

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DO PROGRAMA MINHA
CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ-AL.**

Cristine Matos Dantas

Maceió

2015

Cristine Matos Dantas

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DO PROGRAMA MINHA
CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ-AL.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Gianna Melo Barbirato.

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Juliana Oliveira Batista.

MACEIÓ

2015

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Lucia Lima do Nascimento

D192a

Dantas, Cristine Matos.

Avaliação térmica de habitações unifamiliares do programa minha casa minha vida em Maceió-AL/ Cristine Matos Dantas. – 2015.
128 f.: il.

Orientadora: Cristine Matos Dantas.

Co-orientadora: Juliana Oliveira Batista.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 118-122.

Apêndice: f. 124-128.

1. Desempenho térmico de edificações. 2. Conforto térmico interno.
3. Empreendimentos residenciais horizontais. I. Título.

CDU: 728:504.32

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CRISTINE MATOS DANTAS

**AVALIAÇÃO TÉRMICA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DO PROGRAMA
MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ-AL.**

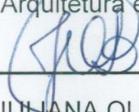
Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em / /2015

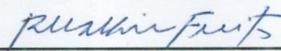
BANCA EXAMINADORA



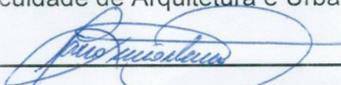
Prof.^a Dr.^a GIANNA MELO BARBIRATO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof.^a Dr.^a JULIANA OLIVEIRA BATISTA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. RUSKIN FREITAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFPE



Prof.^a Dr.^a MARIA LÚCIA GONDIM DA ROSA OITICICA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

*“Porque o SENHOR é quem dá a sabedoria e dele procedem o saber e o entendimento.”
(Provérbios 2:6)*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado e abençoado durante toda a realização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Jerônimo Dantas e Dinalva Dantas, que sempre me apoiaram nos meus projetos de vida e sonhos, estando presentes em cada etapa concluída.

Aos meus amigos Alexandre Henrique, Carolina Casado, Daniela Torres, Lana Brandão, Leylanne Cavalcante, Sammea Ribeiro, Taynah Feijó e Thatiana Cavalcante pelo incentivo e carinho.

Ao meu namorado Rodrigo Almeida, pela paciência e companheirismo.

À minha orientadora Gianna Barbirato, pelos ensinamentos e ajuda perante as dificuldades encontradas na realização desta pesquisa.

À minha co-orientadora Juliana Batista, por toda a dedicação, amizade e principalmente pelo aprendizado durante a etapa da simulação computacional.

À banca examinadora, pelas correções, contribuições e por ter aceitado participar como examinadores da minha banca.

Aos professores do DEHA, pelos ensinamentos e contribuições ao meu trabalho.

À CAPES pelo financiamento da minha pesquisa, através da bolsa concedida.

E por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

DANTAS, Cristine Matos. **Avaliação Térmica de Habitações Unifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2015.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho térmico e o conforto térmico interno de um empreendimento habitacional horizontal do Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV, localizado no contexto climático da cidade de Maceió – AL. Os procedimentos metodológicos utilizados consistiram em abordagens térmicas qualitativas e quantitativas de um Modelo Base (modelo original de projeto arquitetônico habitacional horizontal, que correspondente à prática recorrente) e de outro modelo denominado Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (com alterações nas áreas de aberturas de ventilação efetiva, conforme estabelecido pela NBR 15220 para a Zona Bioclimática 8). Essas abordagens térmicas abrangeram estudos de insolação de fachadas, visualização de escoamento de ventos e simulações computacionais dos dois modelos em estudo; além de monitoramento *in loco* das condições térmicas internas de duas unidades residenciais do empreendimento, com orientações distintas, para fins de validação dos resultados simulados. O critério de avaliação para as condições de conforto térmico interno dos ambientes dos modelos estudados consistiu em um intervalo de conforto estabelecido pela literatura técnica existente na área e considerada adequada para usuários expostos ao clima quente e úmido. Os resultados obtidos na abordagem térmica qualitativa comprovaram, quanto à insolação das fachadas das unidades, a necessidade de proteção solar para os dois modelos estudados. Por outro lado, o aumento da área de abertura para 40% da área do piso promoveu a adequada renovação do ar interno nos ambientes, para as duas orientações existentes nas unidades do empreendimento. Na abordagem térmica quantitativa, as simulações com o modelo alterado diminuíram de uma maneira geral a quantidade de horas confortáveis, entendendo-se aí como aumento de carga térmica interna o aumento da área efetiva de ventilação. O monitoramento *in loco* confirmou a pequena diferença no desempenho térmico encontrado nas simulações efetuadas para duas orientações distintas. O modelo original do empreendimento estudado (Modelo Base) foi o que melhor atendeu aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos pelas normas, com o acréscimo do uso de protetores mistos para o sombreamento de algumas aberturas. O empreendimento analisado, enfim, pode ser considerado adequado às condições climáticas expostas, visto que nas análises efetuadas, os resultados das temperaturas internas dos ambientes analisados encontraram-se, na sua maior parte do tempo, dentro dos limites de conforto estabelecidos neste trabalho. Esses valores correspondem ao intervalo de 65% a 93%, em uma estimativa de porcentagem de horas anuais confortáveis. Sabe-se, no entanto, que as altas porcentagens de conforto térmico encontradas podem mascarar alguns pontos importantes de análise; visto que o intervalo considerado possui uma grande faixa de aceitabilidade. Além disso, em climas com pouca amplitude térmica, qualquer variação pode interferir na sensação de conforto térmico. Espera-se que esse estudo possa contribuir para a discussão crescente sobre a elaboração de projetos de empreendimentos residenciais horizontais termicamente confortáveis, com o uso da climatização natural.

Palavras-chave: desempenho térmico de edificações; conforto térmico interno; empreendimentos residenciais horizontais.

ABSTRACT

DANTAS, Cristine Matos. **Thermal Evaluation of Single-family Housing of Program Minha Casa Minha Vida in Maceió-AL.** Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) - Graduate Program in Architecture and Urbanism, Federal University of Alagoas, 2015.

The objective of this work was to evaluate the thermal performance and the indoor thermal comfort of a horizontal residential enterprise located in the climate context of the city of Maceió-AL. The methodological procedures used consisted of qualitative and quantitative thermal approaches a base model (original model of horizontal housing architectural design, which matches the standard practice) and another model called model with change in aperture area of windows (with changes in the openings areas of effective ventilation as laid down in NBR 15220 Bioclimatic zone 8). These thermal approaches included studies of heatstroke facades, wind flow visualization and computer simulations of these two models in study; In addition to on-site monitoring of internal thermal conditions of the two residential units of the enterprise, with distinct guidelines, with the purpose to validate what was simulated in the computer. The evaluation criteria for the conditions of internal thermal comfort of environments studied models consisted of a comfort range defined by the existing technical literature in the area and deemed appropriate for users exposed to hot and humid weather. The results obtained in the thermal qualitative approach proved that facades of the units which received insolation, needs sun protection for both models studied. On the other hand, the increase of opening area to 40% of the floor area promoted the satisfactory renewal of indoor air environments, for both guidelines existed in the units of the enterprise. In thermal quantitative approach, simulations with the changed model in general decreased the amount of comfortable hours understanding that the increase of effective ventilation area will increase the internal thermal load. Monitoring the spot confirmed the slight difference in thermal performance found in the simulations carried out for two distinct orientations. The original model of the studied enterprise (Base Model) was the best answer to thermal performance requirements established by the regulations, with the addition of mixed protectors for the shading of some openings. The project analyzed, finally, can be considered adequate to the exposed weather, as on the analysis performed, the results of the internal temperatures of the analyzed environments found themselves, for the most part, within the comfort limits set forth in this work. These values correspond to the range of 65% to 93%, on an estimated percentage of annual comfortable hours. It is known, however, that the high percentage of thermal comfort found may mask some important points of analysis; since the considered range has a wide range of acceptability. Furthermore, in climates with little temperature variation, any variation may interfere with the sensation of thermal comfort. Hopefully, this study could contribute to the growing discussion about development of projects of horizontal residential thermally comfortable, with the use of natural air conditioning.

Keywords: thermal performance of buildings; indoor thermal comfort; horizontal residential enterprise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Zoneamento Bioclimático Brasileiro, com destaque no Zona 8 (na qual está inserida a cidade de Maceió- AL)	10
Figura 02: Carta bioclimática de GIVONI adaptada.....	11
Figura 03: Equipamento Mesa d'Água do Laboratório de Conforto Ambiental FAU-UFAL.....	14
Figura 04: Localização do Residencial Novo Jardim, no Estado de Alagoas.....	23
Figura 05: Localização do loteamento do Residencial Novo Jardim, na cidade de Maceió - AL.....	24
Figura 06: Planta de Situação do Residencial Novo Jardim.....	24
Figura 07: Maquete de Implantação das unidades residenciais do Residencial Novo Jardim.....	25
Figura 08: peças gráficas do Modelo Base.....	29
Figura 09: Planta Baixa do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas - Escala: 1/100.....	33
Figura 10: Orientação das maquetes dos modelos estudados em relação ao vento Sudeste (vento predominante na cidade de Maceió- AL).....	35
Figura 11: Planta baixa da primeira unidade residencial utilizada no monitoramento <i>in loco</i>	41
Figura 12: Planta baixa da segunda unidade residencial utilizada no monitoramento <i>in loco</i>	42
Figura 13: Planta de implantação do Residencial Novo Jardim com recorte, para o destaque das duas unidades residenciais utilizadas tanto nas simulações, quanto nos monitoramentos <i>in loco</i> – Sem escala.....	42
Figura 14: HOBO UX100-003 <i>Data Logger</i> - Onset Computer Corporation.....	43
Figura 15: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos (Fachada Nordeste).....	50

Figura 16: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos (Fachada Sudoeste).....	51
Figura 17: Esquadria da Cozinha com Protetores Mistos (Fachada Sudoeste).....	51
Figura 18: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos (Fachada Nordeste).....	55
Figura 19: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos.....	56
Figura 20: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos.....	56
Figura 21: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos.....	57
Figura 22: Esquadria da Cozinha com Protetores Mistos.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Quadro geral dos Usos do Solo.....	25
Tabela 02: Principais parâmetros meteorológicos de Maceió - AL.....	28
Tabela 03: Estudo das aberturas das janelas para a ventilação do Modelo Base.....	32
Tabela 04: Limites de conforto térmico interno, utilizados nas análises dos resultados das simulações computacionais e dos monitoramentos <i>in loco</i>	46
Tabela 05: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se o envelope.....	105
Tabela 06: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se o envelope.....	105
Tabela 07: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a orientação.....	106
Tabela 08: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a orientação.....	106
Tabela 19: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo Alterado.....	107
Tabela 10: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a ventilação.....	107
Tabela 11: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se os protetores solares.....	108
Tabela 12: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se os protetores solares.....	108
Tabela 13: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a orientação.....	109
Tabela 14: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a orientação.....	109

Tabela 15: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a ventilação.....	110
Tabela 16: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo Alterado.....	110
Tabela 17: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se os protetores solares.....	111
Tabela 18: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se os protetores solares.....	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico, no contexto brasileiro.....	08
Quadro 02: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	12
Quadro 03: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	13
Quadro 04: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico com a utilização do Equipamento Mesa d'Água, no contexto brasileiro.....	15
Quadro 05: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico com a utilização do programa computacional EnergyPlus, no contexto brasileiro.....	19
Quadro 06: Síntese do envelope do Modelo Base.....	31
Quadro 07: Síntese dos parâmetros fixos e parâmetros variáveis utilizados nas simulações computacionais do Modelo Base e do Modelo com Alteração na área de Abertura das Janelas.....	38
Quadro 08: composição dos parâmetros variáveis dos Modelos em estudo, para a simulação computacional, com destaque nas alterações entre as simulações.....	38
Quadro 09: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo Base - Fachada Nordeste.....	48
Quadro 10: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo Base - Fachada Nordeste.....	48
Quadro 11: Máscara de Sombra da Esquadria do WCB do Modelo Base - Fachada Nordeste.....	49
Quadro 12: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo Base - Fachada Sudoeste.....	49
Quadro 13: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo Base - Fachada Sudoeste.....	49

Quadro 14: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.....	52
Quadro 15: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.....	52
Quadro 16: Máscara de Sombra da Esquadria do WCB do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.....	52
Quadro 17: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.....	53
Quadro 18: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.....	53
Quadro 19: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.....	53
Quadro 20: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.....	54
Quadro 21: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.....	54
Quadro 22: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.....	54
Quadro 23: Análise dos Ambientes Internos do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, Através das simulações das maquetes físicas.....	58
Quadro 24: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 01, 02, 03 e 04.....	93
Quadro 25: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 05, 06, 07 e 08.....	93
Quadro 26: composição dos parâmetros variáveis dos Modelos Base e do Modelo com Alteração para a simulação computacional, com protetores solares, com destaque nas alterações entre as simulações.....	94

Quadro 27: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 09 e 10.....	103
Quadro 28: Síntese dos melhores resultados de comportamento térmico nos quatro ambientes internos estudados, dentre as dez simulações.....	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Valores mensais de umidade relativa (%) e de Temperatura Média (°C) na cidade de Maceió-AL.....	26
Gráfico 02: Valores mensais de insolação (horas) na cidade de Maceió – AL.....	27
Gráfico 03: Valores mensais de precipitações (mm) de Maceió – AL.....	27
Gráfico 04: Método adaptativo – zona de conforto para edifícios naturalmente ventilados.....	44
Gráfico 05: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.....	60
Gráfico 06: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.....	61
Gráfico 07: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.....	62
Gráfico 08: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.....	63
Gráfico 09: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.....	64
Gráfico 10: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.....	65
Gráfico 11: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.....	66
Gráfico 12: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.....	67
Gráfico 13: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.....	68
Gráfico 14: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.....	69

Gráfico 15: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.....	70
Gráfico 16: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.....	71
Gráfico 17: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.....	72
Gráfico 18: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.....	73
Gráfico 19: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.....	74
Gráfico 20: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.....	75
Gráfico 21: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.....	76
Gráfico 22: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.....	77
Gráfico 23: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.....	78
Gráfico 24: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.....	79
Gráfico 25: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.....	81
Gráfico 26: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.....	82
Gráfico 27: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.....	83
Gráfico 28: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.....	84

Gráfico 29: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.....	85
Gráfico 30: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.....	86
Gráfico 31: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.....	87
Gráfico 32: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.....	88
Gráfico 33: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.....	89
Gráfico 34: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.....	90
Gráfico 35: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.....	91
Gráfico 36: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.....	92
Gráfico 37: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.....	95
Gráfico 38: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.....	96
Gráfico 39: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.....	97
Gráfico 40: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.....	98
Gráfico 41: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.....	99
Gráfico 42: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.....	100

Gráfico 43: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.....	101
Gráfico 44: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.....	102
Gráfico 45: Temperaturas internas médias da Sala Estar/ Jantar, nas orientações Nordeste e Noroeste, durante o período de monitoramento <i>in loco</i>	112
Gráfico 46: Temperaturas internas médias do Quarto Filhos, nas orientações Nordeste e Noroeste, durante o período de monitoramento <i>in loco</i>	114

SUMÁRIO

2. INTRODUÇÃO	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO	04
2.1. ESTUDOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES	04
2.1.1. Pesquisas Realizadas no Contexto Brasileiro.....	04
2.1.2. NBR 15220	09
2.1.3. NBR 15575	11
2.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES VENTILADAS NATURALMENTE.....	13
2.2.1. Visualização dos Efeitos do Escoamento de Ar: O Equipamento Mesa D'Água.....	14
2.2.2. Simulação Computacional: O Programa EnergyPlus.....	16
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS	21
3.2. O OBJETO DE ESTUDO	23
3.2.1. Caracterização	23
3.2.2. Contexto Climático	26
3.3. DEFINIÇÃO DO MODELO BASE	28
3.3.1. Geometria	28
3.3.2. Envelope: Propriedades Térmicas dos Componentes Construtivos	31
3.4. DEFINIÇÃO DO MODELO COM ALTERAÇÃO NA ÁREA DE ABERTURA DAS JANELAS	32
3.5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E CONFORTO TÉRMICO INTERNO.....	34
3.5.1. Abordagem Térmica Qualitativa	34
3.5.1.1 Estudo da Insolação das Fachadas	34
3.5.1.2. Visualização dos Efeitos do Escoamento de Ar	34
3.5.2. Abordagem Térmica Quantitativa	35
3.5.2.1. Simulação Computacional das Variáveis Ambientais	35

3.5.2.2 Monitoramento <i>In Loco</i> das Variáveis Ambientais	41
3.5.2.3. Estimativa do Conforto Térmico Interno	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1. RESULTADOS DA ABORDAGEM TÉRMICA QUALITATIVA	47
4.1.1. Estudos de Insolação das Fachadas.....	47
4.1.2. Visualizações dos Efeitos de Escoamento de Ar	57
4.1.3. Síntese Geral dos Resultados da Abordagem Qualitativa.....	58
4.2. RESULTADOS DA ABORDAGEM TÉRMICA QUANTITATIVA	58
4.2.1. Simulações Computacionais	58
4.2.1.1. Simulação 01.....	59
4.2.1.2. Simulação 02.....	63
4.2.1.3. Simulação 03.....	67
4.2.1.4. Simulação 04.....	71
4.2.1.5. Simulação 05.....	75
4.2.1.6. Simulação 06.....	79
4.2.1.7. Simulação 07.....	83
4.2.1.8. Simulação 08.....	88
4.2.1.9. Simulação 09.....	93
4.2.1.10. Simulação 10.....	98
4.2.1.11 Síntese geral das simulações.....	102
4.2.2. Monitoramentos <i>in loco</i>	111
4.2.2.1. Monitoramento <i>In Loco</i> na Sala Estar/Jantar.....	111
4.2.2.2. Monitoramento <i>In Loco</i> no Quarto Filhos.....	112
4.2.3. Síntese Geral dos Resultados da Abordagem Quantitativa.....	114
5. CONCLUSÕES.....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	123
APÊNDICES A.....	124

1. INTRODUÇÃO

Em março de 2009, foi lançado pelo Governo Federal o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), ainda vigente, com o objetivo de promover a construção de um milhão de residências, em sua primeira fase; e na sua segunda fase dois milhões de moradias, de modo a contemplar por um lado, o atendimento às camadas da população com renda abaixo de três salários mínimos, com volume inédito de subsídios públicos para essa faixa, e por outro lado a construção, pelo mercado, de moradias para as faixas de renda acima de três salários mínimos, com mecanismos de facilitação da viabilidade financeira, que envolvem também alguns subsídios públicos.

O PMCMV abrange na FAIXA I, famílias com renda bruta de até R\$ 1.600,00 que adquirem os seus empreendimentos na planta, através do FAR – Fundo de Arrendamento Residencial, em parceria com o Poder Público (Estados e municípios). Na FAIXA II, famílias com renda de até R\$ 3.100,00 são beneficiadas com subsídio nos financiamentos de recursos do FGTS e na FAIXA III, famílias com renda de até R\$ 5.000,00 que adquirem os seus empreendimentos através do acesso ao Fundo Garantidor da Habitação (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2013).

Não há dúvida da importância das dimensões do programa, embora seja relevante registrar que aquela destinada às faixas de renda mais baixas é, sem dúvida, a mais urgente; dado que nelas se concentra parte significativa do déficit habitacional brasileiro, estimado em cerca de 5,6 milhões de domicílios (FERREIRA, 2012).

No entanto, ao assumir como meta principal uma perspectiva quantitativa, o Programa Minha Casa Minha Vida deixa em segundo plano os aspectos de qualidade arquitetônica e os impactos urbanos de sua produção. De forma geral, a relação entre quantidade e qualidade, que incide sobre a constante redução dos custos da construção, muitas vezes, é possibilitada pela ausência da atuação pública efetiva sobre as leis municipais de uso e ocupação do solo, dos códigos de obra e de alguns parâmetros técnicos mínimos para a implantação dos empreendimentos enquadrados pelo PMCMV, sendo pouco rigorosos com relação aos interesses dos empreendedores imobiliários, tornando-se um dos desafios mais difíceis para a qualidade arquitetônica e urbanística.

A produção em escala de empreendimentos residenciais horizontais, que se enquadram neste Programa, vem sendo utilizada na diluição dos preços do terreno e na construção de um maior número de unidades habitacionais; o que reforça a tendência de espraiamento territorial na medida em que parte das grandes glebas disponíveis encontra-se fora dos centros urbanos mais consolidados. Já na escala de implantação, algumas

incorporadoras e construtoras que atendem ao PMCMV adotam modalidades padronizadas de tipologias arquitetônicas e construtivas nos empreendimentos residenciais horizontais que se repetem por todo o País – os “carimbos” – desconsiderando as condições sociais, espaciais, ambientais e topográficas dos terrenos nos quais se inserem, na tentativa de minimizar custos e racionalizar a construção. Isso pode refletir negativamente na escolha das melhores orientações das edificações, na captação de iluminação e ventilação naturais, adequações projetuais de acordo com as necessidades e exigências específicas de cada região ou zona bioclimática, com consequências desfavoráveis ao desempenho térmico desses empreendimentos e o conforto térmico dos seus usuários.

Os empreendimentos habitacionais devem oferecer condições de habitabilidade, propiciando aos seus ocupantes condições ambientais interiores capazes de protegê-los das variações climáticas e criando um local digno e adequado a suprir as necessidades básicas. Diversos estudos sobre qualidade das habitações inseridas em programas de interesse social vêm sendo realizados, especialmente no meio acadêmico.

Para a avaliação do desempenho térmico de habitações existem referências normativas que apresentam diretrizes construtivas para cada zona bioclimática brasileira, como a NBR 15220 (ABNT, 2005), que em sua parte 3 apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e suas Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Torna-se necessária, portanto, uma constante troca de informações entre os setores públicos ligados à construção, projetistas, engenheiros de obra e pesquisadores que subsidiem esses programas quanto aos aspectos climáticos particulares de cada região que devem ser observados. Uma vez que o desempenho térmico é uma base importante para que condições de habitabilidade sejam alcançadas em uma edificação, é de fundamental importância que a busca por novos referenciais construtivos que visem à adequação climática das construções, melhorando o seu desempenho térmico, e o conforto térmico interno de seus usuários.

Logo, o principal propósito de avaliar o desempenho térmico e conforto térmico interno em empreendimentos residenciais horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida, localizados em Maceió – AL; deve-se a uma tentativa de contribuição com referências úteis ao desenvolvimento de habitações populares. Considera-se, que ao agregar melhorias no projeto arquitetônico em sua fase de concepção, como estudos prévios de materiais, componentes, análise de condições de exposição ao vento e orientação solar, pode-se obter satisfatórias condições de habitabilidade e eficiência energética.

1.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Avaliar o desempenho térmico das edificações e o conforto térmico interno em exemplares de empreendimentos habitacionais horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV, tendo como objeto de estudo um empreendimento habitacional horizontal localizado no contexto climático da cidade de Maceió – AL; de modo a contribuir para a discussão sobre elaboração de projetos termicamente confortáveis, destacando a importância da utilização dos recursos da climatização natural nesses tipos de edificações.

Objetivos Específicos:

- Avaliar o desempenho térmico de tipologia recorrente de empreendimento residencial horizontal na cidade de Maceió/AL, do Programa Minha Casa Minha Vida;
- Avaliar as condições internas de conforto térmico nesses empreendimentos;
- Avaliar o desempenho térmico e estimar as condições de conforto térmico interno a partir de modificações construtivas da tipologia original, de acordo com parâmetros estabelecidos pelas Normas NBR 15220-3 e NBR 15575.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho foi dividido em cinco capítulos: o **primeiro capítulo** apresenta a introdução do trabalho, com os seus objetivos gerais e específicos; o **segundo capítulo** consiste no referencial teórico, no qual são abordados temas relacionados aos estudos de desempenho térmico de habitações no contexto brasileiro e suas normas correspondentes, além de temas relacionados à avaliação de desempenho térmico de habitações ventiladas naturalmente; o **terceiro capítulo** descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa; o **quarto capítulo** demonstra os resultados e discussões das abordagens térmicas qualitativas e quantitativas dos modelos estudados, do monitoramento *in loco* de duas unidades residenciais do empreendimento escolhido como objeto de estudo, além da definição da estimativa de conforto térmico interno (utilizado como parâmetro de conforto nas análises dos resultados das simulações computacionais e dos monitoramentos *in loco*); e o **quinto capítulo** expõe as considerações finais do trabalho, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Para subsidiar a escolha dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, fez-se primeiramente necessário o estudo de temas relevantes à pesquisa, que abordassem o desempenho térmico de habitações no contexto brasileiro e suas normas brasileiras regulamentadoras; além dos procedimentos empregados na literatura para avaliação de desempenho térmico de habitações ventiladas naturalmente.

a. ESTUDOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES

i. Pesquisas Realizadas no Contexto Brasileiro

O ato de desenvolver edificações de forma não preditiva, desconsiderando o seu entorno imediato, ainda é uma prática recorrente dos projetistas. Esta situação é ainda mais grave em países como o Brasil, onde existe uma grande diversidade de condições climáticas e situações econômicas muito burocráticas no que se prefere as soluções dos problemas de moradia, levando a população carente a utilizar programas habitacionais simplistas e, muitas vezes, desqualificados, resultando em condições precárias de conforto térmico interno e de salubridade para seus usuários.

Cada vez mais, pesquisas são realizadas na área de arquitetura bioclimática com o objetivo de melhorar o desempenho das edificações e o conforto dos seus usuários, ou somente para auxiliar o uso racional dos recursos naturais; como mostram os exemplos analisados a seguir.

Amorim (1998) fez uma avaliação bioclimática de projetos de habitações populares, com ênfase no desempenho térmico, por meio da análise de projetos produzidos institucionalmente em Brasília e no seu entorno, comparando-se alguns programas governamentais. A metodologia proposta partiu do estudo do clima da região, a partir de dados climáticos atualizados e a compilação dos requisitos e critérios bioclimáticos e de desempenho térmico para o projeto de habitações populares, desenvolvendo-se então o estudo de casos, com utilização de *softwares* de simulação térmica e a verificação da eficiência das variáveis bioclimáticas simuladas para o clima da região de Brasília. Os resultados demonstraram que é possível melhorar o conforto térmico das habitações, a partir de modificações nas variáveis bioclimáticas propostas no trabalho e nas simulações efetuadas. Logo, foi concluído que, no processo de projeto, principalmente naqueles com

recursos econômicos limitados, é de fundamental relevância a possibilidade em simular resultados para fazer escolhas mais adequadas.

Torres (2006) avaliou a qualidade térmica de edificações verticais a partir da análise de diferentes configurações construtivas e princípios de desenho urbano existentes em conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda, situados em Maceió – AL. Foi realizada uma análise comparativa, qualitativa e quantitativa, de três arranjos urbanos de conjuntos habitacionais verticais. Os resultados apontaram que, dentre os fatores que mais afetaram as condições térmicas estudadas foram: má localização das aberturas com relação ao melhor aproveitamento da ventilação natural, má distribuição e orientação das edificações nos arranjos construtivos avaliados e pouca porosidade dos edifícios.

Pereira (2009) investigou a influência das propriedades térmicas do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares quando estas são ocupadas e ventiladas naturalmente. O método utilizado na pesquisa foi o estudo do desempenho térmico do envelope de uma edificação residencial unifamiliar, localizada na cidade de Florianópolis - Santa Catarina, através de medições e de simulação computacional, utilizando o programa EnergyPlus versão 2.2.0 (DOE, 2007). Foram simuladas variações no envelope do objeto de estudo, utilizando materiais com diferentes propriedades térmicas. Através dessas variações foram obtidos os valores de temperatura e umidade do ar interno, e a porcentagem de horas de desconforto anual, através do programa Analysis Bio versão 2.1.3 (LabEEE, 2007). Os resultados demonstraram que os modelos com ventilação natural e ocupação, para todos os tipos de envelope, aumentaram as horas de desconforto por calor; confirmando a influência do envelope da uma edificação no seu desempenho térmico. Os modelos que apresentaram as menores horas de desconforto foram os que possuíam maiores valores de capacidade e atraso térmico.

Sorgato (2009) investigou a influência das áreas de superfície expostas ao exterior e do tamanho dos ambientes no desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. O método utilizado na pesquisa foi o estudo do desempenho térmico da envoltória de quatro tipologias residenciais, através de simulação computacional com o programa *EnergyPlus* versão 3.1.0 (DOE E BLAST, 2008), para o clima da cidade de Florianópolis – Santa Catarina. Foram simulados casos com diferentes propriedades térmicas da envoltória (paredes e coberturas), variando as transmitâncias e absorvâncias dos componentes construtivos. Para essas variações foram calculados os graus-hora de desconforto dos ambientes. Os resultados demonstraram que a envoltória é determinante no desempenho térmico das edificações, ventiladas naturalmente. A combinação da transmitância e da absorvância da cobertura apresentou grandes influências

nos graus-hora de resfriamento para os quatro modelos. No entanto, os graus-hora de aquecimento não apresentaram correlações com os componentes da envoltória, com uma quantidade maior de graus-hora de aquecimento. Através das análises do balanço térmico, identificou-se que a ocupação predomina nos ganhos internos de calor dos ambientes, sendo mais significativa nos modelos com ambientes menores e menos relevante nos modelos com ambientes maiores. A cobertura foi um dos principais componentes construtivos nos ganhos e perdas de calor. Nos ambientes menores as paredes demonstraram maior influência que nos ambientes maiores. Através da ventilação, ocorreram as maiores perdas de calor em todos os modelos, e, geralmente, em todas as estações, menos do inverno.

Negreiros (2010) identificou, adaptou e aplicou os principais índices de conforto térmico aos resultados de simulações de uma edificação do tipo habitação de interesse social com condicionamento passivo para o clima de Natal-RN. O programa de simulação adotado foi o DesignBuilder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2007). A proposta metodológica consistiu em duas etapas principais. Primeiramente os índices de classificação de conforto térmico e os modelos de consideração do efeito do movimento do ar foram selecionados e adaptados às planilhas eletrônicas. Em seguida, foram modeladas e simuladas variações de uma habitação de interesse social desenvolvida para Natal-RN, com diferentes transmitâncias e absorvâncias térmicas nos fechamentos, e proteção solar nas aberturas. A consideração do efeito do movimento do ar demonstrou ser relevante na avaliação do desempenho térmico de edificações. Entre os índices avaliados, destacou-se a importância do método que considera a radiação térmica e a velocidade do ar, variáveis de conforto térmico influentes no clima quente e úmido de Natal-RN.

Lamberts desenvolveu diversas pesquisas na área de desempenho térmico de edificações, dentre estas participou da avaliação do desempenho térmico de uma residência experimental localizada em Florianópolis - Santa Catarina (Casa Eficiente¹), monitorada nos anos de 2007 e 2008 através de medições *in loco* e verificação dos resultados frente às normas de desempenho. O projeto arquitetônico da Casa Eficiente abrange diversas estratégias de adequação climática, como o aproveitamento da ventilação e da luz natural, da energia solar térmica para aquecimento de água, da energia solar luminosa para a geração de eletricidade através de um painel fotovoltaico interligado à rede; além da utilização eficiente das águas.

¹ A Casa Eficiente é resultado de uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina, através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da ELETROSUL e da ELETROBRAS/PROCEL Edifica para a construção de um centro de demonstrações em eficiência energética. Fonte: < <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente> >. Acessado em: fevereiro de 2015.

Várias pesquisas utilizaram a Casa Eficiente como objeto de estudo; como Batista (2011), que avaliou o potencial da ventilação mecânica noturna como estratégia de resfriamento para um ambiente residencial durante o verão, quando associada a configurações construtivas com baixa e média inércia e diferentes padrões de ventilação natural no período diurno.

As simulações computacionais demonstradas em Batista (2011) foram desenvolvidas através do *software* EnergyPlus versão 6.0 (DOE, 2010) calibradas com base nos dados do monitoramento efetuado no quarto de casal, avaliando-se a influência dos algoritmos de condução e convecção nos resultados. Uma vez calibrado, o modelo foi utilizado na análise do desempenho da ventilação mecânica noturna. Os critérios de avaliação foram os somatórios de graus-hora de resfriamento e os percentuais de horas de desconforto, verificados em diferentes horários do dia, sob diferentes padrões de ventilação diurna. Foram quantificados os balanços térmicos internos correspondentes a esses horários, caracterizando-se o comportamento dos componentes da envoltória quanto aos ganhos e perdas de calor. Em função dos diferentes padrões de ventilação simulados, combinados a duas configurações construtivas (inércia baixa e inércia média), foram observadas diferenças de 15% a 290% nos somatórios de graus-hora de resfriamento. Os resultados demonstraram os benefícios do emprego da ventilação mecânica noturna, que reduziu a temperatura do ar, incrementando as perdas de calor pela envoltória durante a madrugada. Observou-se também que a admissão da ventilação durante a tarde diminuiu o efeito de amortecimento das temperaturas internas.

Costa (2011) analisou o desempenho térmico de unidades habitacionais submetidas ao contexto climático classificado na Zona Bioclimática 8 estabelecido pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), com vistas ao conforto térmico de seus usuários. As localidades brasileiras escolhidas foram as capitais: Belém – PA; Fortaleza – CE; Maceió – AL; Salvador – BA e Rio de Janeiro – RJ. Foram definidos quatro modelos de habitações para as simulações computacionais, sendo um de referência; dois modificados de acordo com prescrições das normas vigentes para o contexto estudado, e o quarto com o acréscimo de protetor solar. Foram analisadas as condições de insolação de fachadas para quatro orientação e três horários nos solstícios de inverno e verão. E logo após, foi realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos com limites de conforto baseados em temperaturas de neutralidade, consideradas aceitáveis para edificações residenciais de clima quente e úmido. Os resultados das simulações do desempenho térmico, realizadas através do programa computacional Design Builder versão 2.0.4.002 (DESIGNBUILDER, 2005-2010), confirmaram que o aumento das áreas das aberturas efetivas para ventilação em conformidade com as normas NBR 15220-3 e NBR 15575 significou, na maioria dos

casos, uma redução de temperatura do ar interno nos modelos simulados, embora nenhum modelo tenha apresentado 100% de horas confortáveis. Concluindo que, apesar de as cidades pertencerem a uma mesma zona bioclimática, as estratégias de projeto têm especificidades importantes para se alcançar um desempenho térmico favorável, e conseqüentemente, o conforto térmico de seus usuários.

Ferreira (2012) identificou a produção da tipologia arquitetônica “carimbo” (que são tipologias arquitetônicas repetidas sem variações por todo o Brasil, independentemente da zona bioclimática na qual estão inseridas) no mercado do segmento econômico do Programa Minha Casa Minha Vida. O estudo comprovou que a repetição sem constrangimento de plantas e sistemas construtivos idênticos por todo o País, estranhas às soluções locais e alheias ao tamanho continental do Brasil e sua enorme variedade climática, ainda é uma prática bastante recorrente.

Com o intuito de sintetizar as principais informações dos estudos citados neste tópico e suas relevâncias para esta pesquisa, foi elaborado o quadro 01 a seguir.

Quadro 01: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico, no contexto brasileiro.

AUTOR/ LOCAL	ABORDAGEM E RELEVÂNCIA PARA ESTA PESQUISA	CONCLUSÃO
Amorim (1998) Brasília.	Avaliação bioclimática, desempenho térmico, conforto térmico, simulação computacional.	É possível fazer escolhas mais adequadas para cada tipo de edificação, ainda na fase de projeto, através de simulações computacionais das variáveis ambientais.
Torres (2006) Maceió-AL.	Qualidade térmica, conjuntos habitacionais verticais, diferentes configurações construtivas, análises qualitativas e quantitativas.	Projetos de arranjos construtivos destinados à habitação de interesse social, através da adequação climática local, podem contribuir para o atendimento as diversidades regionais e culturais; minimizando os impactos ambientais, sociais e econômicos.
Pereira;Ghisi (2009) Florianópolis-SC.	Propriedades térmicas do envelope, desempenho térmico, edificações residenciais unifamiliares, ventilação natural, simulação computacional.	O envelope de uma edificação exerce influência sobre o seu desempenho térmico, inclusive quando a edificação está ocupada e é ventilada naturalmente.
Sorgato (2009) Florianópolis-SC.	Propriedades térmicas do envelope, desempenho térmico, edificações residenciais unifamiliares, ventilação natural, simulação computacional.	Os componentes da envoltória da edificação são determinantes ao seu desempenho térmico e as propriedades termofísicas dos materiais influenciam significativamente nos fluxos de calor da edificação.
Negreiros (2010) Natal-RN	Desempenho térmico, conforto térmico, habitação de interesse social, ventilação natural, simulação computacional.	A consideração do efeito do movimento do ar demonstrou ser relevante na avaliação do desempenho térmico de edificações.

Lamberts Florianópolis-SC	Desempenho térmico, Casa Eficiente, medições <i>in loco</i> , normas de desempenho, estratégias de adequação climática.	Estratégias de adequação climática, através do aproveitamento da ventilação e da luz natural, da energia solar térmica, da energia solar luminosa; além da utilização eficiente das águas.
Batista (2011) Florianópolis-SC	Casa Eficiente, ventilação mecânica, ventilação natural, simulação computacional.	O emprego da ventilação mecânica noturna reduziu a temperatura do ar, incrementando as perdas de calor pela envoltória durante a madrugada. Além da admissão da ventilação durante a tarde, que diminuiu o efeito de amortecimento das temperaturas internas.
Costa (2011) Maceió-AL	Desempenho térmico, conforto térmico, unidades habitacionais, ventilação natural, simulação computacional.	Apesar das cidades pertencerem a uma mesma zona bioclimática, as estratégias de projeto têm especificidades importantes para se alcançar um desempenho térmico favorável, e conseqüentemente, o conforto térmico de seus usuários.
Ferreira (2012) São Paulo-SP	Produção da habitação padronizada (Carimbo), Programa Minha Casa Minha Vida, desempenho térmico, zona bioclimática.	A repetição sem constrangimento de plantas e sistemas construtivos idênticos por todo o País, estranhas às soluções locais e alheias ao tamanho continental do Brasil e sua enorme variedade climática, ainda é uma prática bastante recorrente.

As pesquisas aqui expostas sobre desempenho térmico de edificações no contexto brasileiro foram fundamentais para a elaboração deste trabalho, visto que, a partir da análise dessas pesquisas puderam ser observadas diversas possibilidades de objetos de estudo, além de procedimentos metodológicos para avaliação do desempenho térmico de habitações e conforto térmico dos usuários.

ii. NBR 15220

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – estabelece normas técnicas que permitem o conhecimento sistematizado de métodos de ensaios, procedimentos, terminologias, simbologias e classificações, com o intuito de melhorar a qualidade dos serviços e produtos oferecidos à sociedade brasileira. No início dos anos de 1990, a ABNT criou a Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações, representando um importante avanço no desenvolvimento da normatização brasileira na área de conforto ambiental (RORIZ et al, 1999).

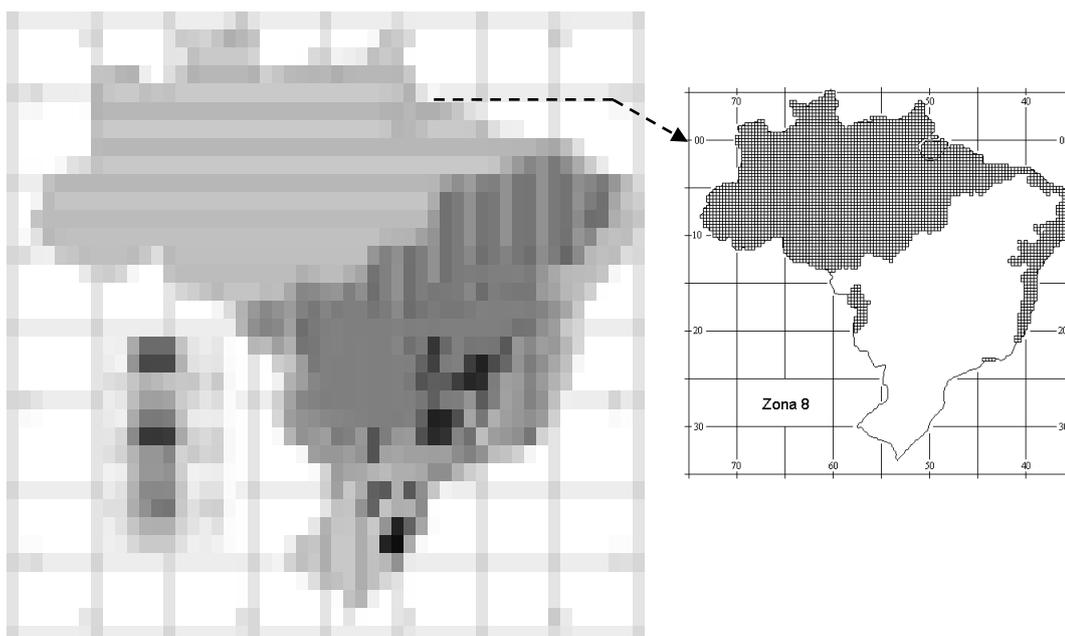
A norma brasileira NBR 15220 foi desenvolvida pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil e aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003

e publicada pela ABNT em abril de 2005. Os textos foram divididos em cinco partes, sendo utilizada na presente pesquisa a parte 2 e a parte 3:

- **Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações:** foram utilizadas as Tabelas B.2 - Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) e B.3 - Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais.

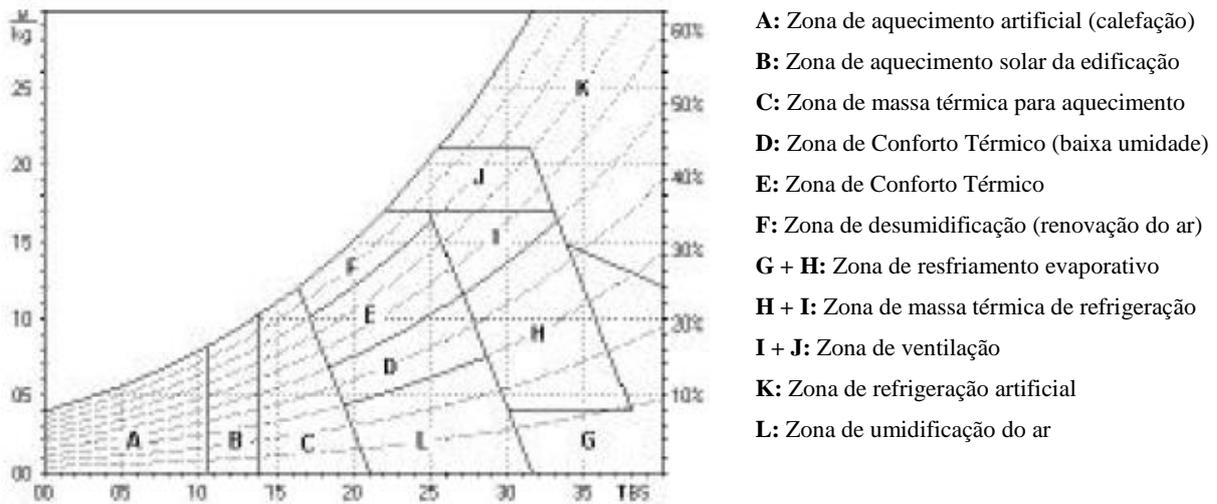
- **Parte 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social:** esta parte da norma estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro a partir da divisão do território em oito zonas bioclimáticas. A maior parte do Estado de Alagoas está inserida na zona bioclimática 8 (figura 01). Esse zoneamento abrange um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social; bem como recomendações e diretrizes construtivas, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos. As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3 são baseadas na carta bioclimática de Givoni adaptada (figura 02).

Figura 01: Zoneamento Bioclimático Brasileiro, com destaque no Zona 8 (na qual está inserida a cidade de Maceió- AL).



Fonte: ABNT (2005).

Figura 02: Carta bioclimática de GIVONI adaptada



Fonte: ABNT (2005).

No caso da Zona Bioclimática 8, as estratégias de condicionamento passivos recomendadas pela NBR 15220-3 são as seguintes:

- ✓ Uso de grandes aberturas para a ventilação com sombreamento (Área do piso > 40%);
- ✓ No verão, o uso da ventilação cruzada deve ser permanente.
- ✓ Parede e cobertura: leves e refletoras;
- ✓ Abertura em beirais, para a ventilação do ático;

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

iii. NBR 15575

A norma NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudos de Desempenho de Edificações (CE-02.136.01). Entrou oficialmente em vigor em julho de 2013, com um conjunto normativo constituído por seis partes, sendo cada uma dessas organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Foram utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa as partes 1, 4 e 5 da referida norma.

- **Parte 1 - Requisitos gerais:**

Esta Parte da ABNT NBR 15575 estabelece:

- ✓ Os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais como um todo integrado ou avaliados de forma isolada, para um ou mais sistemas específicos;
- ✓ O procedimento de avaliação do desempenho de sistemas construtivos;
- ✓ Os critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta).

Nesta parte da norma, recomenda-se o emprego do programa EnergyPlus para a realização das simulações computacionais. Outros programas de simulação também são permitidos, desde que determinem o comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e sejam validados pela ASHRAE Standard 140 (American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2007).

São ainda apresentadas algumas exigências de desempenho térmico no verão, descrevendo as condições térmicas no interior do edifício habitacional, melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor; deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), mostrado no quadro 02 a seguir. Quanto à avaliação de desempenho térmico para inverno, nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar.

Quadro 02: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$

T_{i,max} é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
T_{e,max} é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
T_{i,min} é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
T_{e,min} é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado da NBR 15575-1 (ABNT 2013).

- **Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas:** trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas das edificações habitacionais, que, além da volumetria e da compartimentação dos espaços da edificação, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.

Os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo códigos de obras, códigos sanitários e outros. Quando não houver exigências de ordem legal, para o local de implantação da obra, devem ser adotados os valores indicados no quadro 03, a seguir:

Quadro 03: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL $A \geq 8\%$ da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: Adaptado da NBR 15575-4 (ABNT 2013).

- **Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas:** As disposições contidas nesta parte da NBR 15575 são aplicáveis às edificações habitacionais, referindo-se aos sistemas de coberturas, sendo o (SC) a parte do edificação habitacional mais exposta exposta à radiação direta do sol, e exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes (casas térreas e último pavimento de sobrados ou prédios), influenciando diretamente no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar.

b. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES VENTILADAS NATURALMENTE

Neste tópico foram abordadas as principais informações referentes aos dois instrumentos utilizados na avaliação térmica do objeto de estudo da presente pesquisa.

2.2.1. Visualização dos Efeitos do Escoamento de Ar: O Equipamento Mesa D'Água

A Mesa d'Água consiste em um equipamento que possibilita a passagem da água acrescida de um indicador (contraste), através de um canal plano e homogêneo (mesa), em circuito aberto ou fechado. Em contato com os obstáculos colocados sobre a mesa, permite a visualização dos desvios do fluxo, bem como da formação de vórtices e esteiras – efeitos visuais muito semelhantes aos verificados em ensaios aerodinâmicos (figura 03).

Figura 03: Equipamento Mesa d'Água do Laboratório de Conforto Ambiental FAU-UFAL.



Fonte: Acervo da autora.

No contexto brasileiro, algumas pesquisas utilizaram o equipamento Mesa d'Água como ferramenta de simulação para a visualização do escoamento de ventilação natural no exterior e interior dos edifícios, além da identificação das aberturas que funcionam como entrada e saída para a ventilação natural. Essas pesquisas são discutidas a seguir.

Toledo e Pereira (2003) analisaram o potencial do equipamento mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios, através de experimentações já realizadas no LabCon da UFSC. A metodologia consistiu na avaliação dos resultados de trabalhos produzidos pelos alunos de graduação do curso de arquitetura e urbanismo da UFSC no ano de 2001, bem como de testes realizados com o equipamento em 2002. Através da análise foi concluído que, a visualização do escoamento, possibilitada pela mesa d'água, é sem dúvida, de grande utilidade para a análise das alternativas de ventilação natural por ação do vento em edifícios; e o baixo custo de execução, as facilidades de operação e manutenção, além da visualização continuada do escoamento – com possibilidade de registro fotográfico ou filmagem – em maquetes, que são bastante familiares aos arquitetos, constituem vantagens na utilização do equipamento. Entretanto,

alguns aperfeiçoamentos ainda precisam ser realizados tanto no equipamento quanto nas técnicas de ensaio e registro dos experimentos.

Toledo (2006) desenvolveu procedimentos para avaliar o desempenho de ventilação natural pela ação do vento em apartamentos, através de um Método de Análise (MASQ-VENTO), baseado no comportamento do escoamento do ar, e uma Metodologia de Avaliação (MAM-VN), baseada nas metodologias multicritérios. Os objetos de estudo foram quatro edifícios da tipologia de quatro apartamentos por andar, situados em Maceió/AL. Os resultados mostraram diferentes desempenhos dos apartamentos, relativamente de acordo com as respostas dos entrevistados. Constatou-se a influência tanto da geometria dos edifícios quanto da orientação dos apartamentos nos desempenhos, apesar de as análises das variâncias não terem sido significativas. Logo, foi sugerida a substituição dos parâmetros e critérios utilizados pelas normas e códigos brasileiros pelos propostos, como contribuição às normas de desempenho dos edifícios.

Toledo e Laurentino (2010) analisaram o comportamento do escoamento da ventilação natural pela ação do vento em três edifícios de apartamentos com dormitórios e banheiros reversíveis, localizados no bairro Jatiúca, situado na cidade de Maceió/AL. A metodologia utilizada consistiu na realização de ensaios analógicos de escoamento com maquetes vazadas no equipamento mesa d'água, utilizando o método do traçador e a técnica de injeção direta do indicador. Foram estudados doze apartamentos de três edifícios, e realizaram-se quatro ensaios para cada edifício, com um total de doze ensaios. Os resultados demonstraram que os dormitórios reversíveis ampliaram as possibilidades de ventilação conjunta dos apartamentos, pois permitiam a ligação direta entre o setor íntimo e de serviço; e que os apartamentos que apresentam banheiros reversíveis resultaram em um maior equilíbrio entre aberturas de entrada e saída do escoamento. Logo, foi concluído que existe uma maior eficiência na entrada de ventilação natural nos apartamentos, em dormitórios e banheiros reversíveis. As principais informações dos trabalhos citados neste tópico e suas relevâncias para esta pesquisa foram sintetizadas no quadro 04 a seguir.

Quadro 04: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico com a utilização do Equipamento Mesa d'Água, no contexto brasileiro.

AUTOR/ LOCAL	ABORDAGEM E RELEVÂNCIA PARA ESTA PESQUISA	CONCLUSÃO
Toledo; Pereira (2003) São Paulo-SP.	Edifícios residenciais, equipamento mesa d'água, método do traçador e da técnica de injeção direta.	Apesar das limitações impostas pela analogia hidráulica do equipamento Mesa d'Água e a simplificação bidimensional do fenômeno gerado por esta, concluiu-se que a sua utilização possui um grande potencial para fins didáticos e práticos em ventilação natural dos edifícios por ação do vento.

Toledo (2006) Florianópolis-SC.	Desempenho de ventilação natural, apartamentos, Método de Análise (MASQ-VENTO), Método de Avaliação (MAM-VN), equipamento Mesa d'Água.	Foi sugerida a substituição dos parâmetros e critérios utilizados pelas normas e códigos brasileiros pelos propostos na referida pesquisa, como contribuição às normas de desempenho dos edifícios, em andamento na ABNT.
Toledo; Laurentino (2010) Maceió-AL.	Ventilação natural, apartamentos com dormitórios e banheiros reversíveis, equipamento mesa d'água, método do traçador, técnica de injeção direta do indicador.	Dormitórios e banheiros reversíveis são mais eficientes para a entrada de ventilação natural nos apartamentos.

2.2.2 Simulação Computacional: O Programa EnergyPlus

A simulação computacional pode ser utilizada como uma importante ferramenta que permite a análise de diferentes alternativas de projeto. Segundo Matos (2007), a partir dessa experiência, torna-se possível propor melhorias com a realização de diversas estratégias combinadas para o estudo de habitações residenciais. Em contrapartida, alguns pontos devem ser observados, como o conhecimento e o controle do programa utilizado. Além da simplificação do ambiente simulado, no qual a quantidade de dados de entrada está intimamente ligada à morosidade das simulações e à fidelidade dos dados. Sendo necessário compreender a importância que cada elemento possui e as consequências que resultarão com a sua inclusão ou exclusão. No caso do presente trabalho, a simulação computacional foi realizada através do programa de simulação térmica horária *EnergyPlus* v. 8.1 (DOE, 2013).

O *EnergyPlus* é programa computacional, que foi desenvolvido a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Esse programa computacional tem como função a análise energética e a simulação térmica de edificações, desenvolvidas a partir de um modelo do edifício e baseadas nos princípios fundamentais do balanço térmico, formulando os balanços de energia e umidade para o ar de cada zona térmica, solucionando-os a partir de equações diferenciais, obtendo-se como um dos resultados a temperatura no interior dos ambientes. Diversos outros dados de saída são fornecidos pelo programa, relacionados ao consumo de energia, ao comportamento térmico da edificação, entre outros (BATISTA, 2011).

Matos (2007) destaca que a partir da versão 1.3.0 do programa, o modelo de cálculo do fluxo de ar passou a ser chamado de AirflowNetwork. Esse modelo, além de incluir partes da versão mais recente do COMIS, passou a adotar partes da rotina de cálculo do programa AIRNET.

Observa-se que o programa computacional EnergyPlus (DOE, 2013) dispõe de uma grande variedade de combinações entre os algoritmos para a simulação termo-energética de edificações. No contexto brasileiro, algumas pesquisas sobre desempenho térmico de edificações que utilizam como ferramenta de simulação esse programa computacional são discutidas a seguir.

Grings (2003) realizou uma comparação entre os resultados simulados com o programa *EnergyPlus* (DOE, 2002) e os dados medidos de um ambiente condicionado e não-condicionado. Foi produzido um arquivo climático através das medições de radiação solar, velocidade do vento e temperatura, durante um período de 10 dias. Simultaneamente foi realizada a aquisição das temperaturas de uma sala-teste, localizada no terceiro pavimento de um prédio em Porto Alegre, e das salas adjacentes. Constatou-se uma grande discrepância entre as cargas térmicas, para o modelo de convecção simples. Logo, conclui-se que o programa EnergyPlus representa bem o comportamento térmico de uma edificação “termicamente pesada” para coeficiente de convecção detalhado, o que necessita pesquisa para as demais edificações.

Spannenberg (2006) analisou o desempenho térmico de três sistemas construtivos diferentes aplicados em habitação de interesse social, por meio de comparações entre simulações computacionais, através do programa computacional *EnergyPlus* na interface do E2AC, e análises comportamentais. Em apenas um dos modelos analisados os resultados das simulações de desempenho térmico foram de acordo com as pesquisas comportamentais. Quanto à satisfação dos usuários com relação à ventilação, 100% afirmaram estar satisfeitos, apesar de as aberturas estarem inadequadas quanto ao dimensionamento estabelecido pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Também foi constatado que as aberturas, que não possuem proteção solar externa, e o sistema de cobertura, telhas e pintura externa não atendem à norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Menezes (2006) avaliou unidades habitacionais através de medições *in loco* e de simulações computacionais utilizando o programa computacional *EnergyPlus* (DOE, 2005). Foi observada a baixa qualidade do projeto, materiais e mão-de-obra utilizada. Com relação ao projeto, verificou-se que grande parte das habitações não contempla os espaços mínimos requeridos pelos usuários. Também foi utilizado o mesmo projeto para a maioria dos núcleos habitacionais construídos sem, ao menos, se fazer às adequações necessárias de acordo com as condições topográficas e geográficas de cada local. No entanto, os resultados da pesquisa permitiram concluir que a maioria dos parâmetros das habitações estudadas estava dentro daqueles estabelecidos pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Matos (2007) analisou o desempenho térmico de um protótipo de uma habitação unifamiliar através da simulação computacional do Programa *EnergyPlus* (DOE, 2006). A definição das estratégias para as simulações seguiu as recomendações da NBR 15220 para a zona bioclimática 3. As alternativas adotadas nas simulações consistiram em alterar a área de ventilação; sombrear as janelas; variar a transmitância térmica de paredes e cobertura; verificar a influência da orientação no desempenho térmico das residências e variar a absorvância de paredes e cobertura. Além disso, foram definidas diferentes estratégias de ventilação. O desempenho térmico das alternativas foi quantificado através de graus-hora de desconforto com relação à temperatura operativa para a sala e um dos dormitórios durante as horas de ocupação. Considerando-se os resultados obtidos através das simulações, pode-se dizer que a área de abertura de 15% com relação à área de piso, visando à ventilação natural, foi a mais adequada para esse tipo de residência. Em muitos casos as áreas de abertura de 20% e 25% apresentaram resultados iguais ou piores à área de abertura de 15%. A estratégia de sombreamento das janelas durante o verão foi uma alternativa eficaz para a redução das temperaturas internas durante esse período. A área mínima de abertura requerida para a ventilação natural no código de obras de Florianópolis é de 8% da área de piso. Mas essa condição resultou no pior desempenho para todas as orientações, mesmo sombreada.

Lima (2010) analisou o desempenho termo-energético de um edifício multifamiliar vertical, localizado em Maceió-AL e a influência do sombreamento promovido pela utilização de dispositivo de proteção solar e arranjo construtivo do entorno imediato, como também da absorvância da envoltória através da simulação computacional com o programa computacional *EnergyPlus* 4.0 (DOE, 2009). Foi utilizado como objeto de estudo uma tipologia de edifício vertical do Programa de Arrendamento Residencial. A metodologia utilizada na pesquisa foram análises paramétricas, visando a comparação entre o modelo de referência e alguns parâmetros propostos através de simulações computacionais. Os resultados apontaram que a utilização de protetor solar e o aproveitamento da morfologia do arranjo construtivo contribuíram para a eficiência do desempenho termo-energético do edifício.

Ziebel (2013) estudou a relação entre o desenho da abertura e o comportamento térmico de ambientes internos de simulação. O comportamento térmico foi quantificado a partir da energia consumida pelo ar-condicionado para manter o ambiente interno com temperaturas aceitáveis para o conforto térmico, sendo a energia consumida obtida através de simulação com o programa computacional *EnergyPlus* (DOE, 2011). Os parâmetros investigados foram baseados nas variáveis das equações do RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais

(ELETROBRÁS/PROCEL, 2010), para as orientações (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste), com cinco tamanhos diferentes de aberturas e a existência ou não de dispositivos de sombreamento das aberturas, para o contexto climático de Porto Alegre. Como análise complementar, também foi estudada a influência da intensificação da ventilação durante as noites de verão no comportamento térmico de ambientes. Concluiu-se que as análises baseadas no RTQ-R foram, de maneira geral, compatíveis com os resultados das simulações. Através o uso do RTQ-R, a variável que se mostrou mais influente foi o sombreamento, já nas simulações a variável que mais influenciou foi o tamanho das aberturas.

Chvatal (2014) investigou as razões pelas quais a norma brasileira NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) vem sendo criticada por alguns autores, como as incoerências encontradas entre seus procedimentos simplificados e de simulação, com o foco nas habitações de interesse social. O método consistiu na aplicação de dois procedimentos da Norma a uma habitação unifamiliar térrea em três zonas bioclimáticas brasileiras, com variadas transmitâncias térmicas e absorvâncias das paredes exteriores e da cobertura. Também foram estudadas habitações com paredes de alta capacidade térmica e simulações horárias anuais para a edificação em condições reais de uso. Os resultados confirmaram que o impacto conjugado da transmitância e da absorvância não é representado de forma adequada nos limites estabelecidos pelo procedimento simplificado, além da capacidade térmica que influencia esses limites. Com relação à simulação anual, foi verificada que esta é a maneira mais adequada de se avaliar as necessidades de desempenho tanto no inverno, quanto no verão.

O quadro 05 a seguir, sintetiza as principais informações das pesquisas discutidas neste tópico e suas relevâncias para esta pesquisa.

Quadro 05: Síntese de estudos recentes sobre desempenho térmico com a utilização do programa computacional EnergyPlus, no contexto brasileiro.

AUTOR/ LOCAL	ABORDAGEM E RELEVÂNCIA PARA ESTA PESQUISA	CONCLUSÃO
Grings (2003) Porto Alegre-RS	Desempenho térmico, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , medições <i>in loco</i> , ambiente condicionado e não-condicionado, produção de um arquivo climático.	O programa EnergyPlus representa bem o comportamento térmico de uma edificação “termicamente pesada” para coeficiente de convecção detalhado.
Spannenberg (2006) Marau-RS	Desempenho térmico, habitação de interesse social, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> .	Em apenas um dos modelos analisados os resultados das simulações de desempenho térmico foram de acordo com as pesquisas comportamentais.

Menezes (2006) Passo Fundo-RS	Desempenho térmico, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , medição <i>in loco</i> , unidades habitacionais.	A maioria dos parâmetros das habitações estudadas estava dentro daqueles estabelecidos pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005).
Matos (2007) Florianópolis-SC	Desempenho térmico, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , residência unifamiliar.	Considerando-se os resultados obtidos através das simulações, pode-se dizer que a área de abertura de 15% com relação à área de piso, visando à ventilação natural, foi a mais adequada para esse tipo de residência.
Lima (2010) Maceió-AL	Desempenho termo-energético, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , edifício multifamiliar vertical.	A utilização de protetor solar e o aproveitamento da morfologia do arranjo construtivo contribuíram para a eficiência do desempenho termo-energético do edifício.
Ziebel (2013) Porto Alegre-RS	Comportamento térmico, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais).	As análises baseadas no RTQ-R foram, de maneira geral, compatíveis com os resultados das simulações. Através o uso do RTQ-R, a variável que se mostrou mais influente foi o sombreamento, já nas simulações a variável que mais influenciou foi o tamanho das aberturas.
Chvatal (2014) São Paulo-SP	NBR 15575 (ABNT, 2013), desempenho térmico, simulações computacionais através do programa <i>EnergyPlus</i> , procedimento simplificado, habitações de Interesse Social.	O impacto conjugado da transmitância e da absorvância não é representado de forma adequada nos limites estabelecidos pelo procedimento simplificado da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Com relação à simulação anual, foi verificada que esta é a maneira mais adequada de se avaliar as necessidades de desempenho das edificações.

Logo, pode-se perceber que tanto do equipamento Mesa d'Água (que serve como ferramenta de simulação para a visualização do comportamento da ventilação natural - abordagem qualitativa), quanto o uso da simulação computacional, através do programa EnergyPlus (que permite a análise de diferentes alternativas de projeto de maneira rápida e simplificada, torna-se possível propor melhorias às habitações residenciais - abordagem quantitativa); utilizados nessa pesquisa, vem sendo bastante difundidos entre trabalhos recentes sobre desempenho térmico de edificações e conforto térmico dos seus usuários.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados para a **avaliação térmica de habitações unifamiliares** do **Programa Minha Casa Minha Vida**, localizado no contexto climático da cidade de **Maceió – AL**, **objeto de estudo** da presente pesquisa, consistiram em **abordagens térmicas qualitativas e quantitativas**. Essas abordagens incidiram em **estudos de insolação, visualização de escoamento de ventos e simulações computacionais** de uma unidade residencial desse empreendimento, que serviu como **Modelo Base**, e de um modelo denominado de **Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas** (de modo a atender aos requisitos mínimos que a Norma NBR 15220 estabelece para a Zona Bioclimática 8, à qual pertence a cidade de Maceió – AL), quanto ao desempenho térmico e conforto térmico interno. Em um segundo momento, foi realizado um **monitoramento *in loco*** das condições térmicas internas de duas unidades residenciais reais do empreendimento, com diferentes orientações no terreno, para fins de validação dos resultados; além da definição da **estimativa de conforto térmico interno**, utilizada como parâmetro nas análises dos resultados das simulações computacionais e dos monitoramentos *in loco*.

Esses procedimentos metodológicos foram realizados em cinco etapas ao longo do trabalho, segundo a listagem a seguir:

- 1ª Etapa:** Levantamento de Dados;
- 2ª Etapa:** Escolha do Objeto de Estudo;
- 3ª Etapa:** Definição do Modelo Base;
- 4ª Etapa:** Definição do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas;
- 5ª Etapa:** Avaliação do Desempenho Térmico e Conforto Térmico Interno: Abordagens Térmicas Qualitativas e Quantitativas;

3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para subsidiar a escolha do empreendimento que serviu como objeto de estudo desta pesquisa, fez-se necessário primeiramente um levantamento dos empreendimentos habitacionais horizontais implantados pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em sua primeira fase na cidade de Maceió, entre 2009 e 2011, na FAIXA II (renda maior que três salários mínimos). Foram identificados cento e trinta empreendimentos habitacionais horizontais.

As áreas para a implantação dos empreendimentos habitacionais são selecionadas pela Caixa Econômica, sendo observados os seguintes aspectos (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2013):

Especificação do empreendimento:

✓ Casas térreas ou prédios de acordo com as características, especificações e custos pré-definidos. Com limites de até 500 unidades por módulo, ou condomínios segmentados em 250 unidades;

✓ Não incidem custos de comercialização e incorporação;

✓ O número de Unidades Habitacionais por empreendimento é estabelecido em função da área e do projeto, limitado em 500 unidades por empreendimento e nos empreendimentos na forma de condomínio devem ser segmentados em número máximo de 300 unidades habitacionais.

Referencial de especificação:

✓ Tipologia 1 – casa térrea (tipologia utilizada nesta pesquisa);

✓ Tipologia 2 – apartamento.

As especificações mínimas exigidas pelo PMCMV para a tipologia 1 – casa térrea são as seguintes:

✓ Compartimentos: Sala, cozinha, banheiro, circulação, 2 dormitórios e área externa com tanque e máquina de lavar;

✓ Área interna útil: 36,00m² (não computadas paredes e área de serviço);

✓ Piso: Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé, e desnível máximo de 15mm;

✓ Cobertura: Em telha cerâmica/concreto com forro ou de fibrocimento (espessura mínima de 5mm) com laje, sobre estrutura de madeira ou metálica. Portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à unidade. Batente em aço ou madeira desde que possibilite a inversão do sentido de abertura das portas. Vão livre de 0,80 m x 2,10 m em todas as portas. Previsão de área de aproximação para abertura das portas (0,60 m interno e 0,30 m externo), maçanetas de alavanca a 1,00 m do piso;

✓ Dimensões dos cômodos: Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20 m. Deve ser possível inscrever, em todos os cômodos, o módulo de manobra sem deslocamento para rotação de 180° definido pela NBR 9050 (1,20 m x 1,50 m), livre de obstáculos;

✓ Aquecimento solar/térmico: Instalação de kit completo – obrigatório para casas;

- ✓ Passeio: 0,50m no perímetro da construção;
- ✓ Proteção da alvenaria e fundação: Piso de concreto com 0,50m de largura ao redor da edificação;
- ✓ Calçada: Largura mínima de 0,90m.

Logo, dentro do universo dos empreendimentos habitacionais horizontais identificados pelo levantamento, foram definidos alguns critérios de escolha do objeto de estudo, listados a seguir:

- ✓ O conjunto habitacional deveria apresentar tipologia construtiva recorrente;
- ✓ O conjunto habitacional deveria apresentar facilidade de acesso e possibilidade de obtenção do projeto arquitetônico através de arquivo digital.

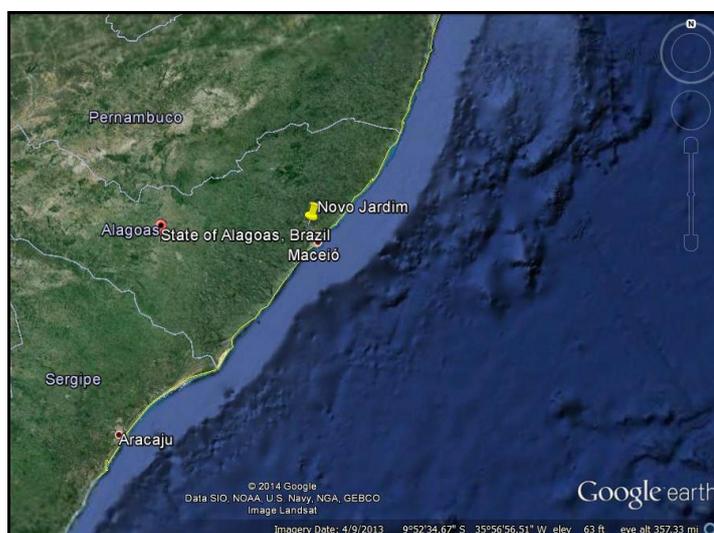
Após visitas *in loco*, para analisar individualmente as configurações arquitetônicas dos conjuntos habitacionais que atenderam os critérios definidos, foi selecionado como objeto de estudo o empreendimento Residencial Novo Jardim, descrito a seguir.

3.2. O OBJETO DE ESTUDO

3.2.1. Caracterização

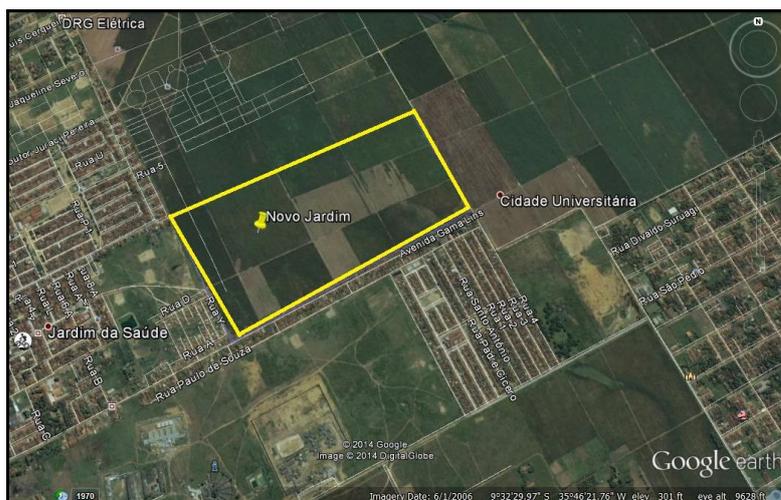
O Residencial Novo Jardim, objeto de estudo da pesquisa, está localizado na Rua Dr. Juracy Teixeira, S/N, Conjunto Estádio Gomes, no bairro Tabuleiro dos Martins, em Maceió- AL (figuras 04 e 05).

Figura 04: Localização do Residencial Novo Jardim, no Estado de Alagoas.



Fonte: Google Earth (2014).

Figura 05: Localização do loteamento do Residencial Novo Jardim, na cidade de Maceió - AL.

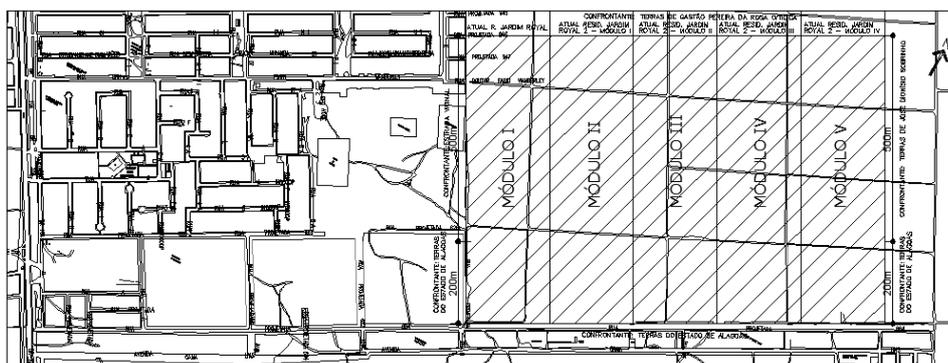


Fonte: Google Earth (2014).

O Residencial Novo Jardim é constituído por 05 módulos de unidades residenciais, conforme mostra a Planta de Situação do Residencial Novo Jardim (figura 06). Cada um desses cinco módulos contém:

- Sistema viário com ruas denominadas de Rua Projetada, com secção transversal de 9,00m;
- 61 áreas verdes;
- 05 áreas com equipamentos comunitários, sendo uma em cada Módulo;
- 05 áreas destinadas ao Canal de Drenagem, sendo uma em cada Módulo.
- Lotes: o módulo I contém um total de 527 lotes, o módulo II contém um total de 526 lotes, o módulo III contém um total de 526 lotes, o módulo IV contém um total de 526 lotes e o módulo V contém um total de 379 lotes, sendo 02 comerciais.

Figura 06: Planta de Situação do Residencial Novo Jardim.



Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

No quadro abaixo, podemos visualizar os usos do solo de acordo com a área ocupada e o seu percentual no terreno (tabela 01).

Tabela 01: Quadro geral dos Usos do Solo.

DISCRIMINAÇÃO	ÁREA	PERCENTUAL
Área Reservadas para Lotes	345.415,88 m ²	49,34 %
Áreas Verdes	99.212,11 m ²	14,173 %
Áreas para Equip. Comunitários	37.670,87 m ²	5,381 %
Áreas de Vias + Calçadas	198.571,31 m ²	28,367 %
Área Destinada ao Canal de Drenagem	19.129,83 m ²	2,734 %
Área da Gleba	700.000,00 m ²	100 %

Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

Quanto aos lotes, o módulo I contém os seus lotes distribuídos em 29 quadras, que são denominadas em ordem alfabética de "A-I" a "Z-I" e de A1-I a C1-I; o módulo II contém os seus lotes distribuídos em 26 quadras, que são denominadas em ordem alfabética de "A-II" a "Z-II"; o módulo III contém os seus lotes distribuídos em 26 quadras, que são denominadas em ordem alfabética de "A-III" a "Z-III"; o módulo IV contém os seus lotes distribuídos em 26 quadras, que são denominadas em ordem alfabética de "A-IV" a "Z-IV" e o módulo V contém os seus lotes distribuídos em 19 quadras; que são denominadas em ordem alfabética de "A-V" a "S-V". Composto por 2.482 unidades residenciais (figura 07)

Figura 07: Maquete de Implantação das unidades residenciais do Residencial Novo Jardim.



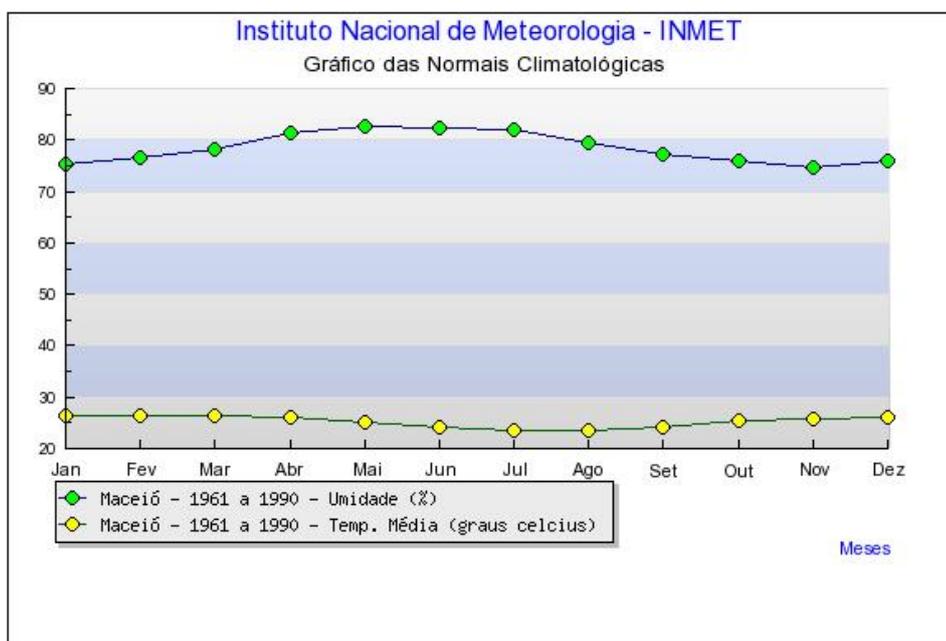
Fonte: www.engenharq.com.br. Acesso em agosto de 2013.

3.2.2. Contexto Climático

O objeto de estudo está inserido na cidade de Maceió-AL, região localizada no litoral oriental do Nordeste brasileiro (entre a Latitude 9°39'57" Sul e a Longitude 35°44'07" Oeste) as margens do Oceano Atlântico e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba. O seu clima da cidade de Maceió- AL é caracterizado como quente e úmido, com incidência de radiação solar intensa, apresentando pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura. Apresenta basicamente duas estações bem definidas: o verão, caracterizado por altas temperaturas, pouca pluviosidade com ocorrência de chuvas passageiras (outubro a janeiro); e o inverno, estação chuvosa que consiste em um período de intensa pluviosidade e temperaturas mais baixas, de abril a julho (BRASIL, 1992).

Maceió possui alta umidade relativa média anual do ar, chegando a 78,3% e a temperatura média anual de Maceió fica em torno de 24,8 °C, com variação anual de 2,8 °C entre os valores médios mensais de temperaturas médias, mostrados no gráfico 01 (INMET, 1990).

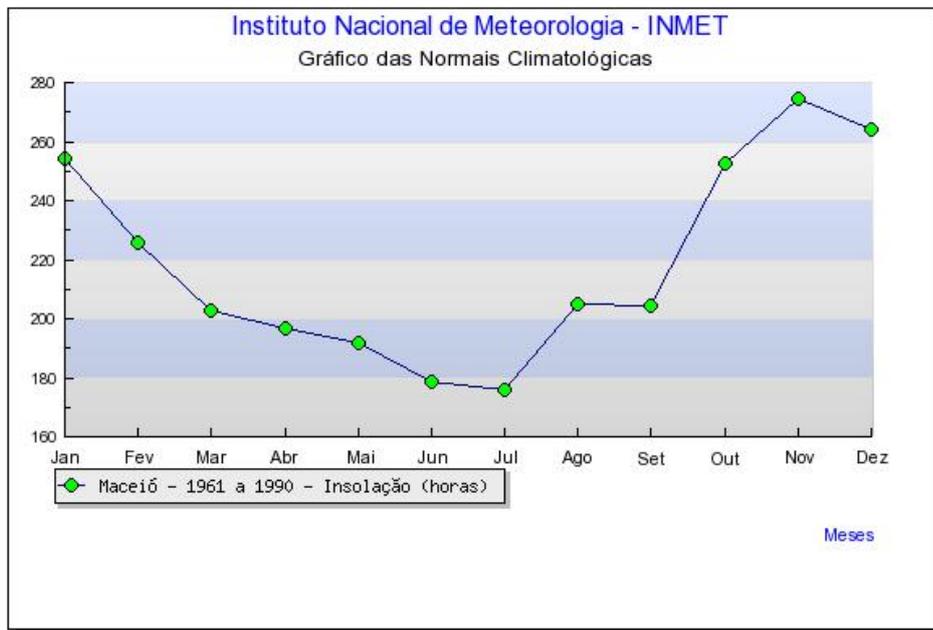
Gráfico 01: Valores mensais de umidade relativa (%) e de Temperatura Média (°C) na cidade de Maceió-AL



Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

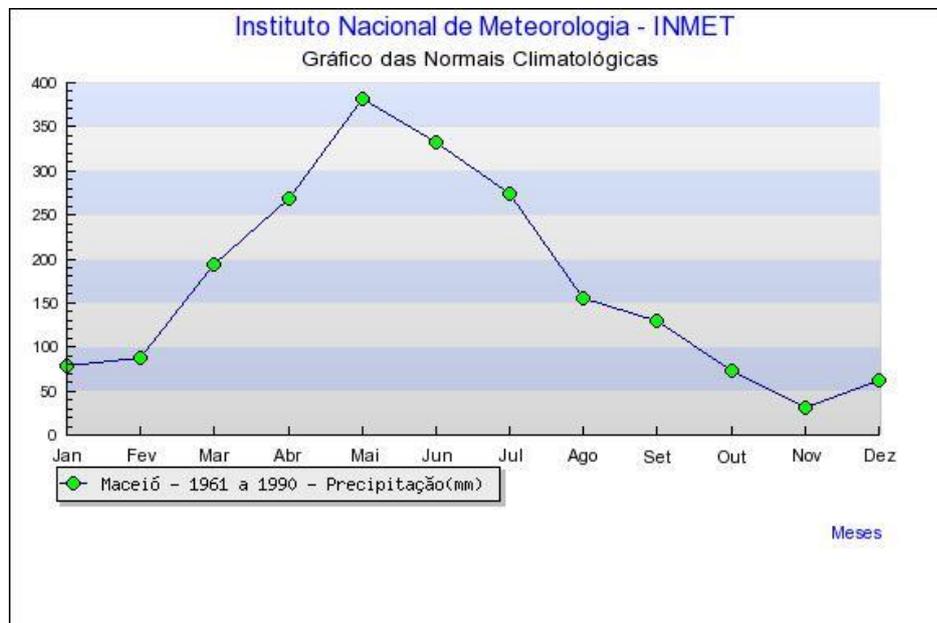
A condição típica do céu de Maceió é parcialmente nublado, onde são raras as ocorrências de céu claro (4,5% em média) e de céu nublado chegando acima de 15% (gráfico 02). A pluviosidade média anual é de 1654mm, com meses mais chuvosos de abril a julho (INMET, 1990), como mostram o gráfico 03 e a tabela 02.

Gráfico 02: Valores mensais de insolação (horas) na cidade de Maceió - AL



Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

Gráfico 03: Valores mensais de precipitações (mm) de Maceió - AL



Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

Tabela 02: Principais parâmetros meteorológicos de Maceió - AL.

Variável Climática	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Média (°C)	26,2	26,3	25,3	25,9	25,1	24,3	23,7	23,5	23,9	24,1	24,4	24,8	24,8
Temp. Máxi(°C)	30,2	30,4	30,2	29,6	28,5	27,6	27,0	27,1	27,8	29,0	29,9	30,0	28,9
Temp. Mínima (°C)	22,4	22,6	22,7	22,5	22,0	21,3	20,5	20,2	20,7	21,2	21,6	22,0	21,6
Temp. Máx. Absoluta (°C)	38,0 13/82	34,4 04/89	35,0 14/82	33,4 01/84	32,6 04/87	33,2 xx/77	31,8 31/87	30,7 10/87	32,0 02/83	34,1 30/74	34,2 34,1	34,2 31/88	38,0 – 13/01/82
Temp. Mínima Absoluta (°C)	18,8 13/84	19,1 25/76	17,4 24/79	17,8 29/82	18,0 28/81	11,3 16/80	16,0 15/76	15,9 17/76	16,0 04/81	17,4 03/74	18,2 22/78	17,9 01/74	11,3 – 16/06/80
Precipitação Total (mm)	74,8	111,0	191,0	312,6	340,7	298,3	325,1	179,0	148,4	72,7	51,9	62,1	2167,7
Precipitação – Altura Máx em 24h (mm)	100,1 31/66	152,2 20/85	200,5 03/79	407,6 28/79	149,7 02/77	137,4 27/77	185,6 12/89	91,3 26/68	109,3 29/78	90,3 16/77	140,4 22/86	89,2 21/89	407,6 – 28/04/79
Umidade Relativa (%)	75,4	76,6	78,3	81,5	82,6	79,6	82,1	79,5	77,2	76,0	74,7	75,8	78,3
Insolação total (horas e décimos)	254,2	225,7	203,0	179,4	191,8	178,6	176,0	205,2	204,6	252,4	274,7	264,2	2609,7
Nebulosidade (0-10)	5,9	6,0	6,3	6,8	6,8	6,8	6,8	6,3	6,2	5,5	5,5	5,6	6,2

Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

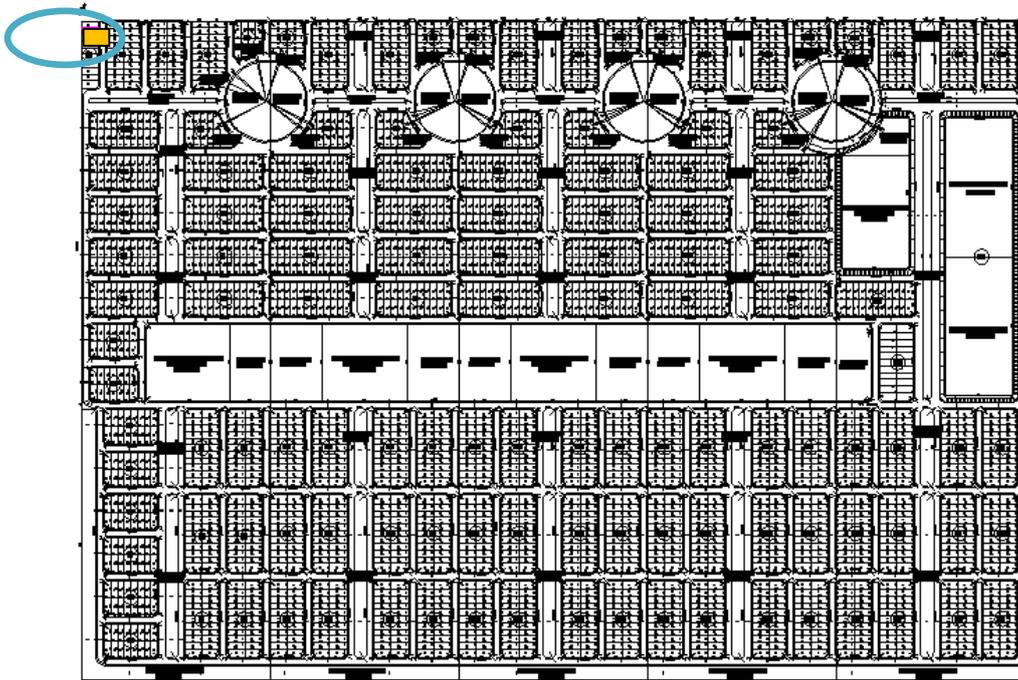
Quanto à predominância dos ventos na cidade de Maceió, os ventos alísios no sudeste são mais frequentes (de velocidade fraca a moderada), mas os ventos de retorno do Nordeste também estão presentes nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março). O valor médio mensal da velocidade de vento é de 2,8m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10m/s na direção Nordeste.

3.3. DEFINIÇÃO DO MODELO BASE

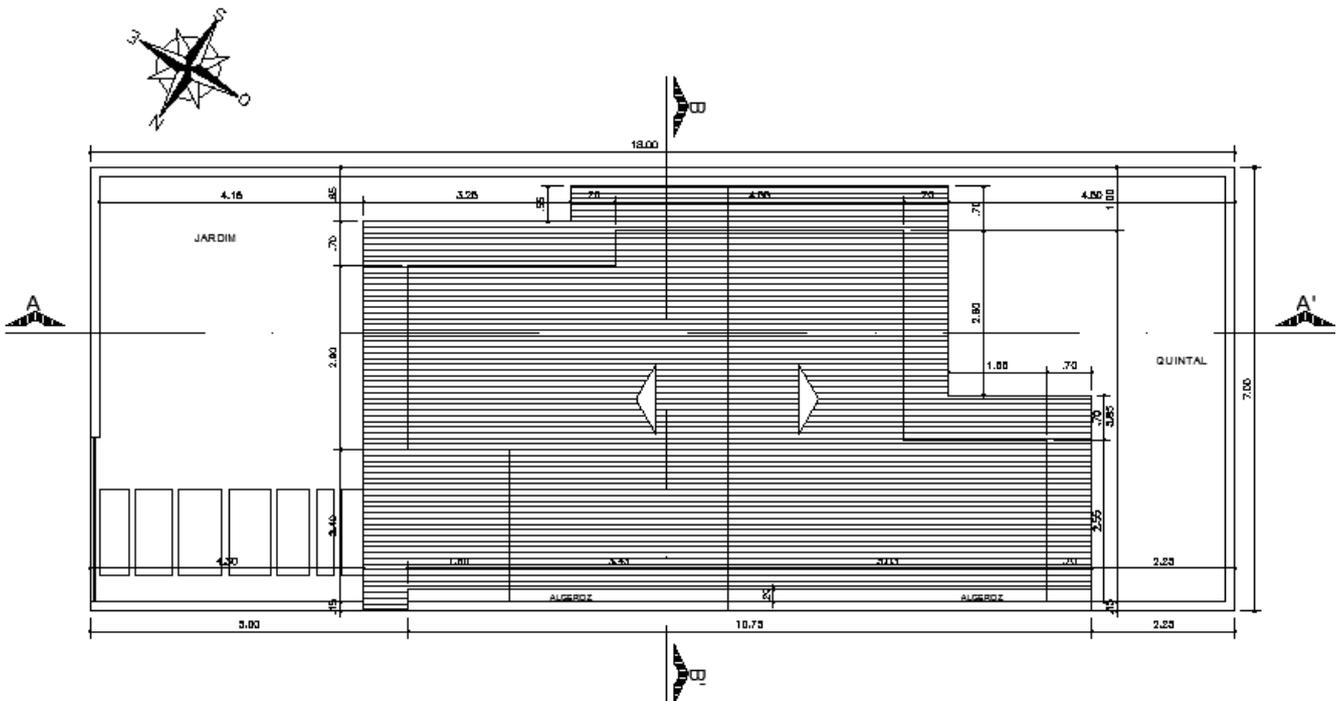
3.3.1 Geometria

Dentro do empreendimento definido como objeto de estudo, foi selecionada uma unidade residencial que serviu como Modelo Base (localizada no Lote 02, Quadra A do Módulo I). Essa unidade residencial não é geminada e possui área construída de 51,00m², dividida em dois quartos (quarto casal com 8,40m² e quarto filhos com 6,60m²), uma sala estar/jantar com 12,70m², uma cozinha com 6,50m², uma circulação com 3,45m², um banheiro com 2,40m² e um terraço com 3,00m². O pé direito da edificação é de 2,6m (figura 08).

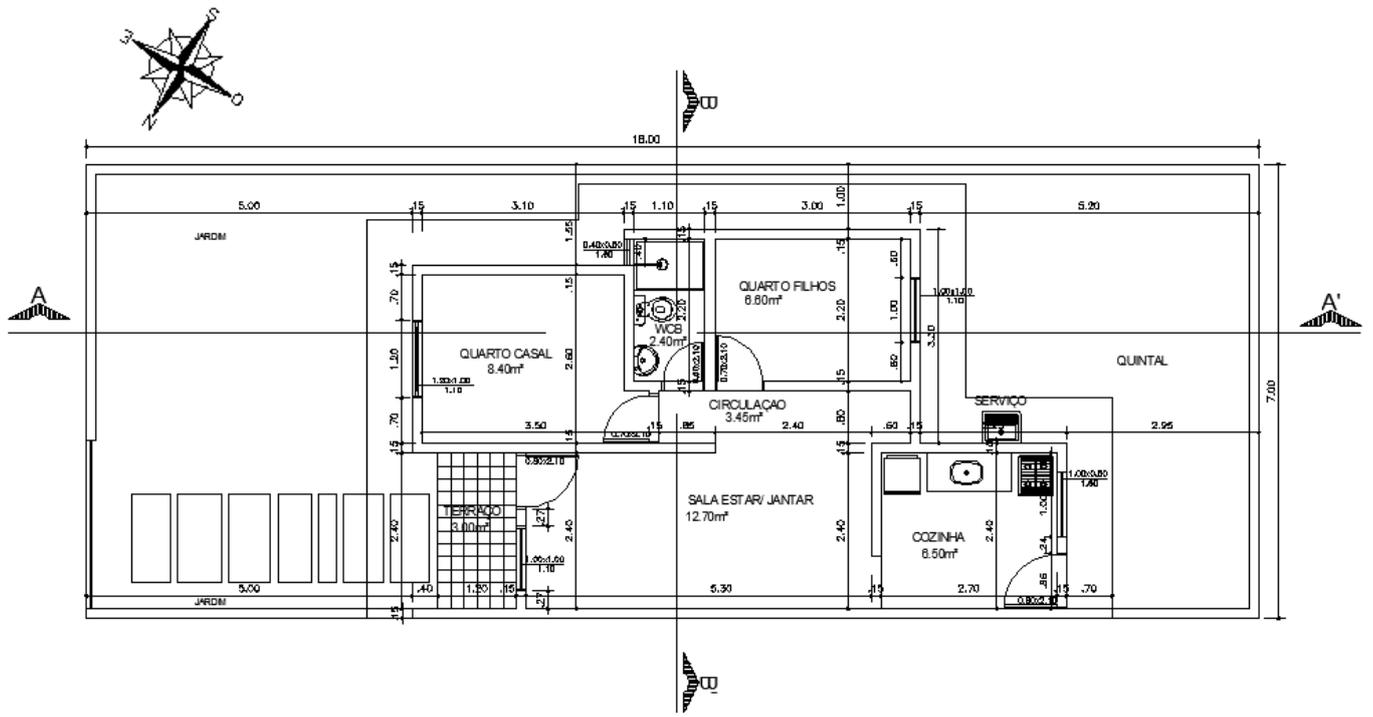
Figura 08: Peças Gráficas do Modelo Base. a) Planta de Implantação Geral do Empreendimento, com Destaque no Lote do Modelo Base – Sem Escala, b) Planta de Locação e Coberta - Escala: 1/100, c) Planta Baixa - Escala: 1/100, d) Corte AA' - Escala: 1/100 e e) Corte BB' - Escala:1/100.



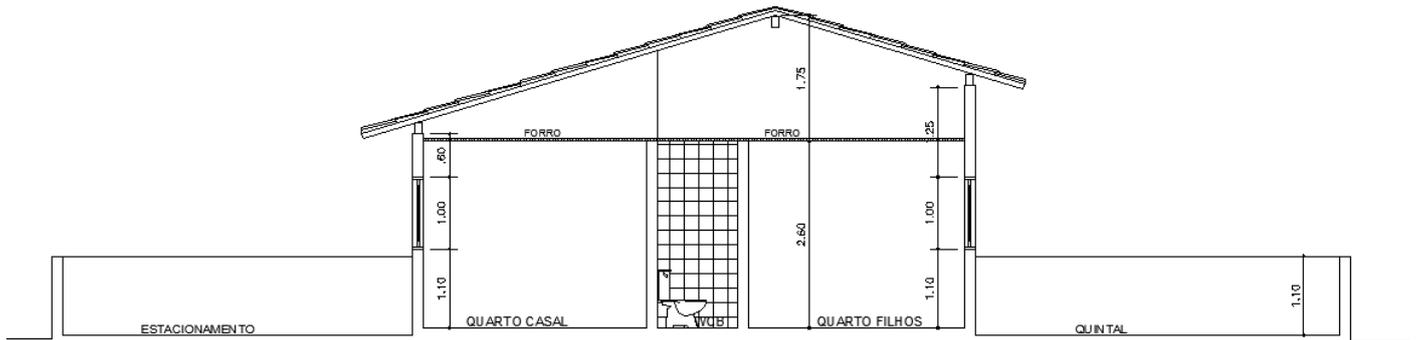
a)



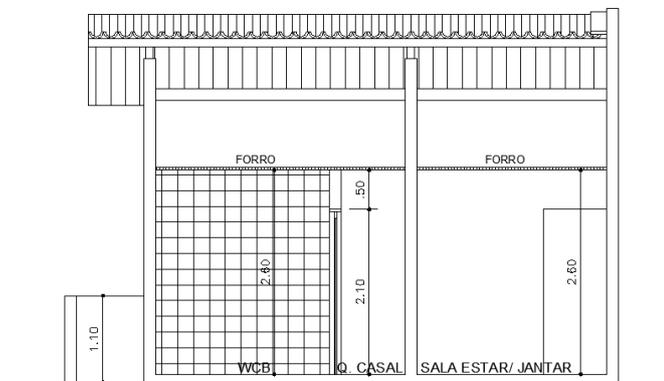
b)



c)



d)



e)

Fonte: Construtora Engenharq (2004).

3.3.2. Envelope: Propriedades Térmicas dos Componentes Construtivos

O quadro 06 a seguir trás o envelope utilizado no Modelo Base, com ilustrações e áreas dos ambientes internos desse Modelo.

Quadro 06: Síntese do envelope do Modelo Base.

AMBIENTES INTERNOS DO MODELO BASE	
<p>Sala Estar/ jantar</p>  <p>Teto: forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca, com absorvância (α) de 0,20.</p> <p>Piso: cerâmica 34x34, cor cristal branco, tipo A.</p>	<p>Cozinha</p>  <p>Porta externa: em alumínio anodizado natural fosco, com vidro simples de 3mm de espessura.</p>
<p>Quarto Casal</p>  <p>Janela: em alumínio anodizado natural fosco, com vidro simples de 3mm de espessura.</p>	<p>Quarto Filhos</p>  <p>Parede: alvenaria de tijolos de seis furos quadrados, assentados na menor dimensão, com dimensões de 9,0x14,0x19,0cm, pintada na cor branca.</p> <p>Absorvância (α) térmica da parede de 0,20 e transmitância térmica (U) de 2,48W/m²K, a capacidade térmica é 159 kJ/m².K e o atraso térmico é de 3.3 horas (ABNT. 2005).</p>
<p>W.C.B</p>  <p>Porta interna: são em madeira mista prensada, pintadas na cor branca.</p>	<p>Terraço</p>  <p>Coberta: composta de telha colonial cerâmica de 1,0 cm.</p> <p>Absorvância (α) de 0,80, transmitância térmica de 2,24 W/m²K, capacidade térmica de 84 kJ/m².K e atraso térmico de 2,6 horas (ABNT, 2005).</p>

Fonte: Acervo da autora.

3.4. DEFINIÇÃO DO MODELO COM ALTERAÇÃO NA ÁREA DE ABERTURA DAS JANELAS

Para a definição do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, primeiramente fez-se necessário analisar as dimensões das aberturas das janelas do Modelo Base conforme os requisitos mínimos que as Normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelecem para a Zona Bioclimática 8. Logo, as aberturas do Modelo Base foram divididas em dois tipos:

- **Área de abertura das janelas 01**, que atende aos requisitos de áreas mínimas das aberturas para ventilação de todos os ambientes internos (grandes aberturas para ventilação, maior que 40% da área do piso), segundo a Norma **NBR 15220 (ABNT, 2005)**;
- **Área de abertura das janelas 02**, que atende aos requisitos de áreas mínimas das aberturas para ventilação dos dormitórios e salas de estar (maior ou igual a 8% da área do piso), segundo a Norma **NBR 15575 (ABNT, 2013)**;

A tabela 03 a seguir, sintetiza as dimensões e porcentagens encontradas na análise do Modelo Base, conforme as definições estabelecidas para as aberturas de ventilação efetiva 01 e abertura de ventilação efetiva 02.

Tabela 03: Estudo das aberturas das janelas para a ventilação do Modelo Base.

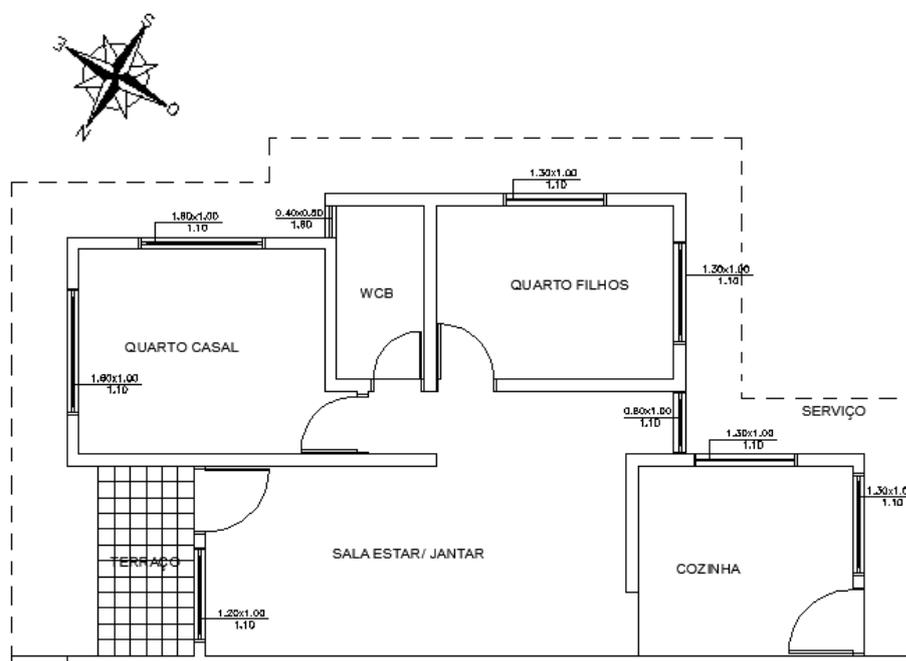
Medidas das aberturas das janelas para ventilação (m) e relação entre Área do piso/Área para ventilação (%)					
Ambientes	Modelo Base (m)	Área (m ²)	Modelo Base (%)	Área de abertura das janelas 01- 40% (m)	Área de abertura das janelas 02 – 8% (m)
				NBR 15220 (ABNT, 2005)	NBR 15575 (ABNT, 2013)
Sala estar/jantar	$\frac{1,00 \times 1,00}{1,10}$	12,70	7,80	$\frac{1,20 \times 1,00}{1,10}$ (Sala estar/ jantar) + $\frac{0,80 \times 1,00}{1,10}$ (Circulação)	$\frac{1,10 \times 1,00}{1,10}$
Quarto Casal	$\frac{1,20 \times 1,00}{1,10}$	8,40	14,30	$\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$ + $\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$	$\frac{1,20 \times 1,00}{1,10}$
Quarto Filhos	$\frac{1,00 \times 1,00}{1,10}$	6,60	15,15	$\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$ + $\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$	$\frac{1,00 \times 1,00}{1,10}$
Cozinha	$\frac{1,00 \times 0,50}{1,60}$	6,50	7,70	$\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$ + $\frac{1,30 \times 1,00}{1,10}$	$\frac{1,10 \times 0,50}{1,60}$

Segundo a análise da tabela 03, foi possível perceber que dos quatro ambientes em estudo do Modelo Base dois não atenderam aos requisitos mínimos que a Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece (8% da área do piso). Na cozinha e as salas estar/ jantar; esse requisito não foi preenchido por uma diferença mínima de 10 cm, o que não acarreta mudanças significativas no estudo de desempenho térmico para esse modelo.

Ressalte-se aqui que o requisito de 8% exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) é muito inferior ao estabelecido pela NBR 15220-3 (ANBT, 2005), de 40%, o que pode significar prejuízos para a obtenção de níveis aceitáveis de escoamento de ar interno em ambientes.

Por este motivo, foi utilizada a área de abertura das janelas 01 para o segundo modelo analisado, denominado de Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, que compõe o Modelo Base com modificações apenas nas áreas de abertura das janelas, para ventilação em 40% da área do piso, ampliadas de acordo com a norma NBR 15220-3 (ANBT, 2005). Seguindo o modelo arquitetônico a seguir (figura 09):

Figura 09: Planta Baixa do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas - Escala: 1/100.



Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

3.5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E CONFORTO TÉRMICO INTERNO

Esta avaliação foi realizada através de abordagens térmicas qualitativas e quantitativas.

3.5.1. Abordagem Térmica Qualitativa

A abordagem térmica qualitativa consistiu dos estudos de insolação e visualização dos efeitos do escoamento de ar, descritos a seguir.

3.5.1.1. Estudo da Insolação das Fachadas

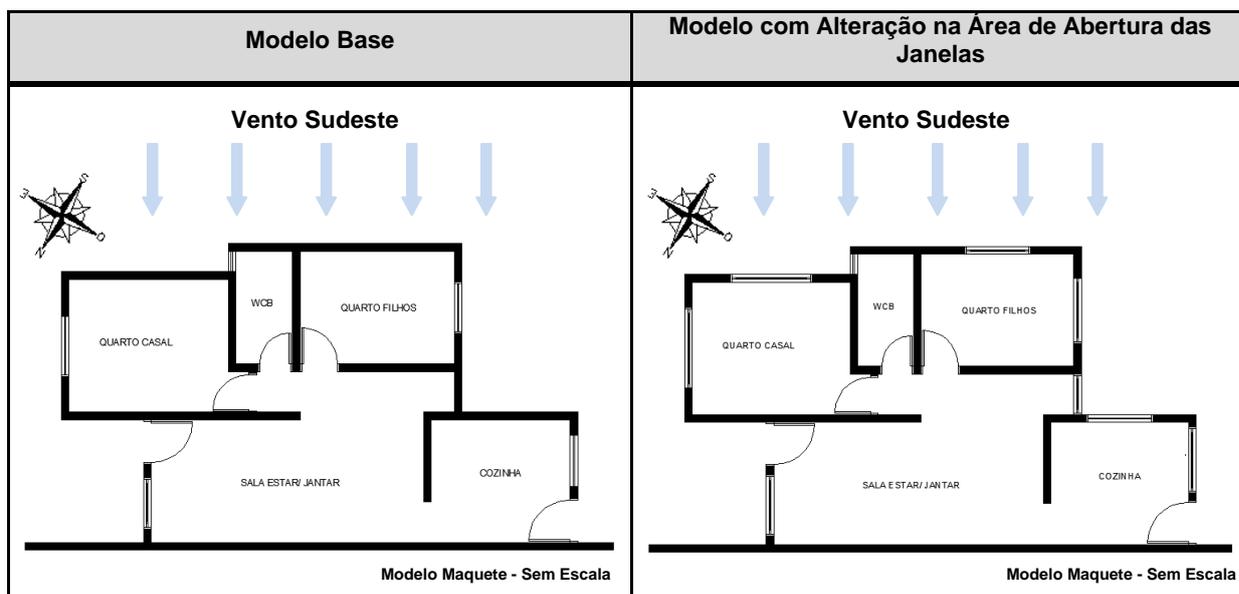
Os estudos de insolação das fachadas dos dois modelos estudados foram realizados com base em análises das cartas solares e das máscaras de sombras, feitas através do programa computacional Analysis Sol-Ar (LABEEE, 2009), conforme as orientações das janelas dos projetos arquitetônicos do Modelo Base (figura 08) e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (figura 09). Com o intuito de identificar, nessas fachadas simuladas, quais são os horários de maior incidência direta de radiação solar e sugerir o uso de protetores solares quando necessário.

3.5.1.2. Visualização dos Efeitos do Escoamento de Ar

A Visualização dos efeitos do escoamento de ar foi realizada com a utilização do equipamento Mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFAL, nos ambientes internos do Modelo Base e do Modelo com Alteração nas Áreas de Aberturas das Janelas, através da análise do percurso e a identificação das aberturas de entrada e saída do escoamento de ar no interior dos ambientes;

As maquetes físicas das plantas baixas dos dois modelos analisados foram confeccionadas na escala 1/50, e simuladas conforme as mesmas orientações encontradas no projeto arquitetônico real do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas; Considerando a predominância do vento Sudeste. Como mostra a figura 10, a seguir.

Figura 10: Orientação das maquetes dos modelos estudados em relação ao vento Sudeste (vento predominante na cidade de Maceió- AL).



3.5.2. Abordagem Térmica Quantitativa

A abordagem térmica quantitativa consistiu de três etapas: 1ª etapa - Simulação computacional das variáveis ambientais dos respectivos modelos; 2ª etapa - Monitoramento *in loco* de duas unidades habitacionais reais do empreendimento escolhido como objeto de estudo, correspondente ao modelo Base, mas com diferentes orientações; e 3ª etapa - Definição da estimativa de conforto térmico interno, utilizado como parâmetro nas análises dos resultados das simulações computacionais e dos monitoramentos *in loco*. Essas etapas são descritas a seguir.

3.5.2.1. Simulação Computacional das Variáveis Ambientais

As simulações do Modelo Base e Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas foram feitas através do programa computacional EnergyPlus, utilizando a versão 8.1. (DOE, 2005). Os padrões de uso inseridos no programa foram definidos igualmente para os dois modelos analisados.

Estes modelos foram divididos em quatro “zonas térmicas” para serem analisadas: 1) sala estar/jantar; 2) quarto casal; 3) quarto filhos; e 4) cozinha. O banheiro não foi analisado por ser um ambiente de curta permanência. Também foram inseridos no programa computacional os dados climáticos da cidade de Maceió, extraídos através de arquivos no formato EPW, e as características construtivas dos materiais utilizados na edificação

(fundamentado na Norma Técnica NBR 15220 (ABNT, 2005); considerando-se as especificações mínimas do PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida da Caixa Econômica Federal).

A definição dos parâmetros de simulações foi baseada nas recomendações descritas nas normas NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para a zona bioclimática 8. No entanto, outras alternativas que não estão descritas nas normas, foram consideradas com o intuito de obter-se resultados mais específicos.

De acordo com a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a ventilação adequada à cidade de Maceió – AL deve ser obtida através de áreas de abertura correspondentes a 40% da área do piso para cada cômodo e devem ser sombreadas. Já de acordo com a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2013), as áreas de abertura devem corresponder a 8% da área do piso para cada cômodo. Com relação às vedações externas a norma NBR 15220-3 cita que a parede deve ser leve refletora, ou seja, ter uma transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,60 W/m².K, atraso térmico (ϕ) de até 4,3 h, e Fator de Ganho de Calor Solar (FCS) menor ou igual a 4,0. E a cobertura deve ser leve refletora, ou seja, ter uma transmitância térmica (U) menor ou igual a 2,30.W/m².K, atraso térmico (ϕ) de até 3,3 h, e Fator de Ganho de Calor Solar (FCS) menor ou igual a 6,5.

Tendo em vista a influência que determinados parâmetros possuem sobre o desempenho térmico e o conforto térmico dos usuários de empreendimentos habitacionais horizontais, foram definidos parâmetros de simulação fixos e variáveis para o Modelo Base e para o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, descritos a seguir. O quadro 07 a seguir, sintetiza os parâmetros de simulação considerados nesta pesquisa.

a) TIPOS DE PAREDE: foram selecionadas duas opções de paredes (uma referente ao Modelo Base e outra selecionada conforme os valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220, (ABNT, 2005) com o intuito de verificar a sensibilidade do programa EnergyPlus as recomendações dessa norma).

a.1) Parede de tijolos seis furos quadrados (9,0x14,0x19,0cm), assentados na menor dimensão, espessura da argamassa de assentamento com 1,0 cm, espessura da argamassa de emboço com 2,5 cm, espessura total da parede com 14,0 cm e pintura na cor branca (pintura encontrada na maioria das unidades residenciais do empreendimento em estudo). Absorvância (α) térmica da parede de 0,20 e transmitância térmica (U) de 2,48W/m²K;

a.2) Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro (pintura encontrada em algumas unidades residenciais do empreendimento em

estudo). Absortância (α) térmica da parede de 0,97 e transmitância térmica (U) de 4,40W/m²K.

b) TIPOS DE COBERTURA: foram selecionadas duas opções de coberturas (uma referente ao Modelo Base e outra selecionada conforme os valores de absortância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) com o intuito de verificar a sensibilidade do programa EnergyPlus as recomendações dessa norma).

b.1) Cobertura composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca, absortância (α) de 0,20 e telha colonial cerâmica de 1,0 cm, absortância (α) de 0,80. Transmitância térmica (U) de 2,24 W/m²K;

b.2) Cobertura de telha de barro sem forro, com espessura da telha de 1,0 cm. Absortância (α) de 0,80 e transmitância térmica (U) de 4,55 W/m²K.

c) PERÍODOS DE VENTILAÇÃO UTILIZADOS: considerou-se 50% da área aberta para as janelas de correr e 100% da área aberta para as portas de giro.

c.1) Entrada de ventilação natural em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h);

c.2) Entrada de ventilação natural constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro).

d) ORIENTAÇÕES DOS MODELOS: os dois modelos estudados foram simulados em duas orientações existentes no empreendimento residencial utilizado como objeto de estudo (figura 13).

d.1) Lote 04, Quadra H do Módulo I, com fachada principal orientada a noroeste no terreno (figura 11);

d.2) Lote 02, Quadra A do Módulo I, com fachada principal orientada a nordeste no terreno (figura 12).

e) SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS: foram analisadas de duas formas.

e.1) Apenas utilizando o beiral existe no projeto arquitetônico real dos Modelos (0,70cm);

e.2) Utilizando o beiral existe no projeto arquitetônico real dos Modelos (0,70cm), com o acréscimo de protetores solares mistos (ver item 4.1.1.).

Quadro 07: Síntese dos parâmetros fixos e parâmetros variáveis utilizados nas simulações computacionais do Modelo Base e do Modelo com Alteração na área de Abertura das Janelas.

PARÂMETROS FIXOS	PARÂMETROS VARIÁVEIS
<ul style="list-style-type: none"> • Planta baixa dos dois modelos analisados (Modelo Base e Modelo com Alteração na área de Abertura de Ventilação). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de parede (a.1 e a.2); • Tipos de cobertura (b.1 e b.2); • Períodos de ventilação utilizados (c.1 e c.2); • Orientações dos Modelos (d.1 e d.2); • Sombreamento das aberturas (e.1 e e.2);

Com o intuito de comparar o desempenho térmico e o conforto térmico interno do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, foram feitas dez composições com os parâmetros variáveis, anteriormente citados, para os dois modelos analisados (oito composições sem o uso de protetores solares e duas composições com o uso de protetores solares). No total foram realizadas vinte simulações (dez simulações para o modelo base + dez simulações para o modelo com alteração). O Quadro 08 a seguir apresenta as composições utilizadas nas simulações, sem o uso de protetores, com destaque nas alterações realizadas a partir das **Simulações 01 e 05**.

Quadro 08: composição dos parâmetros variáveis dos Modelos em estudo, para a simulação computacional, com destaque nas alterações entre as simulações.

Simulação 01	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; • Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; • Entrada de ventilação natural: em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a nordeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
Simulação 02	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; • Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; • Entrada de ventilação natural: em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.

<p>Simulação 03</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; • Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; • <u>Entrada de ventilação natural:</u> constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a nordeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
<p>Simulação 04</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; • Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; • <u>Entrada de ventilação natural:</u> constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • <u>Orientação do modelo:</u> com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
<p>Simulação 05</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; • Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; • Entrada de ventilação natural: em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a nordeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
<p>Simulação 06</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; • Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro. • Entrada de ventilação natural: em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h); • <u>Orientação do modelo:</u> com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
<p>Simulação 07</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; • Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; • <u>Entrada de ventilação natural:</u> constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a nordeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.

Simulação 08	<ul style="list-style-type: none"> • Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; • Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; • <u>Entrada de ventilação natural:</u> constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • <u>Orientação do modelo:</u> com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: sem protetores solares.
---------------------	--

Depois de realizadas as simulações dos dois modelos, atendendo as composições descritas no quadro 08, foram gerados gráficos que representaram o comportamento térmico anual do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas no interior dos quatro ambientes (sala estar/ jantar, quarto filhos, quarto casal e cozinha).

A partir da análise dos gráficos dos dois modelos analisados nas oito simulações, foram selecionadas as duas simulações com os resultados de desempenho térmico e conforto térmico interno menos favorável. Com o intuito de estabelecer mais duas composições (**Simulação 09 e Simulação 10**), que incluíram dentre os parâmetros variáveis o uso de protetores solares; com o objetivo de observar a variação de comportamento térmico dos modelos estudados.

Outras informações relevantes utilizadas nas simulações foram:

- O padrão de ocupação dos modelos, que representa uma família composta por quatro moradores (um casal e dois filhos). A ocupação máxima para cada quarto são para duas pessoas, já as ocupações máximas para a sala e a cozinha são para os quatro integrantes da família. A ocupação do banheiro não foi considerada na análise, por ser um ambiente de curta permanência. Foi utilizado apenas um padrão de ocupação para todos os dias da semana.

- As rotinas de iluminação, que considerou o uso da iluminação artificial no horário noturno de ocupação dos ambientes (18h00min às 00h00min) e a iluminação natural nos períodos da manhã e da tarde.

- As temperaturas do solo, que foram calculadas através do programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*. O programa calculou a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas do Modelo Base.

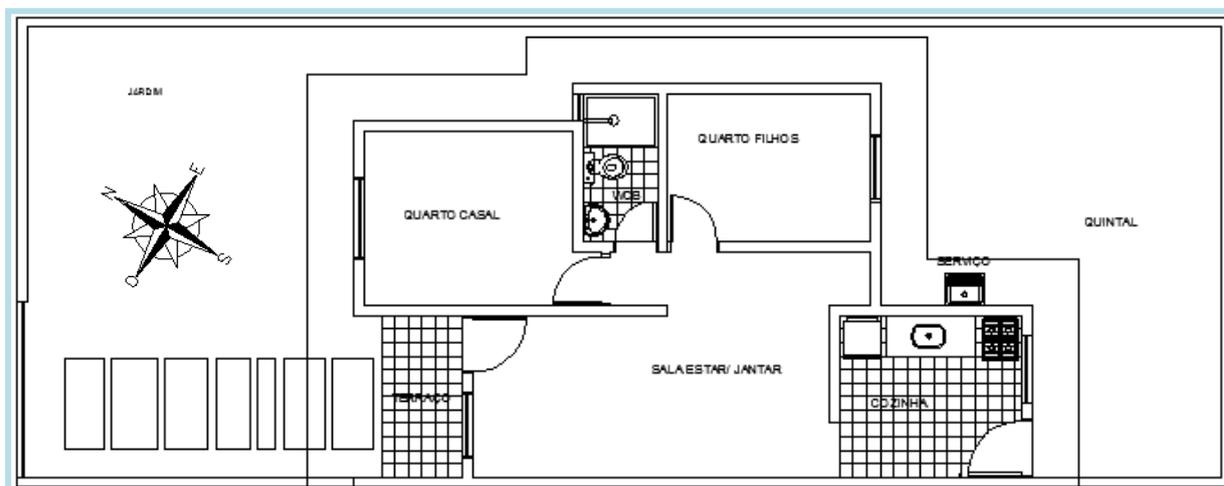
3.5.2.2. Monitoramento *In Loco* das Variáveis Ambientais

Foram realizados monitoramentos *in loco* simultâneos em duas unidades residenciais selecionadas para as análises, orientadas a noroeste e a nordeste no terreno, utilizando dois equipamentos HOBBO *Data Loggers*, Marca Onset Computer Corporation, modelo UX100 - 003. Um equipamento foi utilizado no monitoramento da sala estar/jantar e o outro equipamento utilizado no monitoramento do quarto filhos, nas duas unidades residenciais estudadas, presos na parede a uma altura de 1,20 m do piso. Esses equipamentos de medição foram programados para registrar os dados de temperatura interna a cada hora do dia, e posteriormente foram calculadas as médias horárias a partir de seus valores.

As duas unidades residenciais monitoradas foram as mesmas utilizadas nas simulações computacionais, que seguem as orientações no terreno descritas no anexo A da norma NBR 15575-1 Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) para o período do verão (figura 13).

A primeira unidade residencial selecionada está localizada no Lote 04, Quadra H do Módulo I, orientada a noroeste no terreno. Essa unidade possui a janela da sala estar/jantar na fachada noroeste e a janela do quarto filhos na fachada sudeste (figura 11).

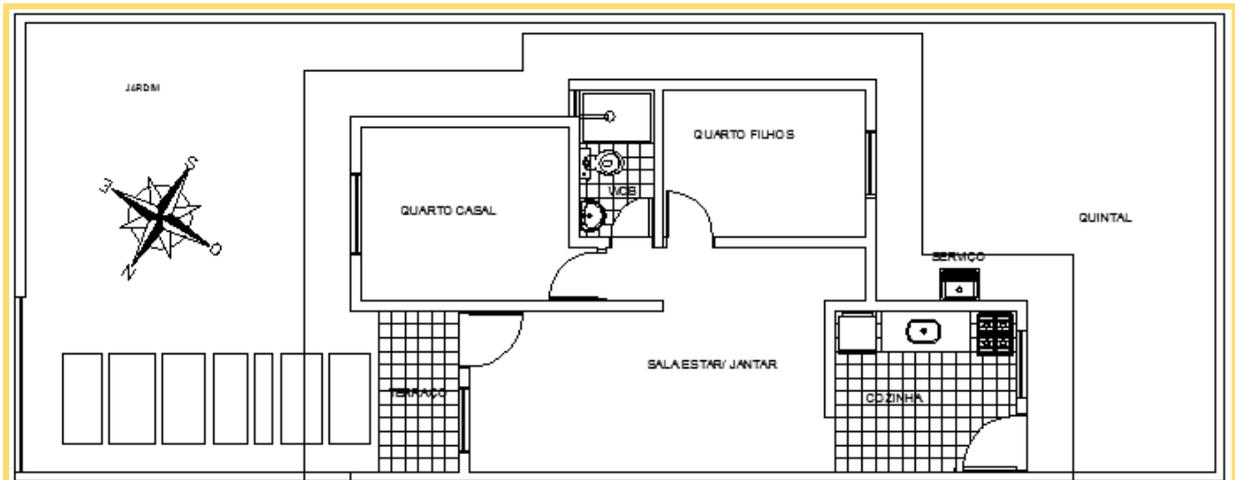
Figura 11: Planta baixa da primeira unidade residencial utilizada no monitoramento *in loco* - Escala 1/100.



Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

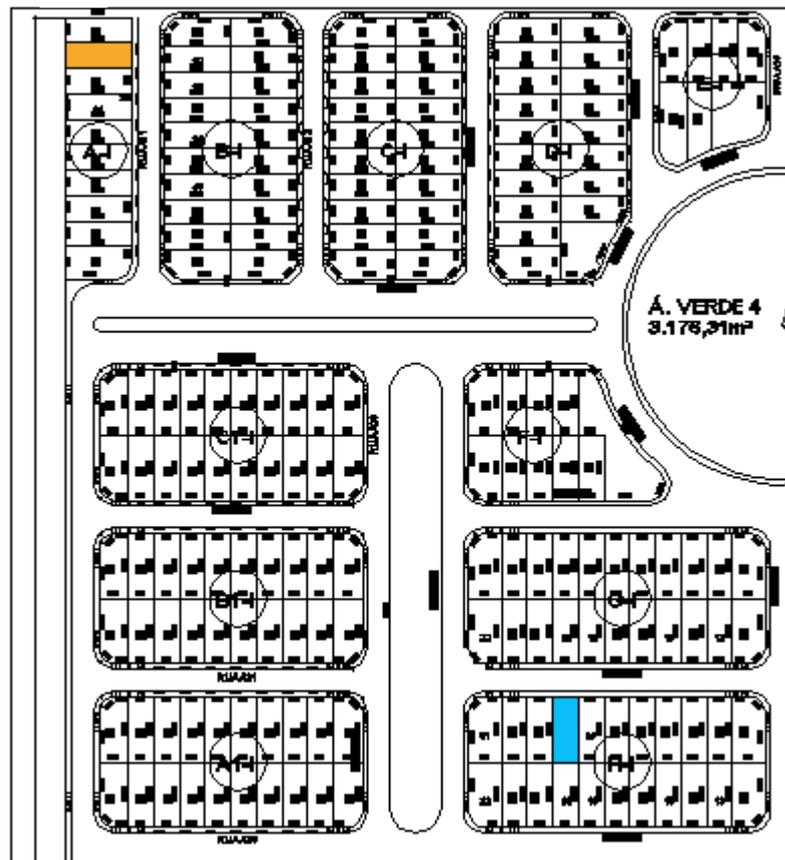
A segunda unidade residencial selecionada está localizada no Lote 02, Quadra A do Módulo I, orientada a nordeste no terreno. Essa unidade possui a janela da sala estar/jantar na fachada nordeste e a janela do quarto filhos na fachada sudoeste (figura 12).

Figura 12: Planta baixa da segunda unidade residencial utilizada no monitoramento *in loco*- Escala 1/100.



Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

Figura 13: Planta de implantação do Residencial Novo Jardim com recorte, para o destaque das duas unidades residenciais utilizadas tanto nas simulações, quanto nos monitoramentos *in loco* – Sem escala.



Fonte: Construtora ENGENHARQ (2014).

O equipamento HOBO *Data Loggers*, Marca Onset Computer Corporation, modelo UX100-003 (figura 14), utilizado nesta pesquisa, serve para medir e armazenar dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar (precisão de 3,5%) em ambientes internos com seus sensores integrados. Os seus valores armazenados são transferidos para o computador através do programa HOBOWare (Software for HOBO U-Series Data Loggers & Devices), versão 2, para Windows.

Figura 14: HOBO UX100-003 Data Logger - Onset Computer Corporation.



Fonte: www.onsetcomp.com. Acesso em 04 de novembro de 2014.

As unidades residenciais foram monitoradas conforme os seguintes parâmetros: do dia 10 a 16 de novembro de 2014; com entrada de ventilação natural em período parcial (com janelas e portas abertas das 7h às 22h); e com a presença dos seus usuários (um casal e dois filhos).

Foram objetivos do monitoramento *in loco*:

- Comparar os resultados de temperatura interna das salas estar/ jantar nas duas orientações das unidades residenciais (localizadas a noroeste e a nordeste no terreno), com os resultados de temperatura externa;
- Comparar os resultados de temperaturas internas dos quartos filhos nas duas orientações das unidades residenciais (localizadas a noroeste e a nordeste no terreno), com os resultados de temperatura externa;
- Classificar as condições de conforto térmico interno desses ambientes, usando como parâmetro os índices de conforto térmico dos estudos de Pereira e Assis (2010) e Costa (2011), em concordância ao índice adaptativo 8 de DeDear e Bragger (2002) e com seu aprimoramento em Peeters et al (2009). Os índices de conforto utilizados foram: Sala Estar/ Jantar: temperatura de neutralidade de 25.5°C, temperatura superior de 29°C e temperatura inferior de 24°C; Quarto Filhos: temperatura de neutralidade de 26°C, temperatura superior de 29.5°C e temperatura inferior de 24.5°C.

Os dados da temperatura externa utilizados nesta pesquisa foram fornecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos² da cidade de Maceió – AL e são referentes aos dias das medições *in loco*.

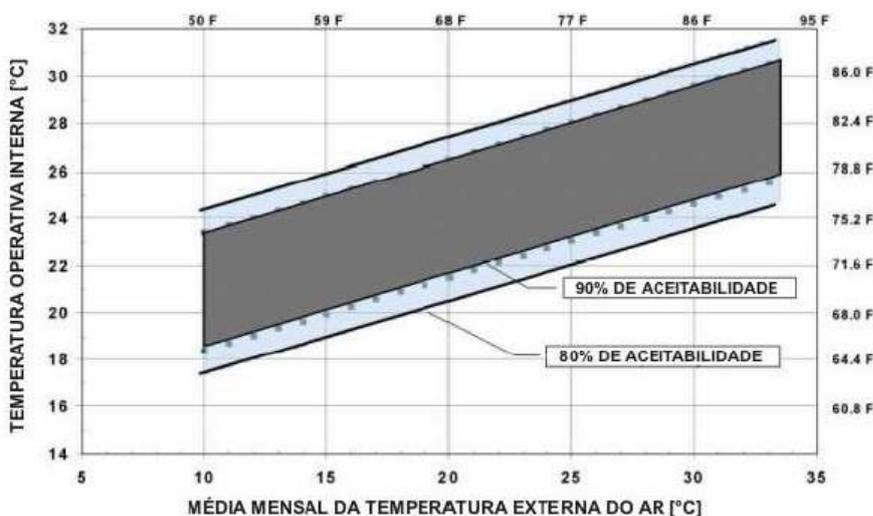
² <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima>.

3.5.2.3. Estimativa de Conforto Térmico Interno

DeDear e Bragger (2002) e Peeters et al (2009) revisaram índices adaptativos de conforto e propuseram escalas, baseadas em temperaturas de neutralidade, consideradas aceitáveis para edificações residenciais do clima quente e úmido e as dividiu em três zonas: banheiros, dormitórios e demais cômodos.

DeDear e Bragger (2002) e Peeters et al (2009) não limitaram os valores de umidade e velocidade do ar; já a faixa de temperatura de conforto foi relacionada ao valor da média mensal de temperatura externa do ar, com variação entre 17°C e 31°C, conforme o gráfico 04.

Gráfico 04: Método adaptativo – zona de conforto para edifícios naturalmente ventilados.



Fonte: ASHRAE (2004) e De Dear e Brager (2002).

A partir desses estudos, definiram a temperatura de neutralidade através da equação 1 a seguir:

$$T_n = 0.306 \times T_{e,ref} + 20.32 \text{ °C, para } T_{e,ref} \geq 11 \text{ °C}$$

Eq. 1

Onde: T_n : Temperatura de neutralidade.

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência.

Para dormitórios, a temperatura de neutralidade é definida através das equações 2, 3, 4, 5, para regiões com velocidade do ar elevadas no verão.

$$T_n = 16 \text{ °C, para } T_{e,ref} < 0 \text{ °C}$$

Eq. 2

$$T_n = 0.23 T_{e,ref} + 16, \text{ para } 0 \text{ °C} \leq T_{e,ref} < 12.6 \text{ °C}$$

Eq. 3

$T_n = 0.77 T_{e,ref} + 9.18 \text{ }^\circ\text{C}$, para $12.6 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{e,ref} < 21.8 \text{ }^\circ\text{C}$	Eq. 4
$T_n = 26 \text{ }^\circ\text{C}$, para $T_{e,ref} \geq 21.8 \text{ }^\circ\text{C}$	Eq. 5

Onde: T_n : Temperatura de neutralidade.

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência.

Para os demais cômodos são consideradas as equações 6 e 7.

$T_n = 20.4 + 0.06 \times T_{e,ref}$, para $T_{e,ref} < 12.5 \text{ }^\circ\text{C}$	Eq. 6
$T_n = 16.63 + 0.36 \times T_{e,ref}$, para $T_{e,ref} \geq 12.5 \text{ }^\circ\text{C}$	Eq. 7

Onde: T_n : Temperatura de neutralidade.

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência.

No caso das edificações residenciais de climas quentes e úmidos, consideram as equações 8 e 9 para alcançar as faixas de conforto térmico.

$T_{upper} = T_n + w \times \alpha$	Eq. 8
$T_{lower} = T_n - w (1 - \alpha)$	Eq. 9

Onde: T_{upper} = Temperatura superior.

T_{lower} = Temperatura inferior.

T_n = Temperatura de neutralidade.

$w = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (para aceitabilidade de 90%) e $\alpha = 0,7$ (para aceitabilidade de 90%).

As faixas de conforto térmico utilizadas no presente trabalho foram baseadas nas equações 5, 7, 8 e 9. A equação 5 foi utilizada para a temperatura de neutralidade dos quartos de casal e dos filhos (para temperaturas externas maiores ou iguais a $21,8 \text{ }^\circ\text{C}$, recomenda-se uma temperatura de neutralidade de $26 \text{ }^\circ\text{C}$); a equação 7 foi utilizada para a temperatura de neutralidade das salas estar/ jantar e cozinha (foi adotada a $T_{e,ref} = 24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura média anual de Maceió); a equação 9 propõe o limite de temperatura superior e a equação 10 o limite de temperatura inferior de conforto térmico interno. O percentual de aceitabilidade utilizado foi de 90%, no qual as temperaturas abaixo desse limite foram consideradas em desconforto por frio, e as temperaturas acima desse limite, em desconforto por calor. Já as temperaturas dentro desses dois limites da zona de conforto apontaram a situação de conforto térmico.

Sabe-se que normalmente em ambientes residenciais a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar é menor que 4°C. Assim, nas análises referentes às condições de conforto térmico interno das simulações e dos monitoramentos *in loco* efetuados, considerou-se a temperatura radiante média aproximadamente igual à do ar, e conseqüentemente, igual à temperatura operativa (ABNT, 2008). Além disso, a temperatura do ar é a variável climática citada no procedimento de medições da NBR 15575 -1 (ABNT, 2013).

Logo, para as análises de simulação computacional e dos monitoramentos *in loco* foram adotados os índices de conforto térmico dos estudos de Pereira e Assis (2010) e Costa (2011), em concordância ao índice adaptativo da equação 8 de DeDear e Bragger (2002) e com seu aprimoramento em Peeters et al (2009), que serviram de parâmetro para a análise de conforto térmico para os ambientes internos nos dois modelos estudados. Nas simulações computacionais foram analisados quatro ambientes internos (quarto casal, quarto filhos, cozinha e sala estar/ jantar) nos dois modelos estudados, já nas medições *in loco* foram analisados dois ambientes internos (sala estar/ jantar e quarto filhos) nos dois modelos estudados. Conforme sintetiza a tabela 04 a seguir:

Tabela 04: Limites de conforto térmico interno, utilizados nas análises dos resultados das simulações computacionais e dos monitoramentos *in loco*.

Ambientes Internos	Temperatura de Neutralidade	Zona de Conforto	
		Limite Superior de Conforto	Limite Inferior de Conforto
Sala Estar/ Jantar	25,5 °C	29 °C	24 °C
Cozinha	25,5 °C	29 °C	24 °C
Quarto Casal	26 °C	29,5 °C	24,5 °C
Quarto Filhos	26 °C	29,5 °C	24,5 °C

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

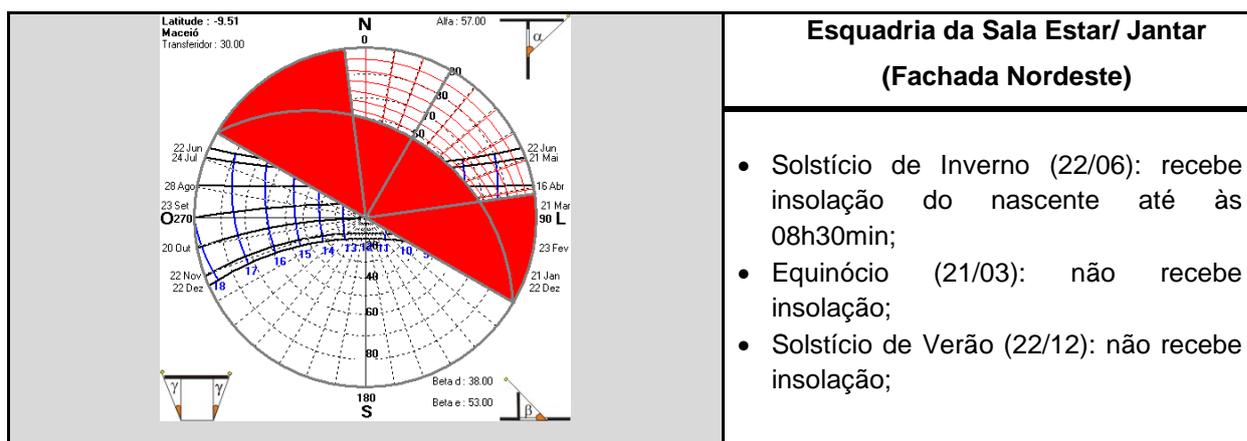
Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões da presente pesquisa, obtidos a partir das abordagens térmicas qualitativas e quantitativas dos modelos estudados e das edificações monitoradas *in loco*.

4.1. RESULTADOS DA ABORDAGEM TÉRMICA QUALITATIVA

4.1.1. Estudos de Insolação das Fachadas

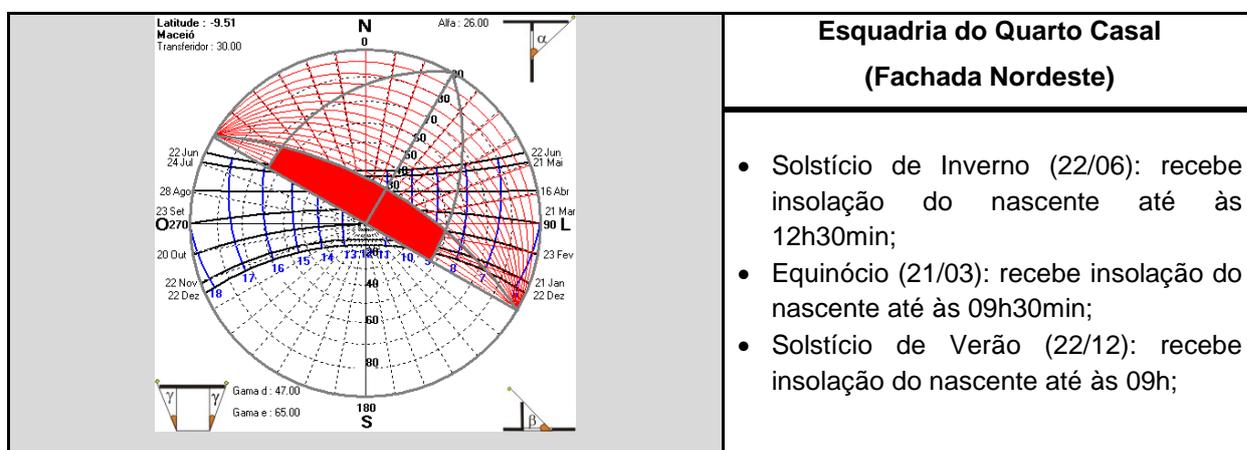
Os quadros 09, 10, 11, 12 e 13 a seguir definem as máscaras de sombra das esquadrias das fachadas nordeste e sudoeste do projeto original do Modelo Base (orientações das fachadas com janelas existentes neste modelo), sem a adição do protetor solar misto, que foi definido apenas posteriormente; e suas análises de insolação para o solstício de inverno, equinócio e solstício de verão.

Quadro 09: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo Base - Fachada Nordeste.



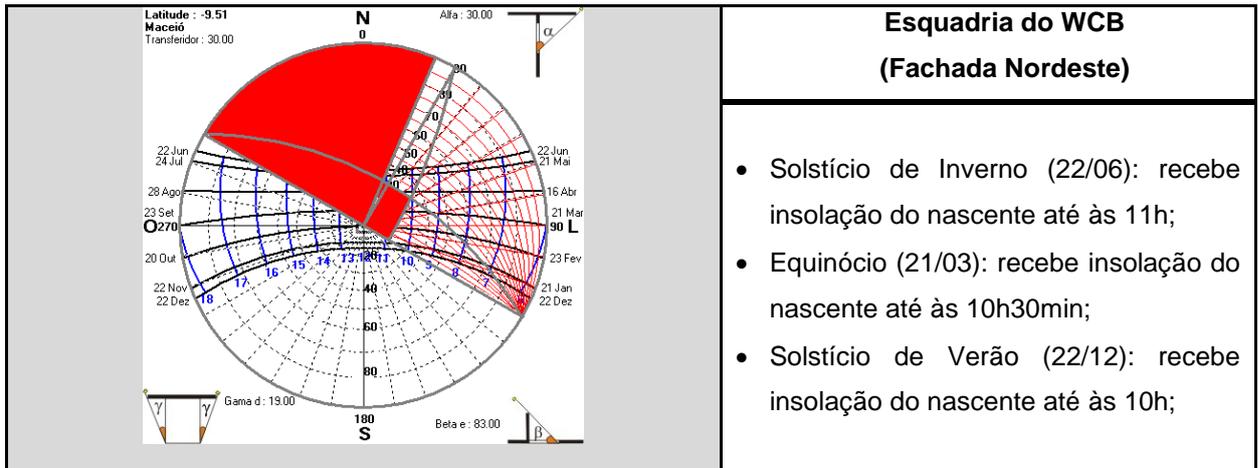
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 10: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo Base - Fachada Nordeste.



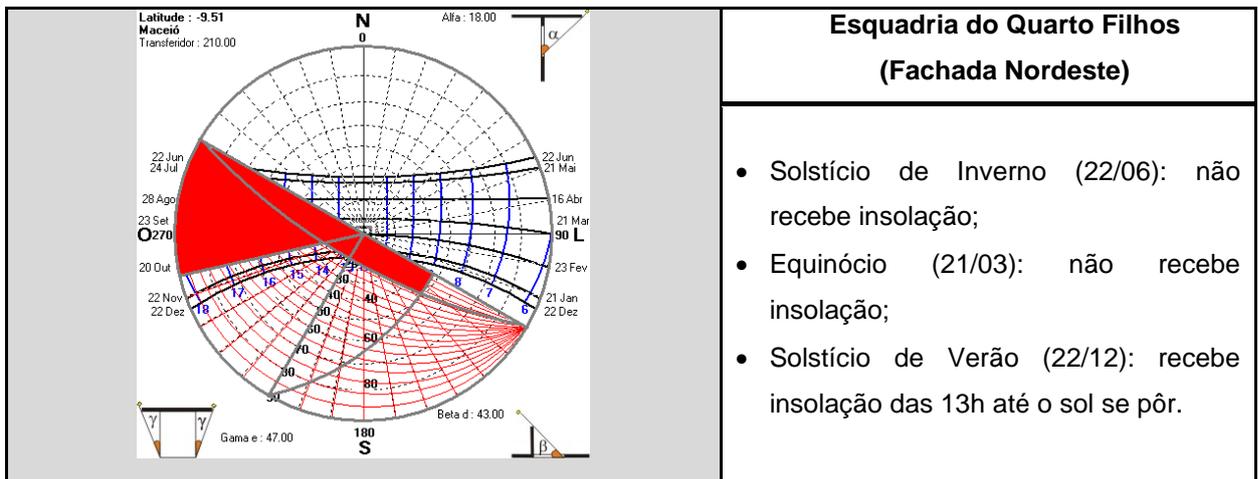
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 11: Máscara de Sombra da Esquadria do WCB do Modelo Base - Fachada Nordeste.



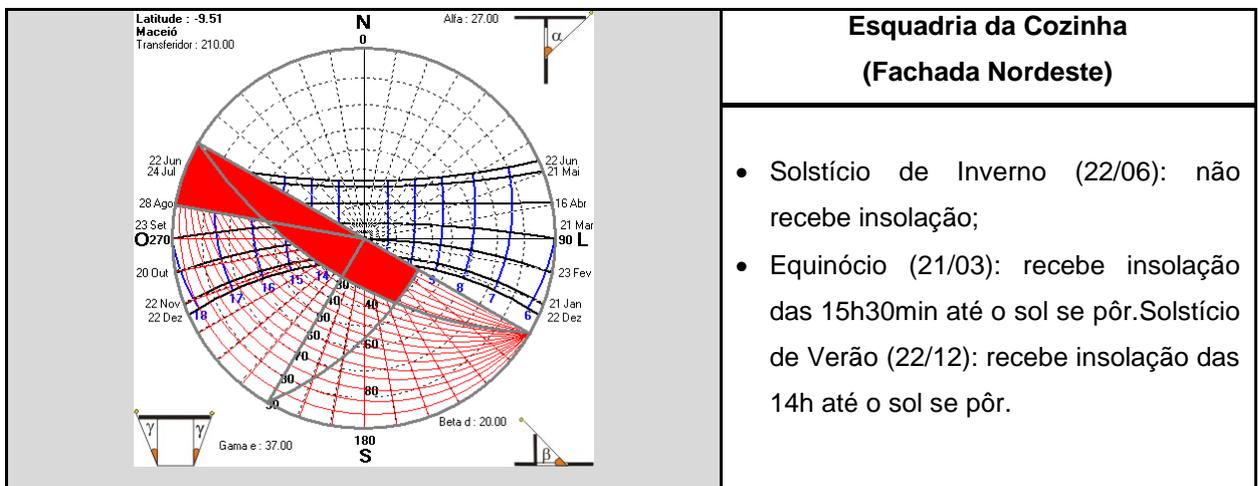
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 12: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo Base - Fachada Sudoeste.



Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 13: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo Base - Fachada Sudoeste.



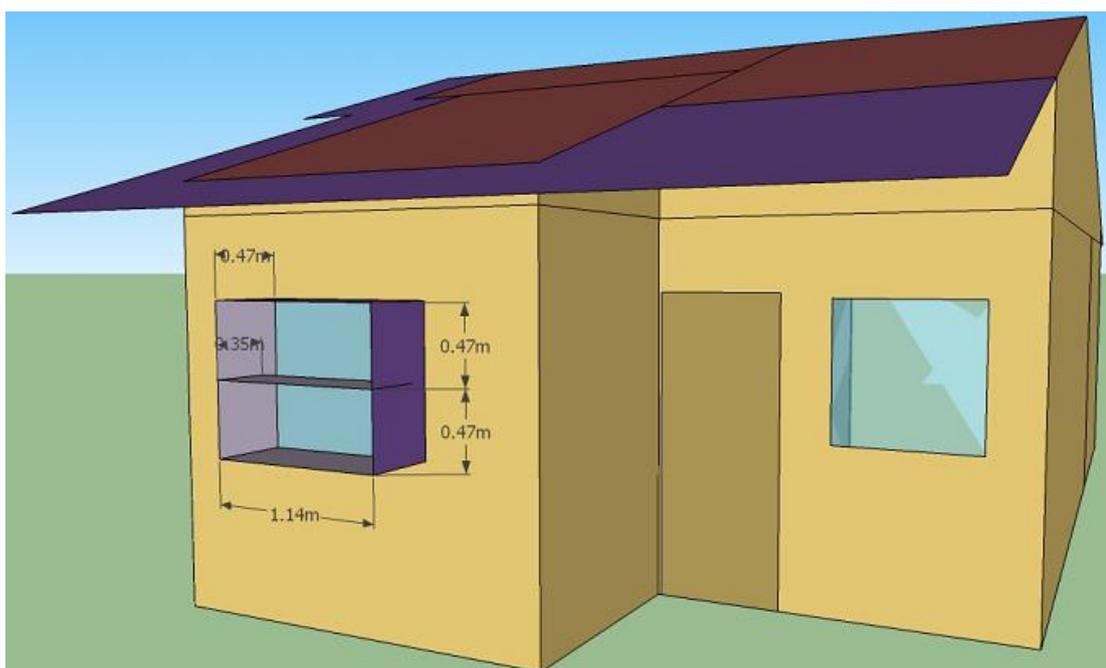
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Através da análise das máscaras de sombra das esquadrias do projeto original do Modelo Base, pode-se perceber que os ambientes internos de maiores permanências que apresentaram a incidência de radiação solar direta nos horários críticos foram: Quarto Casal no inverno (fachada nordeste), Quarto Filhos no verão (fachada sudoeste) e Cozinha no equinócio e no verão (fachada sudoeste), comprovando a necessidade do uso de protetores solares nesses ambientes.

Ressalte-se, entretanto, que o uso de protetores pode ser opcional, e de acordo com os hábitos de cada usuário, visto que a higienização através da radiação solar é benéfica especialmente à tarde para áreas molhadas (caso da cozinha) e pela manhã (caso dos quartos). No caso do quarto dos filhos, a situação é incômoda no período de verão, já que recebe sol a tarde inteira. No quarto do casal, a situação pode ser considerada crítica no período de inverno, já que, nos demais períodos, a insolação se dá apenas até o início da manhã.

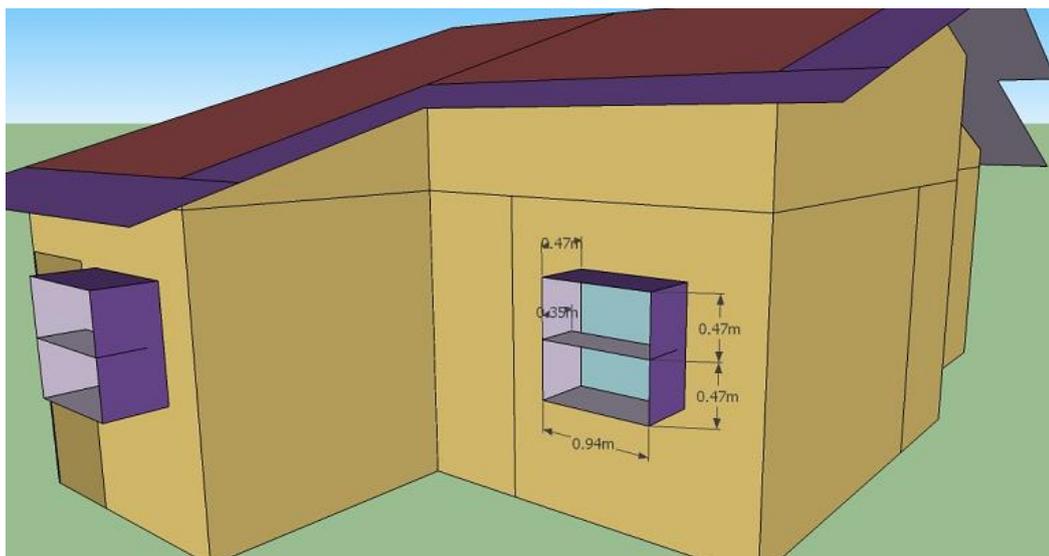
Sabe-se que esquadrias de fachadas distintas solicitam protetores com dimensões diferentes. No entanto, com o intuito de diminuir os gastos com a implantação, racionalizar a obra e melhorar a plasticidade das unidades residenciais; optou-se pelo o uso de um único tipo de protetor solar, que fosse eficiente contra a incidência da radiação solar indesejada nos ambientes internos tanto nas esquadrias do Modelo Base, como nas esquadrias do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas. As figuras 15, 16 e 17 a seguir mostram as esquadrias do Modelo Base com o uso do protetor solar misto definido.

Figura 15: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos (Fachada Nordeste).



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

Figura 16: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos (Fachada Sudoeste).



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

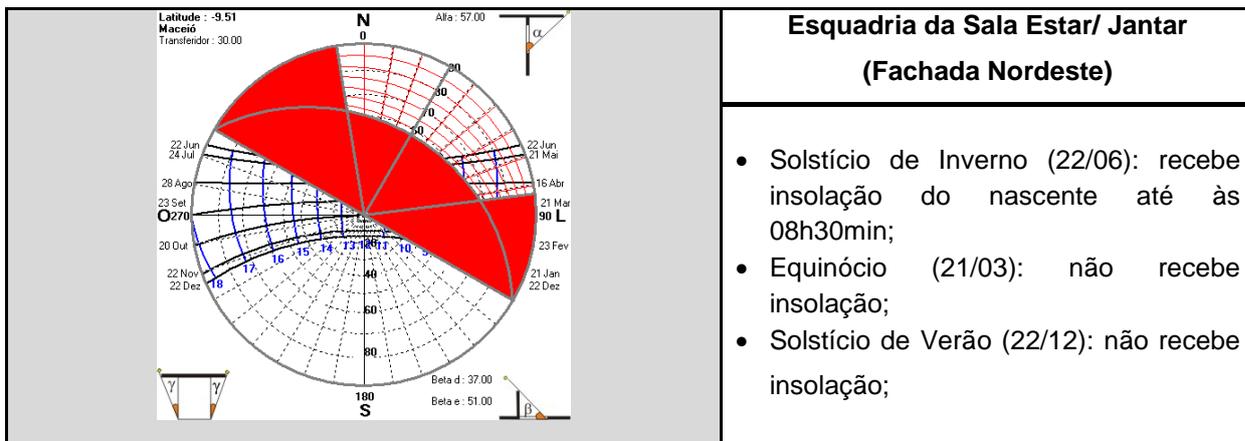
Figura 17: Esquadria da Cozinha com Protetores Mistos (Fachada Sudoeste).



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

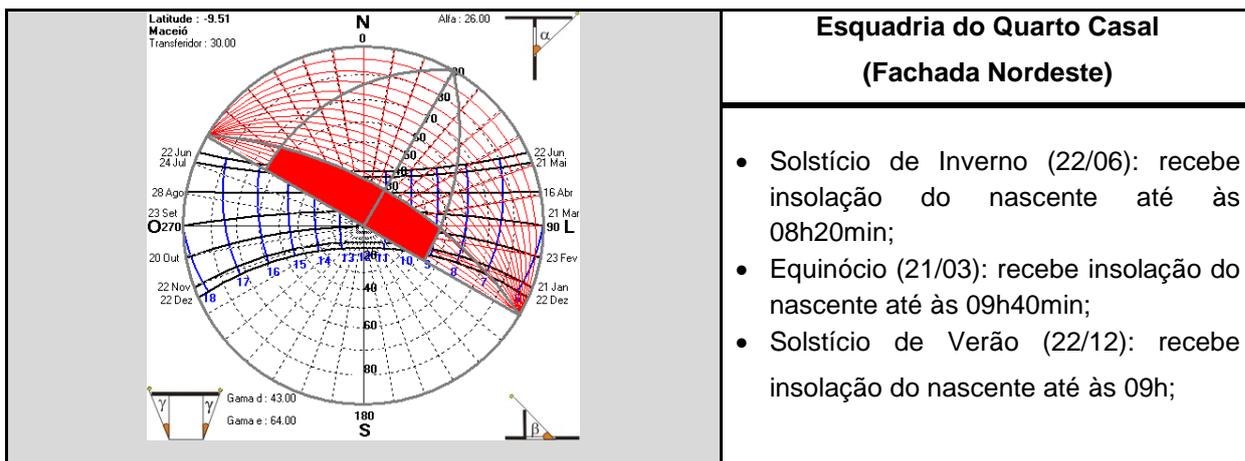
Os quadros 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 a seguir determinam as máscaras de sombra das esquadrias das fachadas nordeste, sudeste e sudoeste do projeto original do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (orientações das fachadas com janelas existentes neste modelo), sem a adição do protetor solar misto que foi definido apenas posteriormente; e suas análises de insolação para o solstício de inverno, equinócio e solstício de verão.

Quadro 14: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.



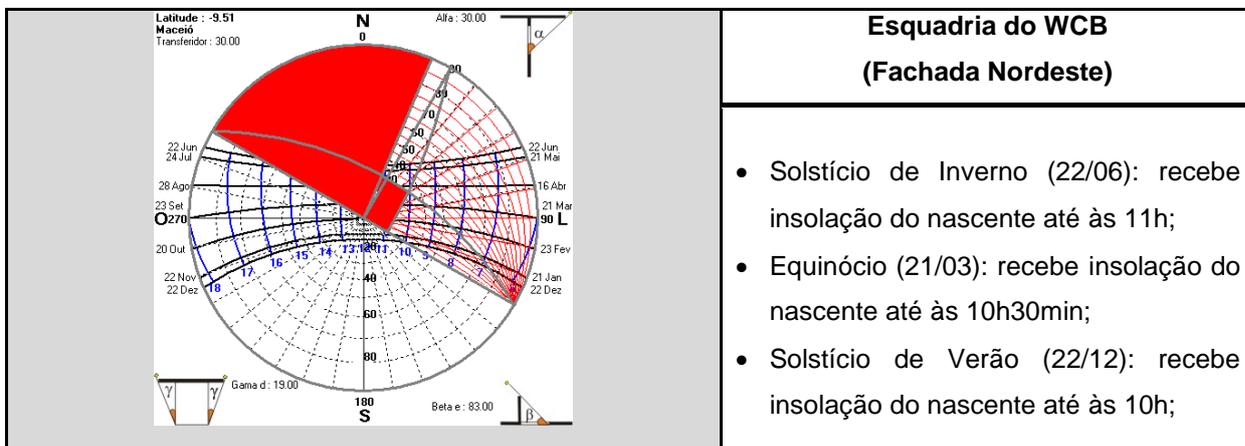
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 15: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.



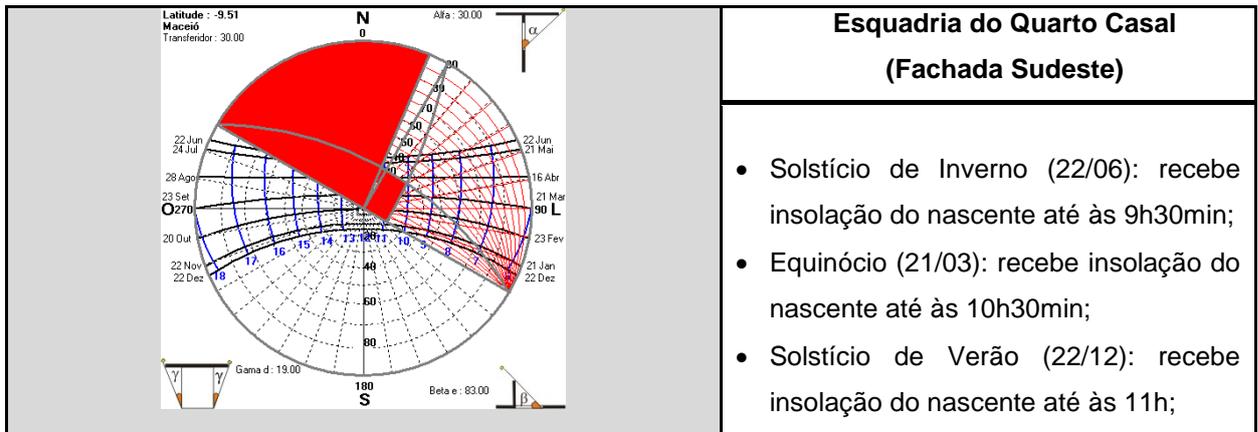
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 16: Máscara de Sombra da Esquadria do WCB do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Nordeste.



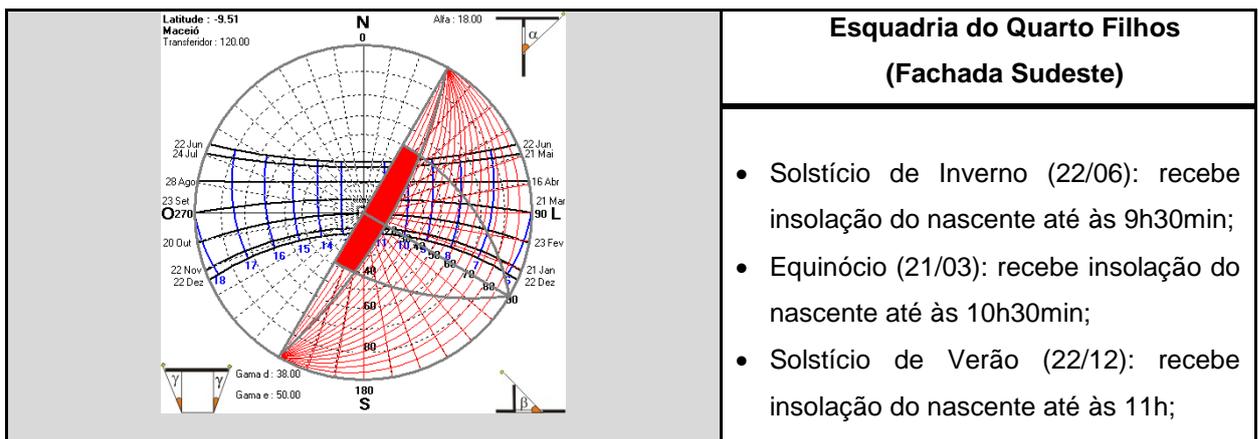
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 17: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Casal do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.



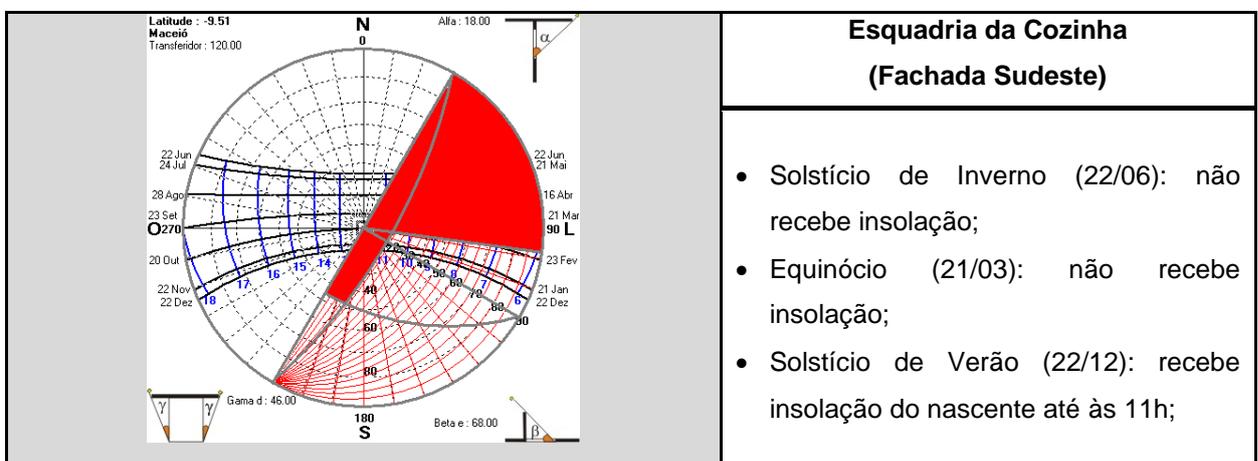
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 18: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.



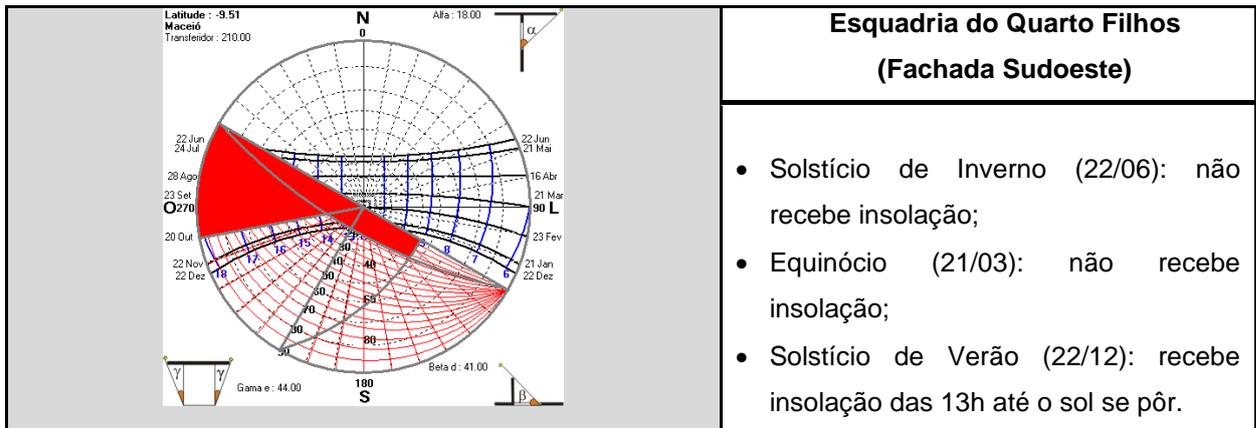
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 19: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudeste.



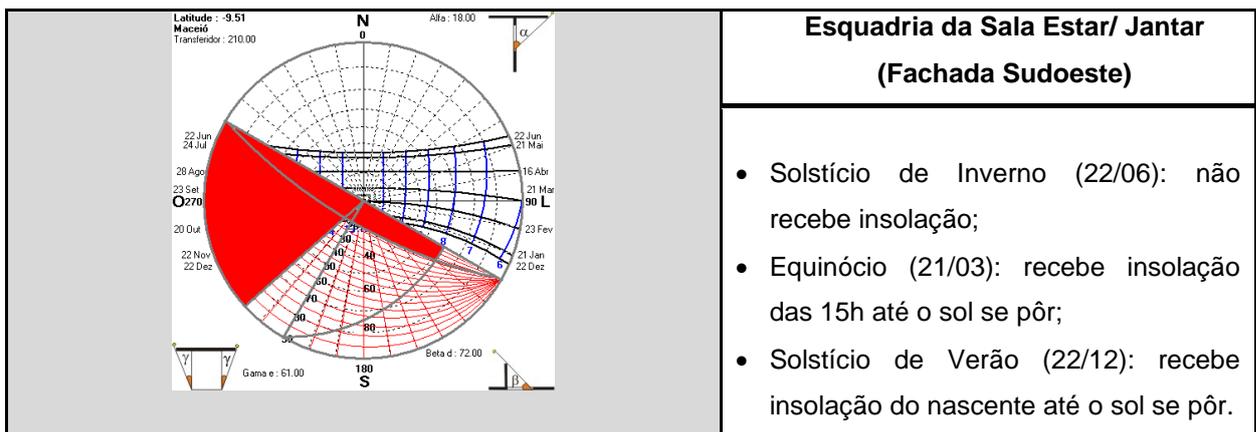
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 20: Máscara de Sombra da Esquadria do Quarto Filhos do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.



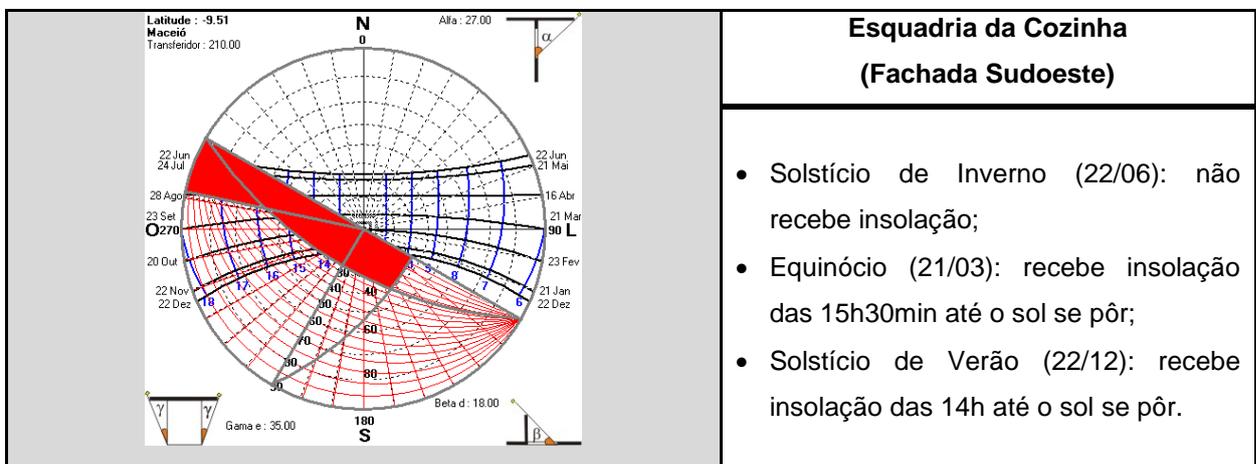
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 21: Máscara de Sombra da Esquadria da Sala Estar/ Jantar do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.



Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Quadro 22: Máscara de Sombra da Esquadria da Cozinha do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas – Fachada Sudoeste.



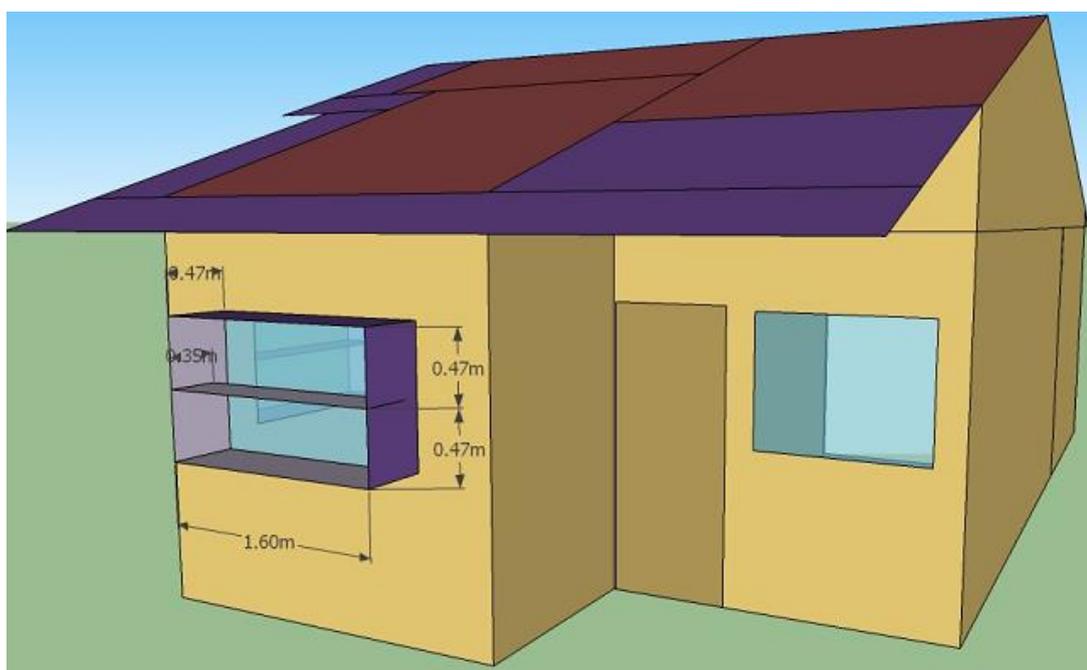
Fonte: Software Analysis SOL-AR.

Através da análise dos mapas de sombra das esquadrias do projeto original do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, pode-se perceber que os ambientes internos de maiores permanências que apresentaram a incidência de radiação solar direta nos horários críticos foram: Quarto Casal (fachadas nordeste e sudeste), Quarto Filhos (fachadas sudeste e sudoeste) e Cozinha (fachada sudoeste), comprovando a necessidade do uso de protetores solares nas fachadas desses ambientes.

Da mesma forma que a análise do Modelo Base, deve-se ressaltar aqui que o uso de protetoras pode ser opcional, e de acordo com os hábitos dos usuários, face aos benefícios que a higienização através da radiação solar pode trazer. No caso da cozinha, ela recebe insolação direta no período da manhã, o que pode ser prejudicial às atividades nesse período desenvolvidas nesse cômodo. No caso do quarto dos filhos, a situação é realmente incômoda já que recebe sol a tarde inteira.

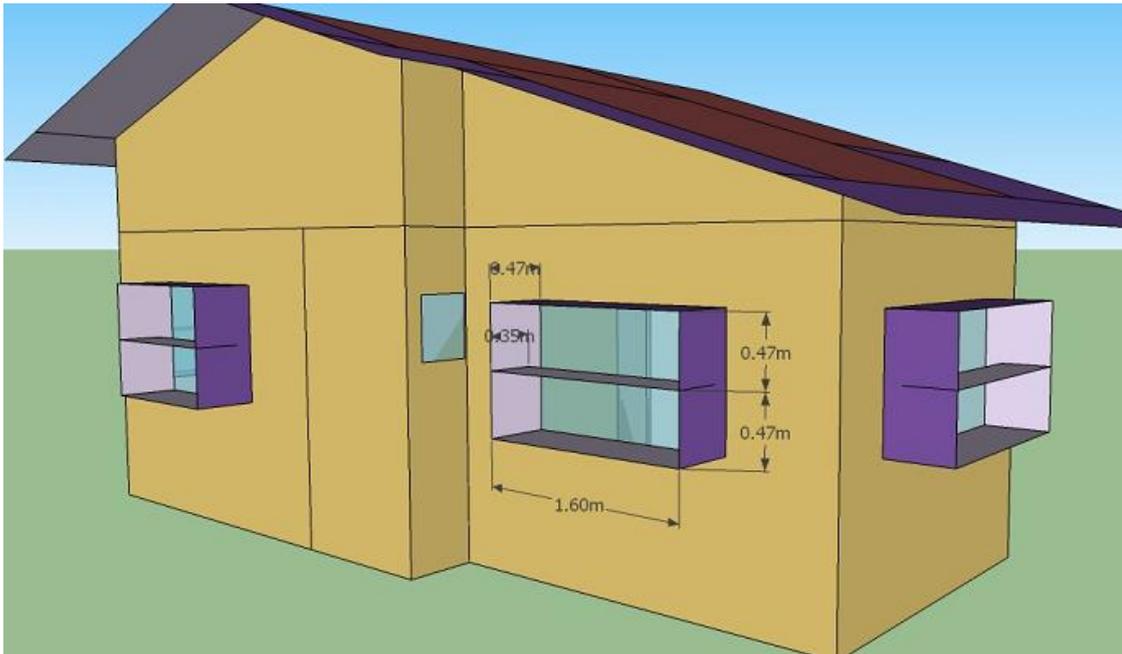
Logo, foram utilizados protetores solares mistos nas esquadrias do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, que havia a incidência de radiação solar indesejada (o mesmo tipo de protetor solar misto utilizado no Modelo Base). Ressaltando-se, que foi utilizado apenas um tipo de protetor solar misto para os dois modelos, porque este se mostrou adequado na proteção das janelas dos dois modelos analisados nessa pesquisa. As figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26 a seguir mostram as esquadrias do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas com o uso do protetor solar misto definido.

Figura 18: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos (Fachada Nordeste).



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

Figura 19: Esquadria do Quarto Casal com Protetores Mistos.



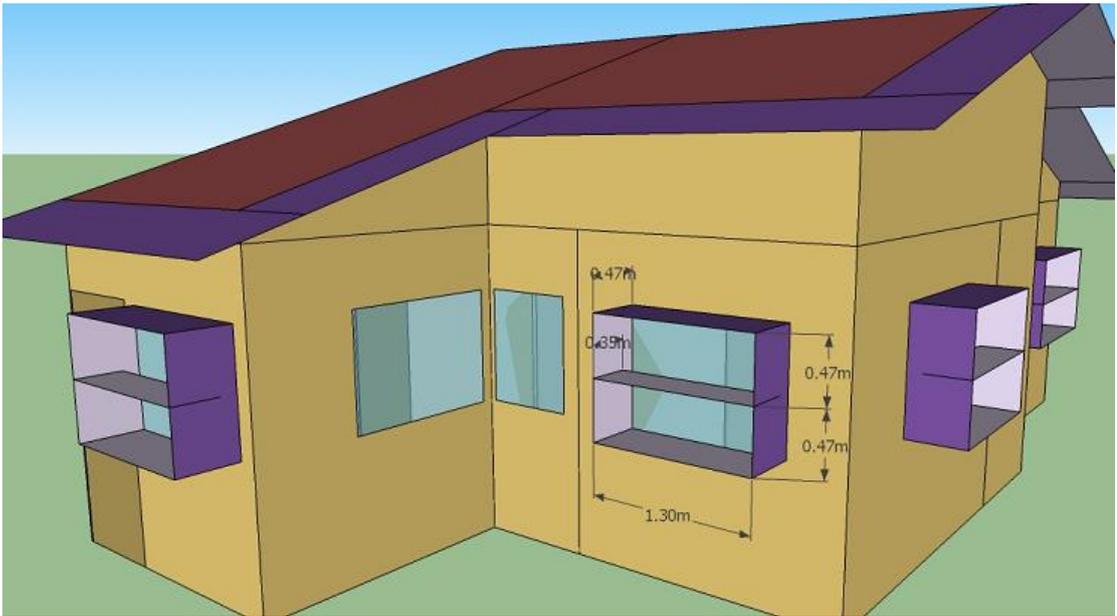
Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

Figura 20: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos.



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

Figura 21: Esquadria do Quarto Filhos com Protetores Mistos.



Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

Figura 22: Esquadria da Cozinha com Protetores Mistos.



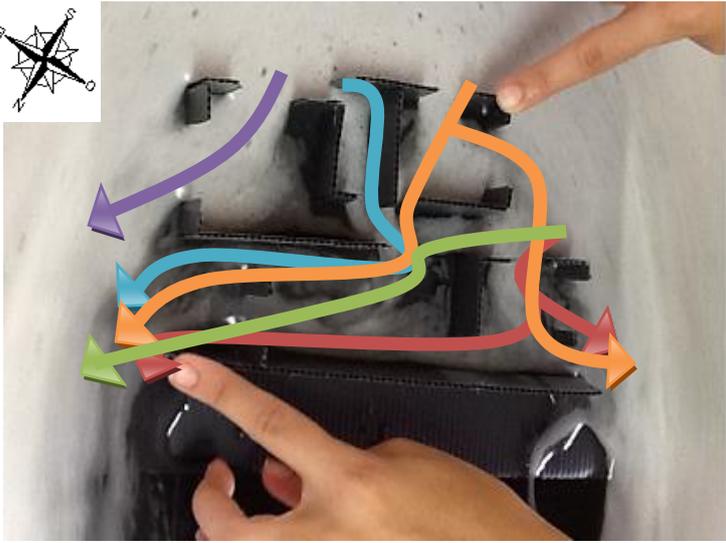
Fonte: Programa Computacional SketchUp Pro8 (GOOGLE, 2010).

4.1.2. Visualizações dos efeitos de escoamento de ar

Através da simulação de maquete física do Modelo Base e do Modelo com Alteração na área de Abertura das Janelas no equipamento Mesa d'Água, foram realizadas análises dos escoamentos de ventilação nos ambientes internos desses modelos, considerando a predominância do vento Sudeste. (quadro 23).

Quadro 23: Análise dos Ambientes Internos do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, Através das simulações das maquetes físicas.

Modelo Base	
	<p>Observações: através da simulação foram identificadas duas entradas e três saídas de ventilação natural. Os sentidos dos escoamentos foram: do quarto filho (3) para a sala estar/ jantar (5) e cozinha (4); do banheiro (2) para o quarto de casal (1). Logo, percebe-se que os ambientes mais ventilados foram o quarto filhos e o banheiro; já os outros ambientes internos receberam ventilação natural secundária.</p>

Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas	
	<p>Observações: com a simulação foi possível perceber que este modelo apresentou entradas e saídas de ventilação natural em todos os ambientes internos, o que gera fluxos mais intensos de ventilação, diminuições das temperaturas internas e ambientes termicamente mais confortáveis.</p>

-  Primeiro sentido de escoamento
-  Segundo sentido de escoamento
-  Terceiro sentido de escoamento
-  Quinto sentido de escoamento

4.1.3. Síntese Geral dos Resultados da Abordagem Qualitativa

De uma maneira geral, os resultados da análise qualitativa mostraram que no estudo da insolação das fachadas do modelo base, as orientações das janelas das fachadas nordeste (quarto casal) e sudoeste (quarto filhos e cozinha) não se mostraram adequadas, visto que foi necessário o uso dos protetores solares nas esquadrias desses ambientes. No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, o acréscimo na área de abertura de janelas comprovou a necessidade maior do uso de protetores solares nas fachadas nordeste (quarto casal), sudoeste (quarto filhos e cozinha) e também na fachada sudeste (quarto casal e quarto filhos).

Já nas visualizações dos efeitos de escoamentos de ar nos ambientes internos dos dois modelos estudados, observou-se que o aumento da área de aberturas efetivas de ventilação encontradas no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, 40% da área do piso, conforme a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), intensificou consequentemente a velocidade dos fluxos de escoamentos e a quantidade das entradas e saídas de ventilação natural nos mesmos ambientes, melhorando assim a renovação do ar no interior dos ambientes desse modelo.

4.2. RESULTADOS DA ABORDAGEM TÉRMICA QUANTITATIVA

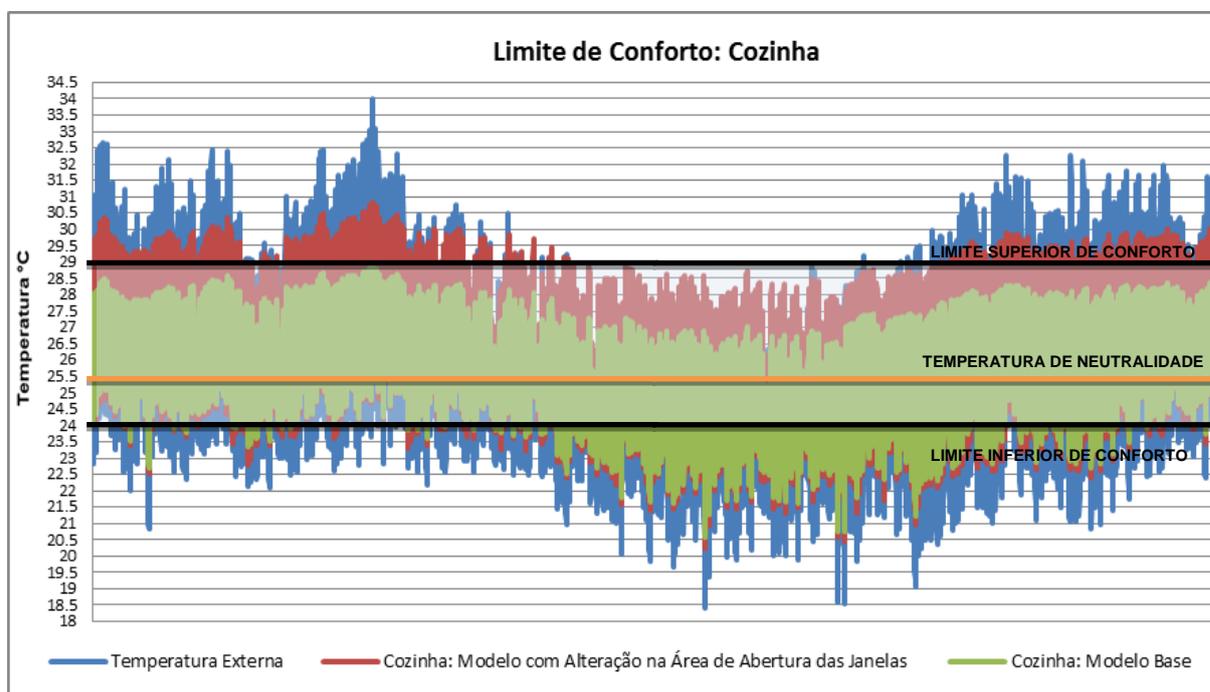
4.2.1. Simulações Computacionais

As simulações do desempenho térmico do Modelo Base e do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas foram feitas nos dois ambientes internos de maior permanência (quarto casal e quarto filhos), na sala de estar/ jantar e na cozinha. Para a análise do conforto térmico nesses ambientes, foram utilizados os mesmos intervalos de conforto em todas as simulações (Sala Estar/ Jantar e Cozinha: temperatura de neutralidade de 25,5°C, temperatura superior de 29°C e temperatura inferior de 24°C; Quarto Casal e Quarto Filhos: temperatura de neutralidade de 26°C, temperatura superior de 29,5°C e temperatura inferior de 24,5°C), esses intervalos foram anteriormente descritos na metodologia.

4.2.1.1. Simulação 01 (possui o envelope com as características originais dos dois modelos analisados; entrada de ventilação natural em período parcial; orientação dos modelos, com fachadas principais orientadas a nordeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado na Simulação 01, que no Modelo Base a Cozinha obteve 85% de suas horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, resultou em 73,5% de suas horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (11,5% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso (entendido, pelo programa computacional, como aumento de carga térmica interna) determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto, desfavorecendo consequentemente o seu desempenho térmico, com 0,6°C de diferença média anual na cozinha dos dois modelos (gráfico 05 e apêndice A).

Gráfico 05: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.

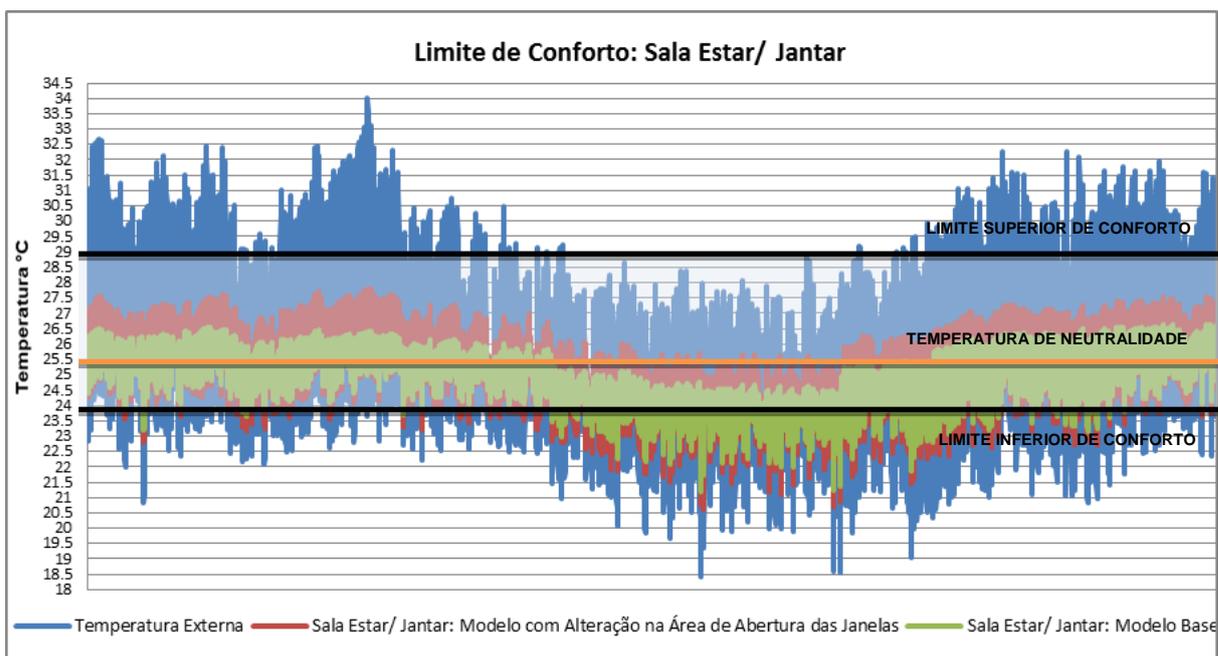


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 88% de suas horas anuais de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 12% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na

Área de Abertura das Janelas resultou em 87% de suas horas anuais de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 13% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso não determinou em uma diminuição significativa de horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e abaixo do limite inferior de conforto e o seu desempenho térmico obteve 0,4°C de diferença média anual na sala estar/ jantar dos dois modelos analisados (gráfico 06 e apêndice A).

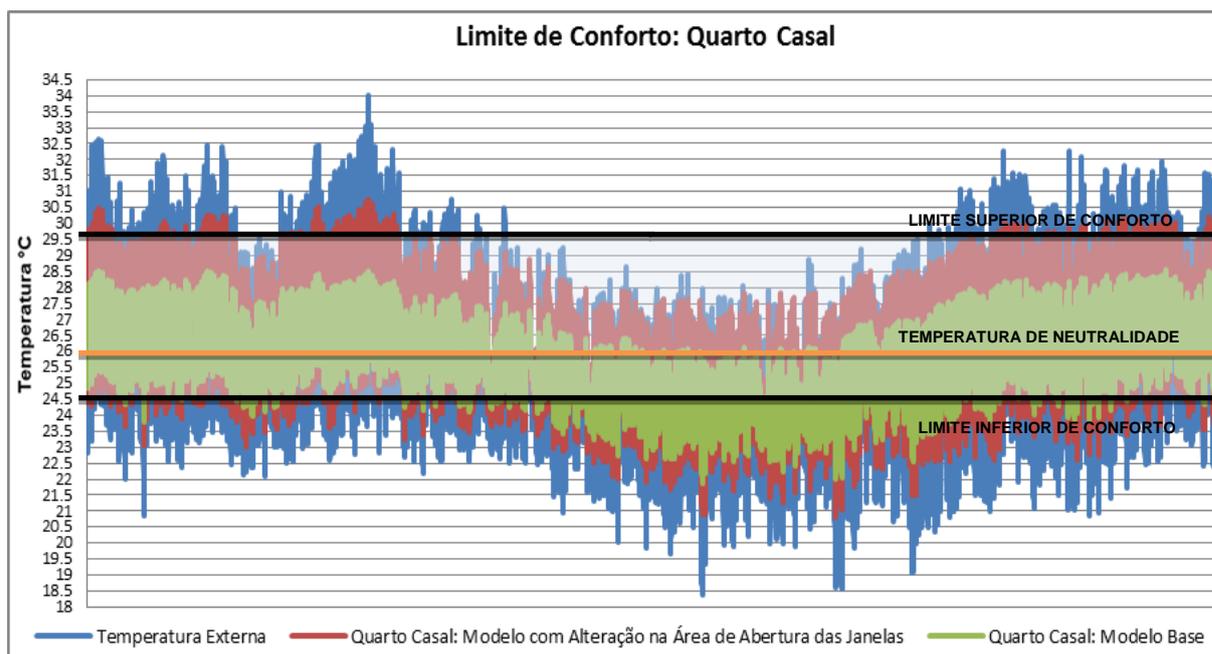
Gráfico 06: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 83,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 16,5% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 76% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (4,5% acima do limite superior de conforto e 19,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou discretamente a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto, o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 07). Influenciando também o seu desempenho térmico, com uma pequena diferença média anual no quarto casal nos dois modelos, de 0,6°C (apêndice A).

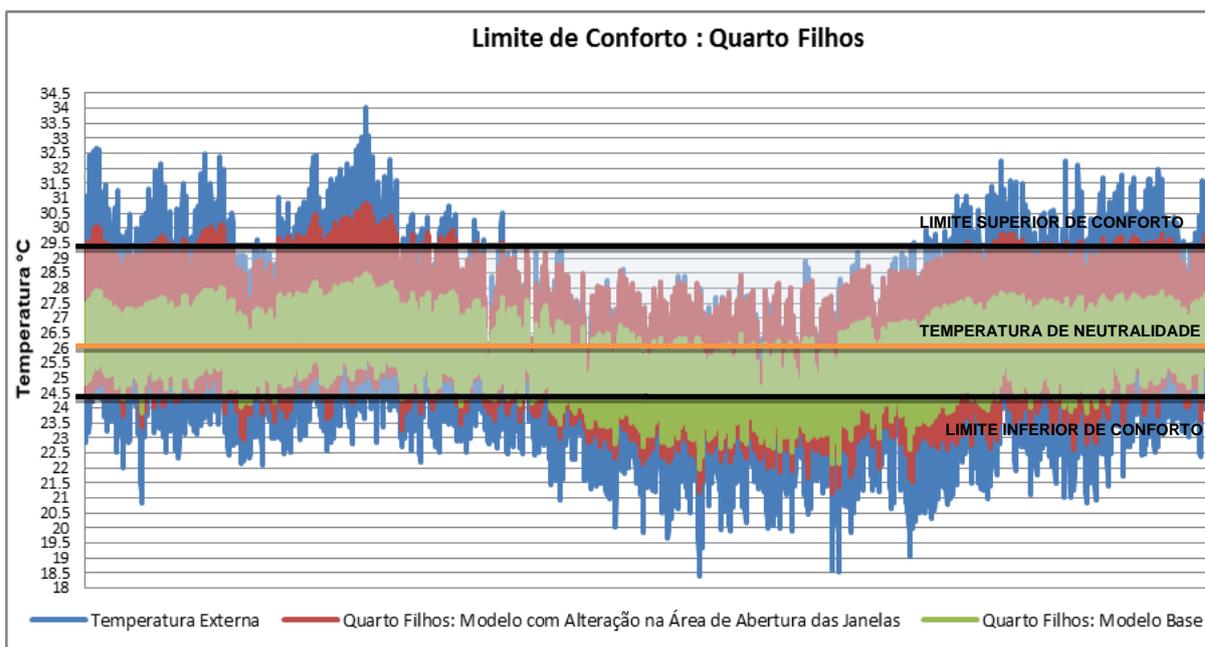
Gráfico 07: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 86% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 14% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas em 79% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (4% acima do limite superior de conforto e 17% abaixo do limite inferior de conforto). Comprovou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou de maneira discreta a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto, o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 08); além do desempenho do quarto filhos nos modelos, com uma variação pequena de 0,7°C (apêndice A).

Gráfico 08: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 01.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Percebe-se, portanto, que na Simulação 01, o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis foi a Sala Estar/Jantar (88% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (83,5% de horas confortáveis) do Modelo Base. No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar também foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (87% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (73,5% de horas confortáveis).

Esses resultados enfatizam que, de uma maneira geral, o programa computacional utilizado entende como aumento de carga térmica interna o aumento da área de abertura das janelas, visto que nesta simulação os modelos analisados não tiveram o acréscimo de protetores solares; o que permite tanto uma exposição solar mais intensa, quanto uma maior entrada de ventilação natural.

Como a Simulação 01 possui as características originais dos modelos, pode-se perceber comparando os resultados dessa simulação com os resultados obtidos na análise qualitativa, que:

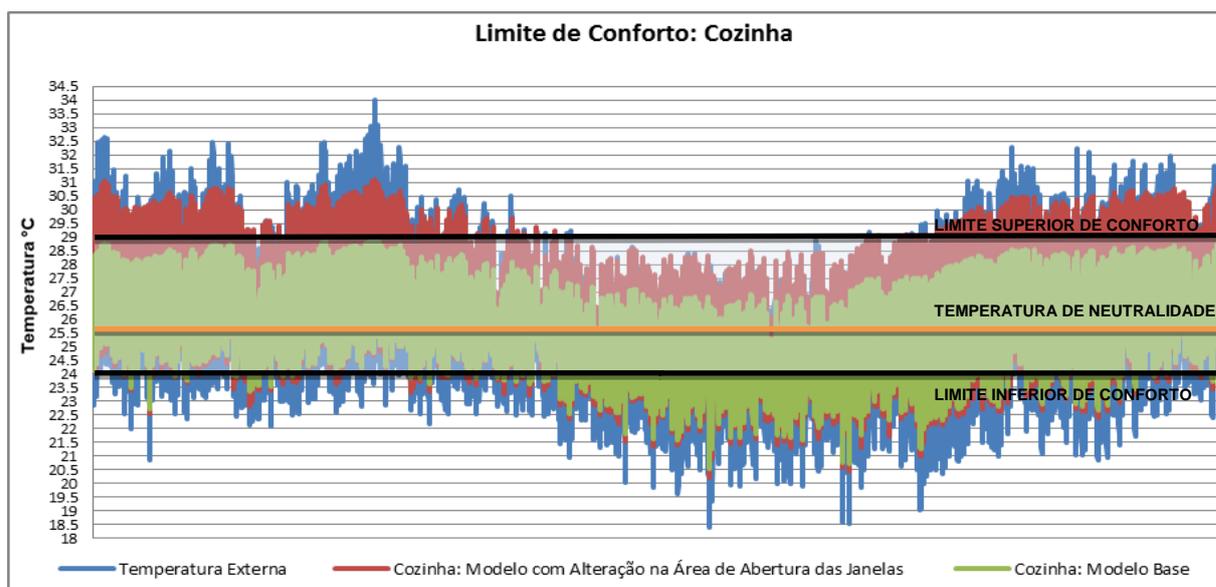
a) A sala estar/ jantar foi o ambiente interno que se apresentou mais confortável nos dois modelos; tanto na simulação 01 (por apresentar o maior número de horas confortáveis, dentre os outros ambientes), quanto no estudo da insolação das fachadas (por apresentar um sombreamento satisfatório através do próprio beiral e dos recuos existentes nos modelos) e no escoamento de ar (por apresentar ventilação satisfatória nos dois modelos).

b) Os ambientes menos confortáveis foram o quarto casal (no Modelo Base) e a cozinha (no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas), que no estudo da insolação das fachadas mostrou a necessidade do uso de protetores solares (por receber radiação solar direta em horários considerados críticos) e no escoamento de ar dentro dos modelos (o quarto casal, no Modelo Base, não recebe ventilação satisfatória e a cozinha, embora com boa entrada de ventilação, recebe uma grande incidência de radiação solar direta).

4.2.1.2. Simulação 02 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 01; com alteração apenas nas orientações dos modelos, com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado na Simulação 02, que no Modelo Base a Cozinha obteve 85% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 72% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto (gráfico 09). Com relação ao seu desempenho térmico, a diferença de temperatura média anuais na cozinha dos modelos foi pequena, com 0,7°C (apêndice A).

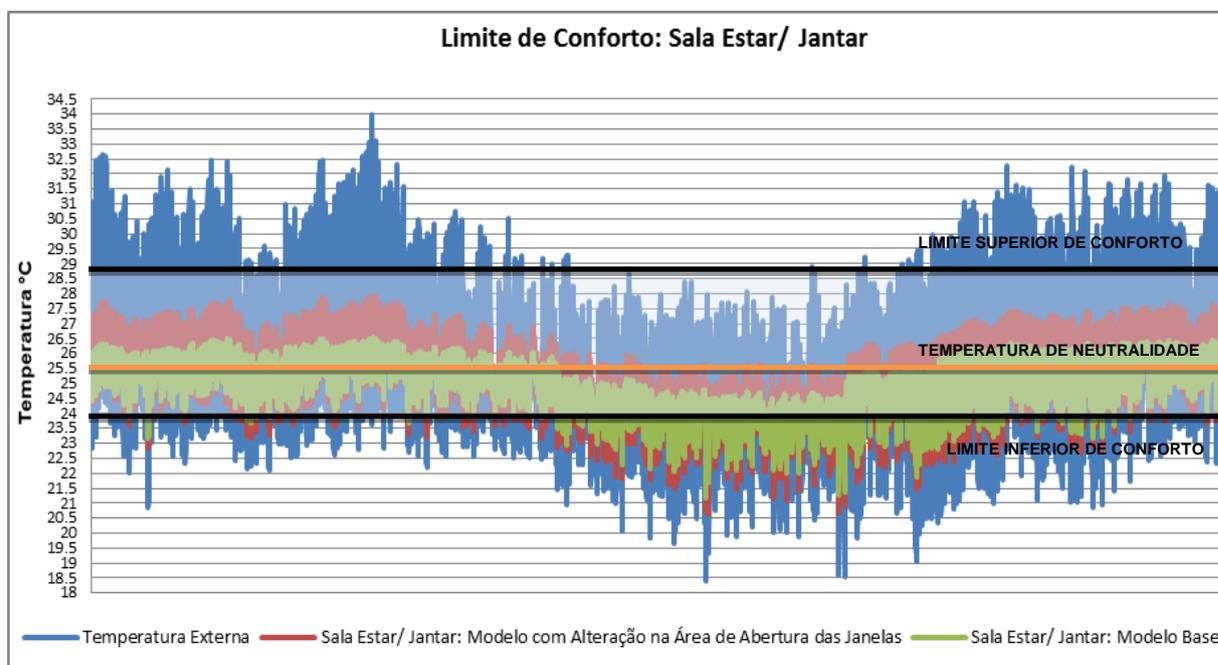
Gráfico 09: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 88% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 12% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 87% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 13% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso praticamente não alterou a quantidade de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 10). Já o desempenho térmico na sala estar/ jantar dos dois modelos, obteve uma pequena diferença de temperatura média anual, com 0,5°C (apêndice A).

Gráfico 10: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.

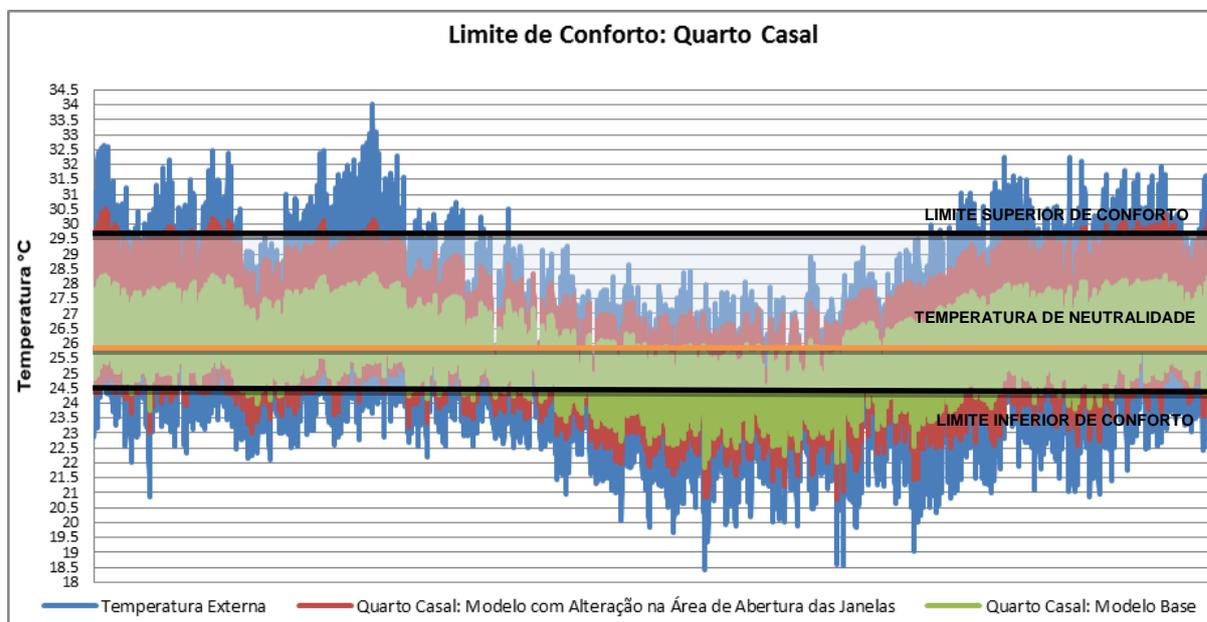


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 84% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 16% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 77,5% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (3% acima do limite superior de conforto e 19,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de

conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 11). Já o desempenho térmico do quarto casal nos dois modelos analisados, obteve uma pequena diferença de temperatura média anual, com 0,4°C (apêndice A).

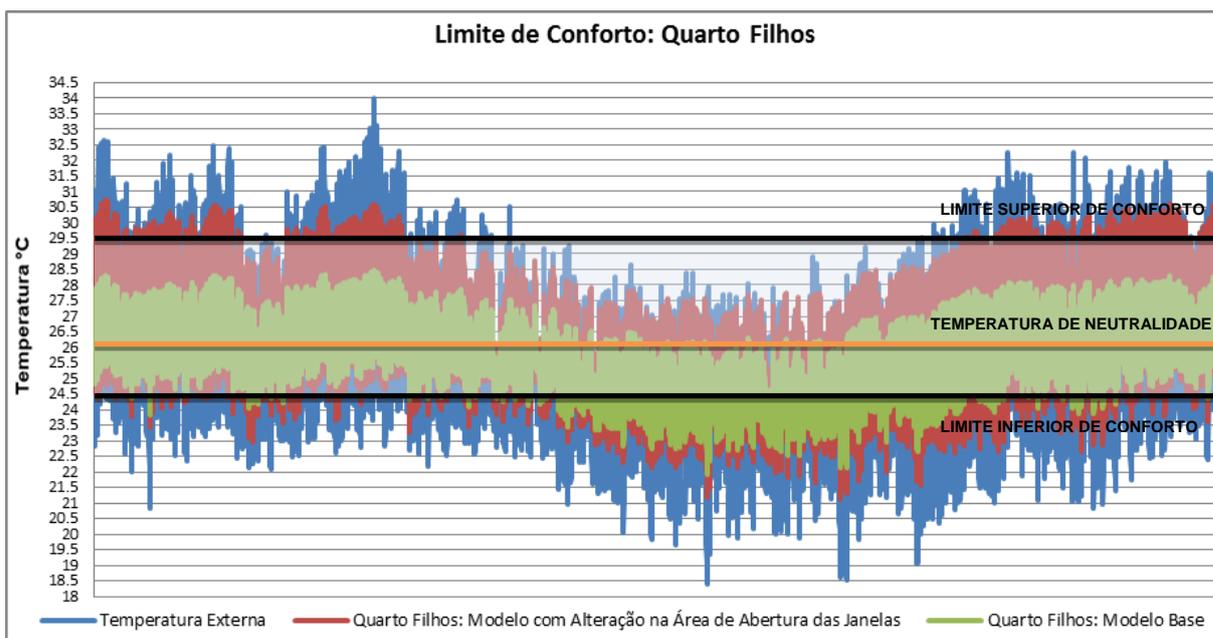
Gráfico 11: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 85% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 76% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (6% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou levemente a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 12). Com relação ao desempenho térmico do quarto filhos dos dois modelos, pode-se perceber uma pequena diferença de temperatura média anual, com 0,6°C (apêndice A).

Gráfico 12: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 02.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

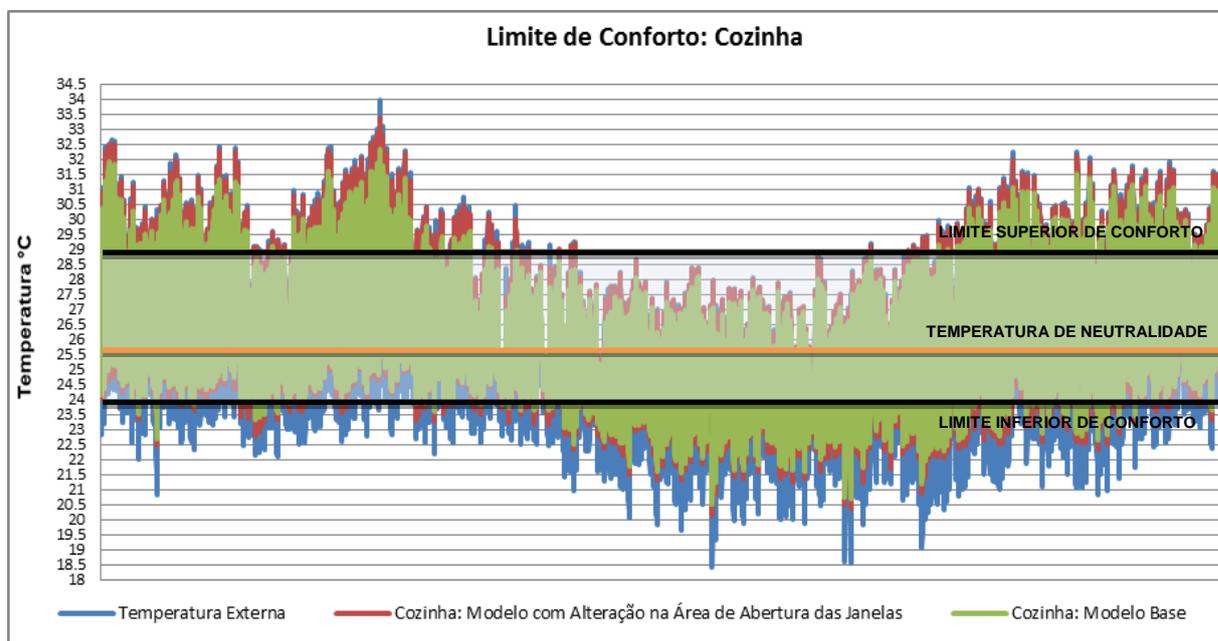
Pode-se perceber que na Simulação 02 os ambientes internos que obtiveram o maior e o menor número de horas confortáveis foram os mesmos ambientes da Simulação 01, tanto no Modelo Base quanto no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas. Logo, o ambiente que obteve o maior número de horas confortáveis foi a Sala Estar/Jantar (88% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (84% de horas confortáveis) do Modelo Base. No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar também foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (87% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (72% de horas confortáveis). Logo, pode-se perceber que as mudanças de orientações dos modelos geram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

Da mesma forma que a simulação 1, na simulação 2 o aumento da área de abertura para ventilação foi entendido pelo programa computacional, como aumento de carga térmica interna o aumento da área de abertura das janelas.

4.2.1.3. Simulação 03 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 01; com alteração apenas na entrada de ventilação natural, com janelas e portas abertas o dia inteiro; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado na Simulação 03, que no Modelo Base a Cozinha obteve 71% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 19% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 64% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 23% abaixo do limite inferior de conforto). Esse resultado demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma pequena diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 13). Com relação ao desempenho térmico, pode-se perceber que não houve variação de temperatura média anual na cozinha dos dois modelos analisados (apêndice A).

Gráfico 13: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.

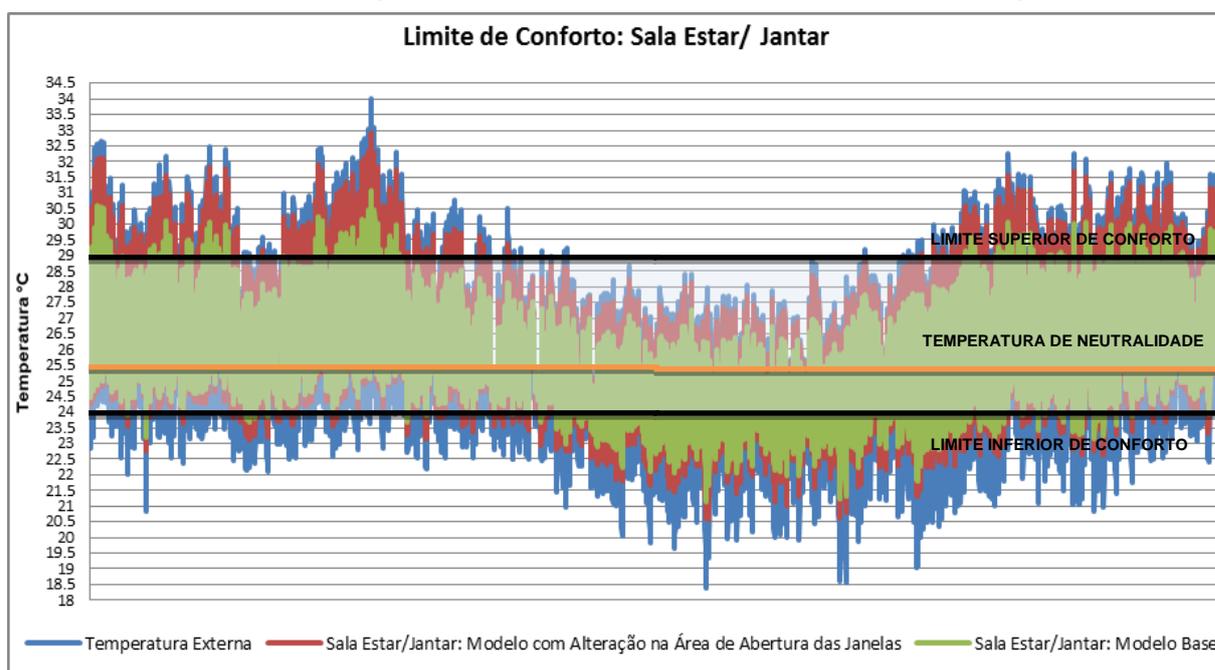


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 81% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (4% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do

ar dentro do limite de conforto (11,5% acima do limite superior de conforto e 19,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 14). O desempenho térmico da sala estar/ jantar dos dois modelos, apresentou uma variação insignificante de temperatura média anual entre os modelos, com 0,2°C (apêndice A).

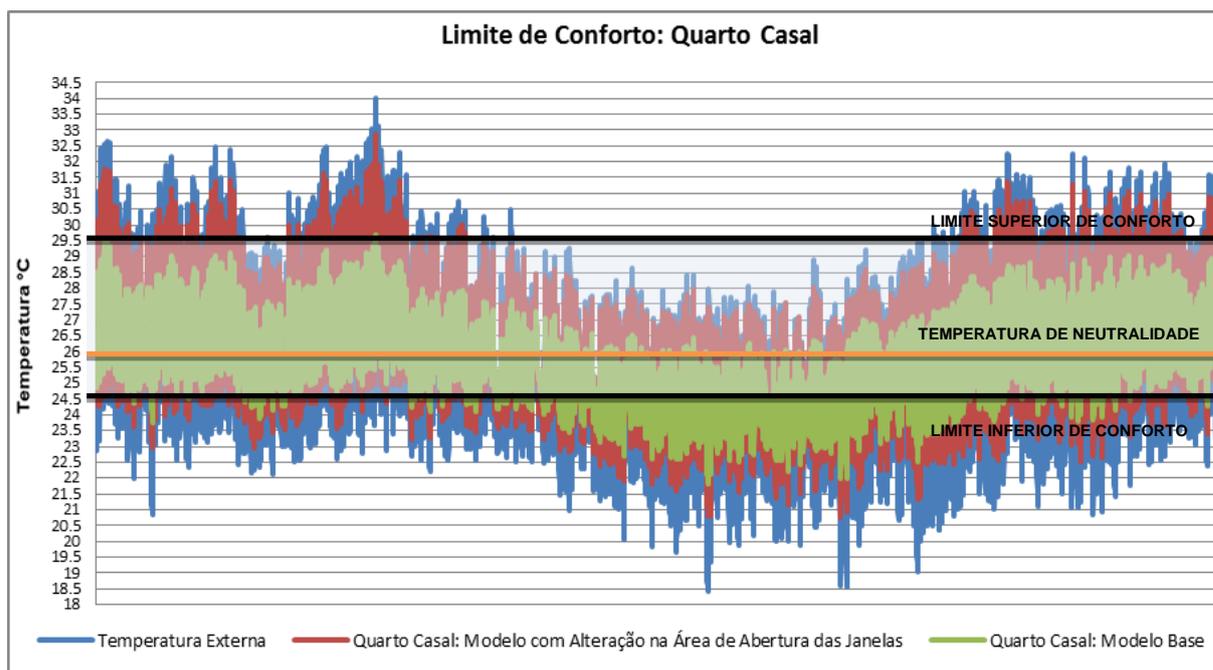
Gráfico 14: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 81,98% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0,02% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 67,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (7% acima do limite superior de conforto e 25,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 15). Através da análise de desempenho térmico do ambiente do quarto casal nos dois modelos, pode-se perceber que praticamente não houve diferença de temperatura média anual entre os modelos, com 0,2°C (apêndice A).

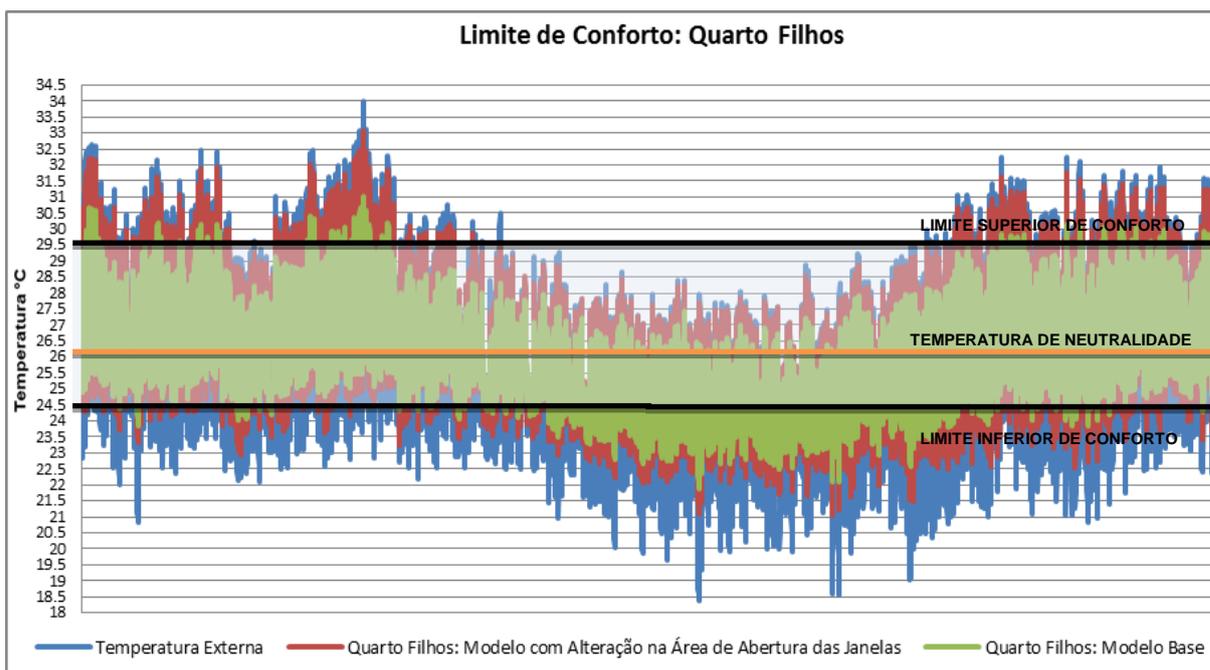
Gráfico 15: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 80% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (2% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 65% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (9% acima do limite superior de conforto e 26% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 16). Através da análise de desempenho térmico do ambiente do quarto filhos nos dois modelos, pode-se perceber que novamente não houve diferença de temperatura média anual entre os modelos (apêndice A).

Gráfico 16: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 03.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Percebe-se que na Simulação 03, o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (82% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (71% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (69% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (64% de horas confortáveis).

Da mesma forma que as simulações anteriores, o aumento da área de abertura para ventilação foi entendido pelo programa computacional, como aumento de carga térmica interna. Por outro lado, as variações percentuais foram mais acentuadas que nas outras simulações, ou seja, para o parâmetro entrada de ventilação natural constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro) o programa computacional mostrou-se mais sensível as variações.

Como a Simulação 01, a Simulação 03 também possui as características originais dos modelos; e comparando os resultados da Simulação 03 com os resultados obtidos na análise qualitativa, pode-se perceber que:

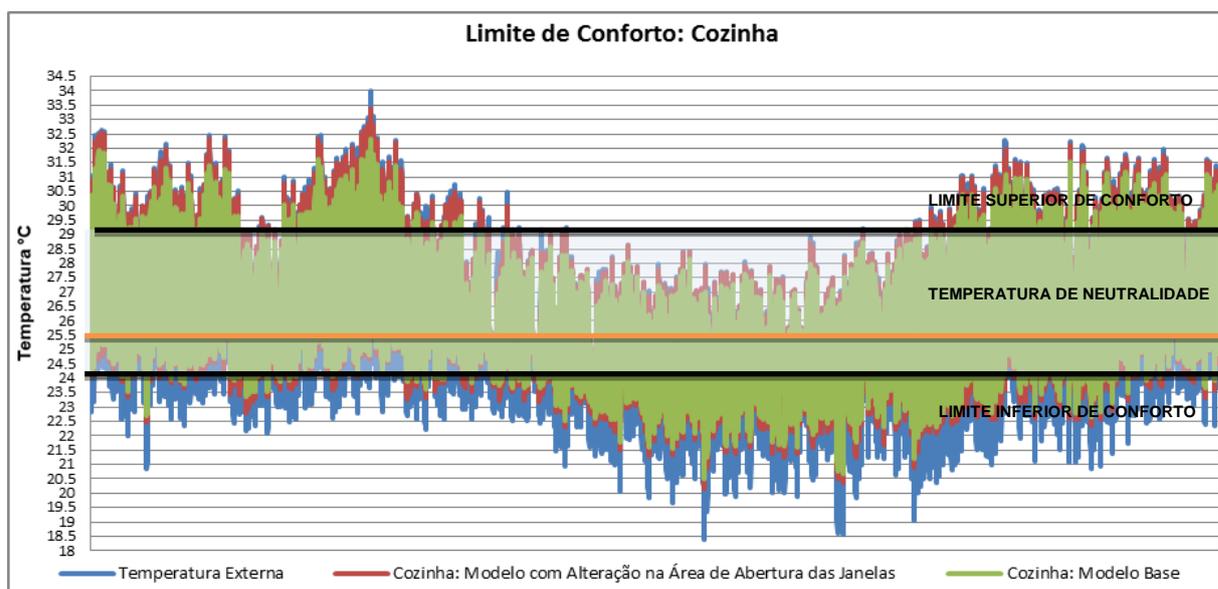
- a) O quarto casal passou a ser o ambiente mais confortável no modelo base e a sala estar/ jantar continuou sendo o ambiente mais confortável no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, assim como ocorreu na simulação 01.

- b) A cozinha continuou sendo o ambiente menos confortável tanto no modelo base, quanto no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.
- c) O quarto casal, mesmo tendo a necessidade do uso de protetores solares e com escoamento deficiente de ventilação, no Modelo Base, tornou-se mais confortável com o uso da ventilação constante.

4.2.1.4. Simulação 04 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 01; com alterações tanto na entrada de ventilação natural, com janelas e portas abertas o dia inteiro, quanto nas orientações dos modelos, com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado no Modelo Base, que a Cozinha obteve 71% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 19% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 64,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13,5% acima do limite superior de conforto e 22% abaixo do limite inferior de conforto). O que confirma que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 17). No entanto, praticamente não houve diferença de temperatura média anual no ambiente da cozinha nos modelos, com uma variação mínima de 0,1°C (apêndice A).

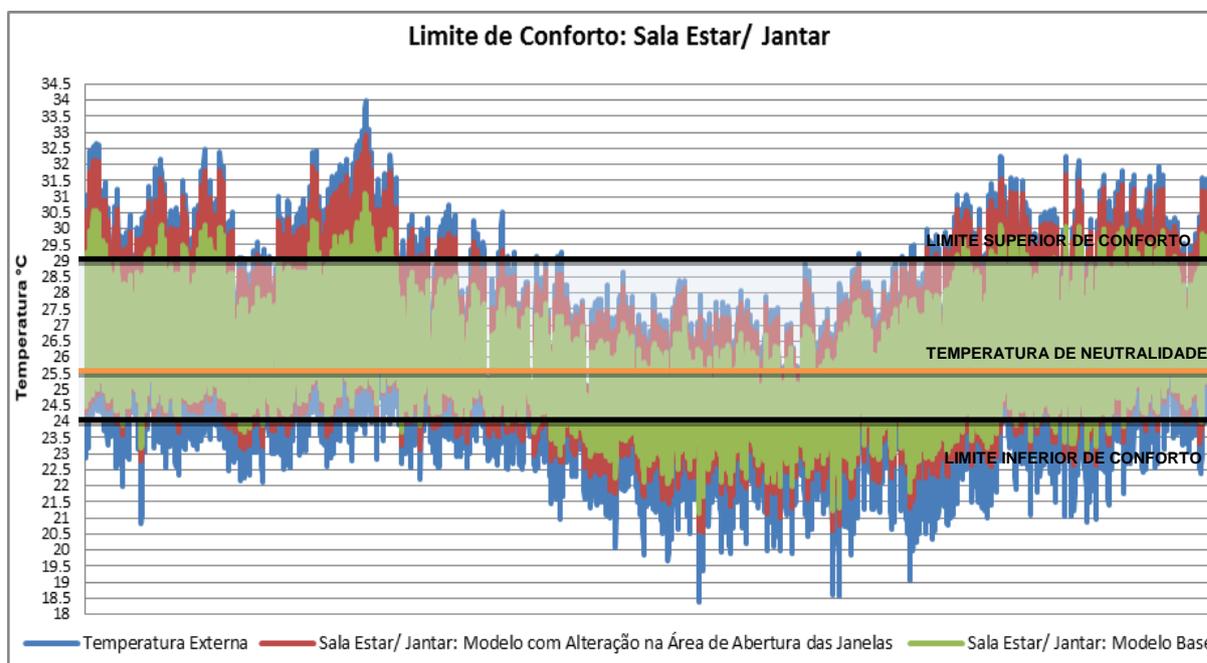
Gráfico 17: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 80,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (4% acima do limite superior de conforto e 15,5% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (11,5% acima do limite superior de conforto e 19,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 18). Com relação ao desempenho térmico da sala estar/ jantar nos modelos, novamente houve diferença insignificante de temperatura média anual, com uma variação de 0,2°C (apêndice A).

Gráfico 18: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.

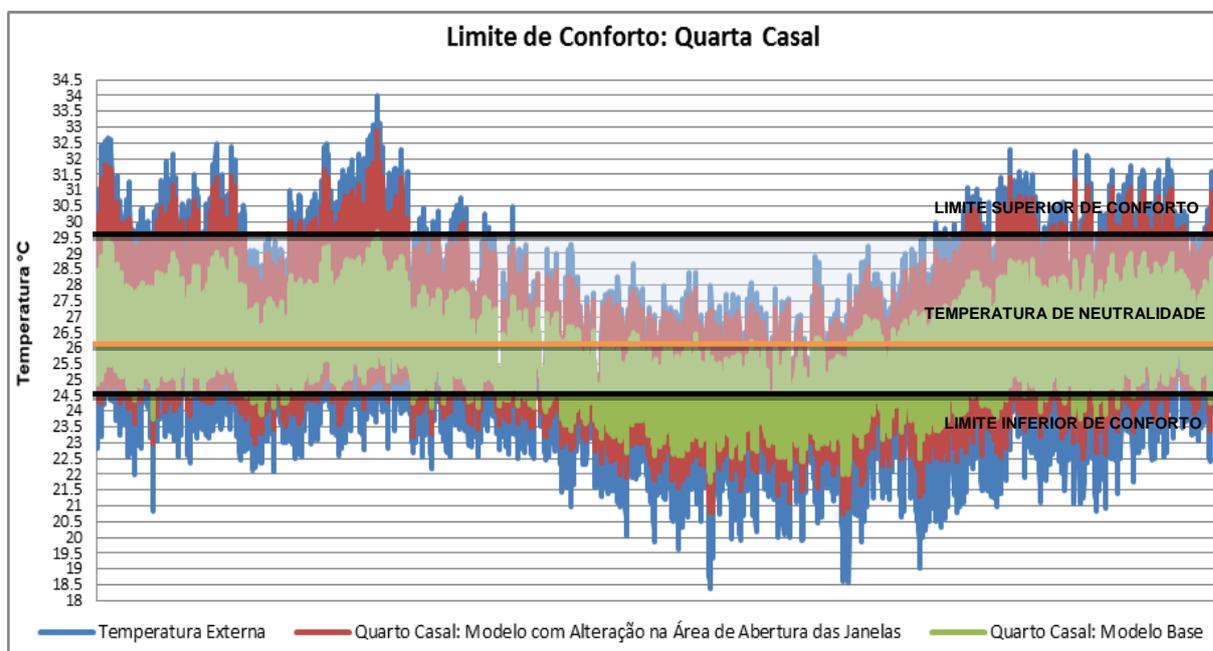


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 81% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0,03% acima do limite superior de conforto e 18,97% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (7% acima do limite superior de conforto e 27% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de

conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 19). O desempenho térmico do quarto casal nos modelos, novamente constatou em uma pequena diferença de temperatura média anual, com uma variação de 0,2°C (apêndice A).

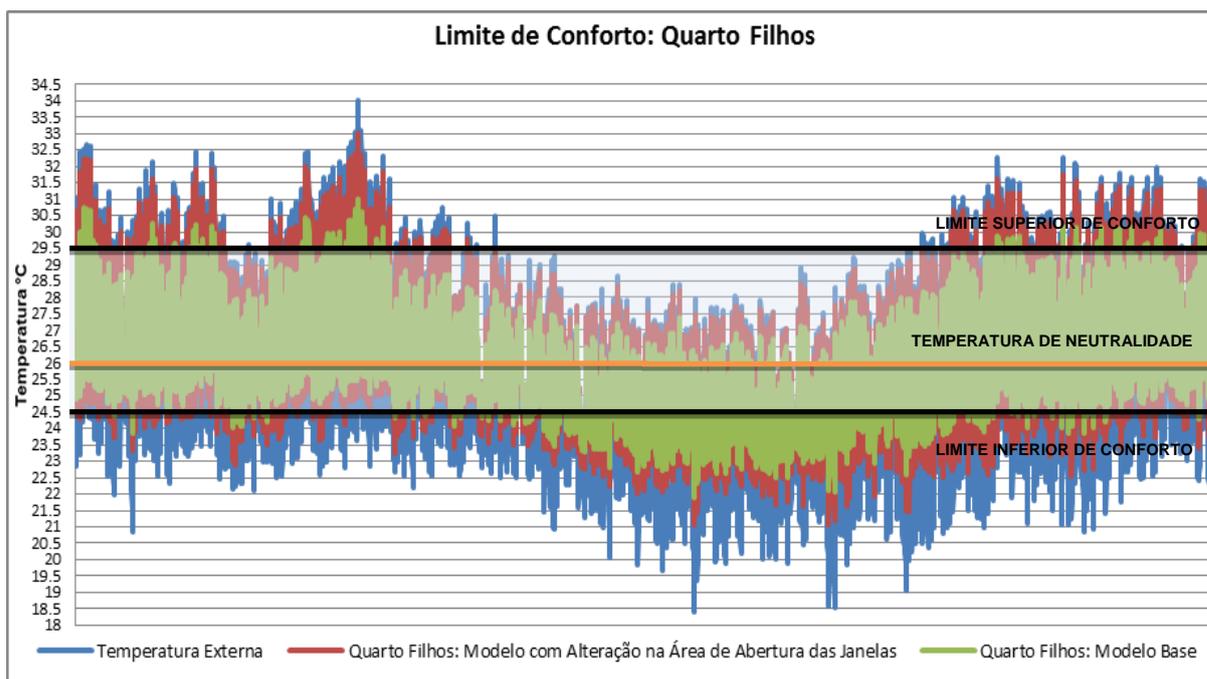
Gráfico 19: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 80% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (2% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 65% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (9% acima do limite superior de conforto e 26% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 20). Com relação ao desempenho térmico do quarto filhos nos modelos, não houve variação de temperatura média anual (apêndice A).

Gráfico 20: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 04.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

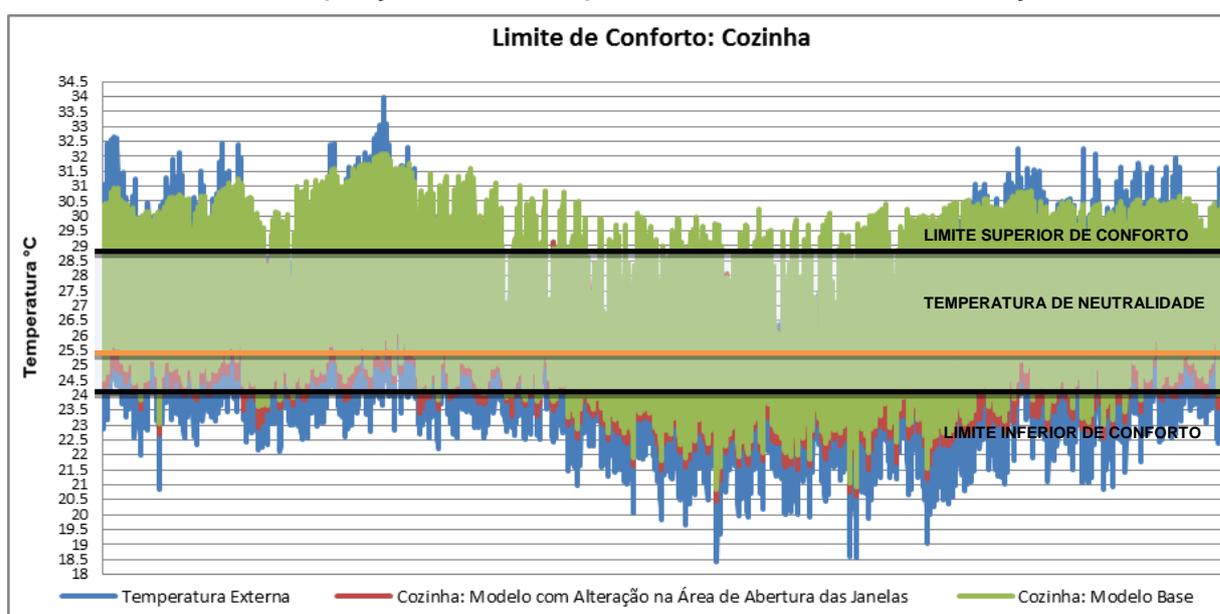
Percebe-se que na Simulação 04, assim como ocorreu na simulação 03, o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (81% de horas confortáveis) e o que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (71% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (69% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (64% de horas confortáveis). Verificando mais uma vez, que as mudanças de orientações dos modelos geram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

Mais uma vez, como as simulações anteriores, o aumento da área de abertura para ventilação foi entendido pelo programa computacional como aumento de carga térmica interna. Por outro lado na Simulação 04, da mesma forma que na simulação 03, as variações percentuais foram mais acentuadas que nas outras simulações, ou seja, para os parâmetros entrada de ventilação natural constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro) e orientações dos modelos (com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno), o programa computacional mostrou-se mais sensível às variações.

4.2.1.5. Simulação 05 (corresponde ao envelope com valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 - ABNT, 2005; entrada de ventilação natural em período parcial; orientação dos modelos, com fachadas principais orientadas a nordeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado que no Modelo Base, a Cozinha obteve 68% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (22% acima do limite superior de conforto e 10% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (18% acima do limite superior de conforto e 13% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou um aumento discreto de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto ou abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 21). Essa foi a primeira simulação, que o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas apresentou o aumento de as suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto maior do que no modelo base; isso ocorreu porque além da cozinha do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas possuir uma entrada a mais de ventilação natural do que no modelo base, o envelope utilizado por ser mais leve permitiu uma maior entrada de ventilação, diminuindo assim a sua temperatura interna. O que refletiu conseqüentemente no desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi insignificante, com 0,3°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 21: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.

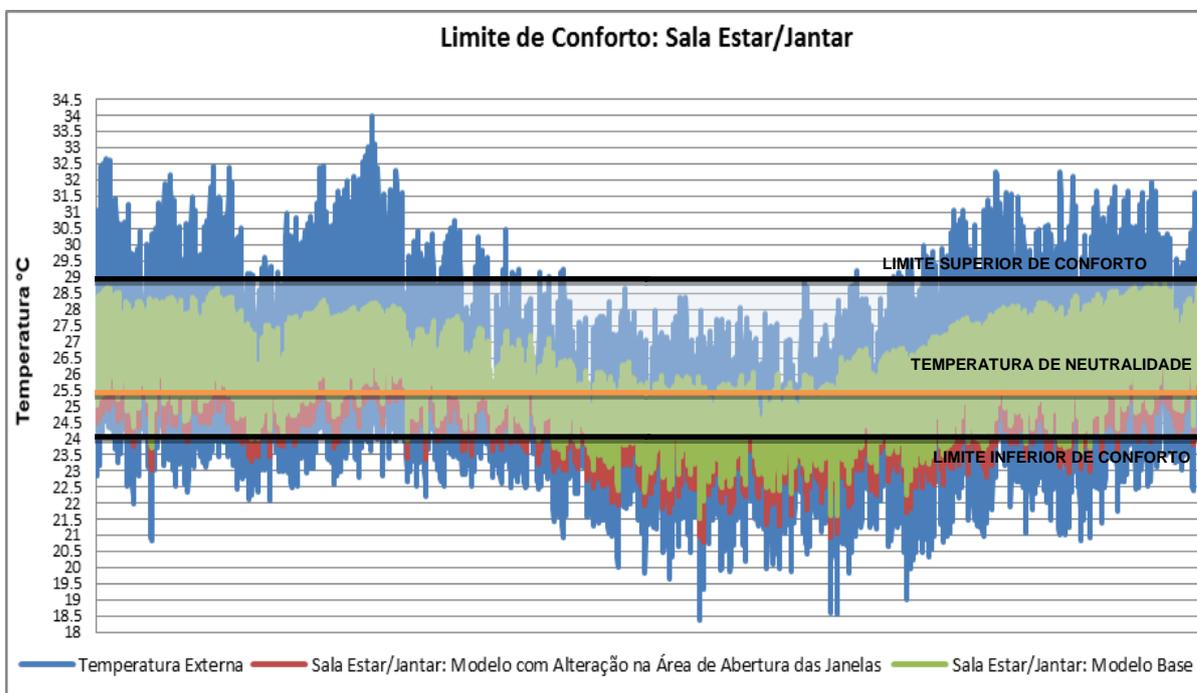


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 93% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 7% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 89% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso praticamente não determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 22). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi pequena, com 0,2°C a mais no modelo base (apêndice A).

Esse ambiente foi o que obteve o maior número de horas confortáveis nos dois modelos, porque o envelope utilizado nesta simulação, pintado na cor marrom escuro mesmo absorvendo uma quantidade de calor dentro deste ambiente, não havia recebido uma grande quantidade de radiação solar direta (não necessita de protetores solares) e o seu escoamento de ventilação na orientação nordeste, utilizada nesta simulação, foi satisfatório com entradas e saídas de ventilação.

Gráfico 22: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.

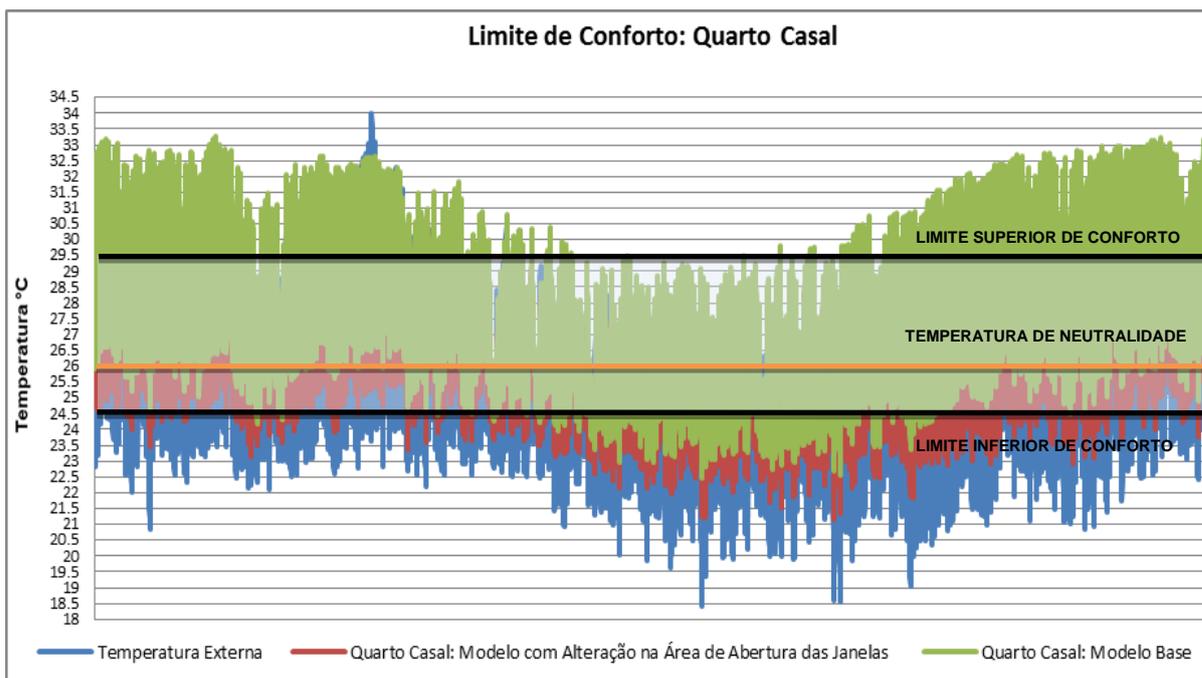


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 65% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (28% acima do limite superior de conforto e 7%

abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 68% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (17% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou, mesmo de maneira discreta, o aumento de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e abaixo do limite inferior de conforto, porque o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas possui uma esquadria a mais do que o modelo base, voltada para sudeste que permite a entrada de ventilação natural e a saída de ventilação ocorre através da esquadria voltada para nordeste, o que aumenta a velocidade do fluxo de ventilação neste ambiente. No caso do modelo base, essa entrada de ventilação se dá pelo banheiro, não sendo uma realidade satisfatória (gráfico 23). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual de 0,8°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 23: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.



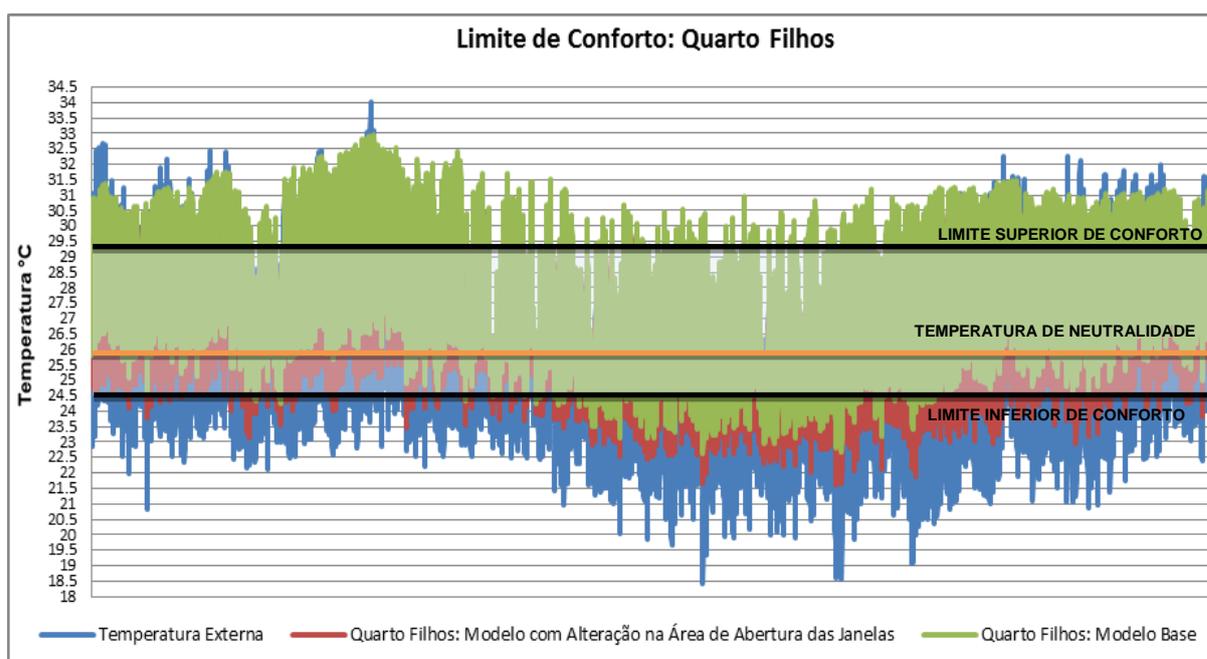
Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 67% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (27% acima do limite superior de conforto e 6% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (20% acima do limite superior de conforto e 14% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da

área do piso determinou uma diminuição, mesmo que mínima, de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 24). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura térmica interna anual também foi de 0,5°C a mais no modelo base (apêndice A).

Isso ocorreu porque mesmo o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas apresentando uma esquadria a mais na fachada sudeste, que serviu como entrada de ventilação, do que o modelo base; houve duas saídas de ventilação. Inclusive uma dessas saídas foi a da fachada sudoeste, que serviu como entrada de ventilação no modelo base. Todas as esquadrias pertencentes a esse ambiente, nos dois modelos, necessitam de protetores solares, por apresentarem a incidência de radiação solar direta nos horários considerados críticos.

Gráfico 24: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 05.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Percebe-se que na Simulação 05, o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi a Sala Estar/Jantar (93% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (65% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, o Quarto Casal foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis

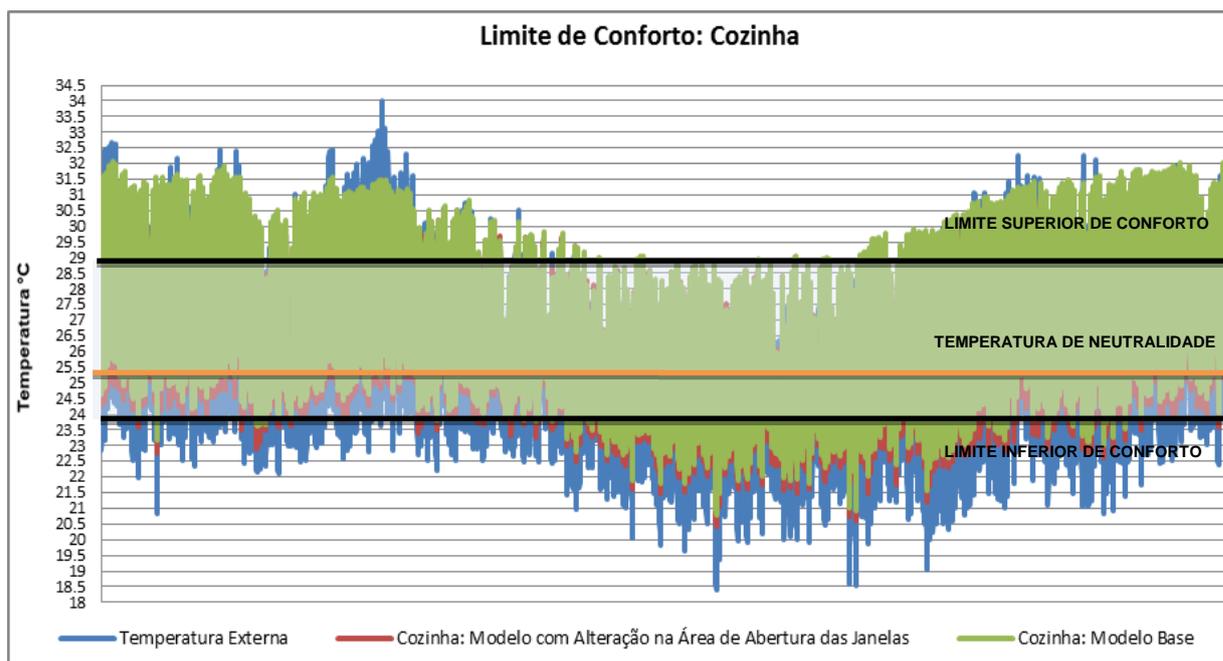
(89% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Filhos (66% de horas confortáveis).

No entanto, como essa simulação apresenta os valores de absorvância e transmitância do envelope acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 8, na qual pertence a cidade de Maceió. Pode-se perceber, portanto, que o programa EnergyPlus entendeu que os fechamentos mais leves (cobertura sem forro e parede de concreto maciço, com espessura de 10cm) permitem trocas mais rápidas de calor que, aliada a uma maior ventilação nos ambientes internos, pode explicar o maior número de horas confortáveis dentro do limite de conforto utilizado neste trabalho.

4.2.1.6. Simulação 06 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 05; com alteração apenas nas orientações dos modelos, com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado que no Modelo Base, a Cozinha obteve 67% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (22% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 68% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (19% acima do limite superior de conforto e 13% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou o aumento mínimo de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 25). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,2°C a mais no modelo base (apêndice A).

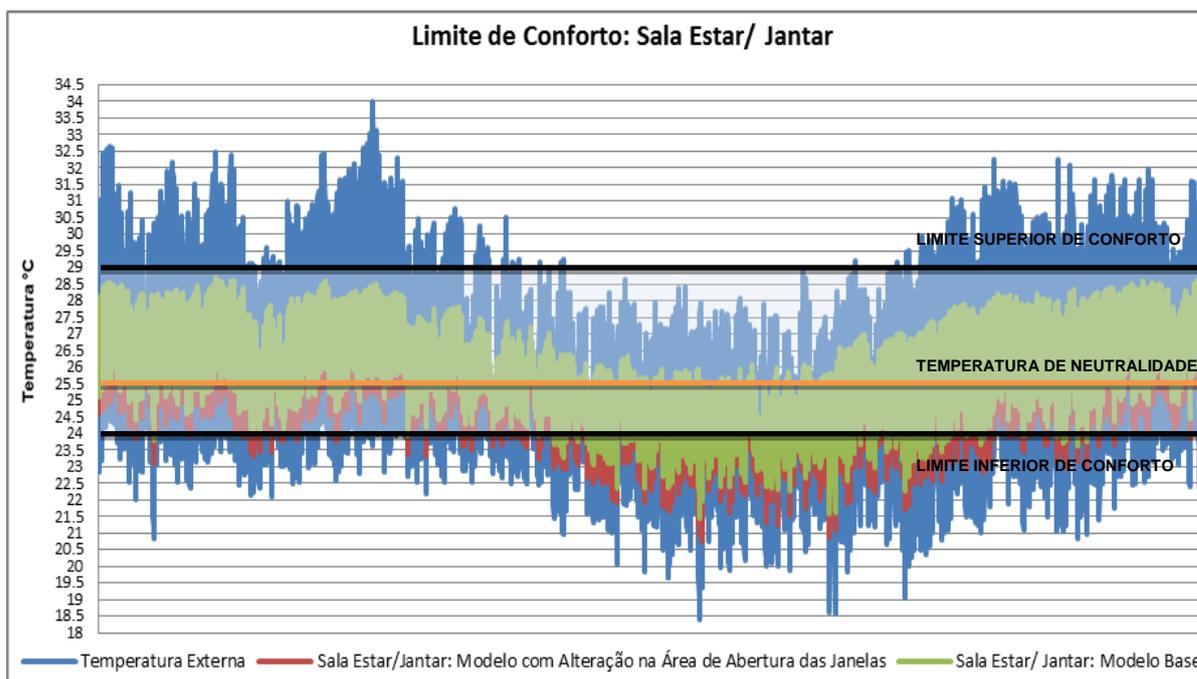
Gráfico 25: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 92% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 8% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 88% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (0% acima do limite superior de conforto e 12% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou levemente a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 26). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,4°C a mais no modelo base (apêndice A).

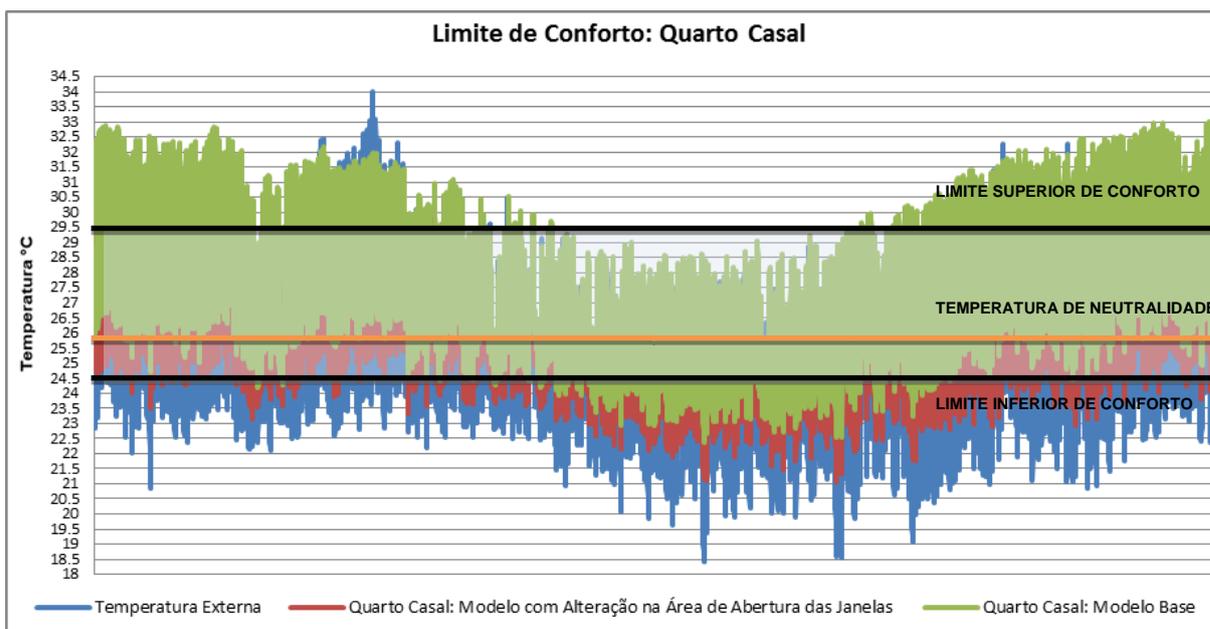
Gráfico 26: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 64% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (28% acima do limite superior de conforto e 8% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (15% acima do limite superior de conforto e 16% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou um discreto aumento de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 27). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,8°C a mais no modelo base (apêndice A).

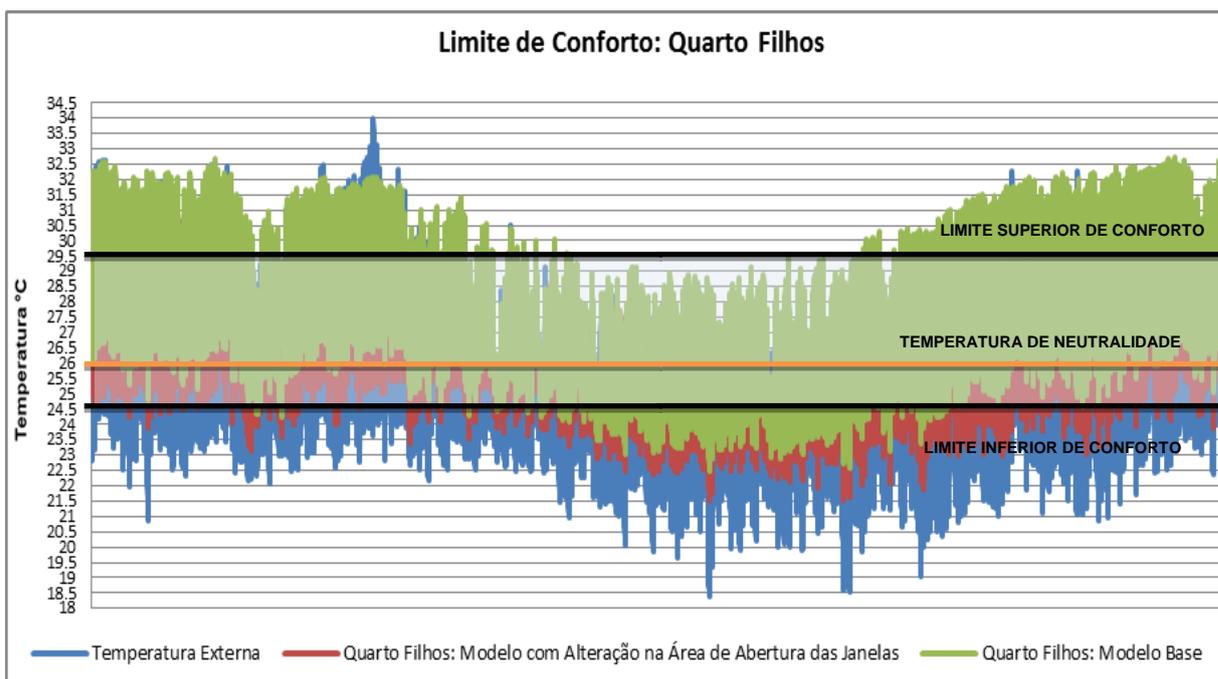
Gráfico 27: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 68% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (25% acima do limite superior de conforto e 7% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (20% acima do limite superior de conforto e 14% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso não determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 28). No desempenho desse ambiente, a variação térmica interna anual foi de 0,5°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 28: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 06.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

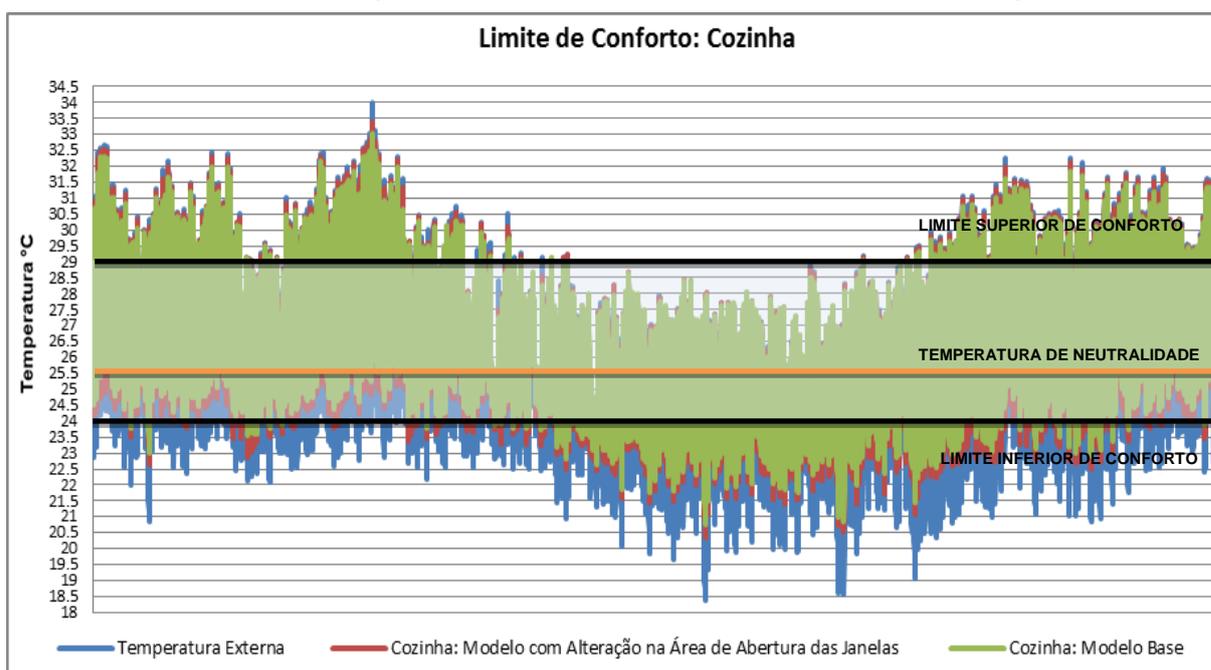
Percebe-se que na Simulação 06, assim como ocorreu na simulação 05, o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi a Sala Estar/Jantar (92% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Casal (64% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (89% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi o Quarto Filhos (66% de horas confortáveis). Logo, confirma-se mais uma vez, que a mudança de orientação desses modelos não representa mudanças significativas nos seus resultados de temperatura interna.

4.2.1.7. Simulação 07 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 05; com alteração apenas na entrada de ventilação natural, com janelas e portas abertas o dia inteiro; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado que no Modelo Base, a Cozinha obteve 72% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro

do limite de conforto (14% acima do limite superior de conforto e 20% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 29). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,2°C a mais no modelo base (apêndice A).

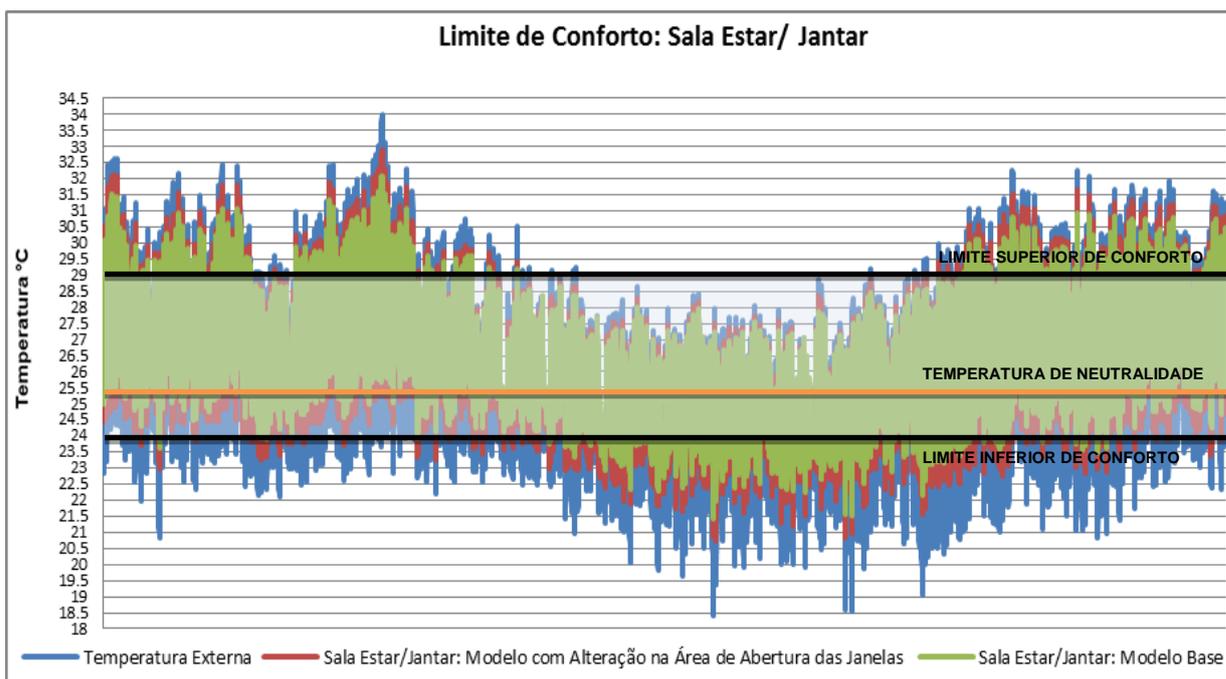
Gráfico 29: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 78% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (11% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 71% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (12% acima do limite superior de conforto e 17% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma pequena diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 30). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,3°C a mais no modelo base (apêndice A).

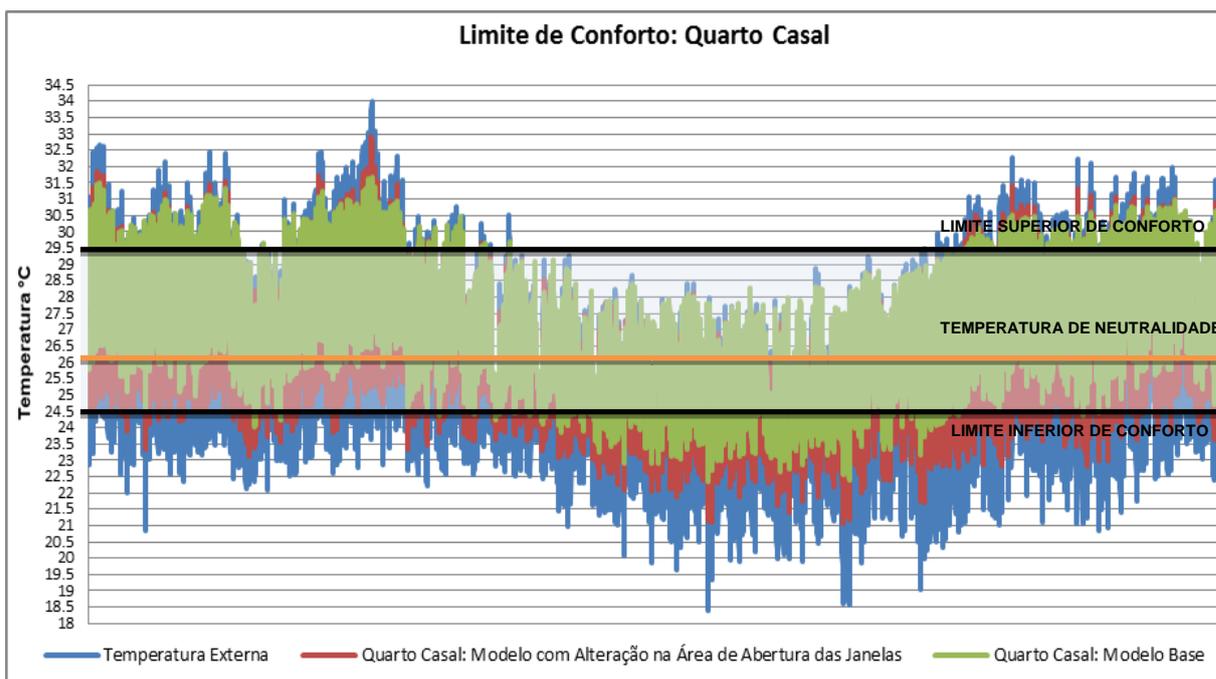
Gráfico 30: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 78% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (12% acima do limite superior de conforto e 10% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 70% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (8% acima do limite superior de conforto e 22% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 31). No desempenho desse ambiente, a variação térmica interna anual foi de 0,7°C a mais no modelo base (apêndice A).

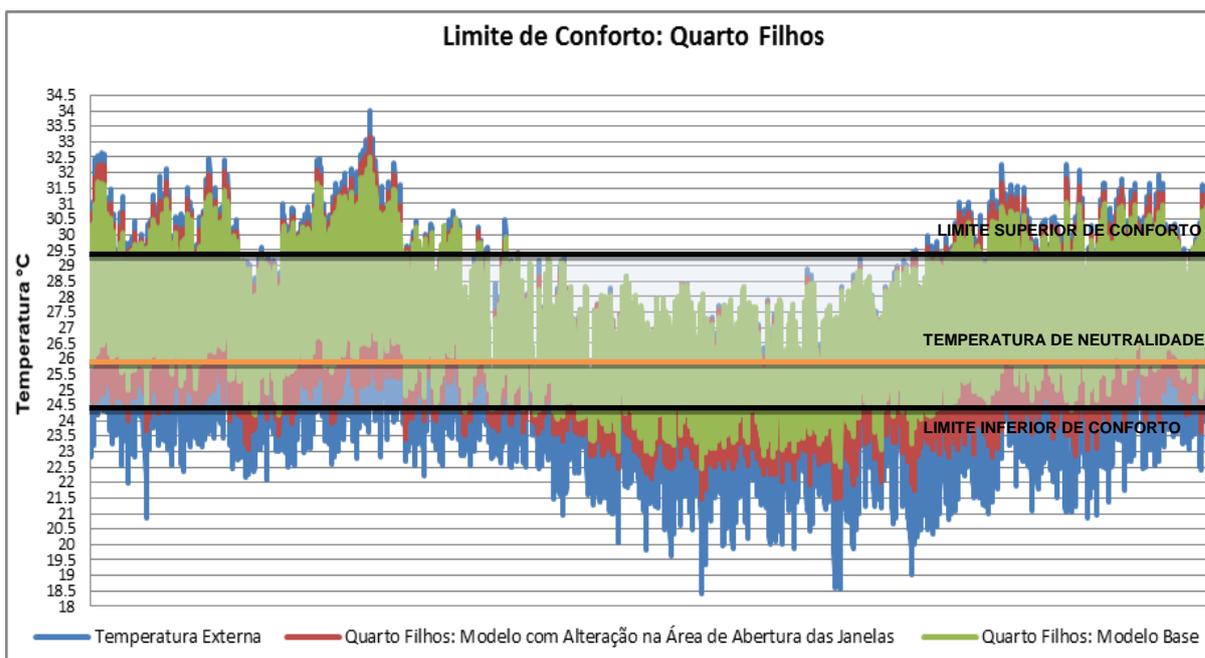
Gráfico 31: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 81% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 9% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 70% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 20% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 32). No desempenho desse ambiente, a variação térmica interna anual foi de 0,6°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 32: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 07.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

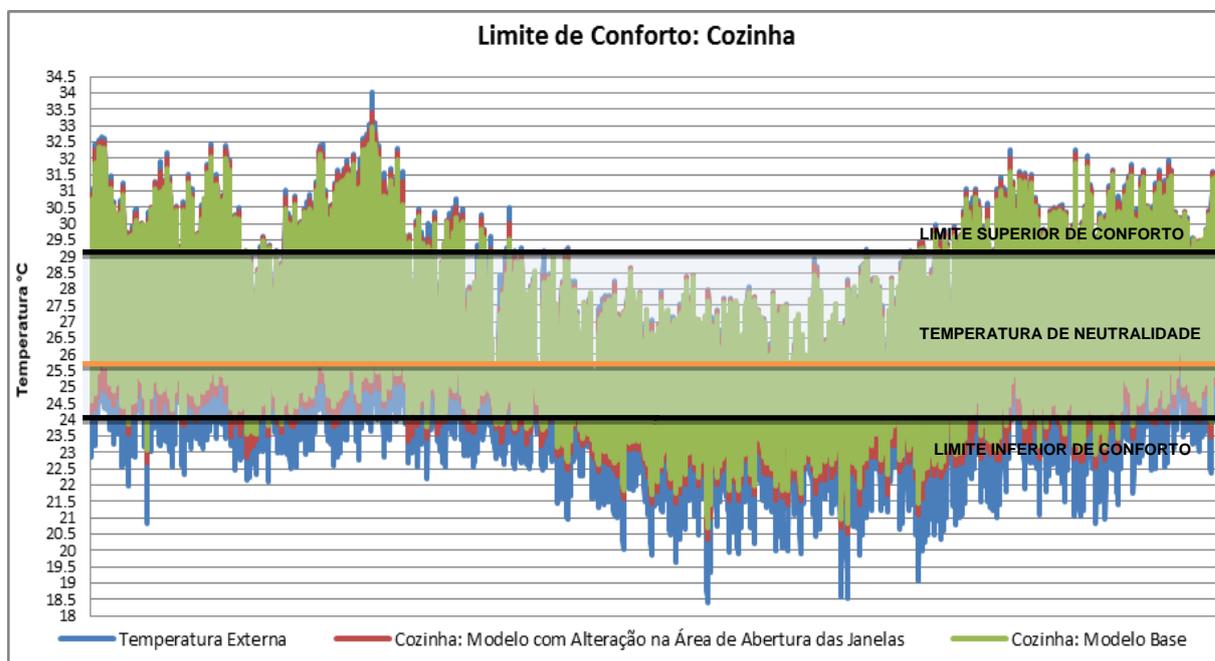
Percebe-se que na Simulação 07, que corresponde aos mesmos parâmetros variáveis da simulação 05 com alteração apenas na ventilação (total), o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi o Quarto Filhos (81% de horas confortáveis) e o que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (72%). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (71%) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis, assim como ocorreu no modelo base, foi a Cozinha (66%).

A análise qualitativa confirma esses resultados da simulação, porque no modelo base o quarto filhos é o único ambiente desse modelo, que possui entrada de ventilação direta no próprio ambiente, mesmo necessitando de protetores solares em sua abertura. Já a ventilação da cozinha é indireta, oriunda do quarto filhos e sala, o que faz com que a sua velocidade e intensidade sejam menores. No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a sala estar/ jantar foi a que obteve o maior número de horas confortáveis, porque além desta possuir uma abertura de entrada e saída no próprio ambiente, ainda recebe ventilação de outros ambientes.

4.2.1.8. Simulação 08 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 05; com alterações tanto na entrada de ventilação natural, com janelas e portas abertas o dia inteiro, quanto nas orientações dos modelos com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno; e sem o uso de protetores solares).

Foi observado no Modelo Base, que a Cozinha obteve 72% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (14% acima do limite superior de conforto e 20% abaixo do limite inferior de conforto). O que demonstra que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 33). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,2°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 33: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.

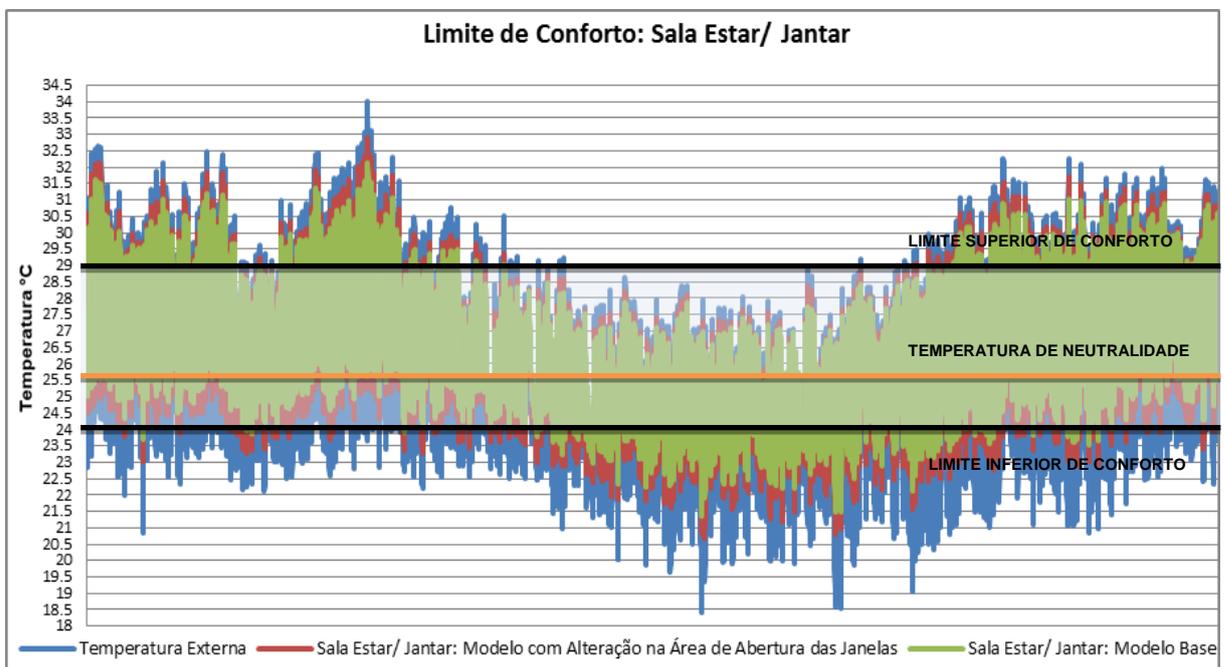


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 78% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (11% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na

Área de Abertura das Janelas resultou em 70,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (12% acima do limite superior de conforto e 17,5% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma discreta diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 34). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,3°C a mais no modelo base (apêndice A).

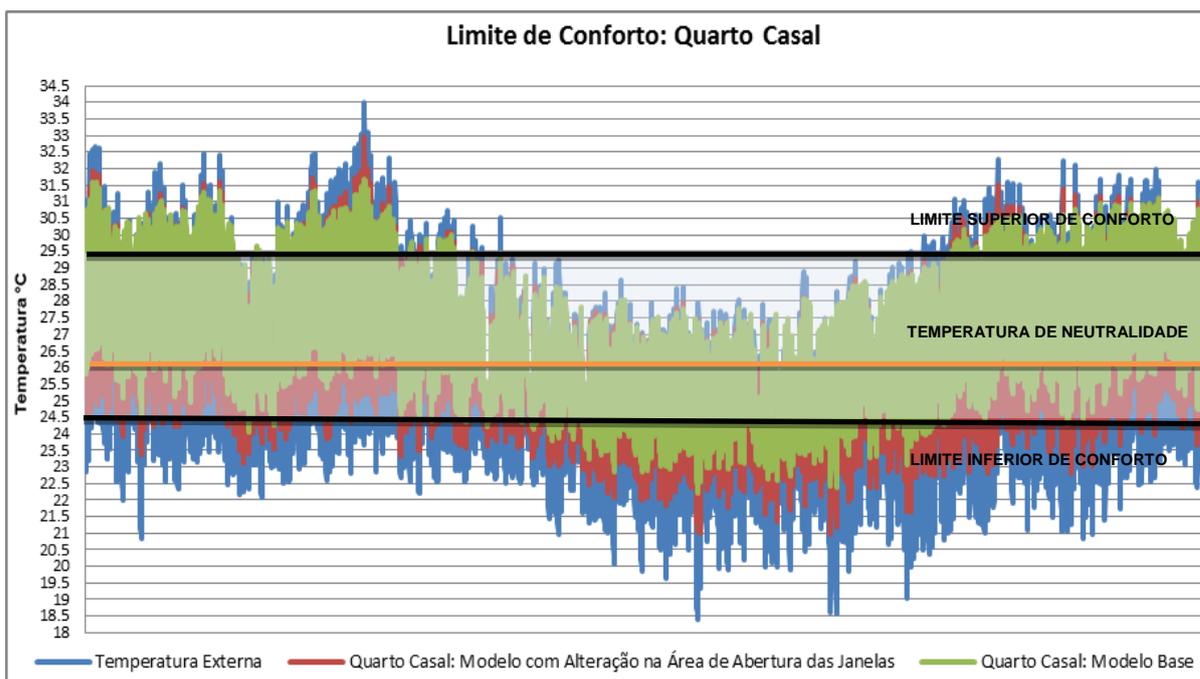
Gráfico 34: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 77% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (12% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 68% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (9% acima do limite superior de conforto e 23% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou uma pequena diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas do ar internas abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 35). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,8°C a mais no modelo base (apêndice A).

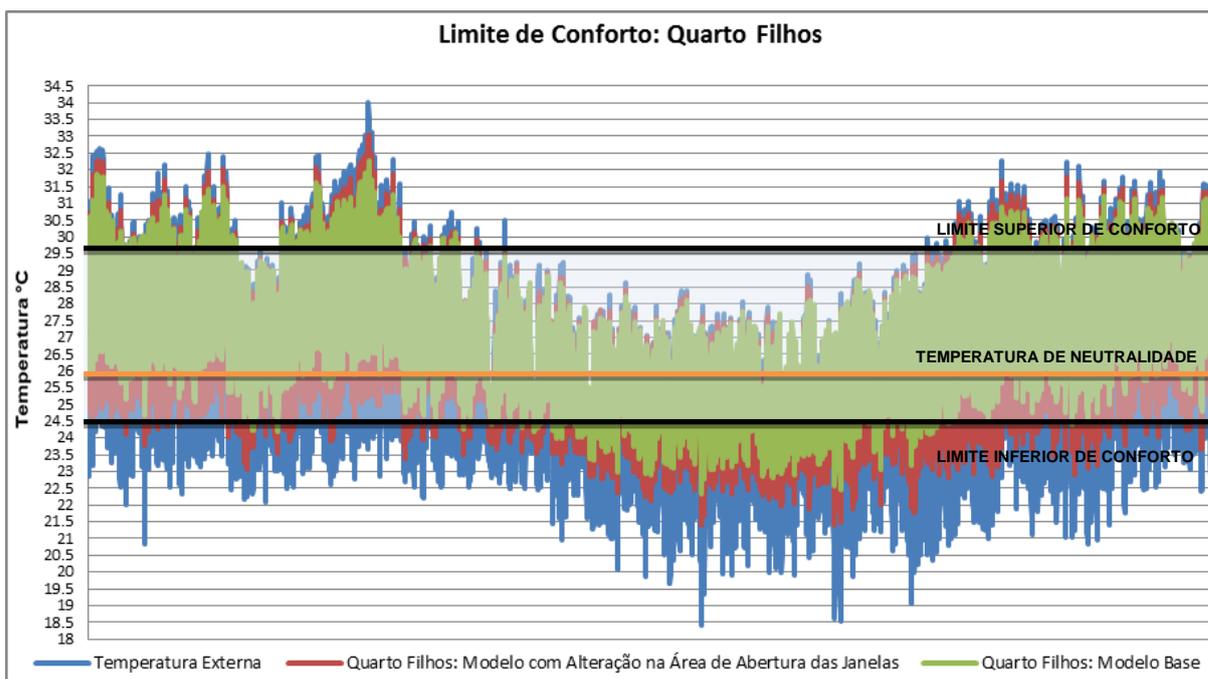
Gráfico 35: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 79% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10,5% acima do limite superior de conforto e 10,5% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 21% abaixo do limite inferior de conforto). Logo, o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso proporcionou a diminuição de horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto (gráfico 36). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,7°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 36: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 08.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Percebe-se que na Simulação 08, assim como ocorreu na simulação 07, o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis foi o Quarto Filhos (79% de horas confortáveis) e o que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (72%) do Modelo Base. No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (70,5%) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (66%). O que confirma mais uma vez, que a mudança de orientação não resulta em mudanças significativas de temperatura interna desses modelos.

Analisando-se os resultados obtidos, observou-se que dentre as Simulações 01, 02, 03 e 04 (que possui o envelope com as características originais da edificação utilizada como modelo base, variando apenas as orientações e o tipo de ventilação utilizada nas simulações), a Simulação 04 foi a que obteve a menor porcentagem de número de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto nos modelos estudados (quadro 24).

Quadro 24: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 01, 02, 03 e 04. Modelo Base (M.B); Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (M.A).

	Cozinha	Sala Estar/ Jantar	Quarto Casal	Quarto Filhos
Simulação	85% (M.B) 73,5%	88% (M.B)	83,5% (M.B) 76%	86% (M.B)
01	(M.A)	87% (M.A)	(M.A)	79% (M.A)
Simulação	85% (M.B)	88% (M.B)	84% (M.B) 77,5%	85% (M.B)
02	72% (M.A)	87% (M.A)	(M.A)	76% (M.A)
Simulação	71% (M.B)	81% (M.B)	81,98% (M.B) 67%	80% (M.B)
03	64% (M.A)	69% (M.A)	(M.A)	65% (M.A)
Simulação	71% (M.B) 64,5%	80,5% (M.B) 69%	81% (M.B)	80% (M.B)
04	(M.A)	(M.A)	66% (M.A)	65% (M.A)

Já dentre as Simulações 05, 06, 07 e 08, (que possui o envelope com valores de absortância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220, variando apenas as orientações e o tipo de ventilação utilizada nas simulações), a Simulação 08 foi a que obteve de uma forma geral o menor número de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto nos modelos estudados, visto que mesmo nas Simulações 05 e 06 os quartos casal e filhos obtendo porcentagens menores, na sala estar/ jantar essas simulações resultaram em mais de 90% de número de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto utilizado neste trabalho (quadro 25).

Quadro 25: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 05, 06, 07 e 08. Modelo Base (M.B); Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (M.A).

	Cozinha	Sala Estar/ Jantar	Quarto Casal	Quarto Filhos
Simulação	68% (M.B)	93% (M.B)	65% (M.B)	67% (M.B)
05	69% (M.A)	89% (M.A)	68% (M.A)	66% (M.A)
Simulação	67% (M.B)	92% (M.B)	64% (M.B)	68% (M.B)
06	68% (M.A)	88% (M.A)	69% (M.A)	66% (M.A)
Simulação	72% (M.B)	78% (M.B)	78% (M.B)	81% (M.B)
07	66% (M.A)	71% (M.A)	70% (M.A)	70% (M.A)
Simulação	72% (M.B)	78% (M.B)	77% (M.B)	79% (M.B)
08	66% (M.A)	70,5% (M.A)	68% (M.A)	69% (M.A)

Logo, a partir das Simulações 04 e 08, que obtiveram os menores números de horas dentro do limite de conforto, foram estabelecidas mais duas composições, que incluíram dentre os parâmetros variáveis o uso de protetores solares; com o intuito de observar a variação de desempenho térmico dos modelos estudados.

O quadro 26 apresenta as composições utilizadas nas simulações de desempenho térmico dos modelos com o uso protetores solares mistos.

Quadro 26: composição dos parâmetros variáveis dos Modelos Base e do Modelo com Alteração para a simulação computacional, com protetores solares, com destaque nas alterações entre as simulações.

<p>SIMULAÇÃO 09</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Parede:</u> composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; • <u>Cobertura:</u> composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; • Entrada de ventilação natural: constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: com protetores solares.
<p>SIMULAÇÃO 10</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Parede:</u> Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; • <u>Cobertura:</u> Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; • Entrada de ventilação natural: constante (com janelas e portas abertas o dia inteiro); • Orientação do modelo: com fachada principal orientada a noroeste no terreno; • Sombreamento das aberturas: com protetores solares.

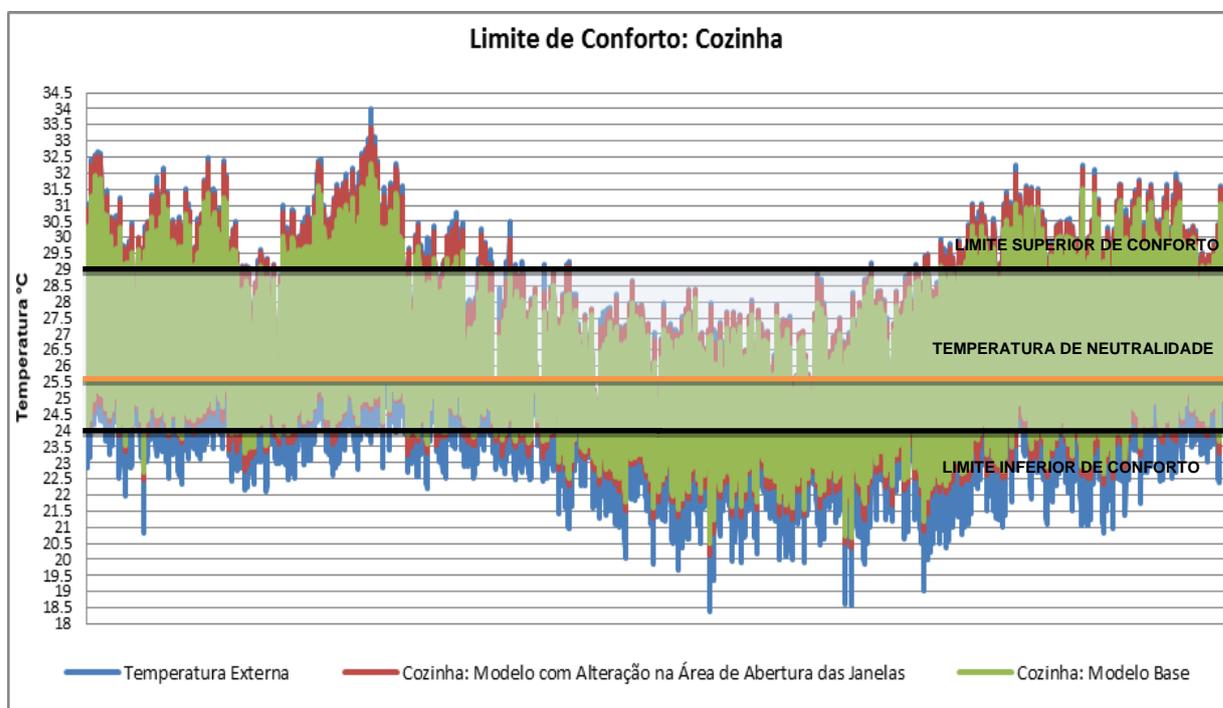
Atendendo as composições descritas acima, estabelecidas para as simulações com seus limites de conforto, foram gerados gráficos que apresentaram as variações do comportamento térmico anual do Modelo Base e do Modelo com Alteração no interior da cozinha, da sala estar/ jantar, do quarto casal e do quarto filhos.

4.2.1.9. Simulação 09 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 04 - envelope com as características originais dos dois modelos analisados; entrada de ventilação natural constante, com janelas e portas abertas o dia inteiro; orientação dos modelos, com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno – apenas com a adição de protetores solares, definidos anteriormente no item 4.1.1. Nos Estudos de Insolação das Fachadas).

Observou-se que no Modelo Base, a Cozinha obteve 71% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 19% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 64% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 23% abaixo do limite

inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e observou-se também que comparando com os resultados obtidos na simulação 04 (no Modelo Base, a cozinha obteve 71% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 64,5%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas) praticamente não houve nenhuma variação térmica interna anual da cozinha mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 37). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi praticamente inexistente, de 0,1°C a mais no modelo com alteração (apêndice A).

Gráfico 37: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.

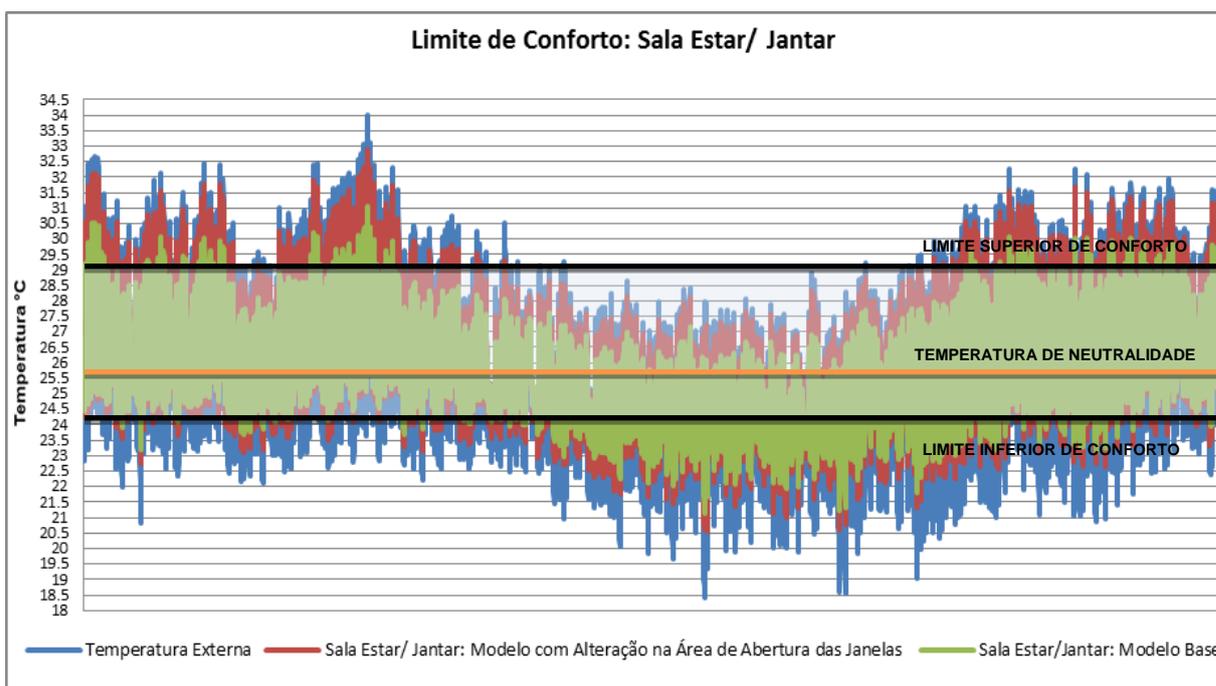


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na sala de estar/ jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 80% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (04% acima do limite superior de conforto e 16% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (11% acima do limite superior de conforto e 20% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima do limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto e observou-se

também que assim como ocorreu na cozinha, em comparação com a simulação 04 (no Modelo Base, a sala estar/ jantar obteve 80,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 69%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas) a sala estar/ jantar não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 38). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura térmica interna anual foi insignificante, de 0,2°C a mais no modelo com alteração (apêndice A).

Gráfico 38: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.

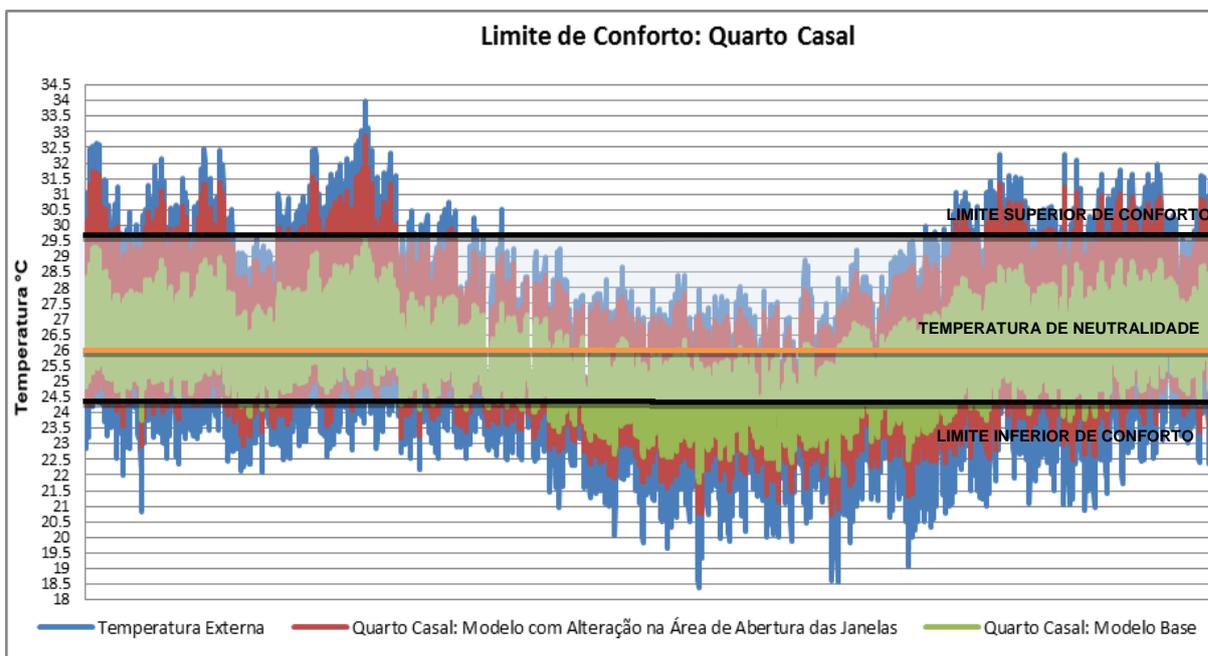


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O quarto casal, no Modelo Base, obteve 80% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (0,02% acima do limite superior de conforto e 19,98% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (6% acima do limite superior de conforto e 28% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto e acima do limite superior de conforto e foi observado novamente, que assim como ocorreram nos outros ambientes internos, em comparação com a simulação 04 (no Modelo Base, o quarto casal obteve 81% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 66%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas), o quarto

casal não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 39). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,2°C a mais no modelo com alteração (apêndice A).

Gráfico 39: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.

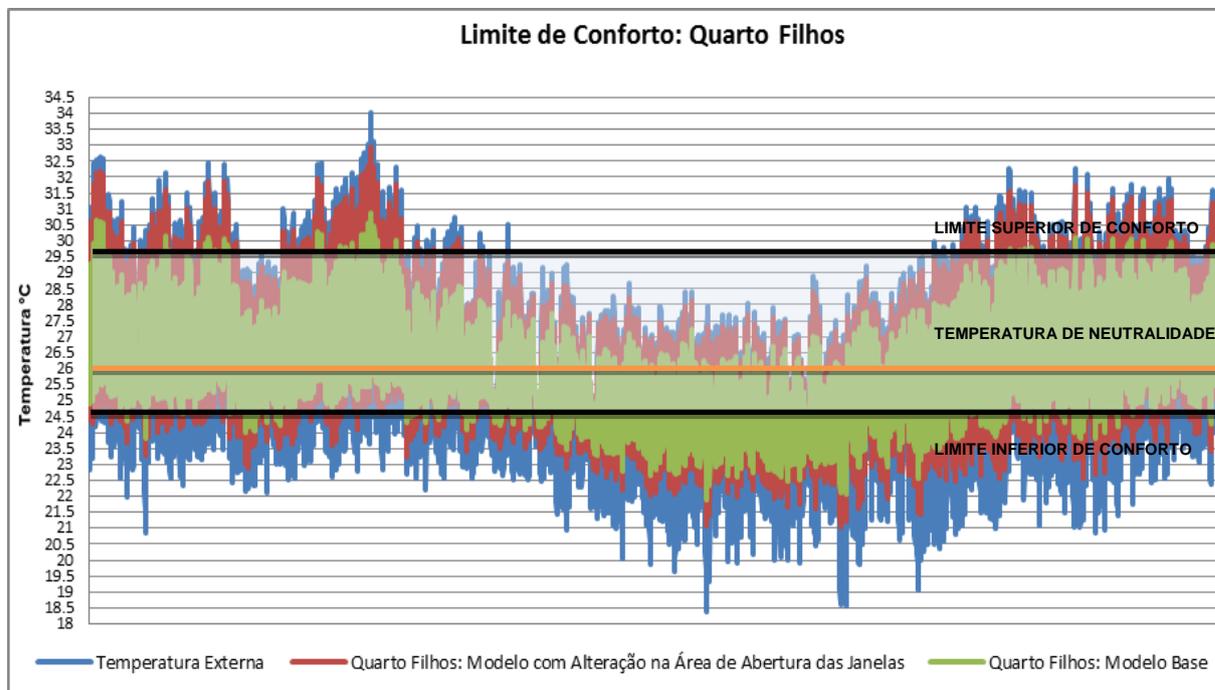


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 80% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (2% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 64,5% de suas horas de temperaturas do ar internas dentro do limite de conforto (8,5% acima do limite superior de conforto e 27% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto e acima do limite superior de conforto e foi confirmado, que assim como foi observado nos outros ambientes internos, em comparação com a simulação 04 (no Modelo Base, o quarto filhos obteve 80% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 65%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas), o quarto filhos também não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas

dos modelos (gráfico 40). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi desprezível, de 0,1°C a mais no modelo com alteração (apêndice A).

Gráfico 40: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 09.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

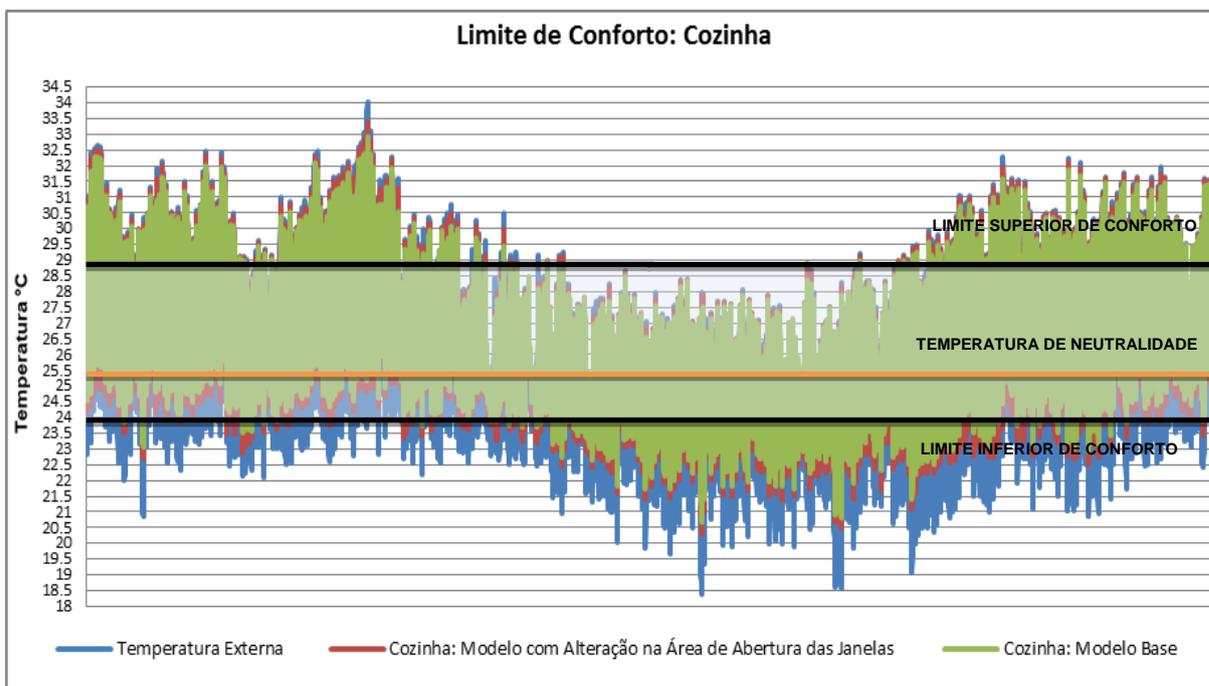
Percebe-se que na Simulação 09, os ambientes internos do Modelo Base que obtiveram o maior número de horas confortáveis foram: a Sala Estar/ Jantar e o Quarto Casal (80% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (71% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (69% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (64% de horas confortáveis). Verifica-se mais uma vez, como nas simulações anteriores, que o aumento da área efetiva de ventilação foi entendido pelo programa computacional como aumento de carga térmica interna.

A adição dos protetores solares mistos nas esquadrias dos modelos, não resultou em mudanças significativas de comportamentos térmicos internos.

4.2.1.10. Simulação 10 (possui os mesmos parâmetros variáveis da Simulação 08 - envelope com valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 - ABNT, 2005; entrada de ventilação natural em período parcial; orientação dos modelos, com fachadas principais orientadas a noroeste no terreno – apenas com a adição de protetores solares, definidos anteriormente no item 4.1.1. Nos Estudos de Insolação das Fachadas).

Foi observado no Modelo Base, que a Cozinha obteve 72% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 15% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 66% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (13% acima do limite superior de conforto e 21% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto e comparando com os resultados obtidos na simulação 08 foram observadas as mesmas porcentagens de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (gráfico 41). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura do ar interna anual foi desprezível, de 0,2°C a mais no modelo base (apêndice A).

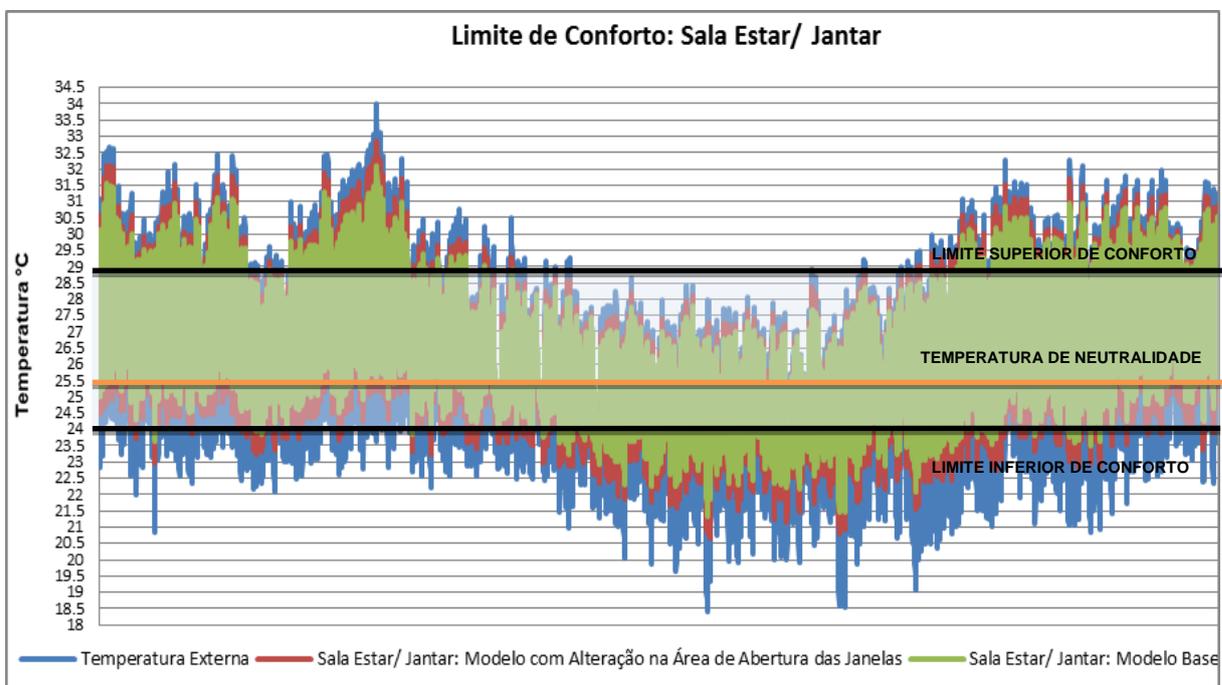
Gráfico 41: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Na Sala de Estar/ Jantar foi observado que no Modelo Base esta obteve 77% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (11% acima do limite superior de conforto e 12% abaixo do limite inferior de conforto); o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 70 % de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (12% acima do limite superior de conforto e 18% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar acima limite superior de conforto e abaixo do limite inferior de conforto e observou-se também que assim como ocorreu na cozinha, em comparação com a simulação 08 (no Modelo Base, a sala estar/ jantar obteve 78% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 70,5%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas) a sala estar/ jantar não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 42). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura do ar interna anual foi baixa, de 0,3°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 42: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.

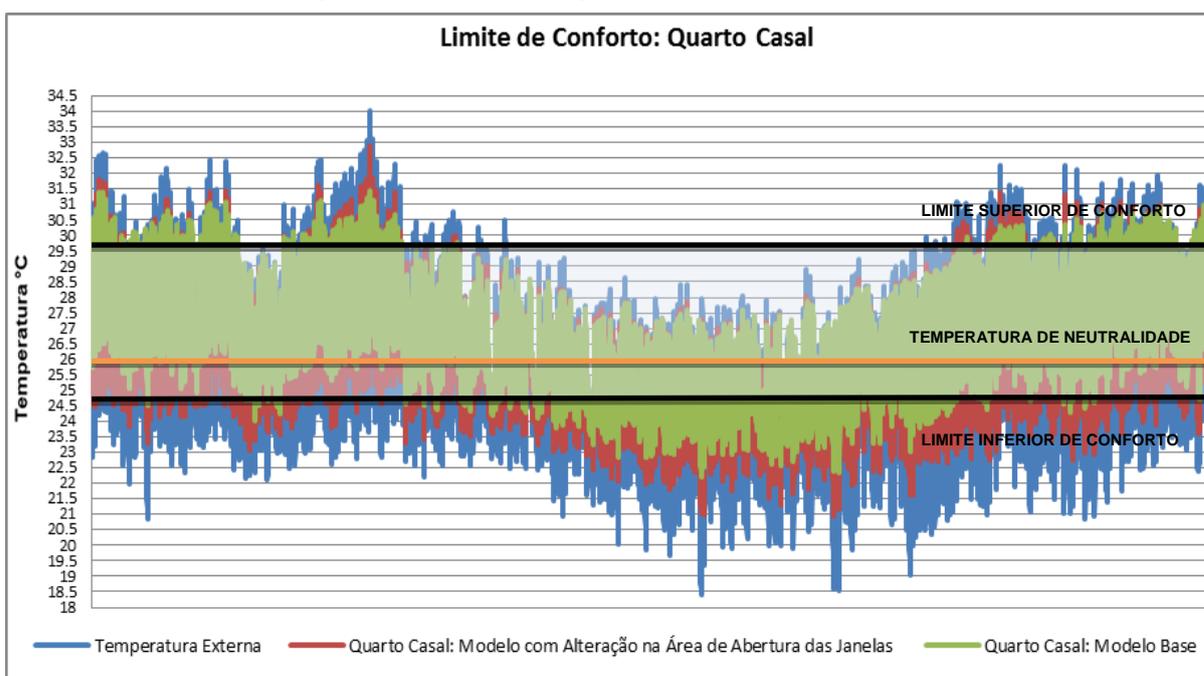


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

O Quarto Casal, no Modelo Base, obteve 78% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (10% acima do limite superior de conforto e 12% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das

Janelas resultou em 69% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (7% acima do limite superior de conforto e 24% abaixo do limite inferior de conforto). Demonstrou que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou a leve diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas do ar internas abaixo do limite inferior de conforto e observou-se também que assim como ocorreu nos outros ambientes internos, em comparação com a simulação 08 (no Modelo Base, o quarto casal obteve 77% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 68%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas) o quarto casal não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 43). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,7°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 43: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.

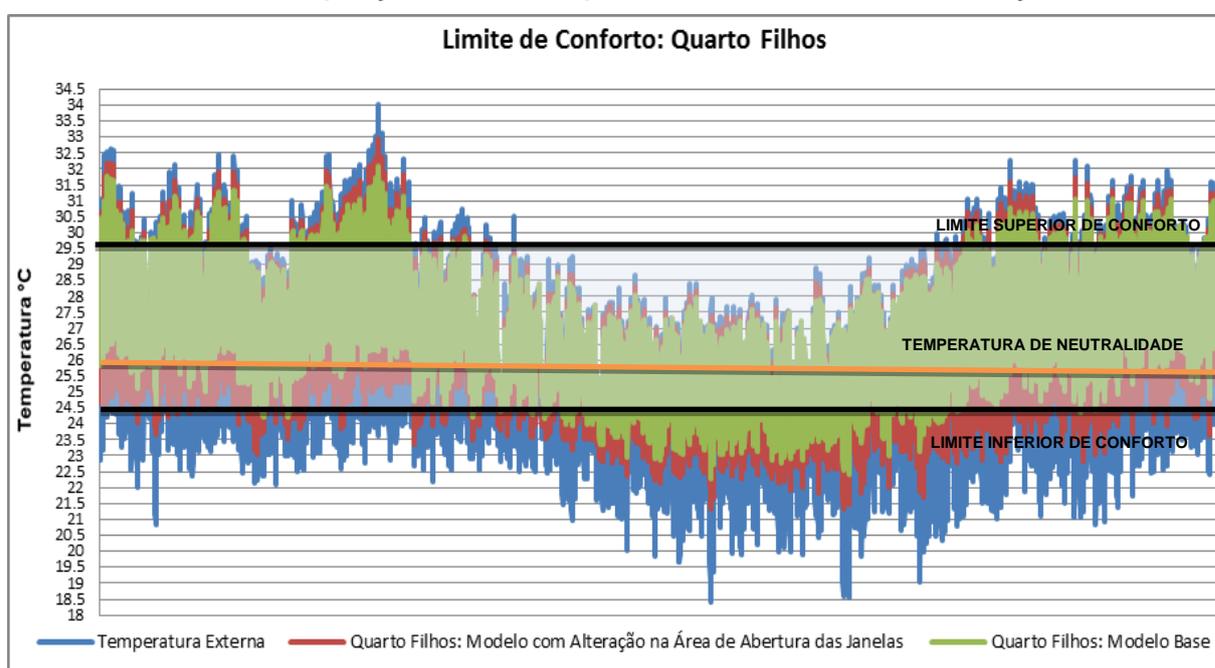


Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Foi observado no Modelo Base, que o Quarto Filhos obteve 80% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (9% acima do limite superior de conforto e 11% abaixo do limite inferior de conforto); já o Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas resultou em 68,5% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (9% acima do limite superior de conforto e 22,5% abaixo do limite inferior de conforto). Logo, o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso proporcionou a diminuição de horas de temperaturas do ar internas dentro do

limite de conforto e o aumento de horas de temperaturas internas do ar abaixo do limite inferior de conforto e observou-se também, que assim como ocorreram nos outros ambientes internos, em comparação com a simulação 08 (no Modelo Base, o quarto filhos obteve 79% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto 69%, no Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas) o quarto filhos não apresentou variações significativas no seu comportamento térmico interno anual, mesmo adicionando os protetores solares nas janelas dos modelos (gráfico 44). No desempenho desse ambiente, a variação de temperatura interna anual foi de 0,6°C a mais no modelo base (apêndice A).

Gráfico 44: Comparação anual das temperaturas do ar dos Modelos - Simulação 10.



Fonte: Programa computacional EnergyPlus versão 8.1 (DOE, 2005).

Percebe-se que na Simulação 10, o ambiente interno do Modelo Base que obteve o maior número de horas confortáveis foi o Quarto Filhos (80% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (72% de horas confortáveis). No caso do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas, a Sala Estar/Jantar foi o ambiente interno que obteve o maior número de horas confortáveis (70% de horas confortáveis) e o ambiente interno que obteve o menor número de horas confortáveis foi a Cozinha (66% de horas confortáveis). Verificando mais uma vez, como nas simulações anteriores, que o aumento da área efetiva de ventilação foi entendido pelo programa computacional como aumento de carga térmica interna.

A adição dos protetores solares mistos nas esquadrias dos modelos, assim como foi observado na simulação 09, não resultou em mudanças significativas de comportamentos térmicos internos.

O quadro 27 a seguir, sintetiza as porcentagens de horas confortáveis dos modelos analisados nas Simulações 09 e 10 (que possuem os parâmetros variáveis das simulações 04 e 08, apenas com o acréscimo de protetores solares mistos, definidos anteriormente no item 4.1.1.).

Quadro 27: Síntese das porcentagens de horas confortáveis dos modelos nas simulações 09 e 10. Modelo Base (M.B); Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (M.A).

	Cozinha	Sala Estar/ Jantar	Quarto Casal	Quarto Filhos
Simulação	71% (M.B)	80% (M.B)	80% (M.B)	80% (M.B)
09	64% (M.A)	69% (M.A)	66% (M.A)	64,5% (M.A)
Simulação	72% (M.B)	77% (M.B)	78% (M.B)	80% (M.B)
10	66% (M.A)	70% (M.A)	69% (M.A)	68,5% (M.A)

4.2.1.11 Síntese geral das simulações

Com base na análise das dez simulações realizadas, concluiu-se que:

a) A cozinha e o quarto filhos conseguiram as menores temperaturas médias anuais (Apêndice A) e os maiores números de horas confortáveis dentro do limite de conforto na simulação 01, que possui as características originais dos dois modelos analisados, pois capta uma quantidade suficiente de ventilação natural, diminuindo a temperatura interna nesses ambientes;

b) No caso da sala estar/ jantar houve uma divergência entre os resultados encontrados no limite de conforto e no desempenho térmico dos modelos (temperaturas médias anuais). Visto que a sala estar/ jantar alcançou o maior número de horas confortáveis dentro do limite de conforto na simulação 05, que corresponde ao envelope com valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005); no entanto, foi na Simulação 01, que possui as características originais dos dois modelos analisados, que a sala estar/ jantar alcançou a menor temperatura média anual (Apêndice A).

c) O quarto casal obteve o seu melhor resultado de comportamento térmico na simulação 02, que possui os mesmos parâmetros variáveis da simulação 01 com alteração

apenas na orientação (noroeste), com entrada de ventilação natural no próprio quarto casal e saída de ventilação em direção aos outros ambientes, aumentando a sua velocidade e intensidade.

Logo, esses quatro ambientes podem ser considerados confortáveis; visto que na sua maior parte do tempo, através das diversas simulações efetuadas as temperaturas internas desses ambientes estavam dentro do limite de conforto estabelecido.

d) Quanto ao uso de protetores solares nos dois modelos analisados (simulação 09 e simulação 10), percebeu-se que o programa EnergyPlus não foi sensível quanto a essas adições, pois os resultados foram praticamente os mesmos obtidos nas simulações sem o uso desses protetores (simulação 04 e simulação 08).

O quadro 28 a seguir sintetiza os melhores resultados de comportamento térmico nos quatro ambientes simulados e no apêndice A estão todas as temperaturas internas anuais do Modelo Base e do Modelo com Alteração, obtidas através das dez simulações.

Quadro 28: Síntese dos melhores resultados de comportamento térmico nos quatro ambientes internos estudados, dentre as dez simulações. Modelo Base (M.B); Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas (M.A)

	Cozinha	Sala Estar/ Jantar	Quarto Casal	Quarto Filhos
Simulação 01	85% / 25,6°C (M.B) 73,5% / 26,2°C (M.A)	25,0°C (M.B) 25,4°C (M.A)		86% / 25,8°C (M.B) 79% / 26,5°C (M.A)
Simulação 02			84% / 25,8°C (M.B) 77,5% / 26,2°C (M.A)	
Simulação 05		93% (M.B) 89% (M.A)		

Fazendo uma relação entre as simulações e os parâmetros variáveis simulados, as tabelas a seguir sintetizam os resultados encontrados quanto às porcentagens de conforto obtidas. Para essa análise, as simulações foram agrupadas duas a duas, para situações em que as diferenças entre as simulações correspondiam unicamente à variação de cada parâmetro analisado.

Tabela 05: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se o envelope. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Envelope (paredes e cobertura)	
Simulação 01 (original)	Simulação 05 (valores acima do que é recomendado na NBR 15220, 2005)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 85% M.B 73,5% M.A • Sala estar/jantar: 88% M.B 87% M.A • Quarto casal: 83,5% M.B 76% M.A • Quarto filhos: 86% M.B 79% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 68% M.B 69% M.A • Sala estar/jantar: 93% M.B 89% M.A • Quarto casal: 65% M.B 68% M.A • Quarto filhos: 67% M.B 66% M.A

Tabela 06: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se o envelope. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Envelope (paredes e cobertura)	
Simulação 01 (original)	Simulação 05 (valores acima do que é recomendado na NBR 15220, 2005)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 25,6°C M.B 26,2°C M.A • Sala estar/jantar: 25,0°C M.B 25,4°C M.A • Quarto casal: 25,7°C M.B 26,3°C M.A • Quarto filhos: 25,8°C M.B 26,5°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 26,9°C M.B 26,6°C M.A • Sala estar/jantar: 26,0°C M.B 25,7°C M.A • Quarto casal: 27,8°C M.B 27,0°C M.A • Quarto filhos: 27,8°C M.B 27,3°C M.A

- **Análise dos resultados:** observou-se que o envelope utilizado na simulação 01, com características originais dos dois modelos analisados, obteve uma quantidade maior de horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto. Apenas no ambiente da sala estar/ jantar o envelope utilizado na simulação 05, com valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220

(ABNT, 2005), apresentou uma quantidade maior de horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto. No entanto como já foi verificado anteriormente, foi na Simulação 01, que possui as características originais dos dois modelos analisados, que a sala estar/ jantar alcançou as menores temperaturas médias anuais nos dois modelos.

Tabela 07: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a orientação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Orientação dos Modelos	
Simulação 01 (fachada principal orientada a nordeste no terreno)	Simulação 02 (fachada principal orientada a noroeste no terreno)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 85% M.B 73,5% M.A • Sala estar/jantar: 88% M.B 87% M.A • Quarto casal: 83,5% M.B 76% M.A • Quarto filhos: 86% M.B 79% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 85% M.B 72% M.A • Sala estar/jantar: 88% M.B 87% M.A • Quarto casal: 84% M.B 77,5% M.A • Quarto filhos: 85% M.B 76% M.A

Tabela 08: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a orientação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Orientação dos Modelos	
Simulação 01 (fachada principal orientada a nordeste no terreno)	Simulação 02 (fachada principal orientada a noroeste no terreno)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 25,6°C M.B 26,2°C M.A • Sala estar/jantar: 25,0°C M.B 25,4°C M.A • Quarto casal: 25,7°C M.B 26,3°C M.A • Quarto filhos: 25,8°C M.B 26,5°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 25,6°C M.B 26,3°C M.A • Sala estar/jantar: 25,0°C M.B 25,5°C M.A • Quarto casal: 25,8°C M.B 26,2°C M.A • Quarto filhos: 25,8°C M.B 26,4°C M.A

- **Análise dos resultados:** observou-se que as mudanças de orientações dos modelos geraram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

Tabela 09: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Entrada de Ventilação Natural	
Simulação 01 (período parcial)	Simulação 03 (constante)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 85% M.B 73,5% M.A • Sala estar/jantar: 88% M.B 87% M.A • Quarto casal: 83,5% M.B 76% M.A • Quarto filhos: 86% M.B 79% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 71% M.B 64% M.A • Sala estar/jantar: 81% M.B 69% M.A • Quarto casal: 81,98% M.B 67% M.A • Quarto filhos: 80% M.B 65% M.A

Tabela 10: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Entrada de Ventilação Natural	
Simulação 01 (período parcial)	Simulação 03 (período constante)
<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 25,6°C M.B 26,2°C M.A • Sala estar/jantar: 25,0°C M.B 25,4°C M.A • Quarto casal: 25,7°C M.B 26,3°C M.A • Quarto filhos: 25,8°C M.B 26,5°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> • Cozinha: 25,9°C M.B 25,9°C M.A • Sala estar/jantar: 25,7°C M.B 25,9°C M.A • Quarto casal: 25,8°C M.B 26,0°C M.A • Quarto filhos: 26,0°C M.B 26,0°C M.A

- **Análise dos resultados:** observou-se que a entrada de ventilação no período parcial utilizada na simulação 01, que possui o envelope com características originais dos dois modelos analisados, obteve uma quantidade maior de horas anuais de temperaturas

internas do ar dentro do limite de conforto. Quanto ao desempenho térmico dos modelos, a simulação 03 foi a que obteve as temperaturas internas um pouco mais elevadas. Apenas no modelo com alteração os ambientes da cozinha, quarto casal e quarto filhos apresentaram um aumento discreto de temperatura interna na simulação 01.

Tabela 11: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se os protetores solares. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Protetores Solares	
Simulação 04 (sem protetores solares)	Simulação 09 (com protetores solares)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 71% M.B 64,5% M.A Sala estar/jantar: 80,5% M.B 69% M.A Quarto casal: 81% M.B 66% M.A Quarto filhos: 80% M.B 65% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 71% M.B 64% M.A Sala estar/jantar: 80% M.B 69% M.A Quarto casal: 80% M.B 66% M.A Quarto filhos: 80% M.B 64,5% M.A

Tabela 12: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se os protetores solares. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Protetores Solares	
Simulação 04 (sem protetores solares)	Simulação 09 (com protetores solares)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 25,8°C M.B 25,9°C M.A Sala estar/jantar: 25,7°C M.B 25,9°C M.A Quarto casal: 25,8°C M.B 26,0°C M.A Quarto filhos: 26,0°C M.B 26,0°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 25,8°C M.B 25,9°C M.A Sala estar/jantar: 25,7°C M.B 25,9°C M.A Quarto casal: 25,7°C M.B 25,9°C M.A Quarto filhos: 25,9°C M.B 26,0°C M.A

- Análise dos resultados:** observou-se que o acréscimo de protetores solares nos modelos geraram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

Tabela 13: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a orientação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Orientação dos Modelos	
Simulação 05 (fachada principal orientada a nordeste no terreno)	Simulação 06 (fachada principal orientada a noroeste no terreno)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 68% M.B 69% M.A Sala estar/jantar: 93% M.B 89% M.A Quarto casal: 65% M.B 68% M.A Quarto filhos: 67% M.B 66% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 67% M.B 68% M.A Sala estar/jantar: 92% M.B 88% M.A Quarto casal: 64% M.B 69% M.A Quarto filhos: 68% M.B 66% M.A

Tabela 14: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a orientação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Orientação dos Modelos	
Simulação 05 (fachada principal orientada a nordeste no terreno)	Simulação 06 (fachada principal orientada a noroeste no terreno)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,9°C M.B 26,6°C M.A Sala estar/jantar: 26,0°C M.B 25,7°C M.A Quarto casal: 27,8°C M.B 27,0°C M.A Quarto filhos: 27,8°C M.B 27,3°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,9°C M.B 26,7°C M.A Sala estar/jantar: 26,1°C M.B 25,7°C M.A Quarto casal: 27,7°C M.B 26,9°C M.A Quarto filhos: 27,7°C M.B 27,2°C M.A

- Análise dos resultados:** observou-se novamente que as mudanças de orientações dos modelos geraram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

Tabela 15: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Entrada de Ventilação Natural	
Simulação 05 (período parcial)	Simulação 07 (período constante)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 68% M.B 69% M.A Sala estar/jantar: 93% M.B 89% M.A Quarto casal: 65% M.B 68% M.A Quarto filhos: 67% M.B 66% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 72% M.B 66% M.A Sala estar/jantar: 78% M.B 71% M.A Quarto casal: 78% M.B 70% M.A Quarto filhos: 81% M.B 70% M.A

Tabela 16: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se a ventilação. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Entrada de Ventilação Natural	
Simulação 05 (período parcial)	Simulação 07 (período constante)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,9°C M.B 26,6°C M.A Sala estar/jantar: 26,0°C M.B 25,7°C M.A Quarto casal: 27,8°C M.B 27,0°C M.A Quarto filhos: 27,8°C M.B 27,3°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,2°C M.B 26,0°C M.A Sala estar/jantar: 26,3°C M.B 26,0°C M.A Quarto casal: 27,0°C M.B 26,2°C M.A Quarto filhos: 27,0°C M.B 26,3°C M.A

- Análise dos resultados:** observou-se que a entrada de ventilação natural constante utilizada na simulação 07, que possui o envelope com valores de absorvância e transmitância acima do que é recomendado na parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005), obteve uma quantidade maior de horas anuais de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto. Quanto ao desempenho térmico dos modelos, a simulação 05 foi a que obteve as

temperaturas internas um pouco mais elevadas, (ponto). Apenas o ambiente da sala estar/jantar apresentou um aumento discreto de temperatura interna na simulação 07.

Tabela 17: Análise comparativa da porcentagem (%) de horas confortáveis das simulações, variando-se os protetores solares. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Protetores Solares	
Simulação 08 (sem protetores solares)	Simulação 10 (com protetores solares)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 72% M.B 66% M.A Sala estar/jantar: 78% M.B 70,5% M.A Quarto casal: 77% M.B 68% M.A Quarto filhos: 79% M.B 69% M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 72% M.B 66% M.A Sala estar/jantar: 77% M.B 70% M.A Quarto casal: 78% M.B 69% M.A Quarto filhos: 80% M.B 68,5% M.A

Tabela 18: Análise comparativa das temperaturas médias anuais (°C) das simulações, variando-se os protetores solares. MB = Modelo Base; MA= Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Parâmetro Analisado: Protetores Solares	
Simulação 08 (sem protetores solares)	Simulação 10 (com protetores solares)
<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,2°C M.B 26,0°C M.A Sala estar/jantar: 26,3°C M.B 26,0°C M.A Quarto casal: 27,0°C M.B 26,2°C M.A Quarto filhos: 27,0°C M.B 26,3°C M.A 	<ul style="list-style-type: none"> Cozinha: 26,2°C M.B 26,0°C M.A Sala estar/jantar: 26,3°C M.B 26,0°C M.A Quarto casal: 26,8°C M.B 26,1°C M.A Quarto filhos: 26,8°C M.B 26,2°C M.A

- Análise dos resultados:** observou-se novamente que o acréscimo de protetores solares nos modelos geraram diferenças insignificantes de comportamentos térmicos internos.

4.2.2. Monitoramento *In Loco*

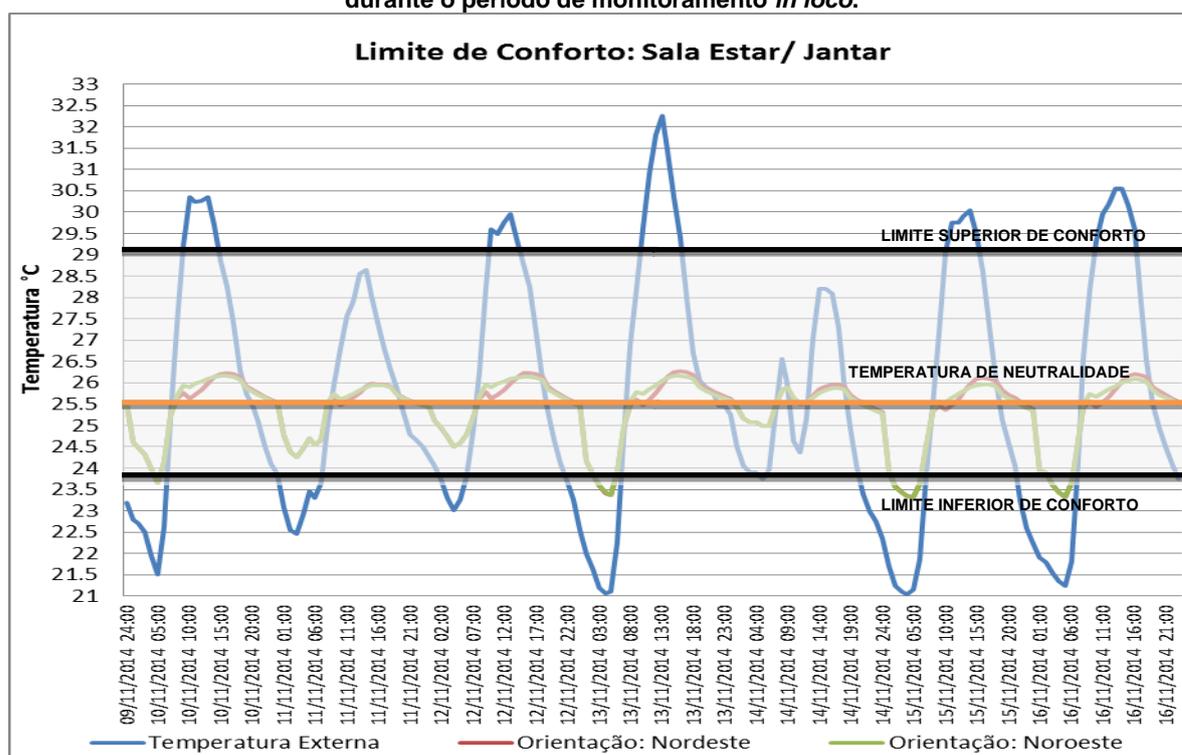
Através do monitoramento *in loco* foram obtidos resultados de temperatura interna do ar em duas unidades residenciais do empreendimento objeto de estudo, correspondentes ao Modelo base, ou seja, edificações sem alterações.

Para a análise dos dados resultantes do monitoramento *in loco*, foram considerados os dados horários de temperatura do ar interna no período de 10 a 16 de novembro de 2014.

4.2.2.1. Monitoramento *In Loco* na Sala Estar/Jantar

Foi observado que na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno, a Sala Estar/Jantar (com janela na fachada nordeste) obteve 76% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (24% acima do limite superior de conforto e 0% abaixo do limite inferior de conforto); já na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno, a Sala Estar/Jantar (com janela na fachada noroeste) obteve 79% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (21% acima do limite superior de conforto e 0% abaixo do limite inferior de conforto); Logo, a sala estar/ jantar nas duas orientações apresentaram praticamente o mesmo número de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto, o que demonstra que a mudança de orientação não refletiu conforto no térmico interno (gráfico 45).

Gráfico 45: Temperaturas internas médias da Sala Estar/ Jantar, nas orientações Nordeste e Noroeste, durante o período de monitoramento *in loco*.

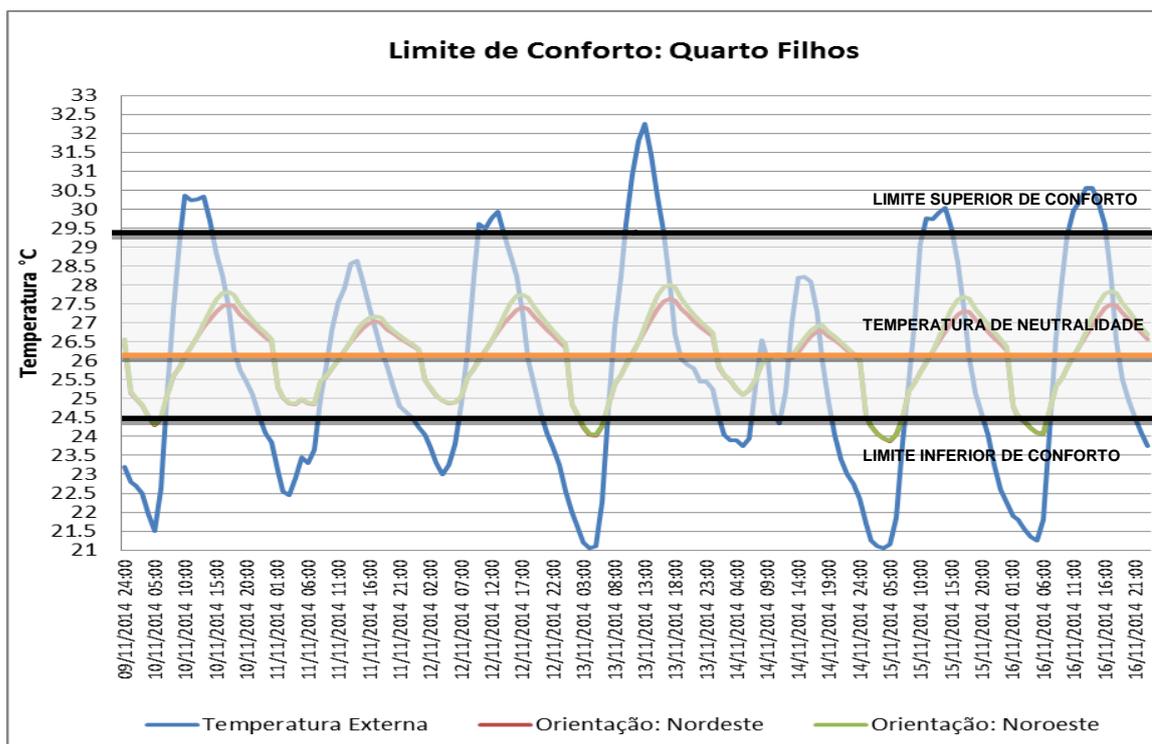


No período de monitoramento, a temperatura máxima absoluta da sala estar/ jantar foi obtida na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno, no dia 16/11/14 às 13h com o valor de 31,57°C (acima do limite superior de conforto); neste mesmo instante os valores registrados de temperatura interna da Sala Estar/Jantar na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno foi de 29,49°C (acima do limite superior de conforto) e de temperatura externa foi de 30,90°C. Já a temperatura mínima absoluta pra a sala estar/ jantar foi obtida na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno, no dia 12/11/14 às 21h com o valor de 26,18°C (dentro do limite de conforto); neste mesmo instante os valores registrados de temperatura interna da Sala Estar/Jantar na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno foi de 28,40°C (dentro do limite de conforto) e de temperatura externa foi de 25,40°C.

4.2.2.2. Monitoramento *In Loco* no Quarto Filhos

Foi observado que na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno, o Quarto Filhos (com janela na fachada sudoeste) obteve 77% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (23% acima do limite superior de conforto e 0% abaixo do limite inferior de conforto); já na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno, o Quarto Filhos (com janela na fachada sudeste) obteve 79% de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (21% acima do limite superior de conforto e 0% abaixo do limite inferior de conforto); Logo, assim como ocorreu com a Sala Estar/Jantar, a mudança de orientação não refletiu praticamente no número de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (gráfico 46).

Gráfico 46: Temperaturas internas médias do Quarto Filhos, nas orientações Nordeste e Noroeste, durante o período de monitoramento *in loco*.



Conforme os valores de temperatura apresentados no Gráfico 47, a temperatura máxima do Quarto Filhos foi na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno, no dia 16/11/14 às 15h com o valor de 31,69°C; neste mesmo instante os valores registrados de temperatura interna do Quarto Filhos na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno foi de 31,23°C e de temperatura externa foi de 31,30°C. Já a temperatura mínima do Quarto Filhos foi obtida na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno, no dia 11/11/14 às 7h com o valor de 25,87°C; neste mesmo instante, os valores registrados de temperatura interna do Quarto Filhos na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno foi de 26,43°C e de temperatura externa foi de 22,40°C.

Logo, através da síntese dos resultados de temperaturas internas da sala estar/jantar e do quarto filhos, nas unidades residenciais com fachadas principais orientadas a Nordeste e a Noroeste no terreno, pode-se observar que os dois ambientes internos apresentaram praticamente o mesmo número de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto (Sala estar/ jantar: 76% na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno e 79% na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno; Quarto filhos: 77% na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno e 79% na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno) e suas temperaturas médias anuais também

registraram valores aproximados (Sala estar/ jantar: 27,79°C na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno e 28,09°C na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno; Quarto filhos: 28,01°C na unidade residencial com fachada principal orientada a Nordeste no terreno e 28,04°C na unidade residencial com fachada principal orientada a Noroeste no terreno), podendo ser considerados ambientes confortáveis; visto que na sua maior parte do tempo a temperatura interna desses ambientes encontraram-se dentro do limite de conforto.

Os resultados do monitoramento, em duas unidades reais com orientações diferentes no terreno, confirmaram a pequena diferença no desempenho térmico encontrada nas simulações computacionais realizadas através do programa computacional EnergyPlus, para as orientações Nordeste e Noroeste. Isso pode ser justificado pelas pequenas dimensões das unidades, que diminuem as possibilidades de trocas térmicas com o exterior.

4.2.3. Síntese Geral dos Resultados da Abordagem Quantitativa

Nas simulações computacionais, a partir de uma análise de comparação entre os modelos, observou-se no Modelo com Alteração que o aumento da área de abertura para ventilação em 40% da área do piso determinou na maioria das simulações dos ambientes estudados a diminuição de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e um desempenho térmico ineficiente, com aumento de temperatura média nos ambientes internos. Esses resultados enfatizam que, de uma maneira geral, o programa computacional EnergyPlus entende como aumento de carga térmica interna o aumento da área de abertura para ventilação.

No entanto, nas simulações 05 e 06, nas quais foram alterados valores de absortância e transmitância, além da orientação, os ambientes da cozinha e do quarto casal apresentaram no modelo com alteração um aumento discreto de horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto no modelo com alteração e conseqüentemente melhores desempenhos térmicos, quando comparados com o modelo base nessas mesmas simulações. Nesse caso, o envelope utilizado nessas simulações por ser mais leve permitiu um resfriamento mais rápido com maior entrada de ventilação, diminuindo assim a sua temperatura interna.

No monitoramento *in loco*, através da síntese dos resultados de temperaturas internas encontrados nos ambientes, observou-se que tanto a sala estar/jantar quanto o quarto filhos apresentaram, nas orientações nordeste e noroeste, praticamente os mesmos

desempenhos térmicos, com números de suas horas de temperaturas internas do ar dentro do limite de conforto e valores bem aproximados de temperaturas médias.

Os resultados do monitoramento, considerado o caso real, confirmaram a pequena diferença no desempenho térmico encontrada nas simulações efetuadas para duas orientações distintas. Isso pode ser justificado pelas pequenas dimensões das unidades, aliado à parede geminada em uma das fachadas, que diminuem as possibilidades de trocas térmicas com o exterior.

Logo, os quatro ambientes internos do empreendimento analisado podem ser considerados, no geral, ambientes confortáveis e com satisfatório desempenho térmico para o clima de Maceió, quente e úmido, com temperaturas do ar raramente superiores à da pele, e que, apesar de alta umidade do ar durante todo o ano, requer envoltórias leves, desde que assegurado o resfriamento através de ventilação natural. Assim, tanto nas simulações, quanto no monitoramento, os resultados das temperaturas internas desses ambientes encontraram-se, na sua maior parte do tempo, dentro dos limites de conforto estabelecidos neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma unidade residencial de uma tipologia recorrente de empreendimento residencial horizontal na cidade de Maceió/AL, do Programa Minha Casa Minha Vida e estimar as condições de conforto térmico de usuários desses empreendimentos; além de avaliar o desempenho térmico e estimar as condições de conforto térmico interno a partir de modificações construtivas da tipologia original, de acordo com parâmetros estabelecidos pelas Normas NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa mostraram-se satisfatórios no cumprimento dos objetivos proposto no trabalho. É importante aqui enfatizar a importância dos dois tipos de abordagens térmicas (qualitativa e quantitativa), que se complementaram, e ajudaram a compreender o comportamento térmico resultante das situações analisadas.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que as unidades residenciais do Residencial Novo Jardim, objeto de estudo dessa pesquisa, podem ser consideradas adequadas tanto no que se refere aos seus desempenhos térmicos, quanto ao conforto térmico interno dos ambientes estudados. Através das análises qualitativas e quantitativas entre o modelo base e o modelo com alteração, pode-se perceber que o modelo base, edificação real do empreendimento estudado, foi o que melhor atendeu tanto aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos pelas normas NBR 15220-3 (ANBT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013); quanto aos parâmetros que foram acrescentadas nas simulações. Apenas mostrou-se necessário o uso de protetores mistos para o sombreamento de algumas aberturas.

Quanto ao conforto térmico interno, observou-se que os quatro ambientes internos do empreendimento analisado podem ser considerados ambientes confortáveis, visto que nas análises efetuadas os resultados das temperaturas internas dos mesmos encontraram-se, na sua maior parte do tempo, dentro dos limites de conforto estabelecidos neste trabalho. Esses valores correspondem ao intervalo de 65% a 93%, em uma estimativa de porcentagem de horas anuais confortáveis. Sabe-se, no entanto, que as altas porcentagens de conforto térmico encontradas podem mascarar alguns pontos importantes de análise; visto que o intervalo considerado possui uma grande faixa de aceitabilidade. Além disso, em climas com pouca amplitude térmica, qualquer variação pode interferir na sensação de conforto térmico.

Essas análises, embora baseadas em um número de horas de conforto anual, podem constituir em indicadores importantes para avaliação da adequação climática de empreendimentos habitacionais.

As limitações desde trabalho correspondem à:

- Análise de apenas um objeto de estudo, que se enquadra no Programa Minha Casa Minha Vida, dentre outras opções situadas na cidade de Maceió - AL;
- A utilização de apenas alguns, dos diversos parâmetros variáveis possíveis para simulações computacionais.
- A análise baseada em um modelo teórico de conforto térmico interno, como parâmetro de análise.

Tais limitações trazem algumas sugestões para a continuidade desse trabalho, descritas a seguir:

- Simulações computacionais dos modelos analisados neste trabalho com outros parâmetros variáveis, como por exemplo, uma variedade maior de envelopes e tipos de protetores solares para a avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários;
- Monitoramento in loco de outras unidades residenciais localizadas no Residencial Novo Jardim (Objeto de Estudo) nas demais orientações situadas no empreendimento, para a avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários;
- Análise de outros objetos de estudo com maior diversidade de orientações na sua implantação;
- Análises baseadas em avaliações dos usuários dos empreendimentos, quanto à sensação térmica interna percebida.
- Avaliação dos custos de implantação de cada parâmetro utilizado nas simulações computacionais.

Desta forma, os resultados obtidos nesta pesquisa, reforçam que para o conforto térmico, em climas com pouco rigor térmico, pequenas soluções construtivas podem garantir conforto térmico interno. Demonstram ainda a importância dos estudos sobre desempenho térmico e conforto térmico interno de empreendimentos habitacionais em especial aos destinados à população de baixa renda, pois principalmente estes devem oferecer condições de habitabilidade, propiciando aos seus ocupantes condições ambientais interiores capazes de protegê-los das variações climáticas e criando um local digno e adequado a suprir as necessidades básicas de seus moradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 15220 Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____ – **NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

AMORIM, Cláudia Naves David. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática. Estudos de casos na região de Brasília**. Universidade Federal de Brasília - UnB. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Dissertação de Mestrado. Brasília, Distrito Federal, 1998.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1997.

BATISTA, Juliana Oliveira. **Eficácia da Ventilação Mecânica Noturna para Resfriamento: Impacto de Estratégias Híbridas de Ventilação no Desempenho Térmico de Residência em Florianópolis-SC**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2011.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina; **Introdução à Ventilação Natural**; 2ª edição; ver. e ampl.; Maceió; EDUFAL; 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992. 84p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cartilha do MCMV. Programa Minha Casa Minha Vida**. Disponível em:<http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/habita/mcmv/CARTILHACOMPLETA.PDF>. Acesso em: Abril de 2013.

Casa Eficiente - Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético, volume 4. Disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_IV_WEB.pdf>. Acesso em: fevereiro novembro de 2013.

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

COSTA, Ribeiro Sammea. **Desempenho térmico e Habitação: Uma Avaliação Comparativa no Contexto Climático da Zona Bioclimática 8.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2011.

COSTA, Viana Ana Márcia. **Adequação de Edificações Escolares ao Contexto Climático de Maceió – AL, com vistas à Otimização de seu Desempenho Térmico.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2012.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder.** Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em: Julho de 2014.

ENERGYPLUS. **Programa de simulação computacional.** Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>>. Acesso em: Março de 2014.

FEIJÓ, Teles Taynah. **Desempenho Térmico de Painéis de Vedação Produzidos com Fibrocimentos Aplicáveis à Habitação de Interesse Social em Maceió-AL.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2013.

FERREIRA, João Sette Whitaker. **Produzir Casas ou Construir Cidades? Desafios para um Novo Brasil Urbano. Parâmetros de Qualidade para a Implementação de Projetos Habitacionais e Urbanos.** 1ª edição; São Paulo; FUPAM; 2012.

GETTING STARTED. **Manual do programa EnergyPlus.** Disponível juntamente com o download do programa.

GOULART, S. V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2ª edição. Florianópolis. Núcleo de Pesquisa em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 1998.

GRINGS, Edi Terezinha de Oliveira. **Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de um Ambiente.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Porto Alegre, 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, SP, 188p. 1997.

Laboratório de Eficiência Energética de Edificações, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar**. Versão 6.2. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar> >. Acesso: março de 2014.

LIMA, Raffaella Germano de. **A Influência do Sombreamento e Absortância da Envoltória no Desempenho Termo-energético de Edifícios Residenciais, na Cidade de Maceió-AL**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió.

LONARDONI, Fernanda; ACIOLY, Claudio; FRENCH, Matthew. **Scaling-Up Affordable Housing Supply In Brazil The ‘My House My Life’ Programme** United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 129p. 2013.

MARQUES, Martins Augusto. **Desempenho Térmico de Edificações Unifamiliares de Interesse Social: Estudo de Caso em Imbituba - SC**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2008.

MATOS, Michele. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007.

MATOS, Michele; MELO, Ana; LAMBERTS, Roberto; SORGATO, Márcio; VERSAGE, Rogério. **Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa EnergyPlus**; Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2006.

MELO, Miguel Otávio B.C.; COUTINHO, Luiz Bueno da SILVA; COUTINHO, Antonio S.; SOUSA, Vivian; PERAZZO, Normando. **Energy efficiency in building installations using thermal insulating materials in northeast Brazil**. Energy and Buildings (2011). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2014.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo – RS** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia – Universidade Federal de Passo Fundo. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

NEGREIROS, Abreu Bianca. **Análise de Métodos de Predição de Conforto Térmico de Habitação em Clima quente-úmido com Condicionamento Passivo**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2010.

PEETERS, Leen; DEDEAR, Richard; HENSEN, Jan; D'HAESELEER. **Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation**. Applied Energy (2009). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2013.

PERREIRA, Cláudia Donald. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2009.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 329 p.

SILVA, Jordana Teixeira da. **Influência de Configurações das Aberturas na Qualidade Acústica de Salas de Aula Naturalmente Ventiladas com Base na Rede Pública Municipal de Ensino de Maceió-AL**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2014.

SORGATO, José Márcio. **Desempenho térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2009.

SPANENBERG, Mariane Gampert. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: Estudos de caso em Marau – RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TNO Building Research. **Cp Generator**. Disponível em: <http://cpgen.bouw.tno.nl/cp>. Acesso junho de 2014.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL**. Tese (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TOLEDO, Alexandre Márcio; LAURENTINO, Nayane. **Análise da ventilação natural em apartamentos reversíveis por meio de ensaios analógicos na mesa d'água.** Brasil - São Paulo, SP. 2010. 10 p. NUTAU-USP Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

TOLEDO, Alexandre Márcio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Visualização analógica da ventilação natural pela ação do vento em edifícios residenciais na mesa d'água.** Brasil - São Paulo, SP. 2004. 16 p. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.

TORRES, Simone C. **Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió – AL.** Maceió. Dissertação (Mestrado em Arquitetura - Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas, 2006.

Ziebell, Clarissa Sartori. **Desenho de Aberturas e Comportamento Térmico de Ambientes de Simulação, Qualificação e Quantificação para a Região Climática de Porto Alegre.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Porto Alegre, 2013.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture**: James e James Ltd. London, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das Cartas Solares – Diretrizes Construtivas para Arquitetos**; 4ª edição; revista e ampliada; Maceió; EDUFAL; 2004.

DAUM, David; HALDI, Frédéric; MOREL, Nicolas. **A personalized measure of thermal comfort for building controls**. Building and Environment (2010). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2014.

GUEDES, Enildo; LENZI, Lívia; VALE, Helena; RIZZI, Iuri. **Padronização UFAL de Normalização**. Revista e ampliada; EDUFAL; Maceió, 2013.

KARLSSON, J. Fredrik; MOSHFEGH, Bahram. **Energy demand and indoor climate in a low energy building—changed control strategies and boundary conditions**. Energy and Buildings (2005). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2014.

KUMAR, Satish; MAHDAVIB, Ardeshir. **Integrating thermal comfort field data analysis in a case-based building simulation environment**. Building and Environment (2010). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2001.

POEL, Bart; CRUCHTEN, Gerelle van; BALARAS, Constantinos. **Energy performance assessment of existing dwellings**. Energy and Buildings (2006). ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso em: abril de 2014.

APÊNDICE A - Síntese das temperaturas internas anuais do Modelo Base e Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas.

Simulação 01

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	28,9°C	25,6°C	20,5°C
Sala Estar/ Jantar	26,6°C	25,0°C	21,2°C
Quarto Casal	28,5°C	25,7°C	21,8°C
Quarto Filhos	28,4°C	25,8°C	21,9°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	30,8°C	26,2°C	20,2°C
Sala Estar/ Jantar	27,8°C	25,4°C	20,6°C
Quarto Casal	30,7°C	26,3°C	20,8°C
Quarto Filhos	30,8°C	26,5°C	21,2°C

Simulação 02

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	29,0°C	25,6°C	20,5°C
Sala Estar/ Jantar	26,5°C	25,0°C	21,1°C
Quarto Casal	28,3°C	25,8°C	21,8°C
Quarto Filhos	28,4°C	25,8°C	21,9°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	31,0°C	26,3°C	20,2°C
Sala Estar/ Jantar	27,9°C	25,5°C	20,6°C
Quarto Casal	30,5°C	26,2°C	20,8°C
Quarto Filhos	30,7°C	26,4°C	21,1°C

Simulação 03

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,3°C	25,9°C	20,5°C
Sala Estar/ Jantar	31,0°C	25,7°C	21,1°C
Quarto Casal	29,7°C	25,8°C	21,8°C
Quarto Filhos	31,0°C	26,0°C	21,9°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	25,9°C	20,2°C
Sala Estar/ Jantar	32,9°C	25,9°C	20,6°C
Quarto Casal	32,9°C	26,0°C	20,7°C
Quarto Filhos	33,0°C	26,0°C	21,0°C

Simulação 04

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,3°C	25,8°C	20,5°C
Sala Estar/ Jantar	31,0°C	25,7°C	21,1°C
Quarto Casal	29,7°C	25,8°C	21,8°C
Quarto Filhos	31,0°C	26,0°C	21,9°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	25,9°C	20,1°C
Sala Estar/ Jantar	32,9°C	25,9°C	20,5°C
Quarto Casal	32,9°C	26,0°C	20,7°C
Quarto Filhos	33,0°C	26,0°C	21,0°C

Simulação 05

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,1°C	26,9°C	20,8°C
Sala Estar/ Jantar	28,8°C	26,0°C	21,5°C
Quarto Casal	33,2°C	27,8°C	22,4°C
Quarto Filhos	32,9°C	27,8°C	22,6°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	31,5°C	26,6°C	20,4°C
Sala Estar/ Jantar	28,0°C	25,7°C	20,8°C
Quarto Casal	31,7°C	27,0°C	21,1°C
Quarto Filhos	32,2°C	27,3°C	21,6°C

Simulação 06

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,0°C	26,9°C	20,7°C
Sala Estar/ Jantar	28,6°C	26,1°C	21,4°C
Quarto Casal	32,9°C	27,7°C	21,3°C
Quarto Filhos	32,7°C	27,7°C	22,4°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	31,6°C	26,7°C	20,4°C
Sala Estar/ Jantar	28,2°C	25,7°C	20,7°C
Quarto Casal	31,6°C	26,9°C	21,0°C
Quarto Filhos	32,1°C	27,2°C	21,5°C

Simulação 07

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,0°C	26,2°C	20,7°C
Sala Estar/ Jantar	32,0°C	26,3°C	21,4°C
Quarto Casal	31,6°C	26,9°C	22,3°C
Quarto Filhos	32,4°C	26,9°C	22,4°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	26,0°C	20,3°C
Sala Estar/ Jantar	32,8°C	26,0°C	20,7°C
Quarto Casal	32,9°C	26,2°C	21,0°C
Quarto Filhos	33,1°C	26,3°C	21,4°C

Simulação 08

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,9°C	26,2°C	20,6°C
Sala Estar/ Jantar	32,0°C	26,3°C	21,3°C
Quarto Casal	31,7°C	27,0°C	22,3°C
Quarto Filhos	32,2°C	27,0°C	21,9°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	26,0°C	20,3°C
Sala Estar/ Jantar	33,0°C	26,0°C	20,7°C
Quarto Casal	33,0°C	26,2°C	21,0°C
Quarto Filhos	33,0°C	26,3°C	21,4°C

Simulação 09

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,3°C	25,8°C	20,5°C
Sala Estar/ Jantar	31,0°C	25,7°C	21,1°C
Quarto Casal	29,6°C	25,7°C	21,8°C
Quarto Filhos	30,8°C	25,9°C	21,8°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	25,9°C	20,1°C
Sala Estar/ Jantar	32,9°C	25,9°C	20,5°C
Quarto Casal	32,8°C	25,9°C	20,7°C
Quarto Filhos	32,9°C	26,0°C	21,0°C

Simulação 10

Temperaturas Internas Anuais do Modelo Base			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	32,9°C	26,2°C	20,7°C
Sala Estar/ Jantar	32,0°C	26,3°C	21,4°C
Quarto Casal	31,4°C	26,8°C	22,2°C
Quarto Filhos	32,1°C	26,8°C	22,3°C

Temperaturas Internas Anuais do Modelo com Alteração na Área de Abertura das Janelas			
	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Cozinha	33,4°C	26,0°C	20,3°C
Sala Estar/ Jantar	33,0°C	26,0°C	20,7°C
Quarto Casal	33,0°C	26,1°C	21,0°C
Quarto Filhos	33,0°C	26,2°C	21,3°C