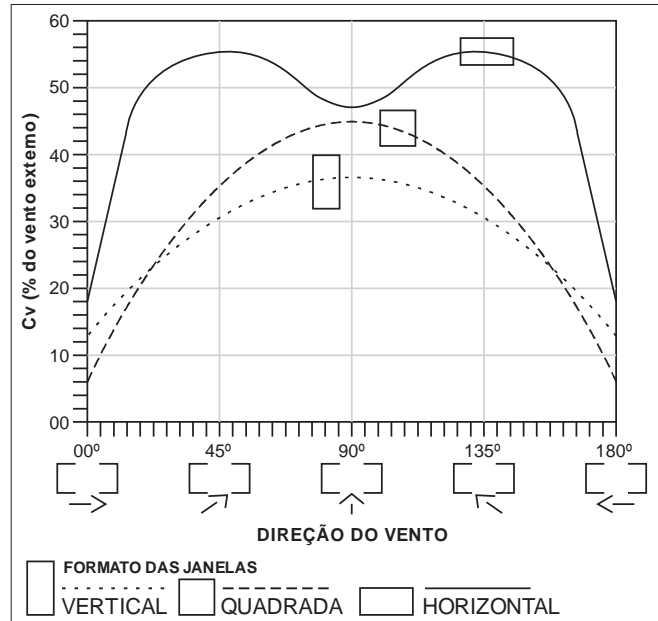


Figura 2.7 – Formato das aberturas e a influência na ventilação natural

Fonte: (Procel Edifica, 2010)

Ao utilizar proteção solar nas janelas é necessário ter cuidado com a orientação dos brises em relação aos ventos predominantes, os mesmos podem amenizar a incidência da radiação solar, mas podem prejudicar a ventilação, tornando o sombreamento pouco eficiente (Figura 2.8).

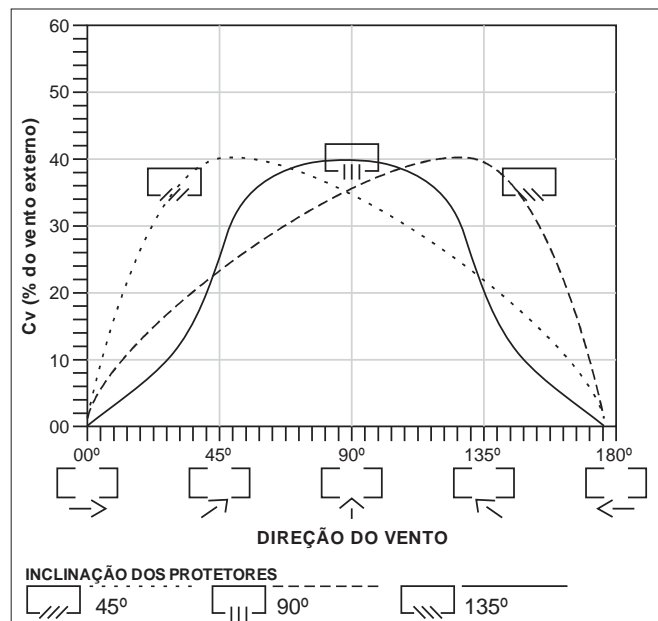


Figura 2.8 – Influência dos protetores solares na ventilação natural

Fonte: (Procel Edifica, 2010)

2.3 Etiquetagem das edificações

No Brasil, a determinação da etiquetagem nas edificações residenciais e comerciais, os usos, cargas, iluminação, necessidade de ventilação, entre outros requisitos necessários, terá como base referencial o RTQ-R (2012) como método prescritivo. Nele, também, se indica o uso de “*software*” e os critérios envolvidos para o método de simulação. A etiqueta é concedida em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício. O projeto pode ser avaliado pelo método prescritivo ou pelo método de simulação, enquanto o edifício construído deve ser avaliado através de inspeção e medição “*in loco*”.

O estudo de Batista, N. do N.; Rovero, E. L. L.; Aguiar, J. C. R. (2010) dirige-se à aplicação do método prescritivo RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) para avaliar um ambiente comercial e verificar se o sistema convencional de construção de edifícios cumpre tais requisitos. Além disso, investiga a contribuição da etiquetagem para a redução do consumo de eletricidade nos edifícios. Para tanto, o RTQ-C foi aplicado em dois edifícios com o intuito de calcularem-se os níveis de eficiência de seu envelope, sendo propostas possíveis alterações para aumentar o desempenho do envelope, onde for pertinente. Observa-se que os edifícios convencionais que adotam medidas tais como: pintura branca nas paredes e telhado e ainda o uso de vidro fumê, acabam sendo medidas suficientes para elevar o índice da etiqueta ao nível “A” (melhor classificação). Como não foram observadas quaisquer preocupações específicas nos desenhos arquitetônicos dos edifícios estudados, que fizessem o uso de estratégias para minimizar a necessidade elétrica em tais edifícios, os achados desses estudos de casos podem muito bem indicar que o RTQ-C adotou requisitos técnicos que não são particularmente estritos. Conseqüentemente, acredita-se que tais requisitos deveriam ser revisados em uma segunda fase para torná-los mais restritivos e atingir outros melhoramentos no ambiente construído com intuito de maximizar a eficiência energética nos edifícios. O autor mostra que esse método não fornece o consumo energético, que seria um indicador importante no processo de avaliação da rotulagem dos edifícios. Além disso, cita que esse é um método complexo de difícil compreensão e que exige treinamento para sua aplicação. Para a quantificação do consumo energético, o método mais indicado é a simulação através de *software* apropriado, uma vez que o método prescritivo, meramente, segue o objetivo de medição dos níveis de eficiência em cumprimento às exigências técnicas estabelecidas no RTQ-C. Não há dúvida de que a simulação do consumo energético seria importante para o desenvolvimento dos desenhos de projetos eficientes, mas o *software* existente é difícil de ser

usado, exigindo treinamento específico aos profissionais. Segundo a visão dos resultados desse estudo de caso, os ganhos e impactos da etiquetagem não atingiram os níveis esperados, uma vez que estão relacionados ao rigor dos requisitos técnicos estabelecidos através dos regulamentos do envelope, que não são considerados suficientes para resultarem em quaisquer reduções significativas do consumo de eletricidade, nos edifícios etiquetados, nem que resultassem em qualquer melhora do ambiente construído. Isso significa que, com o propósito de cumprir requisitos maiores, apenas medidas simples foram exigidas nos edifícios analisados.

Albuquerque, R. T.; Lacerda, M. A.; Krause, C. B. (2013) avaliou os níveis de eficiência energética de um edifício sob a ótica dos métodos mais empregados no Brasil, LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e Procel Edifica, com critério do conforto ambiental arquitetônico. O LEED, basicamente, se divide em seis critérios que formarão requisitos passíveis de pontuação em um quadro geral de avaliação. Alguns desses requisitos são obrigatórios para a obtenção da certificação, são chamados de pré-requisitos e focam as principais ações de cada critério. O processo estrutura-se, basicamente, em dois instrumentos que permitem avaliar o desempenho requisitado, o SGE (Sistema de Gestão do Empreendimento) e a QAE (Qualidade Ambiental do Edifício). O método consiste em avaliar o prédio conforme seu atendimento aos requisitos do regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética. “O método prescritivo do Procel Edifica mostrou-se muito trabalhoso em edifício de geometria mais complexa. Surgiram diversas dúvidas para aplicação desse método, sendo necessário recorrer, frequentemente, ao FAQ (Frequently Asked Questions) do site para esclarecê-las. O manual para aplicação dos regulamentos RTQ-C e RAC-C (Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos), apresenta exemplos menos complexos, o que a título de sugestão poderia ser ilustrado, também, exemplos mais complexos para facilitar o entendimento para aplicação nesse tipo de geometria. O sistema AQUA apresenta uma forma de certificação e qualificação da edificação de forma bastante flexível. Essa forma de avaliação valoriza as características mais importantes de um projeto em seus diferentes contextos de implantação, eficiência energética e qualidade arquitetônica. Esse método, apesar de possuir mais itens em sua lista de ações sustentáveis, mostrou-se muito mais favorável a uma liberdade de projeto, permitindo que o prédio seja classificado como sustentável, atendendo às suas características mais favoráveis independente de pré-requisitos rígidos de formatação de conceito. O método

LEED possui uma forma de análise semelhante ao do AQUA, baseada em quesitos e categorias. A diferença é que ele estabelece uma pontuação acumulativa que vai classificar, ao final da avaliação, o nível alcançado em sustentabilidade pelo empreendimento: certificação simples, prata, ouro ou platina. Esse método se apresenta de forma mais simplificada e possui uma formatação pré-determinada, aplicada a uma realidade econômica, cultural e ambiental de seu país de origem.”

Com base no método prescritivo, os índices necessários para cálculo de conforto em residências habitacionais unifamiliares estão demonstrados no item 3 do RTQ-R (2012) onde a residência é tratada como unidade habitacional autônoma. Encontrado no item 2.3.1 do RTQ-R.

2.3.1 Envoltória

Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvidade solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada devem ser atendidos de acordo com a zona bioclimática em que a edificação se localiza (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 – Pré-requisitos de absorvidade solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas

ZB1 a ZB6			
Componente	Absorvidade solar	Transmitância térmica	Capacidade térmica
		W/(m²K)	kJ/(m²K)
Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \leq 130$
	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \leq 130$
Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R (2012)

Ventilação natural: Ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas efetivas de abertura em relação à área útil do ambiente, nas ZB1 a ZB6 a área deve ser maior ou igual a 8% (RTQ-R 2012).

Nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8, a UH (Unidade habitacional) deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendidas pelas aberturas externas e internas. Portas de acesso principais e de serviços não serão consideradas como aberturas para ventilação. O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar

entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes).

Iluminação Natural: O acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas ao exterior. A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente.

2.3.2 Requisitos específicos para simulação

O programa computacional de simulação termoenergética deve possuir, no mínimo, as seguintes características:

- a) programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) ser verificado de acordo com testes propostos pela *ASHRAE Standard 140 - 2004: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*;
- c) modelar 8.760 horas por ano;
- d) modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- e) modelar efeitos de inércia térmica;
- f) modelar efeitos de multizonas térmicas;
- g) capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- h) determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- i) produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações;
- j) produzir relatórios horários do uso final de energia.

2.3.3 O arquivo climático utilizado deve possuir, no mínimo, as seguintes características:

- a) fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e radiação solar;

b) os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto sob avaliação estará localizado. Caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;

c) devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (www.eere.energy.gov) ou os arquivos climáticos publicados no site (www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios), em formatos tais como: TRY (Test Reference Year) e TMY (Typical Meteorological Year).

2.3.4 A modelagem da envoltória da edificação deve considerar que:

a) para as UHs (Unidades habitacionais), cada ambiente deve ser modelado como uma única zona térmica, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto avaliado;

b) para as edificações multifamiliares de até 10 pavimentos, todas as UHs dos pavimentos “tipo” (pavimento que normalmente se repete nos andares comuns), do térreo e da cobertura devem ser modeladas, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto a avaliar. Cada ambiente da UH deve ser modelado como uma zona térmica;

c) os dispositivos de sombreamento devem ser modelados conforme o projeto avaliado;

d) o ático da cobertura pode ser modelado como uma zona térmica;

e) os ambientes comuns das edificações multifamiliares, tais como circulação vertical, corredores, *hall* de entrada e similares, podem ser modelados agrupados em uma única zona térmica, desde que essa modelagem não interfira na ventilação natural das UHs;

f) as garagens que tiverem contato com UHs devem ser simuladas como uma zona térmica.

2.3.5 Procedimentos para simular a edificação naturalmente ventilada

A metodologia de avaliação compara os indicadores de GH_R (graus-hora de resfriamento) e C_A (Consumo relativo para aquecimento) dos ambientes de permanência

prolongada da unidade habitacional com os níveis de eficiência das tabelas do arquivo climático utilizado na simulação, (as tabelas estão disponíveis no site www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios). Os indicadores de graus-hora dos ambientes de permanência prolongada do projeto devem ser iguais ou menores que os níveis de eficiência das tabelas.

2.3.6 A modelagem do sistema de ventilação natural da edificação deve considerar que:

a) todos os ambientes da UH que possuam aberturas para ventilação devem ser modelados no sistema de ventilação natural. As aberturas que proporcionam a ventilação (portas e janelas) devem possuir as mesmas coordenadas cartesianas do projeto a ser avaliado;

b) de acordo com a ASHRAE Handbook of Fundamentals (2009) o coeficiente de rugosidade do entorno deve ser de 0,33 que representa um terreno de centro urbano no qual pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21 m. Mesmo que a UH não esteja em centro urbano, esse valor deve ser utilizado na simulação;

c) os C_p (Coeficientes de Pressão Superficial) podem ser estimados através de experimentos em túnel do vento, bancos de dados de medições em túnel de vento ou calculados pelas equações de Swami e Chandra (1988) e Akins *et al.* (1979), que estimam os coeficientes de pressão médios das superfícies de edificações baixas e altas, respectivamente. As bases de dados de coeficientes de pressão recomendadas são *Pressure Database1*, *Cp Generator2* e o *CPCALC+*;

d) o C_D (Coeficiente de Descarga) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,60. Para outros formatos que não retangulares pode-se usar outros valores, desde que justificados;

e) o C_Q (Coeficiente do fluxo de ar por frestas) para janelas e portas retangulares deve ser de 0,001 kg/(s.m) e o expoente do fluxo de ar (n) deve ser 0,65. Para outros formatos que não retangulares pode-se usar outros valores, desde que justificados;

f) o padrão de uso da ventilação natural pode ser através da estratégia de controle automático por temperatura ou entalpia. Também há a opção de controlar a ventilação por períodos determinados através de padrões horários.

Observação: O controle automático por temperatura é realizado através de um padrão de uso de temperatura que controla a abertura das janelas, o qual habilita a abertura da janela quando a T_{int} (temperatura do ar do ambiente) é igual ou superior à $T_{termostato}$ (temperatura do

termostato), ($T_{\text{int}} \geq T_{\text{termostato}}$) ou quando a T_{int} é superior à T_{ext} (temperatura externa), ($T_{\text{int}} \geq T_{\text{ext}}$). Nas simulações do método prescritivo desse RTQ-R foi adotada a $T_{\text{termostato}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

O padrão mínimo de ocupação dos dormitórios deve ser de duas pessoas por ambiente e a sala deve ser utilizada por todos os usuários dos dormitórios. Caso exista mais de uma sala ou ambiente de permanência prolongada que não dormitórios, a população descrita na coluna “sala” da Tabela 2.10 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode ser distribuída entre esses ambientes.

Deve ser modelado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana.

Tabela 2.10 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitório		Sala	
	Dia de Semana %	Fim de Semana %	Dia de Semana %	Fim de Semana %
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Fonte: RTQ-R (2012)

Em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente deve ser adotada a taxa metabólica para cada atividade, conforme recomendado na Tabela 2.11. Os valores

recomendados para as taxas foram baseados na ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009), considerando uma área de pele média de 1,80 m² (equivalente à área de pele de uma pessoa média). Quando a cozinha for ocupada por mais de uma pessoa, somente uma estará com taxa metabólica de 95 W/m², os outros ocupantes podem estar com taxas metabólicas de 60 W/m².

Tabela 2.11 – Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade realizada	Taxa de Calor produzido (W/m²)	Taxa de Calor produzido por área de pele = 1,80 m² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: RTQ-R (2012)

2.3.7 Padrão de uso da iluminação

A modelagem deve ser realizada para os ambientes de permanência prolongada, considerando dois padrões de uso da iluminação: um para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme apresentado na Tabela 2.12.

Os valores de 100% representam os horários do uso da iluminação e os valores de 0% representam que a iluminação do ambiente está desligada.

Caso exista mais de uma sala ou ambiente de permanência prolongada que não dormitórios, o padrão de uso da iluminação está descrito na coluna “sala” da Tabela 2.12 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e deve ser utilizado para tais ambientes.

Tabela 2.12 – Padrão de uso da iluminação

Hora	Dormitório		Sala	
	Dia de Semana %	Fim de Semana %	Dia de Semana %	Fim de Semana %
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: RTQ-R (2012)

Os ambientes de permanência prolongada devem ser modelados com densidades de potência instalada de iluminação (Tabela 2.13Tabela 2.13**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 2.13 – Densidade de potência instalada de iluminação

Ambiente	DPI (W/m ²)
Dormitório	5,0
Sala	6,0

Fonte: RTQ-R (2012)

2.3.8 Cargas internas de equipamentos

Cargas internas, período e potência de equipamentos da sala podem ser simplificados por m², como mostra a Tabela 2.14.

Tabela 2.14 – Cargas internas de equipamentos

Ambiente	Período	Potência (W/m²)
Sala	24h	1,5

Fonte: RTQ-R (2012)

2.3.9 Temperatura do solo

Nas UHs em que o piso dos ambientes estiver em contato com o solo, devem ser calculadas as temperaturas médias do solo para cada mês do ano com base nos valores médios das temperaturas internas e externas da edificação para o clima que será simulado. A temperatura do solo deve ser calculada com a geometria da edificação, propriedades térmicas dos elementos construtivos, padrões de uso e com a estratégia de ventilação do projeto sob avaliação. Considerando a transferência de calor no solo de forma integrada com a simulação, também podem ser utilizados modelos dinâmicos mais detalhados.

Os valores de temperatura do solo dos arquivos climáticos não são recomendados para o uso em simulações térmicas e energéticas. Para as simulações do método prescritivo do RTQ-R foi utilizado o programa Slab, que está vinculado ao EnergyPlus, para o cálculo das temperaturas do solo. O programa calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima escolhido.

Observação: Pelo RTQ-R o baixo nível de eficiência atribuído a UHs que não possuem sistema de aquecimento de água é justificado, pois, caso o usuário queira aquecer a água para o banho, fica restrito à instalação de chuveiro elétrico. O nível D atribuído às regiões Norte e Nordeste equivale ao nível máximo possível de ser atingido por sistemas de aquecimento elétrico. Nas demais regiões não é aceitável a ausência de sistema de aquecimento de água instalado na UH, portanto, nesses casos, é atribuído o menor nível possível (nível E).

Sistema de aquecimento elétrico, aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas.

A classificação dos aparelhos recebe eficiência:

“D” para aparelhos com potência $P \leq 4.600$ W;

“E” para aparelhos com potência $P > 4.600$ W.

Equipamentos com potência regulável serão classificados pela maior potência.

Equipamentos não classificados pelo RTQ-R receberão classificação nível E.

2.3.10 Bonificações

Observação: As bonificações são iniciativas que aumentam a eficiência energética da UH, elas podem somar no máximo 1 (um) ponto na classificação geral que varia de 0 a 5 pontos, sendo que, um ponto equivale a aumentar em um nível a classificação geral.

2.4 Programa EnergyPlus para simulação energética

Pereira, C. D.; Ghisi, E. (2013) ressalta que um dos programas de simulação de edificações mais utilizados no mundo é o EnergyPlus, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Ele foi criado para estimar trocas térmicas, índices de iluminação e consumo energético de edifícios, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento. As principais dificuldades na modelagem das simulações costumam ocorrer na definição dos padrões de uso e das trocas de ar da edificação, o que tem provocado a sua desconsideração em muitas simulações. A inclusão desses fatores é de grande importância, principalmente, no tocante a edificações residenciais, pois exercem grande influência sobre as trocas de calor do edifício.

Em Energyplus Engineering Reference (2013) p. 389, é visto ser comum algumas simulações que consideram ventilação natural utilizarem ferramentas simples, como no *EnergyPlus*, em “*Zone Ventilation: Design FlowRate*” ou “*Zone Ventilation: Windand Stack Open Area*”. Esses campos consideram trocas de ar por diferença de temperatura. Deve-se ter cuidado ao utilizar esses modelos, pois para um bom resultado eles requerem alguns dados difíceis de serem obtidos ou imprecisos, por esse motivo não serão utilizados esses campos. Nos ambientes que não tenham qualquer sistema de ventilação controlada ou mecânica, normalmente, é necessária a ventilação natural. O *EnergyPlus* trabalha com um modelo chamado “*Airflow Network*”. Este campo é mais complexo e requer diversos dados de entrada, mas apresenta um resultado bastante confiável.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta dados necessários para a simulação e análise das metodologias prescritiva e de simulação encontrados neste trabalho, usando como base referencial uma residência unifamiliar de interesse social.

A residência em análise foi determinada de acordo aos parâmetros mínimos do programa “Minha Casa, Minha Vida” do Governo Federal do Brasil (ANEXO A).

A edificação (Figura 3.1) possui 33,85 m² de área privativa, contendo: dois quartos, sala, cozinha e banheiro, a área de serviço externa não está computada; paredes em alvenaria estrutural de tijolos cerâmicos maciços de 0,12 m de largura, assentados e rebocados em ambos os lados com argamassa de 0,015 m de espessura e pintura. A casa possui pé direito de 2,60 m, piso concretado diretamente sobre o solo, laje em concreto armado com oito centímetros de espessura, telhado com estrutura de madeira, coberto com telhas de fibrocimento de seis milímetros de espessura, 0,80 m de altura entre a laje e a cumeeira e duas águas com abas de 0,50 m avançadas para os quatro lados.

No perímetro externo da residência, há um piso de 0,50 m de largura. As janelas foram simuladas com dois padrões, em um deles elas possuem 1,80 m² e em outro padrão elas possuem 1 m² e são em alumínio anodizado com duas folhas externas de venezianas e caixilhos internos com vidros simples de três milímetros de espessura. Portas internas em madeira laminada semi-ocais e portas externas em madeira maciça, ambas em cor clara, com 0,80 m de largura, 0,03 m de espessura e 2,10 m de altura.

3.1 Residência de Estudo

A Tabela 3.1 indica as áreas dos ambientes e a Tabela 3.2 apresenta as áreas das aberturas da residência modelo.

Tabela 3.15 – Áreas dos ambientes da residência de estudo

Ambiente	Área (m ²)
Sala	9
Cozinha	4,8
Quarto Frente	8,4
Quarto Fundos	8,4
Banheiro	3,25

Tabela 3.16 – Áreas das aberturas da residência de estudo

Aberturas	Área (m ²)
Janelas Ventilação	0,9
Janelas Iluminação	1,8
Janela Banheiro	0,35
Área das portas	1,68

Áreas das janelas para iluminação natural são consideradas com as venezianas totalmente abertas, no caso das áreas para ventilação natural considera-se metade da área aberta, pois um dos lados fica sempre fechado pelo vidro.

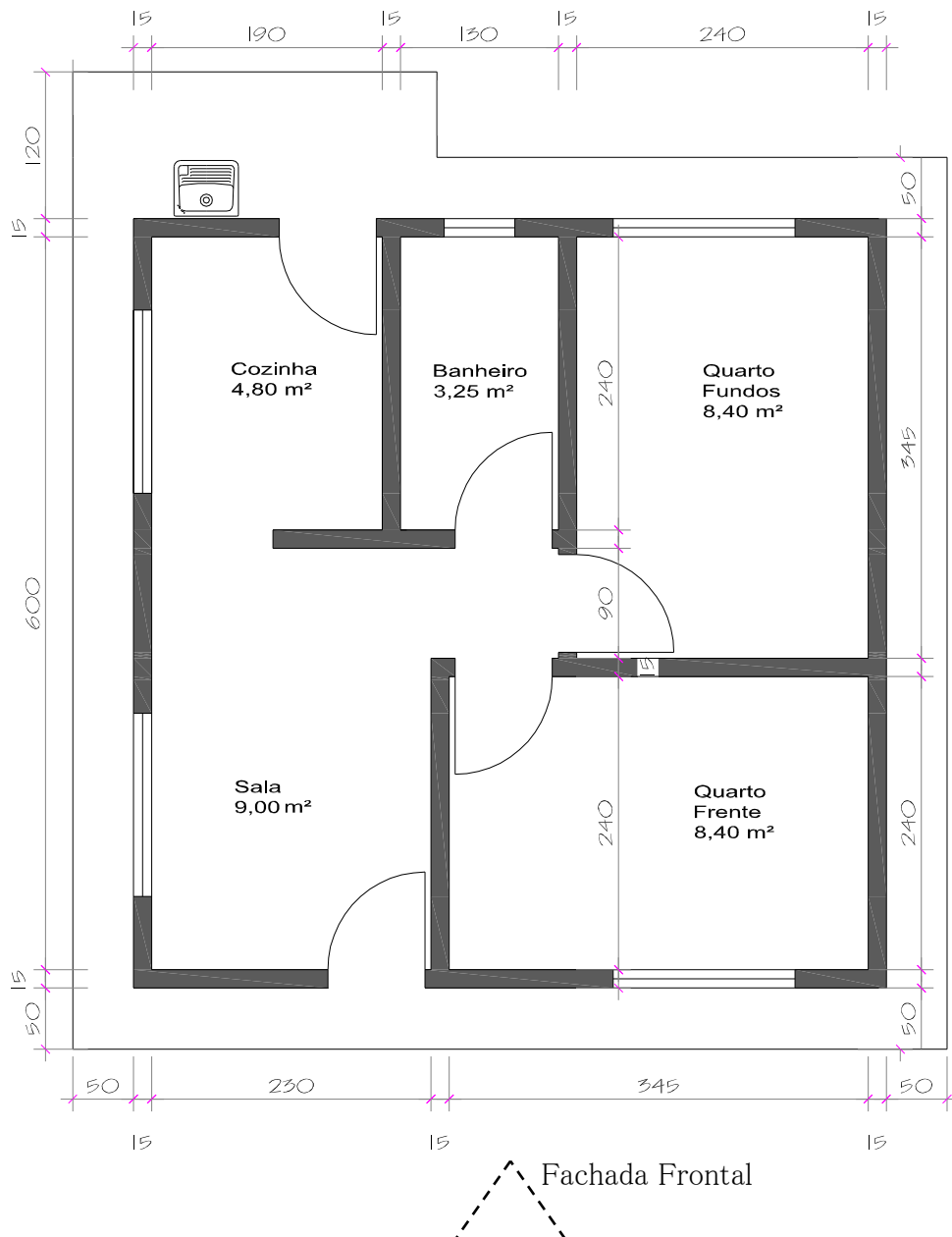


Figura 3.9 – Planta baixa da edificação simulada

3.2 Cálculo da etiquetagem pelo método prescritivo do RTQ-R

A avaliação da residência é feita pelos critérios descritos no RTQ-R onde serão verificados quais os níveis de classificação são obtidos após a aplicação dos métodos de qualificação.

Este capítulo demonstrará de que forma é avaliada a residência pelo método prescritivo encontrado no RTQ-R (2012).

3.2.1 Ventilação natural

A regulamentação RTQ-R avalia a ventilação natural em função do percentual de abertura e de uma relação entre aberturas externas que determinem a entrada de ar na residência.

3.2.1.1 Percentual de abertura

É estipulado que o percentual de abertura para ventilação natural seja relacionado com a área de piso do ambiente. Foi definido um percentual mínimo necessário para cada zona bioclimática, onde a ZB3 na qual nossa edificação se encontra, foi definida em 8% para ambientes de permanência prolongada. Esse percentual é calculado com a aplicação da Equação 3.1.

$$Abv = 100 \frac{Av}{AUamb} \quad (3.1)$$

onde Abv é o percentual de abertura, Av é a área de ventilação e $AUamb$ é a área útil do ambiente.

Observação: As portas, principal de acesso e de serviço externas, não entram nesse cálculo por não serem utilizadas como aberturas para ventilação.

3.2.1.2 Relação entre aberturas

A relação é calculada pelo somatório das áreas de aberturas da fachada com maior área de aberturas, relacionado com a área das demais aberturas externas da residência e é obtida através da Equação 3.2. Não se levam em consideração as portas externas.

$$Rv = \frac{A2}{A1} \geq 0,25 \quad (3.2)$$

onde Rv é a relação entre as aberturas da residência, A1 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas na fachada com maior área de abertura para ventilação e A2 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas demais fachadas.

3.2.2 Iluminação natural

É definida por um percentual de aberturas para iluminação natural em relação à área de piso do ambiente. A relação precisa ser maior ou igual a 12,5% para ambientes de uso prolongado desconsiderando área de corredores, esta relação é calculada pela Equação 3.3.

$$Abi = 100 \frac{Ai}{AUamb} \quad (3.3)$$

onde Abi é o percentual de abertura, Ai é a área de iluminação e AUamb é a área útil do ambiente.

3.2.3 Cálculos para classificação da envoltória

Para que seja obtida a classificação de uma edificação, o método prescritivo avalia a edificação, principalmente, com uma relação entre GH_R e C_A.

3.2.3.1 Indicador de graus-hora para resfriamento

GH_R é o somatório da diferença das temperaturas de uma hora quando estas se encontram acima da temperatura limite.

Para a ZB3 que utiliza a ventilação natural em ambientes de permanência prolongada o GHR é obtido através da Equação 3.4.

$$\begin{aligned}
 GH_R = & 836,4188 + (1002,2853 \cdot CT_{baixa}) + (1248,7615 \cdot \\
 & \alpha_{cob}) + (-1042,8507 \cdot somb) + (-7,9675 \cdot solo \cdot AU_{amb}) + \\
 & (1007,6786 \cdot \alpha_{par}) + (2324,8467 \cdot P_D/AU_{amb}) + (-0,3032 \cdot CT_{cob}) \\
 & + (-77,7838 \cdot Ab_S) + (26,3363 \cdot AP_{ambL} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par}) + (-0,0016 \cdot \\
 & A_{parInt} \cdot CT_{par}) + (-605,5557 \cdot solo) + (25,1879 \cdot U_{cob} \cdot \alpha_{cob} \cdot cob \cdot \\
 & AU_{amb}) + (-830,6742 \cdot F_{vent}) + (34,1620 \cdot AU_{amb}) + (-3,3292 \cdot \\
 & SomA_{parext}) + (16,9856 \cdot AAb_O \cdot (1-somb)) + (70,1758 \cdot AAb_L \cdot \\
 & F_{vent}) + (-0,0426 \cdot CT_{par}) + (-54,1796 \cdot AAb_S \cdot (1-somb)) + \\
 & (14,1195 \cdot AP_{ambN} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par}) + (-114,4985 \cdot pil) + (399,0021 \\
 & \cdot P_{ambO}) + (2,4466 \cdot AAb_N \cdot somb) + (-379,5777 \cdot Ab_N) + \\
 & (738,1763 \cdot P_{ambN}) + (-4,2304 \cdot AP_{ambN}) + [5,5988 \cdot (U_{cob} \cdot \\
 & \alpha_{cob}/CT_{cob}) \cdot AU_{amb}] + (-6,1829 \cdot cob \cdot AU_{amb}) + (-200,9447 \cdot \\
 & CT_{alta}) + (-103,1092 \cdot U_{cob}) + (3,8400 \cdot AP_{ambS} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par}) + \\
 & (431,9407 \cdot P_{ambL}) + (16,2740 \cdot A_{parInt}) + (-20,4181 \cdot P_D \cdot AU_{amb}) \\
 & + (126,6339 \cdot P_{ambS}) + (51,1530 \cdot AAb_S \cdot F_{vent}) + (55,4249 \cdot \\
 & AAb_O \cdot F_{vent}) + (79,2095 \cdot AAb_N \cdot F_{vent}) + (15,3351 \cdot AP_{ambO} \cdot \\
 & U_{par} \cdot \alpha_{par}) + (26,0925 \cdot AP_{ambS}) + (-34,7777 \cdot AAb_N \cdot (1-somb))
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

onde

Ab_N : define a existência de abertura onde o subscrito N representa a orientação Norte; Se o ambiente possuir abertura voltada para Norte o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

AAb_N : área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Norte representado pelo subscrito N que pode ser substituída por S (Sul), L (Leste) ou O (Oeste);

AP_{ambN} : área de parede externa do ambiente voltada para o Norte representado pelo subscrito N que pode ser substituída por S (Sul), L (Leste) ou O (Oeste);

A_{parInt} : área das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas;

AU_{amb} : área útil do ambiente analisado;

α_{cob} : absorvidade da superfície externa da cobertura. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90 ou 0 (zero) quando a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior;

α_{par} : absorptividade da superfície externa das paredes externas. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90;

cob : define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior (cobertura). Se o fechamento superior do ambiente estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes com parte do fechamento superior voltado para o exterior e parte coberta, a variável “cob” será:

$\text{cob} = 0$ para fechamento superior de 0 a 25% voltada para o exterior,

$\text{cob} = 0,5$ para fechamento superior de 25,1 a 75% voltada para o exterior;

$\text{cob} = 1$ para fechamento superior de 75,1 a 100% voltada para o exterior.

Observação: caso a cobertura do ambiente possuir abertura zenital de mais de 2% da área da cobertura, a avaliação deve ser feita pelo método de simulação ou o ambiente receberá nível E ($\text{EqNum} = 1$) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resf}}$), para aquecimento (EqNumEnvAmb_A) e para refrigeração ($\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Refrig}}$).

CT_{alta} : define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica alta valores acima de 250 kJ/(m²K). Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

CT_{baixa} : define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/(m²K). Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica baixa o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Observação: Caso a capacidade térmica dos fechamentos seja um valor entre 50 kJ/(m²K) e 250 kJ/(m²K) deve-se adotar valor 0 (zero) tanto para CT_{baixa} como para CT_{alta} . Em nenhuma circunstância pode-se adotar o valor 1 (um) para CT_{baixa} e CT_{alta} simultaneamente.

CT_{cob} : capacidade térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um);

CT_{par} : capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas;

F_{vent} : fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão. Os valores variam de 0 (zero) a 1 (um). Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual à abertura do vão, o valor deve ser 1 (um); se a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0 (zero); se a abertura possibilitar metade da área da abertura para ventilação, deve ser 0,5.

P_{ambN} : indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Norte representado pelo subscrito N que pode ser substituída por S (Sul), L (Leste) ou O (Oeste). Se o ambiente parede externa voltada para a orientação indicada pelo subscrito o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

P_D : pé-direito do ambiente analisado;

pil : define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis. Se o ambiente estiver sobre pilotis o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes que possuem parte do piso sobre pilotis, a variável “pil” será:

$pil = 0$ para ambientes com 0 a 25% da área sobre pilotis,

$pil = 0,5$ para ambientes com 25,1 a 75% da área sobre pilotis;

$pil = 1$ para ambientes com 75,1 a 100% da área sobre pilotis.

$solo$: define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes que possuem parte do piso em contato com o solo, a variável “solo” será:

$solo = 0$ para ambientes com 0 a 25% da área em contato com o solo,

$solo = 0,5$ para ambientes com 25,1 a 75% da área em contato com o solo;

$solo = 1$ para ambientes com 75,1 a 100% da área em contato com o solo.

$SomA_{parext}$: áreas de parede externa do ambiente ($AP_{ambN} + AP_{ambS} + AP_{ambL} + AP_{ambO}$);

$somb$: define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Os valores possíveis são: $somb = 0$ (zero), quando não houver dispositivos de proteção solar;

$somb = 1$ (um), quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada;

$0 < somb \leq 0,5$ (de zero a zero vírgula cinco), para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, o percentual de sombreamento deve ser calculado de acordo com o método proposto no Anexo I;

$somb = 0,2$ (zero vírgula dois) para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos de sombreamento α (α) e γ (γ)

atendam aos limites de ângulo mínimos para Norte, Sul, Leste e Oeste estabelecidos pelas seguintes equações:

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Norte} = 23,5^\circ + \text{Lat}$$

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Sul} = 23,5^\circ + \text{Lat}$$

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ Leste e Oeste} = 45^\circ$$

Sendo:

Lat - Latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

β - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

γ - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.

Observação: No caso de dormitórios, o dispositivo de sombreamento deve permitir escurecimento em todas as Zonas Bioclimáticas e ventilação nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8 para que “somb” seja igual a 1 (um).

U_{cob} : transmitância térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 0 (zero);

U_{par} : transmitância térmica das paredes externas. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente;

O GH_R obtido é comparado com a Tabela 3.3, para obter-se o $\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}}$ (Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento).

Tabela 3.17 – $\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}}$ – ZB3

Eficiência	$\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}}$	Condição
A	5	$\text{GH}_R \leq 822$
B	4	$822 < \text{GH}_R \leq 1.643$
C	3	$1.643 < \text{GH}_R \leq 2.465$
D	2	$2.465 < \text{GH}_R \leq 3.286$
E	1	$\text{GH}_R > 3.286$

Fonte: RTQ-R (2012)

3.2.3.2 Consumo para aquecimento

C_A é o total de energia elétrica consumida durante um ano, para o condicionamento do ar de aquecimento dividido pela área útil do ambiente em kWh/(m²ano).

Para a ZB3 que utilize a ventilação natural em ambientes de permanência prolongada o C_A é obtido através da Equação 3.5.

$$\begin{aligned}
 C_A = & [(6981,8136) + (0,3717 \cdot CT_{par}) + (-122,4306 \cdot \\
 AU_{amb}) & + (1557,3444 \cdot P_{ambS}) + (2109,4866 \cdot CT_{baixa}) + \\
 (2802,3931 \cdot solo) & + (2479,9604 \cdot pil) + (394,0458 \cdot U_{cob}) + (- \\
 2521,9122 \cdot \alpha_{par}) & + (-1,2280 \cdot CT_{cob}) + (65,4370 \cdot SomA_{parExt}) + \\
 (131,7352 \cdot AAb_S) & + (-543,4286 \cdot Ab_N) + [14,0555 \cdot (U_{cob} \cdot \\
 \alpha_{cob}/CT_{cob}) \cdot AU_{amb}] & + (-1583,9814 \cdot CT_{alta}) + (990,0915 \cdot U_{par}) \\
 + (-1111,1099 \cdot F_{vent}) & + (4323,9241 \cdot cob) + (-3315,0119 \cdot \alpha_{cob}) \\
 + (1262,6737 \cdot P_D) & + (-0,0219 \cdot SomA_{parExt} \cdot CT_{par}) + (-75,9370 \cdot \\
 AP_{ambN} \cdot \alpha_{par}) & + (-80,3345 \cdot AP_{ambS} \cdot \alpha_{par}) + (-15281,1938 \cdot \\
 P_D/AU_{amb})]/1000 &
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

onde

Ab_N : define a existência de abertura onde o subscrito N representa a orientação Norte; Se o ambiente possuir abertura voltada para Norte o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

AAb_S : área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Sul;

AP_{ambN} : área de parede externa do ambiente voltada para o Norte representado pelo subscrito N que pode ser substituída por S (Sul), L (Leste) ou O (Oeste);

AU_{amb} : área útil do ambiente analisado;

α_{cob} : absorvidade da superfície externa da cobertura. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90 ou 0 (zero) quando a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior;

α_{par} : absorvidade da superfície externa das paredes externas. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90;

cob : define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior (cobertura). Se o fechamento superior do ambiente estiver voltada para o exterior o valor deve

ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes com parte do fechamento superior voltado para o exterior e parte coberta, a variável “cob” será:

cob = 0 para fechamento superior de 0 a 25% voltada para o exterior,

cob = 0,5 para fechamento superior de 25,1 a 75% voltada para o exterior;

cob = 1 para fechamento superior de 75,1 a 100% voltada para o exterior.

Observação: caso a cobertura do ambiente possuir abertura zenital de mais de 2% da área da cobertura, a avaliação deve ser feita pelo método de simulação ou o ambiente receberá nível E (EqNum = 1) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmb_{Resf}), para aquecimento (EqNumEnvAmb_A) e para refrigeração (EqNumEnvAmb_{Refrig}).

CT_{alta}: define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica alta valores acima de 250 kJ/(m²K). Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

CT_{baixa}: define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/(m²K). Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica baixa o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Observação: Caso a capacidade térmica dos fechamentos seja um valor entre 50 kJ/(m²K) e 250 kJ/(m²K) deve-se adotar valor 0 (zero) tanto para CT_{baixa} como para CT_{alta}. Em nenhuma circunstância pode-se adotar o valor 1 (um) para CT_{baixa} e CT_{alta} simultaneamente.

CT_{cob}: capacidade térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um);

CT_{par}: capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas;

F_{vent}: fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão. Os valores variam de 0 (zero) a 1 (um). Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual à abertura do vão, o valor deve ser 1 (um); se

a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0 (zero); se a abertura possibilitar metade da área da abertura para ventilação, deve ser 0,5.

P_{ambS} : indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul;

P_D : pé-direito do ambiente analisado;

pil : define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis. Se o ambiente estiver sobre pilotis o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes que possuem parte do piso sobre pilotis, a variável “pil” será:

$pil = 0$ para ambientes com 0 a 25% da área sobre pilotis,

$pil = 0,5$ para ambientes com 25,1 a 75% da área sobre pilotis;

$pil = 1$ para ambientes com 75,1 a 100% da área sobre pilotis.

$solo$: define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero). Para ambientes que possuem parte do piso em contato com o solo, a variável “solo” será:

$solo = 0$ para ambientes com 0 a 25% da área em contato com o solo,

$solo = 0,5$ para ambientes com 25,1 a 75% da área em contato com o solo;

$solo = 1$ para ambientes com 75,1 a 100% da área em contato com o solo.

$SomA_{parext}$: áreas de parede externa do ambiente ($AP_{ambN} + AP_{ambS} + AP_{ambL} + AP_{ambO}$);

U_{cob} : transmitância térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 0 (zero);

U_{par} : transmitância térmica das paredes externas. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente;

O C_A obtido é comparado com a Tabela 3.4 para obter-se o $EqNumEnvAmb_A$ (Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento).

Tabela 3.18 – $EqNumEnvAmb_A$ – ZB3

Eficiência	$EqNumEnvAmb_A$	Condição
A	5	$C_A \leq 6,429$
B	4	$6,429 < C_A \leq 12,858$
C	3	$12,858 < C_A \leq 19,287$
D	2	$19,287 < C_A \leq 25,716$
E	1	$C_A > 25,716$

Fonte: RTQ-R (2012)

3.2.3.3 Determinação do EqNumEnv (Equivalente numérico da envoltória) para ZB3

O EqNumEnv é necessário para ser calculado a Equação 3.7 e o resultado é obtido pela Equação 3.6 onde utiliza-se a ponderação dos resultados de EqNumEnvAmb_{Resfr} e EqNumEnvAmb_A.

$$\text{EqNumEnv} = 0,64 \cdot \text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}} + 0,36 \cdot \text{EqNumEnvAmb}_A \quad (3.6)$$

onde EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória, EqNumEnvAmb_{Resfr} é o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e EqNumEnvAmb_A é o equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento.

3.2.3.4 Obtenção dos resultados de eficiência

Os níveis de eficiência para zona bioclimática 3 são obtidos através da Equação 3.7 e seu resultado é transferido para a Tabela 3.5, onde se obtém a classificação geral da residência.

$$\text{PT}_{\text{UH}} = 0,65 \cdot \text{EqNumEnv} + 0,35 \cdot \text{EqNumAA} + \text{Bonificações} \quad (3.7)$$

onde PT_{UH} é a pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma, EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória, EqNumAA é o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água, Bonificações é a pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

O EqNumEnv é obtido pela Equação 3.6.

O EqNumAA para ZB3, se a residência não tiver instalado equipamento solar de aquecimento de água, atribui-se o seu equivalente numérico mínimo, igual a 1 (um). Com instalações de sistema de água quente, pode-se chegar até o equivalente numérico 5, o que beneficiaria a residência. Para esta análise serão avaliados dois resultados: com utilização do aquecimento de água atendendo ao regulamento em seu nível máximo e sem utilização do aquecimento de água.

Podem ser recebidas bonificações que beneficiam a classificação, a soma das bonificações não pode ultrapassar 1 (um) PT_{UH}. São elas:

- Ventilação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,40 pontos;
- Iluminação natural, cuja pontuação varia de zero a 0,30 pontos;
- Uso racional de água, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- Condicionamento artificial de ar, cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- Iluminação artificial, cuja pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- Ventiladores de teto instalados na UH, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- Refrigeradores instalados na UH, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- Medição individualizada, cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

Tabela 3.19 – Classificação do nível de eficiência

Nível de Eficiência	Pontuação
A	$PT_{UH} \geq 4,5$
B	$3,5 \leq PT_{UH} < 4,5$
C	$2,5 \leq PT_{UH} < 3,5$
D	$1,5 \leq PT_{UH} < 2,5$
E	$PT_{UH} < 1,5$

Fonte: RTQ-R (2012)

3.3 Simulação com base no RTQ-R

Simulação computacional que aborda campos energéticos da edificação de estudo, analisada pelos critérios descritos no RTQ-R (2012), pretendendo que sejam obtidos resultados que possam ser comparados com os resultados encontrados com o método prescritivo.

3.3.1 Processo

Apresentadas as condições de projeto e caracterização, foram definidos critérios e parâmetros de simulação, sendo utilizadas as ferramenta “*EnergyPlus*” como a plataforma de simulação e o “*SketchUp*” sendo a sua interface gráfica.

No *SketchUp* é desenhada a residência em três dimensões. São criadas zonas térmicas, para cada ambiente e definidas faces de trocas térmicas entre as zonas; define-se aberturas, cobertura, dimensões dos ambientes e tipos de materiais; é criado um arquivo que interage entre as duas plataformas de trabalho. Deste ponto em diante o arquivo é manipulado apenas

no programa *EnergyPlus* e nele são inseridos as condições de contorno, arquivo climático, agendas de usos e diversos dados de entrada, então, são escolhidos os dados de saída, destes os dados de maior interesse para esse comparativo são as temperaturas operativas.

3.3.2 Definição dos índices

O programa de simulação considera diversos fatores: temperatura do solo, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar, massa específica, absorvidade e emissividade dos materiais, entre outros. Alguns desses índices estão definidos como padrão pelo banco de dados do programa; outros são inseridos por arquivo climático EPW (*EnergyPlus Weather*) da cidade de referência para a região que ela representa. O interessante desse arquivo climático é que ele utiliza valores horários e não médias mensais, como na norma brasileira. A cidade de referência para este trabalho é Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, esta cidade encontra-se na região 3 do Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220-3 (2005). Outros dados são inseridos, manualmente, de acordo com o objetivo da simulação. A seguir são descritos alguns dos índices que são importantes para a compreensão da simulação que será realizada neste trabalho.

3.3.2.1 Absortividade dos materiais

A absorvidade é a fração absorvida quando a radiação incide sobre uma superfície real, é representada pela letra grega alpha (α) e é adimensional. Obtida em tabelas de referência, pode não refletir com precisão os valores reais, uma vez que as superfícies reais podem estar sujas ou apresentar manchas, alterando seus valores. A cor branca tem absorvidade de 0,2, amarela 0,3, cimento aparente em torno de 0,6, então para efeito de cálculo, neste trabalho serão comparadas absorvidade de 0,2 e 0,6. NBR 15220-3 (2005).

3.3.2.2 Temperatura do solo

As temperaturas do solo foram obtidas no arquivo climático de referência TRY, encontrado no site do LabEEE (Laboratório de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina) para a cidade de Porto Alegre.

3.3.2.3 Resistências térmicas

As propriedades térmicas dos materiais foram retiradas da NBR 15220-3 (2005) cujos dados são indicativos e podem variar dependendo da forma construtiva ou propriedades das matérias primas (ANEXO B). No caso de materiais compostos, como paredes e telhados, utilizam-se as propriedades encontradas nas Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.20 – Propriedades para definir resistências térmicas das paredes

Material	Massa Espec. $\rho(\text{kg/m}^3)$	Condut. $\lambda(\text{W}/(\text{mK}))$	Calor específico $c(\text{kJ}/(\text{kgK}))$
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa emboço / assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00
	$U(\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$	$CT(\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K}))$	$\phi(\text{horas})$
Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão. Tijolo de 10 x 6 x 22 cm, massa de assentamento com 1 cm de espessura e argamassa de emboço com 2,5 cm. Espessura da parede 15 cm.	3,15	255	3,8

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Tabela 3.21 – Propriedades para definir resistências térmicas do telhado

Material	Massa Espec. $\rho(\text{kg/m}^3)$	Condut. $\lambda(\text{W}/(\text{mK}))$	Calor específico $c(\text{kJ}/(\text{kgK}))$
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70
	$U(\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$	$C_T(\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K}))$	$\phi(\text{horas})$
Telhas de fibroc. e laje mista.	1,93	106	3,6
Espessura de telha 0,7 cm			
Espessura da laje 12 cm			
$R_{t(\text{laje})} = 0,0900 (\text{m}^2\text{K}/\text{W})$			
$C_{T(\text{laje})} = 95 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$			

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

3.3.2.4 Ventilação natural

Campo de grande interesse, seu estudo pode trazer benefícios com baixos custos de implantação e manutenção. Os índices usados para a simulação dependem de diversas variáveis, muitas relativas, e para defini-las é necessário considerar aspectos lógicos, mas sempre limiares da imprecisão.

O programa considera o fluxo de ar que circula entre as zonas térmicas e busca no arquivo climático da cidade de referência informações dos ventos predominantes, temperatura do solo, pressão atmosférica e informações do clima.

No arquivo de projeto são definidas: formas, dimensões, localização e tipologia das aberturas, paredes e cobertura. O programa interage com “*schedules*” do uso da residência que simula intervenção com aberturas e usos de equipamentos geradores de calor, considera diferenças de pressão por efeito chaminé, infiltrações de ar por frestas, troca térmica entre zonas, ar externo e interno e suas variáveis.

3.3.3 Critérios descritos no RTQ-R para obtenção dos resultados das simulações

Para obtenção da classe que define a eficiência em que a edificação se encontra, a metodologia de avaliação utiliza os indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR), encontrados pelos resultados de temperaturas operativas de cada ambiente. Os 8760 dados

adquiridos nas simulações dos ambientes de permanência prolongada são considerados apenas quando ultrapassam a temperatura limite (Tabela 3.8).

A temperatura limite para o cálculo dos graus-horas de resfriamento está definida neste trabalho em 26 °C e é calculada através da (Equação 3.8).

$$GH_{Rh} = T_O - 26 \text{ °C} \quad (3.8)$$

onde GH_{Rh} : graus-hora de resfriamento horário; T_O : temperatura operativa

Os resultados obtidos nos GH_{Rh} são horários e, portanto, devem ser somados, esta soma resulta em um GH_R total, e com este resultado é possível obter a classificação da edificação utilizando-se a (Tabela 3.8).

Tabela 3.22 – Cidade de Porto Alegre / RS

Eficiência	EqNum	GH_R
A	5	$GH_R \leq 777$
B	4	$777 < GH_R \leq 1704$
C	3	$1704 < GH_R \leq 2709$
D	2	$2709 < GH_R \leq 3896$
E	1	$3896 < GH_R$

Fonte: RTQ-R (2012)

Observação: Para a simulação utiliza-se o método encontrado no RTQ-R (2012) no (Capítulo 3.1.3) que descreve os procedimentos das exigências para a inserção de dados no *EnergyPlus* e o método para obtenção das GH_R . Devem ser atendidos os pré-requisitos de ventilação natural encontrado no (Item 3.1.1.2) e iluminação natural no (Item 3.1.1.3) do RTQ-R.

4 RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO CONFORME MÉTODO PRESCRITIVO E DE SIMULAÇÃO CONFORME RTQ-R

4.1 Classificação obtida de acordo com o método prescritivo

Na Tabela 4.1 encontram-se os resultados obtidos com a aplicação da Equação 3.1, e todos os resultados calculados estão em conformidade com a regulamentação.

Nos casos apresentado para este estudo de avaliação da edificação pelo método prescritivo as aberturas foram calculadas com venezianas fechadas e comparadas através de uma análise com a residência antes da pintura de acabamento, apenas com reboco aparente e outra com acabamento em pintura branca nas paredes e telhado.

Tabela 4.23 – Percentuais de aberturas para ventilação

Ambiente	Abv (%)
Sala	10
Cozinha	18,75
Quarto Frente	10,71
Quarto Fundos	10,71

O resultado da relação de aberturas da residência de estudo, resultante da Equação 3.2 foi calculada em $R_v = 0,8$, o que atende a exigência da regulamentação.

Os percentuais de aberturas para iluminação, encontrados pela resolução da Equação 3.3 estão demonstrados na Tabela 4.2, e atendem ao valor mínimo de 12,5% requerido pelo RTQ-R.

Tabela 4.24 – Percentuais de aberturas para iluminação

Ambiente	Abi (%)
Sala	20
Cozinha	37,5
Quarto Frente	20,45
Quarto Fundos	20,45

Na Tabela 4.3 e Tabela 4.4 estão descritos os resultados de GHR obtidos com o cálculo da Equação 3.4 para duas situações, Tabela 4.3 considerando a edificação com acabamento

externo sem pintura, apenas com reboco aparente, tanto nas paredes como na cobertura e na Tabela 4.4 a cor externa da residência é branca.

Tabela 4.25 – GH_R encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,6, equivalente à cor do cimento.

Ambiente	GH_R	$EqNumEnvAmb_{Resfr}$
Sala	1746,64	3
Cozinha	2708,13	2
Quarto Frente	1517,61	3
Quarto Fundos	1748,39	3

Tabela 4.26 – GH_R encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,2, equivalente à cor branca.

Ambiente	GH_R	$EqNumEnvAmb_{Resfr}$
Sala	487,71	5
Cozinha	1486,38	4
Quarto Frente	409,59	5
Quarto Fundos	527,97	5

Na Tabelas 4.5 e Tabela 4.6 estão descritos os resultados de C_A obtidos com o cálculo da Equação 3.5 para duas situações, Tabela 4.5 considerando a edificação com acabamento externo sem pintura, apenas com reboco aparente, tanto nas paredes como na cobertura e na Tabela 4.6 a cor externa da residência é branca.

Tabela 4.27 – CA encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,6, equivalente à cor do cimento.

Ambiente	C_A	$EqNumEnvAmb_A$
Sala	14,08	3
Cozinha	8,94	4
Quarto Frente	13,92	3
Quarto Fundos	11,50	4

Tabela 4.28 – CA encontradas para cada ambiente usando absorvidade de paredes e telhado em 0,2, equivalente à cor branca.

Ambiente	C_A	$EqNumEnvAmb_A$
Sala	16,52	3
Cozinha	11,39	4
Quarto Frente	16,46	3
Quarto Fundos	13,94	3

Na Tabela 4.7 encontram-se os resultados obtidos pelos cálculos do EqNumEnv para as duas situações propostas, com a residência utilizando absorvidade externa de 0,6 e com absorvidade externa em 0,2. Estes resultados são necessários para o cálculo da Equação 3.7 e são calculados de acordo com a Equação 3.6.

Tabela 4.29 – Resultado obtido do EqNumEnv

Critério	<i>EqNumEnv</i>
Absortividade de 0,6	2,96
Absortividade de 0,2	4,32

4.1.1 Resultados encontrados da eficiência da edificação

Na Tabela 4.8 estão descritos os critérios que foram utilizados para se avaliar a eficiência da edificação e as classificações encontradas após a avaliação estão descritas na Tabela 4.9.

Tabela 4.30 – Critérios de avaliação

Critérios	Detalhamento
1	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,6 não utilizando sistema de aquecimento de água e não sendo consideradas bonificações.
2	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,6 não utilizando sistema de aquecimento de água e consideradas bonificações máximas.
3	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,6 utilizando sistema de aquecimento de água com a maior eficiência exigida pela norma e não sendo consideradas bonificações.
4	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,6 utilizando sistema de aquecimento de água com a maior eficiência exigida pela norma e consideradas bonificações máximas.
5	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,2 não utilizando sistema de aquecimento de água e não sendo consideradas bonificações.
6	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,2 não utilizando sistema de aquecimento de água e consideradas bonificações máximas.
7	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,2 utilizando sistema de aquecimento de água com a maior eficiência exigida pela norma e não sendo consideradas bonificações.
8	Absortividade externa do telhado e paredes em 0,2 utilizando sistema de aquecimento de água com a maior eficiência exigida pela norma e consideradas bonificações máximas.

Tabela 4.31 – Resultado das classificações

Critério	Absortividade	EqNumEnv	EqNumEnvAA	Bonif.	PT_{UH}	Classe
1	0,6	2,96	1	0	2,27	D
2	0,6	2,96	1	1	3,27	C
3	0,6	2,96	5	0	3,67	B
4	0,6	2,96	5	1	4,67	A
5	0,2	4,32	1	0	3,16	C
6	0,2	4,32	1	1	4,16	B
7	0,2	4,32	5	0	4,56	A
8	0,2	4,32	5	1	5,56	A

O regulamento estabelece que, para essa zona bioclimática, a não utilização de um sistema de aquecimento de água faz com que a edificação seja rebaixada diretamente ao nível mínimo “E”, seriam os casos dos critérios 1, 2, 5 e 6. Essa premissa não será levada em consideração, pois este estudo tem o intuito de comparar o método prescritivo e o de simulação, o que tornaria o comparativo impreciso.

4.2 Resultados obtidos pelo método de simulação com base no RTQ-R.

Nesse método a análise é realizada por GH_R e a classificação da residência é priorizada com base nas temperaturas desconfortáveis dos períodos quentes.

As simulações foram feitas adotando-se critérios básicos como rotação da residência para as quatro orientações cardeais, diferentes tamanho de aberturas; uso ou não de sombreamento das aberturas com venezianas; revestimento externo com diferentes absortividades e alteração da espessura das paredes e lajes.

As simulações foram organizadas, principalmente, por sua orientação solar, onde a residência está situada, de tal forma que a fachada frontal da residência fique voltada para o ponto cardinal que o identifica, Leste, Norte, Oeste ou Sul. Para melhor compreensão os pontos cardeais recebem uma subdivisão que variam de 1 a 6, ou seja, cada orientação terá seis diferentes estratégias de avaliação que estão especificados na Tabela 4.10.

Tabela 4.32 – Estratégias de avaliação para pontos cardeais

Estratégias	Detalhamento
1	Conjunto de resultados referentes aos 4 pontos cardeais em que a residência descrita no Capítulo 3 foi simulada utilizando janelas com 1 m ² sem venezianas, ou seja, essas aberturas não recebem proteção solar. Nesta fase a residência é simulada utilizando absorvidade externa da cobertura e das paredes de 0,6, referente à absorvidade do reboco aparente. As paredes têm 0,15 m de espessura e a laje 0,12 m de espessura.
2	Caso similar ao anterior, mas as aberturas das janelas foram simuladas tendo 1,80 m ² de área.
3	A residência foi submetida às mesmas condições do caso 2, mas foram utilizadas aberturas com venezianas.
4	As simulações da residência desta classificação foram feitas seguindo o padrão da simulação 3, mas nesta a absorvidade externa das paredes e da cobertura for reduzida de 0,6 para 0,2 referente à pintura branca.
5	Evolução da simulação 4, com os mesmos dados, apenas com aumento da espessura das paredes que antes eram de 0,15 m e agora são de 0,30 m de espessura.
6	Semelhante as simulações do número 4, mas com espessamento da laje de 0,12 m para 0,18 m.

4.2.1 Avaliação conforme a regulamentação com ponderação dos resultados

Nesta avaliação foi feito um somatório dos GH_R encontrados em todos os ambientes e calculadas as médias ponderadas, com isso obteve-se uma classificação média geral. As classificações desta análise são demonstradas na Tabela 4.11.

Tabela 4.33 – Classificação conforme a regulamentação

Fachada Frontal	GH_R	Classificações Médias
Leste 1	1931,43	C
Norte 1	1967,53	C
Oeste 1	1897,83	C
Sul 1	2065,01	B
Leste 2	2017,05	C
Norte 2	2017,66	C
Oeste 2	1970,18	C
<i>Sul 2 (Pior Situação)</i>	2139,42	C
Leste 3	1712,10	C
Norte 3	1722,24	C
Oeste 3	1698,67	B
Sul 3	1815,48	C
Leste 4	833,48	B
Norte 4	823,66	B
Oeste 4	828,37	B
Sul 4	883,84	B
Leste 5	783,25	B
<i>Norte 5 (Melhor Situação)</i>	775,48	A
Oeste 5	789,32	B
Sul 5	839,04	B
Leste 6	896,93	B
Norte 6	886,96	B
Oeste 6	892,59	B
Sul 6	951,58	B

Por esse método tem-se um ganho médio de 1000 GH_R de conforto na comparação entre as simulações do critério 3 para o 4, onde foram vistos os melhores resultado; e na pior situação que está no conjunto 2 comparando com a melhor que está no conjunto 5, temos um ganho de 1364 GH_R.

4.2.2 Avaliação com o pior resultado entre os ambientes

Esta avaliação será feita apenas para verificar qual o ambiente impacta negativamente o conforto da residência, mesmo não sendo exigido no RTQ-R. A Tabela 4.12 apresenta as classificações encontradas utilizando as avaliações de cada ambiente separadamente, nesse caso foi utilizado como referência o pior resultado encontrado entre os quatro ambientes simulados.

Tabela 4.34 – Classificação da simulação por pior ambiente

	Sala		Cozinha		Quarto Fundos		Quarto Frente	
	GHR	Classe	GHR	Classe	GHR	Classe	GHR	Classe
Leste 1	1518,58	B	3818,30	D	1112,49	B	1276,34	B
Norte 1	1712,58	C	3911,45	E	1084,15	B	1161,94	B
Oeste 1	1420,05	B	3679,74	D	1223,82	B	1267,72	B
Sul 1	1567,58	B	4232,15	E	1309,54	B	1150,77	B
Leste 2	1595,38	B	3831,64	D	1216,73	B	1424,47	B
Norte 2	1817,02	C	3916,69	E	1122,01	B	1214,91	B
Oeste 2	1490,05	B	3627,91	D	1382,11	B	1380,64	B
Sul 2	1712,70	C	4269,04	E	1375,98	B	1199,98	B
Leste 3	1359,22	B	3529,90	D	922,72	B	1036,58	B
Norte 3	1461,82	B	3496,88	D	955,62	B	974,66	B
Oeste 3	1300,16	B	3441,87	D	1006,76	B	1045,87	B
Sul 3	1341,51	B	3767,27	D	1153,87	B	999,25	B
Leste 4	451,63	A	2477,55	C	186,73	A	218,02	A
Norte 4	446,00	A	2479,01	C	187,06	A	182,56	A
Oeste 4	419,08	A	2498,28	C	207,39	A	188,71	A
Sul 4	462,37	A	2693,78	C	193,27	A	185,96	A
Leste 5	349,53	A	2516,03	C	124,47	A	142,99	A
Norte 5	343,49	A	2529,40	C	115,67	A	113,35	A
Oeste 5	330,01	A	2565,36	C	136,84	A	125,06	A
Sul 5	359,89	A	2756,26	D	121,73	A	118,28	A
Leste 6	472,70	A	2682,15	C	202,39	A	230,48	A
Norte 6	471,45	A	2685,14	C	198,37	A	192,88	A
Oeste 6	443,34	A	2702,69	C	220,03	A	204,30	A
Sul 6	481,03	A	2920,28	D	207,76	A	197,27	A

É visto na Tabela 4.12 que no comparativo entre os conjuntos “1” onde a residência é simulada com aberturas de 1 m² de área e o conjunto “2” onde a residência é simulada com aberturas maiores, de 1,8 m² de área, os resultados obtidos são piores quando as aberturas são ampliadas. Esse fato pode ser explicado por causa da maior absorção da radiação solar pelas aberturas maiores que não recebem proteção solar e o benefício em relação à ventilação natural acaba sendo mascarado. Comprova-se esta afirmação quando são comparados os resultados do grupo 2 e 3, onde as simulações são semelhantes e a diferença entre elas é apenas que no grupo 3 as janelas possuem venezianas e neste caso os resultados são melhores.

Observa-se que no conjunto “4”, onde a residência é simulada com pintura externa clara, diferente do conjunto “3” que tem reboco aparente, consegue-se ter um ganho de praticamente 1000 GHR no conforto e a residência atinge uma classificação de nível “A” para três dos quatro ambientes da residência; para as quatro possibilidades de orientações solares, contudo, é percebido que o ambiente “cozinha” mesmo ganhando um nível na classificação

tem baixo desempenho e faz com que a classificação geral da residência seja rebaixada. Sabendo que com o decorrer do tempo o ar circula pela residência e tende a assemelhar os resultados de conforto entre os ambientes. Neste método da pior para a melhor situação a diferença chega a um ganho de 1740 GHR de conforto.

Como foi encontrado nos dois critérios apresentados das Tabelas 4.11 e 4.12 uma piora nos resultados para as simulações com aberturas maiores, pode-se concluir que os resultados gerais seriam melhores se todas as simulações fossem feitas com aberturas menores.

4.3 Comparativo de resultados obtidos pelos métodos prescritivo e de simulação

Este comparativo entre os dois métodos de obtenção da etiquetagem (prescritivo e simulação) será feito apenas com os resultados que podem ser comparados, pois no método prescritivo podem ser utilizadas bonificações e um sistema de aquecimento de água que beneficiam a edificação. Para que esses benefícios fossem computados na simulação seria preciso aprofundar os estudos, buscando informações de equipamentos de mercado e inserindo-se esses dados na simulação, o que foge do foco deste trabalho, mas é provável que para esse estudo, os resultados obtidos fossem próximos aos encontrados aqui.

Nos resultados apresentados na Tabela 4.9, pode-se observar que a residência submetida ao cálculo do método prescritivo do RTQ-R obteve classificação “D”, mesmo passando pelas exigências iniciais deste regulamento, com exceção do uso de aquecimento de água. Se alterada a cor externa da residência para cor branca, consegue-se classificação “C”, o que beneficia o resultado, mas não resolve o problema, esse mesmo resultado é obtido se ao invés de mudar a cor da edificação forem ganhos pontos de bonificações detalhados no (Capítulo 3.2.3.4). Pode-se combinar essas duas ferramentas e conseguir aumentar mais uma classificação, mas se for utilizado um sistema de aquecimento de água obtém-se classificação “B” para a edificação em estudo, sem a aplicação das ferramentas anteriores. Para chegar à classificação “A” é necessário utilizar o sistema de aquecimento de água, juntamente, com uma das medidas anteriores, ou alterando a pintura externa da edificação, ou ganhando alguns pontos de bonificações.

Na Tabela 4.13 a comparação é entre a melhor e a pior classificação encontrada em todos os resultados obtidos, tanto no método prescritivo quanto nos dois critérios adotados para a avaliação do método de simulação.

Tabela 4.35 – Comparativo dos melhores resultados e piores resultados encontrados entre os dois métodos

	Prescritivo	Simulação conforme RTQ-R	Simulação por pior Ambiente
Melhor classe	A	A	C
Pior classe	D	C	E

Percebe-se na Tabela 4.13, que por este tipo de avaliação, o método “prescritivo” aproxima-se do método de “simulação”, o que faz parecer que a avaliação de utilização dos resultados de “simulação por pior ambiente” estaria errado. A melhor classificação do método prescritivo desta tabela foi obtida utilizando as bonificações ou sistema de aquecimento de água, que no método de simulação não foram considerados, e isso pode estar comprometendo os resultados, então, na Tabela 4.14 é feito uma segunda avaliação de um mesmo critério, onde não são levadas em consideração as bonificações e nem o uso de sistema de aquecimento de água em nenhum dos métodos.

Na Tabela 4.14 está descrito os critérios utilizados para avaliação entre os métodos de simulação e prescritivo. Na Tabela 4.15 é encontrado o resultado deste comparativo.

Tabela 4.36 – Critérios escolhidos para o comparativo

Critérios	Detalhamento
A	Edificação com aberturas de 1,80 m ² e absorvidade externa dos materiais em 0,6. Paredes de 15 cm de espessura e laje com 12 cm de espessura.
B	Edificação com aberturas de 1,80 m ² e absorvidade externa dos materiais em 0,2. Paredes de 15 cm de espessura e laje com 12 cm de espessura.

Tabela 4.37 – Comparativo dos métodos prescritivos e de simulação

Critério	Prescritivo	Simulação conforme RTQ-R	Simulação por pior ambiente
A	D	C	D
B	C	B	C

Neste comparativo é visto um mesmo resultado obtido entre o método “prescritivo” e o de “simulação por pior classificação”; e o método de “simulação” não é compatível com os resultados encontrados no método “prescritivo”.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS COM SIMULAÇÃO SEM CONSIDERAR O RTQ-R COMO MÉTODO ANALÍTICO

Este capítulo refere-se a uma análise de conforto sem considerar o RTQ-R como balizador dos resultados. Foram feitas simulações com EnergyPlus da edificação adotando-se os mesmos resultados obtidos no método de simulação, descritos no Capítulo 3, mas neste caso, os critérios de análise dos resultados sugeridos pelo regulamento, não foram seguidos.

5.1 Resultados das simulações com análise das temperaturas operativas dos ambientes

Neste processo foram feitas análises a partir de comparativos de temperatura externa e temperaturas operativas internas, foram analisadas as horas não confortáveis dos períodos quentes e frios.

A Tabela 5.1 mostra as temperaturas externas que aparecem na Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5 e Tabela 5.2, Tabela 5.3, Tabela 5.4, Tabela 5.5 e Tabela 5.6. Essas tabelas e figuras referem-se a cada ambiente da residência e apresentam as temperaturas mínimas e máximas encontradas em todas as 8760 horas do ano, para cada ambiente em cada critério adotado. Além dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente, foi simulada, a zona Telhado, massa de ar entre a laje e a cobertura, aqui denominada “Zona Telhado”, esta influencia os resultados dos ambientes de uso da residência. Outro dado apresentado é a média das temperaturas resultantes do somatório de todas as 8760 aquisições de temperaturas provenientes das simulações e divididas pelo número de simulações.

Este estudo é realizado para fazer uma análise mais abrangente e assim entender qual a influência da soma dos resultados das temperaturas frias e quentes na análise do conforto ambiental.

Nessas simulações utilizou-se um controle de abertura por temperaturas, na qual, se considerou que, quando a temperatura externa estivesse mais elevada nos períodos quentes, ou mais baixa nos períodos frios do que a faixa de temperaturas estipuladas como limite ao conforto humano, que fora definida entre 18 e 26 °C, as janelas estariam fechadas. Deste modo, se a temperatura externa estivesse mais agradável que a interna a esquadria estaria aberta.

Tabela 5.38 – Média geral das temperaturas externas

Temperatura Externa	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Temperatura de bulbo seco	1,51	36,50	19,23

Tabela 5.39 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Sala

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	6,51	34,25	20,56
Norte 1	6,43	34,19	20,60
Oeste 1	6,76	34,07	20,30
Sul 1	6,77	34,98	20,44
Leste 2	6,30	34,32	20,56
Norte 2	6,18	34,30	20,57
Oeste 2	6,41	34,12	20,28
Sul 2	6,38	35,35	20,43
Leste 3	6,20	34,08	20,31
Norte 3	6,16	33,90	20,32
Oeste 3	6,37	33,87	20,13
Sul 3	6,31	34,38	20,19
Leste 4	5,87	31,04	19,43
Norte 4	5,85	30,79	19,43
Oeste 4	6,08	30,77	19,31
Sul 4	6,03	31,26	19,36
Leste 5	6,31	30,08	19,42
Norte 5	6,30	30,00	19,40
Oeste 5	6,54	29,99	19,29
Sul 5	6,46	30,27	19,35
Leste 6	5,93	30,94	19,47
Norte 6	5,91	30,73	19,47
Oeste 6	6,13	30,67	19,34
Sul 6	6,09	31,17	19,39

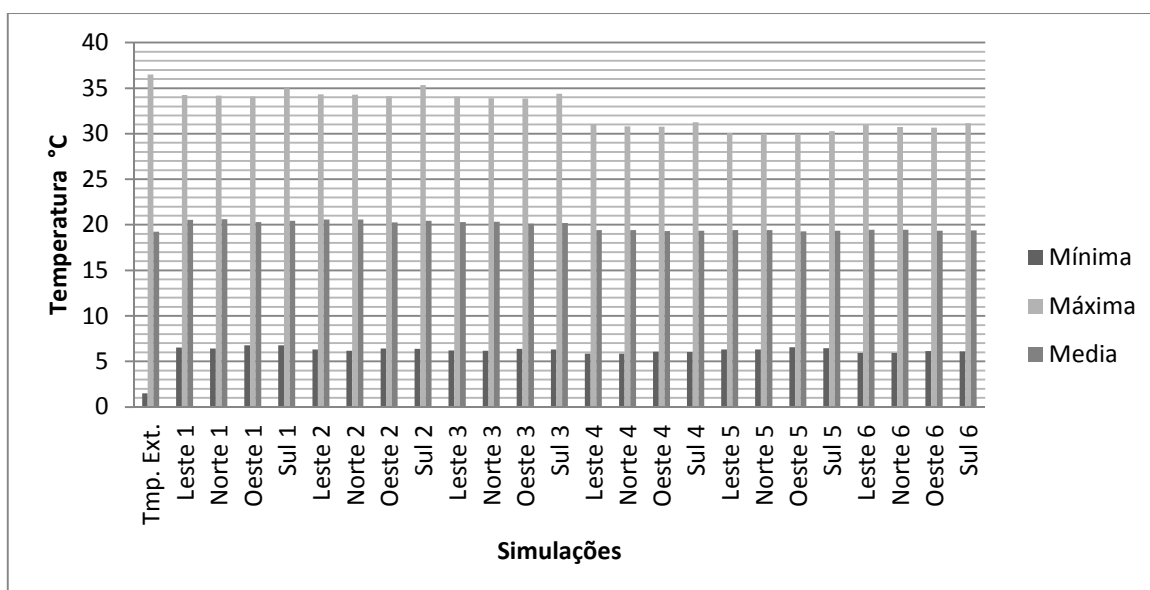


Figura 5.10 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Sala

Comparando os resultados das simulações Leste, Norte, Oeste e Sul dos grupos 1 e 2, encontradas na Tabela 7.2, Tabela 7.3, Tabela 7.4, Tabela 7.5, Tabela 7.6 e Tabela 7.7, a ampliação das janelas de 1 m² (Grupo 1) para 1,8 m² (Grupo 2) gerou pouca melhoria nos resultados para os períodos quentes, mas houve piora nos períodos frios. Isso se dá porque as aberturas têm menor isolamento térmico, quando comparadas às paredes. Esse problema poderia ser amenizado se fossem utilizadas aberturas com maior isolamento térmico, mas seus custos são considerados elevados para este tipo de residência.

Adotando-se uso de venezianas nas janelas, no comparativo entre as simulações Leste, Norte, Oeste e Sul dos grupos 2 para o 3, fica claro uma pequena melhoria nas temperaturas quentes. Nas temperaturas frias os resultados pouco se alteram, o que é benéfico, mas hoje, praticamente, todas as residências de baixa renda possuem aberturas com venezianas e as simulações com aberturas sem venezianas são apenas para efeito comparativo e de estudo.

Encontra-se maior benefício se forem analisados os comparativos dos grupos 3 e 4 da Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6, onde foram alterados os revestimentos externos de pintura para a cor branca, ou com menor absorvidade. Nos períodos frios obteve-se leve piora dos resultados, mas isso foi compensado com praticamente 2 °C a menos nos períodos quentes e as médias anuais ficaram em torno de 1 °C mais baixas.

Na Figura 5.2, observa-se que a temperatura fria externa é mais baixa que as internas do ambiente “cozinha”, encontradas em todos os casos demonstrados na Tabela 5.3, mas a temperatura externa nos períodos quentes vem a ser mais baixas em metade dos casos. Isso ocorre devido ao aquecimento dos equipamentos que geram calor dentro desse ambiente e que não é, totalmente, dissipado pela ventilação natural. Esse fenômeno não ocorre nos demais ambientes da residência, pois não se têm equipamentos que gerem volume de calor suficiente para isso.

Paredes mais largas e laje mais espessa encontradas nas simulações dos grupos 5 e 6, apresentam mínimos resultados positivos, o que não justificaria a implantação desses recursos, devido ao elevado custo de implantação.

Tabela 5.40 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Cozinha

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	7,23	37,33	21,90
Norte 1	6,98	37,33	21,86
Oeste 1	6,69	37,46	21,77
Sul 1	7,14	37,73	22,12
Leste 2	6,90	37,19	21,87
Norte 2	6,65	37,18	21,80
Oeste 2	6,48	37,33	21,68
Sul 2	6,81	38,02	22,04
Leste 3	6,78	36,99	21,67
Norte 3	6,60	36,98	21,58
Oeste 3	6,45	37,21	21,58
Sul 3	6,72	37,18	21,83
Leste 4	6,45	35,75	21,08
Norte 4	6,35	35,61	21,03
Oeste 4	6,21	35,73	21,05
Sul 4	6,41	35,73	21,22
Leste 5	6,98	35,61	21,23
Norte 5	6,91	35,48	21,19
Oeste 5	6,73	35,58	21,21
Sul 5	6,94	35,59	21,38
Leste 6	6,61	35,97	21,23
Norte 6	6,51	35,84	21,19
Oeste 6	6,35	35,95	21,20
Sul 6	6,56	35,96	21,38

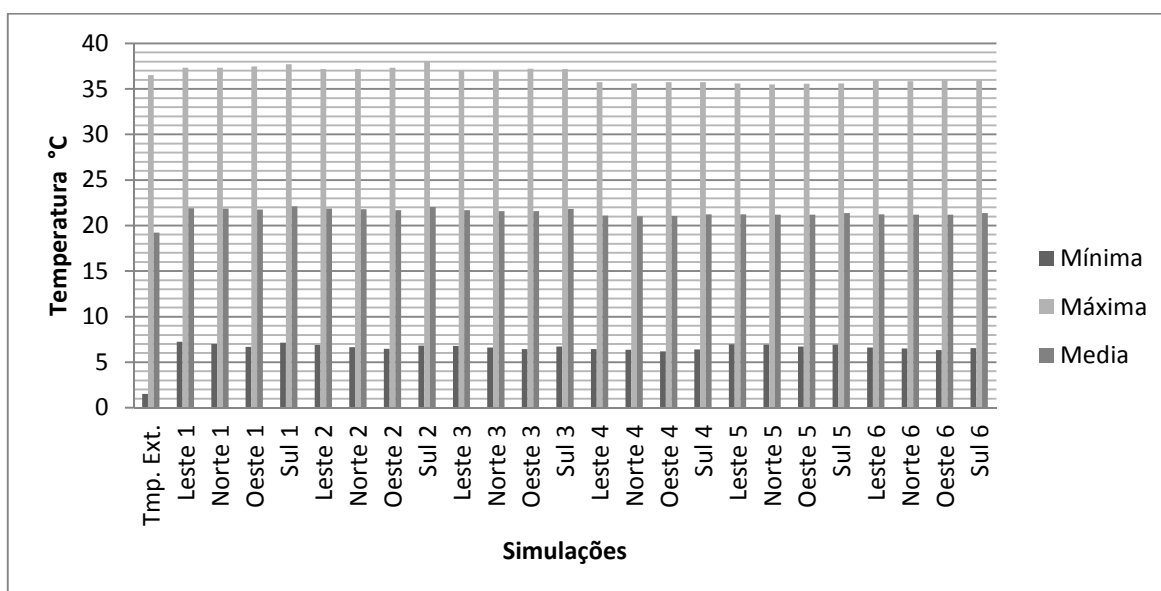


Figura 5.11 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Cozinha

Tabela 5.41 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Banheiro

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	8,08	32,82	20,60
Norte 1	8,07	32,49	20,50
Oeste 1	7,81	33,41	20,58
Sul 1	8,32	32,51	20,78
Leste 2	7,92	32,98	20,61
Norte 2	7,86	32,70	20,50
Oeste 2	7,63	33,59	20,57
Sul 2	8,08	32,76	20,77
Leste 3	7,79	32,64	20,44
Norte 3	7,80	32,18	20,31
Oeste 3	7,55,	33,25	20,44
Sul 3	7,95	32,20	20,57
Leste 4	7,40	29,97	19,55
Norte 4	7,46	29,87	19,48
Oeste 4	7,19	30,11	19,56
Sul 4	7,47	29,86	19,63
Leste 5	7,98	29,29	19,47
Norte 5	8,00	29,17	19,41
Oeste 5	7,74	29,38	19,49
Sul 5	8,05	29,13	19,56
Leste 6	7,46	30,21	19,62
Norte 6	7,53	30,10	19,55
Oeste 6	7,26	30,27	19,63
Sul 6	7,54	30,09	19,71

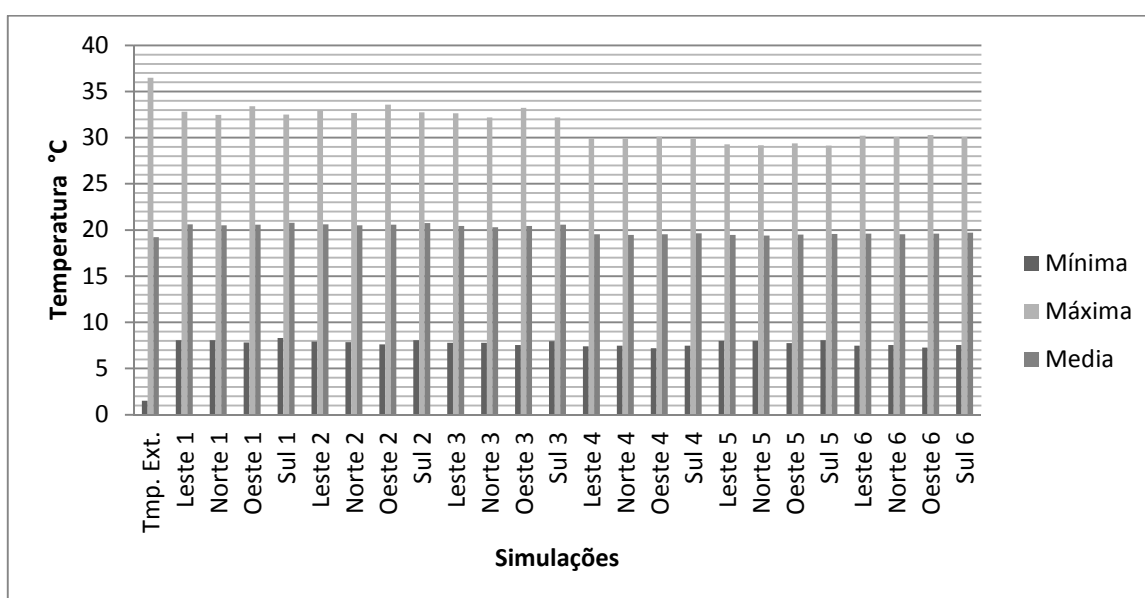


Figura 5.12 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Banheiro

Tabela 5.42 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Quarto Fundos

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	7,16	32,72	20,14
Norte 1	7,35	33,43	20,20
Oeste 1	6,73	33,43	20,37
Sul 1	7,16	32,79	20,52
Leste 2	6,75	33,00	20,14
Norte 2	6,81	33,64	20,13
Oeste 2	6,33	33,97	20,36
Sul 2	6,76	32,99	20,47
Leste 3	6,66	32,41	19,86
Norte 3	6,76	33,26	19,96
Oeste 3	6,27	32,86	20,10
Sul 3	6,65	32,65	20,21
Leste 4	6,34	29,57	18,89
Norte 4	6,43	29,79	18,93
Oeste 4	5,87	29,84	19,01
Sul 4	6,33	29,55	19,06
Leste 5	6,88	28,53	18,85
Norte 5	7,00	28,58	18,88
Oeste 5	6,34	28,75	18,96
Sul 5	6,81	28,54	18,99
Leste 6	6,37	29,47	18,89
Norte 6	6,46	29,68	18,93
Oeste 6	5,91	29,75	19,02
Sul 6	6,36	29,44	19,07

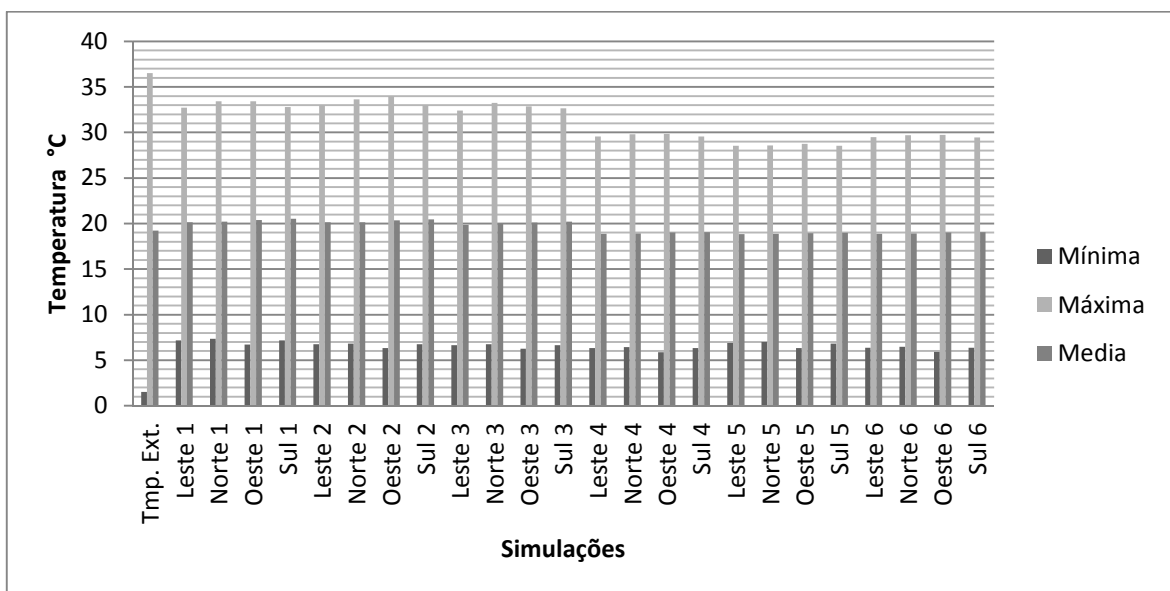


Figura 5.13 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Quarto Fundos

Tabela 5.43 – Resultado das simulações com EnergyPlus do ambiente Quarto Frente

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	6,91	33,81	20,36
Norte 1	6,84	33,13	20,48
Oeste 1	7,77	32,81	20,37
Sul 1	7,56	32,75	20,25
Leste 2	6,53	34,30	20,35
Norte 2	6,40	33,38	20,42
Oeste 2	7,23	33,10	20,35
Sul 2	6,77	33,06	20,12
Leste 3	6,43	33,21	20,05
Norte 3	6,40	32,92	20,13
Oeste 3	7,12	32,50	20,08
Sul 3	6,72	32,56	19,94
Leste 4	6,10	29,94	19,02
Norte 4	6,01	29,68	19,03
Oeste 4	6,76	29,55	18,97
Sul 4	6,42	29,58	18,91
Leste 5	6,61	28,79	18,99
Norte 5	6,52	28,50	18,99
Oeste 5	7,35	28,52	18,92
Sul 5	7,00	28,51	18,86
Leste 6	6,15	29,84	19,02
Norte 6	6,05	29,56	19,03
Oeste 6	6,79	29,44	18,97
Sul 6	6,45	29,45	18,90

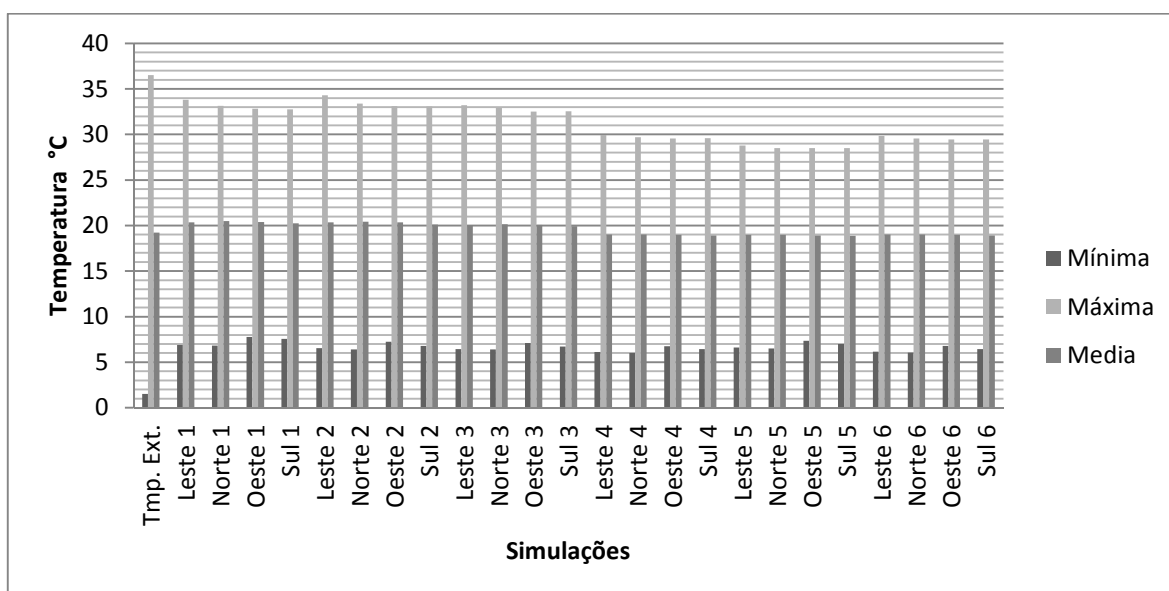


Figura 5.14 – Gráfico comparativo dos resultados simulados do ambiente Quarto Frente

Analisando, comparativamente, a Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5, é perceptível que existe uma variação mínima entre as diferentes orientações cardeais para as temperaturas máximas (quentes) e mínimas (frias). Pode ser observado na Figura 5.1 e Figura 5.2, onde em quase todas as orientações Sul existe um benefício nas temperaturas baixas e um prejuízo nas altas. De forma inversa na Figura 5.4 e Figura 5.5, onde a orientação Sul tem prejuízo nas baixas, mas benefício nas altas. Isso em uma média geral das cinco zonas: sala, cozinha, banheiro, quarto frente e quarto fundos (Figura 5.7), se observa que as diferenças, praticamente, se anulam quando comparadas as simulações das quatro orientações cardeais.

Na Figura 5.6, percebe-se que ao passar do conjunto 3 para o 4 sendo alterada a superfície externa da cobertura de $\alpha = 0,6$ para uma cor mais clara $\alpha = 0,2$, consegue-se reduzir, drasticamente, as temperaturas da zona telhado nos períodos quentes e as temperaturas dos períodos frios ficam, praticamente, estáveis. Essa medida influencia na eficiência e conforto da residência, pois o calor acumulado nessa zona passa, por condução, pela laje aos ambientes inferiores.

Tabela 5.44 – Resultado das simulações com EnergyPlus da zona “Telhado”

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	3,18	52,26	22,78
Norte 1	3,17	52,48	22,79
Oeste 1	3,15	52,28	22,76
Sul 1	3,18	52,43	22,80
Leste 2	3,14	52,35	22,83
Norte 2	3,10	52,60	22,83
Oeste 2	3,07	52,37	22,79
Sul 2	3,10	52,49	22,84
Leste 3	2,99	52,20	22,69
Norte 3	3,00	52,37	22,70
Oeste 3	3,01	52,21	22,69
Sul 3	2,99	52,38	22,71
Leste 4	2,30	36,03	18,90
Norte 4	2,31	36,11	18,90
Oeste 4	2,29	36,03	18,89
Sul 4	2,30	36,11	18,91
Leste 5	2,51	35,85	18,89
Norte 5	2,53	35,87	18,89
Oeste 5	2,50	35,85	18,89
Sul 5	2,51	35,88	18,90
Leste 6	2,84	35,54	18,86
Norte 6	2,87	35,58	18,86
Oeste 6	2,83	35,54	18,85
Sul 6	2,84	35,59	18,87

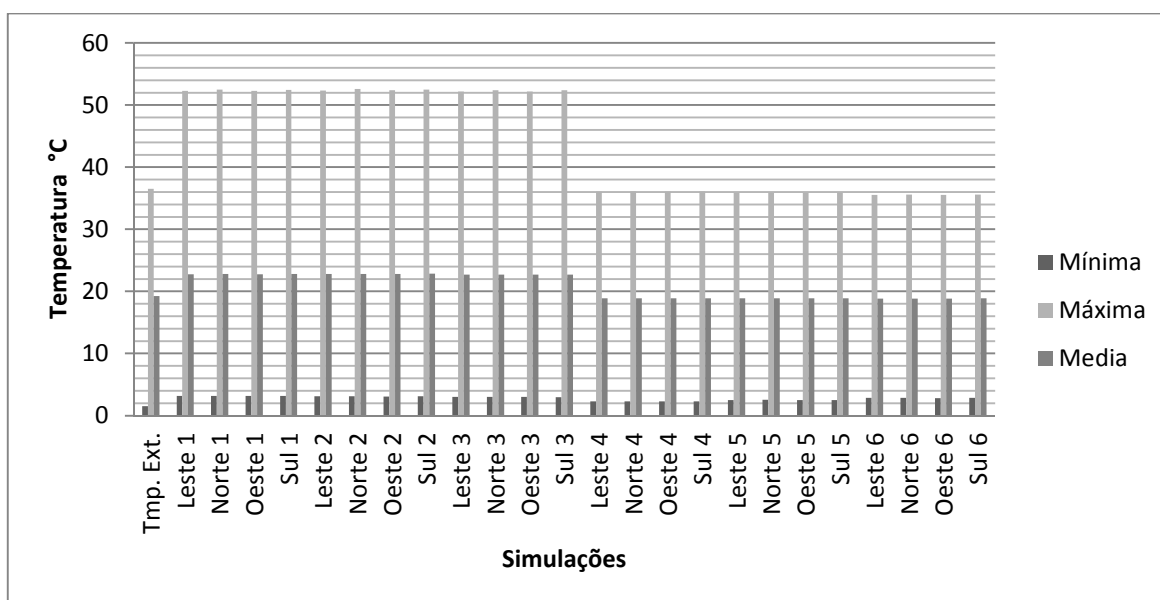


Figura 5.15 – Gráfico comparativo dos resultados simulados da zona “Telhado”

Tabela 5.45 – Médias gerais dos somatórios dos resultados simulados dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente

Fachada Frontal	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	Média das T. (°C)
Leste 1	7,18	34,19	20,71
Norte 1	7,13	34,11	20,73
Oeste 1	7,15	34,24	20,68
Sul 1	7,39	34,15	20,82
Leste 2	6,88	34,36	20,71
Norte 2	6,78	34,24	20,68
Oeste 2	6,82	34,42	20,65
Sul 2	6,96	34,44	20,77
Leste 3	6,77	33,87	20,47
Norte 3	6,74	33,85	20,46
Oeste 3	6,75	33,94	20,47
Sul 3	6,87	33,79	20,55
Leste 4	6,43	31,25	19,59
Norte 4	6,42	31,15	19,58
Oeste 4	6,42	31,20	19,58
Sul 4	6,53	31,19	19,63
Leste 5	6,95	30,46	19,59
Norte 5	6,95	30,35	19,58
Oeste 5	6,94	30,44	19,57
Sul 5	7,05	30,41	19,63
Leste 6	6,50	31,29	19,65
Norte 6	6,49	31,18	19,63
Oeste 6	6,49	31,22	19,63
Sul 6	6,60	31,22	19,69

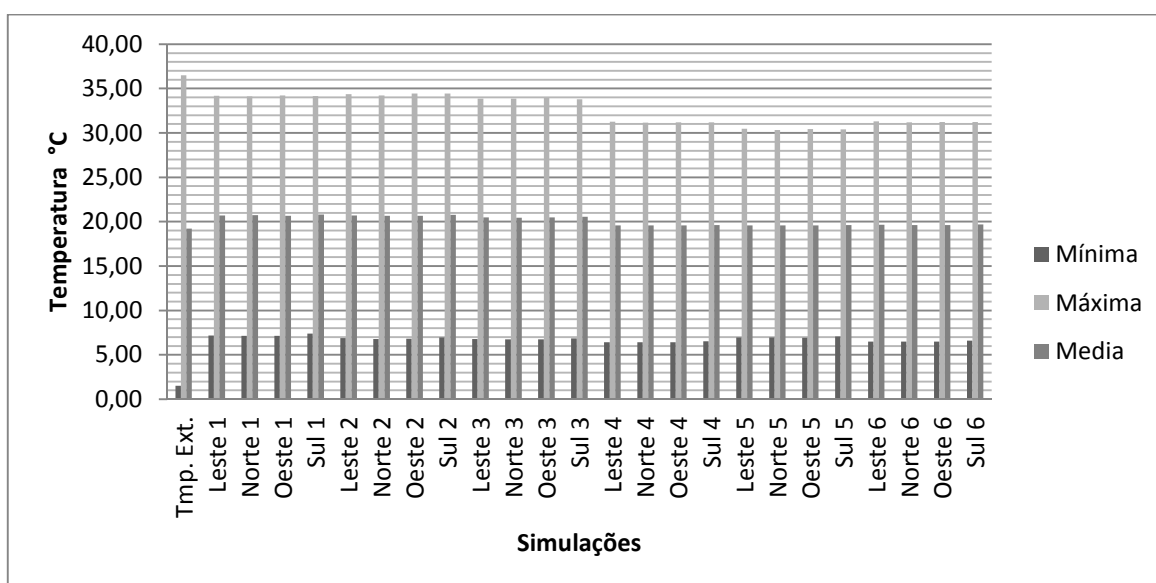


Figura 5.16 – Gráfico comparativo do somatório dos resultados simulados dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente

5.2 Resultados das simulações na análise das horas não confortáveis

A Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12 são resultantes das medições de horas não confortáveis que foram simuladas apenas levando-se em consideração as temperaturas operativas relacionadas com uma faixa aceitável de temperaturas mínimas e máximas que variam entre 18 °C e 26 °C. Esta faixa de aceitação é pessoal e varia de acordo com alguns critérios descritos na revisão bibliográfica (Capítulo 2.2). Não há como agradar a todos os ocupantes de um mesmo ambiente, então se utiliza a faixa de temperaturas onde em média 90% dos ocupantes de um ambiente sentem-se confortáveis, de acordo com a ASHRAE 55-2004.

A Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12 apresentam resultados das horas que ultrapassam as temperaturas quentes por temperaturas mais elevadas ou as frias por temperaturas mais amenas. É um somatório de quantas vezes as temperaturas saíram da zona de conforto, tanto para mais quanto para menos. Nesse caso não foi considerada em quantos graus a temperatura ultrapassou o limite e sim, apenas, se na hora simulada a temperatura está fora dos limites aceitáveis.

Na Figura 5.8 é visto que para os grupos 1 a 3 as horas não confortáveis dos períodos frios são menores que as encontradas nos grupos 4 a 6, dessa forma conclui-se que os conjuntos 1 a 3 são melhores no inverno e, no verão, as medidas adotadas nesses mesmos grupos são piores que as adotadas nos grupos 4 a 6. Esse padrão se mostra repetitivo na Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12.

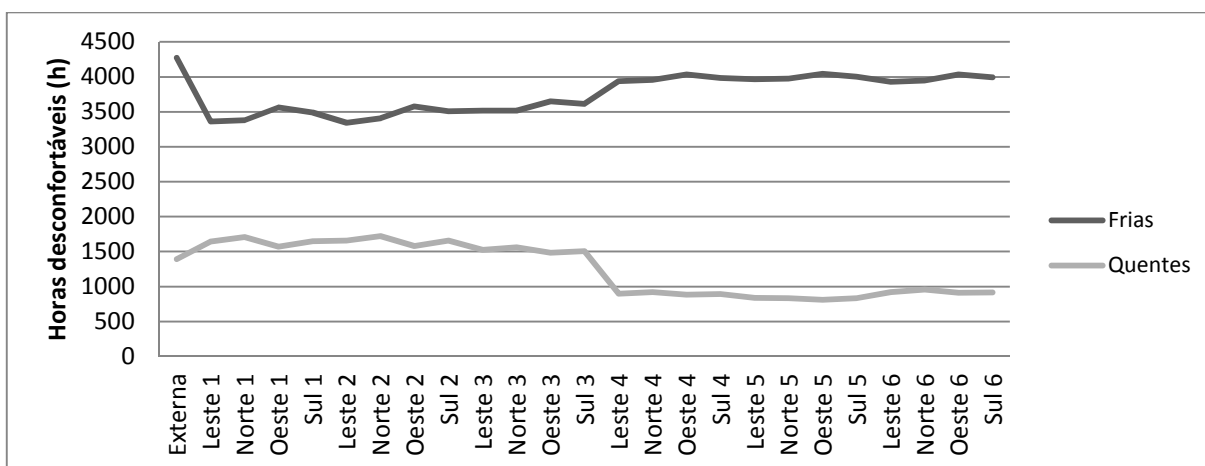


Figura 5.17 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou calor do ambiente “Sala”

Outra análise possível é que nestas figuras a temperatura externa, normalmente, é pior que as internas para as temperaturas frias, mas nas quentes a temperatura externa, muitas vezes, é mais amena que as internas, o que é natural, pois os materiais armazenam o calor recebido por radiação solar durante o dia e dissipam o calor para o ambiente durante a noite.

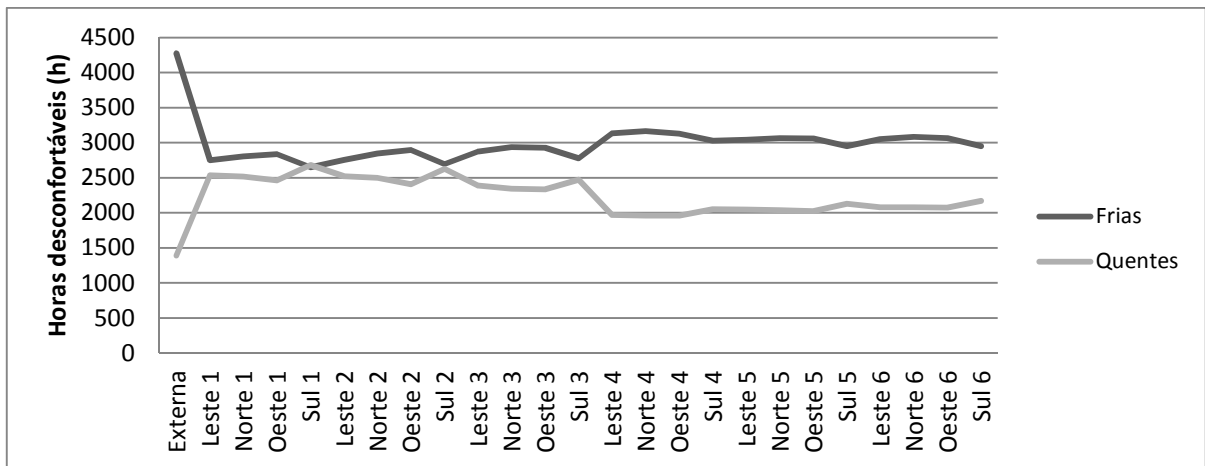


Figura 5.18 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Cozinha”

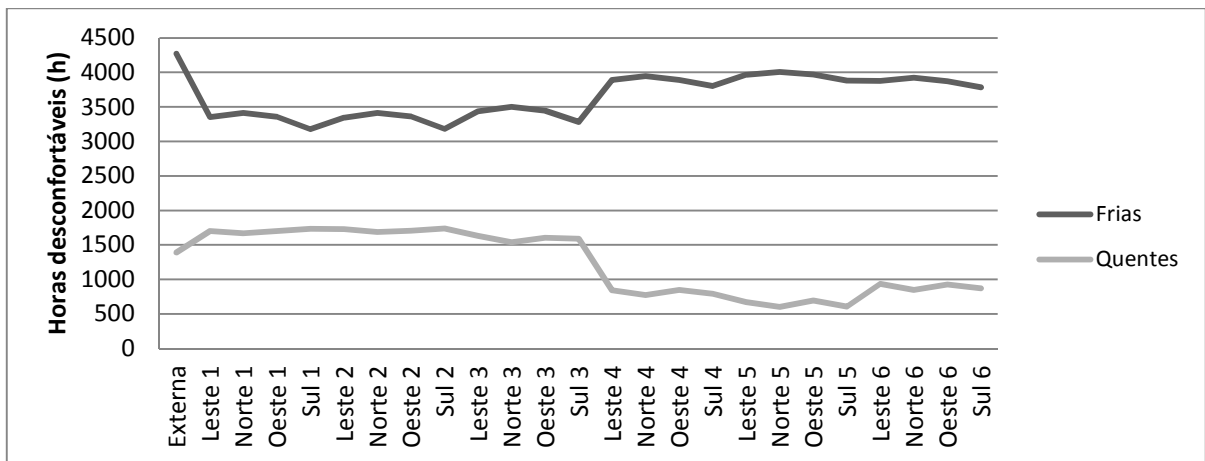


Figura 5.19 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Banheiro”

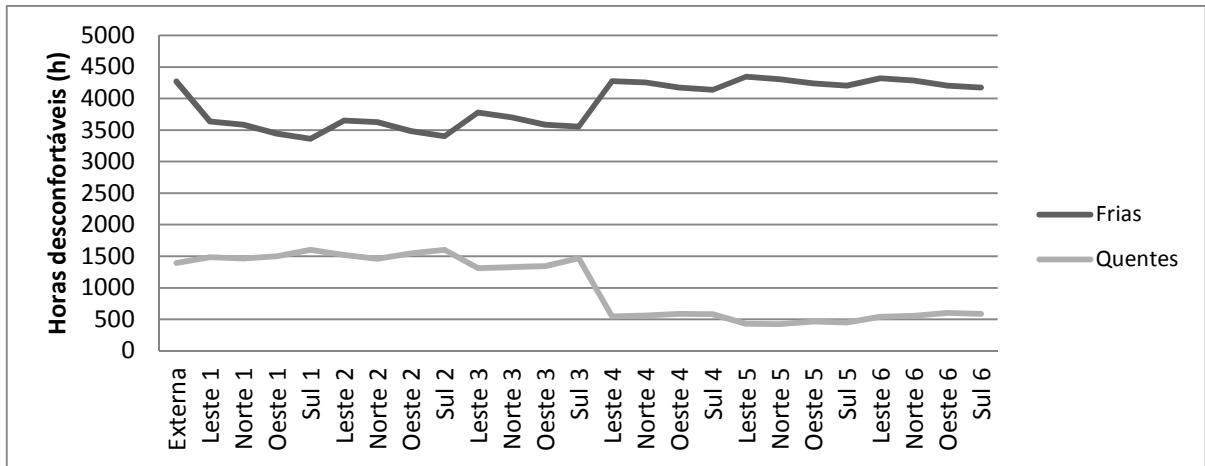


Figura 5.20 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Quarto Fundos”

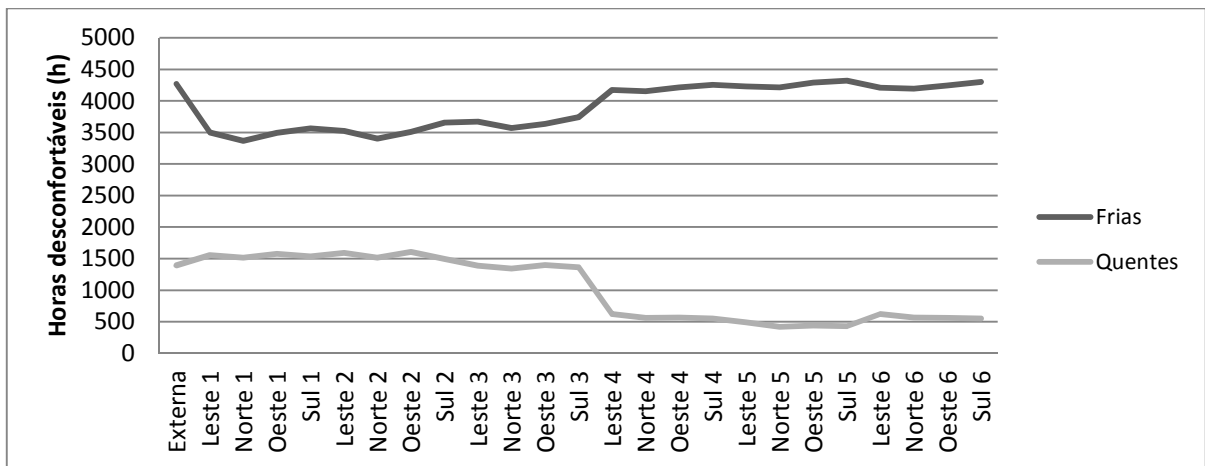


Figura 5.21 – Comparativo dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente do ambiente “Quarto Frente”

Na Figura 5.13 há o somatório das horas não confortáveis de todos os ambientes, a soma das horas quentes na linha inferior, a soma das horas frias na linha intermediária e o somatório das horas frias e quentes na linha superior. Pode-se ressaltar que as temperaturas frias do ano apresentam em maior número as horas desconfortáveis que as horas quentes, mas neste caso, o conforto é subjetivo, já que ao se colocar mais roupas o indivíduo pode sentir-se confortável em temperaturas mais baixas. Este não é o caso das temperaturas mais altas, onde para as temperaturas quentes o conforto pode ser ampliado pelo aumento na velocidade do ar ou pelo resfriamento artificial, desta forma para manter-se o conforto constante é necessária intervenção mecânica.

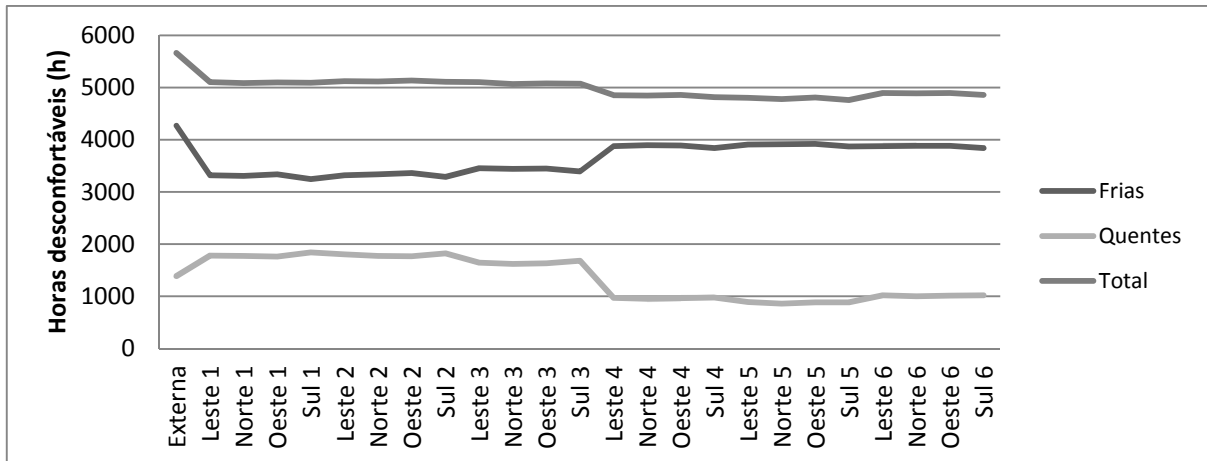


Figura 5.22 – Comparativo do somatório total dos resultados de horas não confortáveis para frio ou quente dos ambientes: Sala, Cozinha, Banheiro, Quarto Fundos e Quarto Frente

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho buscou-se avaliar os métodos construtivos atuais do programa MCMV por simulação e seguindo os critérios de análise, buscar dados de eficiência energética e conforto ambiental encontrados nessas edificações e com isso propor medidas naturais para amenizar os problemas de conforto.

Para avaliar esta edificação foram estipulado critérios de conforto ambiental que norteiam a eficiência energética. Uma das formas desta avaliação é encontrada aplicando-se os métodos para obtenção da etiqueta que classifica a edificação pelo consumo energético das residências de acordo com critérios que alteram o conforto ambiental. Os critérios de análise que definem a etiqueta estão disponíveis na regulamentação RTQ-R, apresentada pelo Procel Edifica.

No decorrer do trabalho constatou-se que a aplicação dessa regulamentação foi um processo trabalhoso e confuso e pode-se observar que medidas naturais para ampliar o conforto se refletem na maioria das vezes, ineficientes, já que elas estão ligadas a intempéries e que nestes casos seria possível uma solução com automatização da residência, mas pelo alto custo, esta não é uma solução para residências deste padrão.

No RTQ-R observa-se que tipologias de aberturas são importantes para a melhor ventilação natural, mas apesar dessa afirmação ela não é explorada como critério de avaliação.

O método prescritivo tem como premissa rebaixar a classificação de uma residência que, na ZB 3, não tenha um sistema de aquecimento de água, para banho, que não seja o chuveiro elétrico. Por exemplo, se uma edificação atingir nível “D” ou “B”, ela será rebaixada para o nível mínimo (E), por não ter esse sistema de aquecimento de água. Essa imposição pode causar desinteresse por parte dos usuários que não tenham interesse em adquirir um sistema de aquecimento de água e, portanto, não dariam a mesma importância para as soluções construtivas que possam ampliar a classificações. O sistema de aquecimento de água pode ser importante para a economia energética, mas existem outros sistemas que podem ser tão importantes quanto esta medida. Normalmente o sistema de aquecimento de água melhora em um nível a classificação na etiqueta e demonstra ser importante para a eficiência energética, sendo assim poderia se pensar na isenção fiscal por parte do governo federal a esses equipamentos para as classes menos favorecidas, já que o custo de implantação desses sistemas no Brasil ainda é muito elevado.

Analisando a EqNumEnv onde, se alterada a cor externa, ganha-se um nível na classificação e com sistema de aquecimento de água ganha-se mais um nível, com o uso desses dois recursos se atinge, facilmente, a classificação “A”, mas assim as bonificações se tornam irrelevantes na maioria dos casos. Mesmo adotando-se o sistema de aquecimento de água, revestimento externo de cor clara e atingindo-se classificação “A”, as medidas descritas nas bonificações não deveriam ser menosprezadas no contexto geral. Observa-se que receber pontuação máxima no campo bonificações é, relativamente, fácil por ter várias maneiras simples de se obter essa pontuação e trazem benefícios econômicos.

Se uma edificação tem conceito de casa passiva, ou seja, uma edificação que não necessite utilizar medidas artificiais para se manter confortável e com isso seu consumo é muito baixo, ela com certeza teria classificação “A”, enquanto outra edificação consegue a mesma classificação utilizando poucas medidas e consumindo mais energia. Pensando nisso seria importante que o RTQ-R tivesse maior rigor e exigências para atingir altos níveis na etiqueta de classificação energética. Isso iria valorizar as edificações que trabalham com o conceito de casas passivas.

A medida de maior influência obtida neste trabalho para ampliar o conforto ambiental e juntamente a eficiência energética é a utilização da pintura branca no exterior da edificação, que normalmente amplia em um nível a classificação geral. Esta medida interfere significativamente nos períodos quentes do ano de forma a amenizar as temperaturas externas e nos períodos frios ela demonstra ser pouco influente, ou em alguns casos, até piora os resultados, mas de modo geral esta medida é positiva e tem custo relativamente baixo. Ao serem adotadas todas as medidas citadas para melhorias no conforto, os resultados apresentados são praticamente os mesmos que os obtidos apenas com a mudança do revestimento externo da edificação. Levando em consideração custos e complexidade de implantação e ou manutenção, torna-se pouco interessante que seja investido nos demais casos aqui apresentados.

Na classificação de eficiência energética, que se volta com maior preocupação ao consumo e não ao conforto ambiental, se forem tomadas todas as medidas apresentadas nas simulações é possível ampliar o conforto e reduzir em média de 1000 a 1300 GH_R.

Os diversos resultados apresentados neste estudo mostram que não foram identificados benefícios significativos para o conforto que justifiquem a preocupação com a orientação solar. A edificação simulada neste trabalho é muito simples, pequena e praticamente simétrica, o que pode ter influência nesse tipo de análise.

Em muitos trabalhos a ventilação natural é vista como importante para a refrigeração passiva dos edifícios e tem o potencial de economizar energia elétrica, no entanto, na conclusão de um conjunto de análises feitas sem que fosse seguido o RTQ-R, em que foram considerados os resultados frios e quentes do ano, é possível perceber que medidas naturais para amenizar os problemas causados pelas temperaturas expostas neste trabalho, tornam-se pouco eficazes, pois sendo adotado o mesmo sistema para o ciclo de um ano, temos melhorias no verão ou no inverno, dificilmente nos dois extremos simultaneamente, o que as tornam muitas vezes medidas paliativas. É possível que isso ocorra por falta de controle das aberturas. Nesse caso poderia ser aconselhado tomar medidas passivas de amenização dos problemas térmicos no período mais crítico da ZB em estudo, enquanto que o período de menor impacto poderia ser tratado com um sistema artificial.

Na classificação de eficiência energética, que se volta com maior preocupação ao consumo e não ao conforto ambiental, se forem tomadas todas as medidas apresentadas nas simulações é possível ampliar o conforto e reduzir em média de 1000 a 1300 GHR. Faz-se necessário uma análise de custos, para o resfriamento artificial dos ambientes nos períodos quentes, ou para aquecimento artificial nos períodos frios, com a facilidade atual na aquisição de aparelhos elétricos, que controlam o clima interno, é provável que os usuários façam uso desses equipamentos, e com este estudo pode ser comprovado se o tratamento de um destes extremos seria mais econômico, por priorizar o outro extremo com métodos naturais de tratamento do conforto, ou se a ênfase deveria ser para os dois extremos térmicos.

Um recurso pouco usual no Brasil e que seria interessante ser aprofundado com pesquisas é a capacidade térmica do solo, sendo explorada em benefício do conforto e economia energética para este tipo de edificação. Este recurso é muito explorado no hemisfério norte para suprir a necessidade energética e de conforto em casas passivas. Seria interessante investir em estudos nesse sentido e comprovar se investimentos que usufruam dos recursos geotérmicos para o nosso clima e para este tipo de edificação seriam economicamente viáveis.

REFERÊNCIAS

- ABDUL, S.; RAHMAN; KANNAN, K. S. (1996). Air flow and thermal comfort simulation studies of wind ventilated classrooms in Malaysia. • *Renewable Energy, Volume 8, Issues 1–4, May–August 1996, Pages 264-266*
- ADUNOLA, A. O. (2014). Evaluation of urban residential thermal comfort in relation to indoor and outdoor air temperatures in Ibadan, Nigeria. • Original Research Article. *Building and Environment, Volume 75, May 2014, Pages 190-205*
- ALBUQUERQUE, R. T.; LACERDA, M. A.; KRAUSE, C. B. (2013). Avaliação dos níveis de eficiência energética da escola estadual Erich Walter Heine sob a ótica dos métodos LEED, AQUA E Procel Edifica. PROARQ FAU/UFRJ. • Encontrado em:
<<http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/ELECS2013/978-85-89478-40-3-a020.pdf>>
- ALDOSSARY N. A.; REZGUI Y.; KWAN A. (2014). Domestic energy consumption patterns in a hot and arid climate: A multiple-case study analysis. • Original Research Article. *Renewable Energy, Volume 62, February 2014, Pages 369-378*
- ANSI/ASHRAE 62.1-2007. (2007). AMERICAN NACIONAL STANDARDS INSTITUTE AND AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. Ventilation for acceptable indoor air quality.
- ANSI/ASHRAE 90.1-2010. (2010). AMERICAN NACIONAL STANDARDS INSTITUTE AND AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- ASHRAE 55-2004. (2004). AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- BATISTA, N. DO N.; ROVERO, E. L. L.; AGUIAR, J. C. R. (2010). Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case. • Original Research Article. *Energy and Buildings, Volume 43, Issue 6, June 2011, Pages 1179-1188*
- CAIXA. (2014). Programa Minha Casa Minha Vida / FAR. Especificações mínimas. • Encontrado em:
<http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/habita/mcmv/Especificacoes_Casa_MCMV2.pdf>

DE OLHO NA QUALIDADE. (2014). Minha Casa, Minha Vida. • Encontrado em: <<http://mcmv.caixa.gov.br/minha-casa-minha-vida/>>

ENERGYPLUS ENGINEERING REFERENCE. (2013). The reference to EnergyPlus calculations

FERGUS, N. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot–humid tropics. • Original Research Article. *Energy and Buildings*, Volume 36, Issue 7, July 2004, Pages 628-637

JAMALUDIN, A. A.; HUSSEIN, H.; ARIFFIN, A. R. M.; KEUMALA, N. (2013). A study on different natural ventilation approaches at a residential college building with the internal court yard arrangement. • Original Research Article. *Energy and Buildings*, Volume 72, April 2014, Pages 340-352

JANSSENS, B.; VERBRUGGEN, A. (2014). Feasibility of upgrading the energy performance of recent massive brick houses. • Original Research Article. *Frontiers of Architectural Research*, Volume 3, Issue 1, March 2014, Pages 44-54

KIM, T. J.; PARK, J. S. (2010). Building and environment. Natural ventilation with traditional Korean opening in contemporary house. • Original Research Article. *Building and Environment*, Volume 45, Issue 1, January 2010, Pages 51-57

KRAUSE, C. B. (2011). Desempenho térmico e eficiência energética em edificações. • Encontrado em: PROARQ FAU/UFRJ <http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/AMB2_20071_dia_20_03.pdf>

MARYANCZYK, A. F.; SCHNOTALE, J.; RADON, J.; WAS. (2014). Experimental measurements and CFD simulation of a ground source heat exchanger operating at a cold climate for a passive house ventilation system. • Original Research Article. *Energy and Buildings*, Volume 68, Part A, January 2014, Pages 562-570

MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2010). Déficit Habitacional Municipal do Brasil. • Encontrado em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/deficit-habitacional/216-deficit-habitacional-municipal-no-brasil-2010/file>>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (2014). Balanço energético nacional. • Encontrado em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompleatas.aspx>>

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. (2014). 9º Balanço do PAC 2. • Encontrado em: <<http://www.planejamento.gov.br/ministerio.asp?index=61&ler=t10964>>

NACIF, C.L.; SOARES, A.; PORCINO, L.; LOMARDO, L.L.B.; CAETANO, D.S.; MARTINS, I. (2014). Subsídios para a incorporação do tema uso eficiente da energia no processo de planejamento urbano. • Encontrado em:

http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_410.pdf

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

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. (2013). Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis. XII Encontro Nacional ENCAC e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído ELACAC / Brasília. •

Encontrado em:

<http://r.search.yahoo.com/_ylt=A0LEVvFsBfxTIE8AkeEf7At.;_ylu=X3oDMTByMG04Z2o2BHNIYwNzcgRwb3MDMQRjb2xvA2JmMQR2dGlkAw--/RV=2/RE=1409054317/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.labeee.ufsc.br%2fsites%2fdefault%2ffiles%2ffiles%2fEncac2013_Modelo1.docx/RK=0/RS=B4IDqMyE0yEwIfgLRs8t7R6lioY->>

PEREZ, I. O.; ØSTERGAARD, P. A. (2014). Potential of natural ventilation in temperate countries — a case study of Denmark. • Original Research Article. *Applied Energy*, Volume 114, February 2014, Pages 520-530

PRAJONGSAN, P.; SHARPLES, S. (2012). Enhancing natural ventilation thermal comfort and energy savings in high-rise residential buildings in Bangkok through the use of ventilation shafts. • Original Research Article. *Building and Environment*, Volume 50, April 2012, Pages 104-113

PROCEL EDIFICA. (2010). Ventilação natural nas edificações. • Encontrado em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B85351C92-D471-4B09-8FB2-9D4669936EFE%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>

PROCEL INFO. (2014). PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas Edificações. •

Encontrado em:

<<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>

RTQ-R (2012). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética - Edificações Residenciais. ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 018/2012. • Encontrado em: <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B433A102E-E273-47BD-AB23-825CD9530F3F%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>

SCHULZE, T.; EICKER, U. (2012). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. • Original Research Article. *Energy and Buildings*, Volume 56, January 2013, Pages 221-232

WANG, L.; GWILLIAM, J.; JONES, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK. • Original Research Article. *Energy and Buildings*, Volume 41, Issue 11, November 2009, Pages 1215-1222

ZHANG, H.; ARENS, E.; KIM, D.; BUCHBERGER, E.; BAUMAN, F.; HUIZENGA, C. (2009). Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task-ambient conditioning system. • Original Research Article. *Building and Environment*, Volume 45, Issue 1, January 2010, Pages 29-39

ANEXO A - PADRÃO MÍNIMO CONSTRUTIVO MCMV

Casa com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço (externa) / banheiro.

DIMENSÕES DOS CÔMODOS (Estas especificações não estabelecem área mínima de cômodos, deixando aos projetistas a competência de formatar os ambientes da habitação segundo o mobiliário previsto, evitando conflitos com legislações estaduais ou municipais que versam sobre dimensões mínimas dos ambientes)

Dormitório casal, quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.

Dormitório duas pessoas, quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações mínimo de 0,50 m.

Cozinha com largura mínima da cozinha: 1,60 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.

Sala de estar/refeições com largura mínima sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e Estante/Armário TV.

Área de serviço, mínimo: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,65 m).

Área útil interna, sem contar área de paredes: 32,00 m²

Pé direito mínimo, observar a orientação municipal vigente ou adotar as dimensões mínimas previstas na Norma de Desempenho (NBR 15575) quando o município não regulamentar o assunto.

Cobertura em telha cerâmica/concreto com forro ou de fibrocimento (espessura mínima de 5mm) com laje, sobre estrutura de madeira ou metálica.

Revestimento interno com massa única, gesso (exceto banheiros, cozinhas ou áreas de serviço) ou concreto regularizado para pintura.

Revestimento externo com massa única ou concreto regularizado para pintura.

Revestimento áreas molhadas, azulejo com altura mínima de 1,50 m em todas as paredes do banheiro, cozinha e área de serviço.

Revestimento em áreas comuns, massa única, gesso ou concreto regularizado para pintura.

Portas e ferragens portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à unidade. Portas externas de 0,80m x 2,10m. Portas dos banheiros e dos quartos com largura de 0,80m para o caso de unidades adaptadas para portadores de necessidades especiais.

Janelas, completa, de alumínio para regiões litorâneas (ou meios agressivos) e de aço para demais regiões.

Pisos, cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé.

Os projetos deverão prever a ampliação das casas.

Fonte: Caixa 2014

ANEXO B - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida	600-800	0,31	1,00
fabricado em obra	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Impermeabilizantes

membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46

Isolantes térmicos

lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67

Madeiras e derivados

madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	

Fonte: NBR 15220-3 (2005)