



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

CONFORTO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ESTUDO DE CASO

AUTOR: Vicente de Paula Teixeira Rocha

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jose Wallace Barbosa do Nascimento

Campina Grande, PB, Setembro de 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CONFORTO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

AUTOR: Vicente de Paula Teixeira Rocha

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jose Wallace Barbosa do Nascimento

AREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

Campina Grande- Paraíba

Setembro, 2016

R672c

Rocha, Vicente de Paula Teixeira.

Conforto térmico de residência no semiárido paraibano: estudo de caso /
Vicente de Paula Teixeira Rocha. – Campina Grande, 2016.

151 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal
de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Jose Wallace Barbosa do Nascimento".

Referências.

1. Engenharia Agrícola. 2. Tijolo em Solo-Cimento. 3. Variáveis
Climáticas. I. Nascimento, Jose Wallace Barbosa do. II. Título.

CDU 631(043)



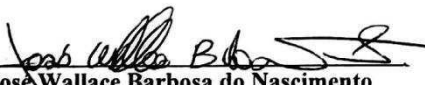
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

VICENTE DE PAULA TEIXEIRA ROCHA

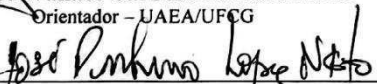
CONFORTO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO:
ESTUDO DE CASO

APROVADA: 06 de setembro de 2016

BANCA EXAMINADORA


Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

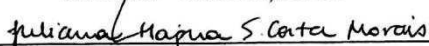
Orientador - UAEA/UFMG


Dr. José Pinheiro Lopes Neto

Examinador - UAEA/UFMG


Dr. Abdou da Silva Meira Filho

Examinador - UAD/CTRN/UFMG


Dra. Juliana Magna Silva Costa Moraes

Examinadora - UAEC/CTRN/UFMG

EPÍGRAFE

“Se eu vi mais longe, foi por estar em
pé sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton.

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista:

Ao Grande Arquiteto do Universo, Deus, por ter me concedido serenidade, coragem, sabedoria e, sobretudo, força para superar as adversidades encontradas nas trilhas da vida.

A meus queridos e amados filhos, Aline Maria de Oliveira Rocha, Caio Arlindo de Oliveira Rocha e Paula Isabella de Oliveira Rocha, pelo carinho, amor e principalmente pela compreensão de minha ausência nos momentos dedicados a este trabalho.

A minha dedicada e amada esposa, Vera Solange de Oliveira Farias, pelo companheirismo cotidiano, pelo apoio, incentivo e, sobretudo, pela força nos momentos de abatimento.

A meus queridos e amados pais, Arlindo Rocha Neto e Maria Ivone Teixeira Rocha, pelo apoio incondicional durante toda a minha trajetória de vida, sempre priorizando a busca do conhecimento.

A meus queridos e amados irmãos, Antônio Eusébio Teixeira Rocha, Carlos Sergio Teixeira Rocha e Jose Eugenio Teixeira Rocha, pelo convívio alegre e salutar que sempre tivemos e pelo valioso apoio, principalmente nos momentos difíceis da minha vida.

A toda minha família de um modo geral e a família da minha esposa, que abracei como minha.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, DEUS, por iluminar nossas mentes e corações para que possamos fazer escolhas fundamentadas em reflexões.

Aos meus familiares, campo fértil de amor e evolução, pelo permanente auxílio incondicional ao longo deste trabalho. Sobretudo aos meus pais, que são responsáveis pela minha formação ética.

À minha esposa Vera Solange de Oliveira Farias, presença amiga e pela força constante em todas as horas.

Ao Professor Dr. Jose Wallace Barbosa do Nascimento, pela amizade, orientação, confiança e dedicação nesses anos de trabalho em equipe.

Aos colegas do Laboratório de Construção Rurais e Ambiente (LACRA) com quem compartilhei tantos aprendizados e dividi experiências marcantes.

Aos muitos bons amigos.

MUITO OBRIGADO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Variação do PPD em função do PMV.....	28
Figura 2 – Esquema para explicar o atraso térmico e o amortecimento.	34
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro	37
Figura 4 – Arduíno Mega	40
Figura 5- Mapa de localização da área em estudo.	42
Figura 6 - Clima do Estado da Paraíba, segundo Köeppen	43
Figura 7 - Planta baixa do pavimento térreo da Eco Residência.....	52
Figura 8- Planta baixa do pavimento superior-mezanino da Eco Residência	52
Figura 9 - Planta da cobertura da Eco Residência	53
Figura 10 - Fachada leste da Eco Residência Rural	54
Figura 11 – Confecção dos tijolos de solo-cimento.	56
Figura 12 – Utilização do Tijolo em solo-cimento.	56
Figura 13 - Tijolo solo-cimento funcionando como fôrma	57
Figura 14 - Fotografia da vista Frontal da Residência	61
Figura 15 - Fotografia da vista posterior da Residência.....	62
Figura 16- Fotografia em perspectiva - vista de posterior e lateral da Residência	62
Figura 17- Fotografia de ambientes internos da casa.	63
Figura 18 - Estação meteorológica composto de arduíno tipo Mega e sensores para obtenção e dados de temperatura, umidade e velocidade do vento.....	67
Figura 19 - Sensor DTH 22 – Medição de Temperatura e Umidade	68
Figura 20 - DS18B20 – antes e depois da colocação do adesivo e da fita	69
Figura 21 - Aferição dos globos negros	70
Figura 22 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.	77
Figura 23 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira e Janela abertas. Cobogó fechado.....	77
Figura 24 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada	77
Figura 25- Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechados.....	77
Figura 26 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira, Cobogó e Janela fechados.....	77

Figura 27- Curvas de UR por hora da área EXTERNA, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.....	79
Figura 28 - Curvas de UR por hora da área EXTERNA, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.....	79
Figura 29 - Curvas de UR por hora da área EXTERNA, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada.	79
Figura 30 - Curvas de UR por hora da área EXTERNA, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechados.	79
Figura 31 - Curvas de UR por hora da área EXTERNA, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados.	79
Figura 32 - Curvas do Índice WBGT por hora da área QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela e cobogós abertos.....	81
Figura 33- Curvas do Índice WBGT por hora da área QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.....	81
Figura 34- Curvas do Índice WBGT por hora da área , QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada.	81
Figura 35 - Curvas do Índice WBGT por hora da área, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechados	81
Figura 36 - Curvas do Índice WBGT por hora do, QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados.....	81
Figura 37 - Curvas de DI por hora do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.....	83
Figura 38 - Curvas de DI por hora QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela abertas. Cobogó Fechado.	83
Figura 39 - Curvas de DI por hora do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó aberto. Janela fechada.....	83
Figura 40 - Curvas de DI da área QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela Fechadas.....	83
Figura 41- Curvas de DI da área QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela Fechada.....	83
Figura 42 - Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos	86
Figura 43- Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela abertas. Cobogó fechado.	86

Figura 44 - Curvas de THI QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada.....	86
Figura 45 - Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados.	86
Figura 46 - Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela e Cobogó fechados.....	86
Figura 47 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 1).....	88
Figura 48 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 1).....	88
Figura 49 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta, Cobogó fechado (Simulação 1).....	89
Figura 50- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta, Cobogó fechado (Simulação 1).....	90
Figura 51 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 1).....	91
Figura 52 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 1).....	91
Figura 53- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada (Simulação 1).....	92
Figura 54 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada (Simulação 1).....	93
Figura 55- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Simulação1).....	94
Figura 56 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Situação 1).....	94
Figura 57- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 2).....	96
Figura 58- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 2).....	97
Figura 59- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela abertas. Cobogó fechado (Simulação 2).....	97
Figura 60- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela abertas, Cobogó fechado (Simulação 2).....	98

Figura 61- Curvas de PMV por horas do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 2).....	98
Figura 62 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 2)	99
Figura 63- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados (Simulação 2).....	99
Figura 64- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechado (Simulação 2)	100
Figura 65- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Simulação 2).....	100
Figura 66- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados (Simulação 2)	101
Figura 67 - Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira, Cobogó e Janela abertos.	104
Figura 68 - Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.....	104
Figura 69 - Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira Cobogó aberto. Janela fechada.	104
Figura 70 - Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada.....	104
Figura 71- Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira, Cobogó e Janela fechada.....	104
Figura 72 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o tratamento Janela, Bandeira e Cobogó abertos.	109
Figura 73- Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o tratamento Janela e Bandeira abertas. Cobogó fechado.	109
Figura 74 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o tratamento Bandeira e Cobogó abertos, Janela fechada.	109
Figura 75 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o tratamento Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados.	109
Figura 76 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o tratamento Bandeira, Janela e Cobogó fechados.....	109
Figura 77 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para o tratamento Bandeira, Janela e Cobogó abertos.	110

Figura 78 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para o tratamento Bandeira e Janela aberta e Cobogó fechado.....	110
Figura 79 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para o tratamento Bandeira e Cobogó aberto e Janela fechada.....	110
Figura 80 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para o tratamento Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechado.....	110
Figura 81 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para o tratamento Bandeira, Janela e Cobogó fechados.....	110
Figura 82 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte - sala para o tratamento Bandeira, Janela e Cobogó abertos.	112
Figura 83 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte - sala para o tratamento Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.....	112
Figura 84 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte - sala para o tratamento Bandeira, Cobogó abertos e Janela fechada.	112
Figura 85 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte - sala para o tratamento Bandeira aberta e Janela, Cobogó fechados	112
Figura 86 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte – sala para o tratamento Bandeira, Janela, Cobogó fechados.....	112
Figura 87 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE - sala para o tratamento Bandeira, Janela, Cobogó abertos	113
Figura 88 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE - sala para o tratamento Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.....	113
Figura 89 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE - sala para o tratamento Bandeira e Cobogó aberto. Janela fechada.....	113
Figura 90 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE - sala para o tratamento Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechado.....	113
Figura 91 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE - sala para o tratamento Bandeira, Janela e Cobogó fechado.	113

LISTA DE QUADRO

Quadro 1– Escala de Beaufort.....	13
Quadro 2 - Isolamento térmico para peças de vestuário, segundo a ISO 7730 (ISO, 2005)....	17
Quadro 3- Taxa metabólica para diversas atividades, segundo a ISO 7730 (ISO, 2005)	18
Quadro 4 - Forma de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.....	19
Quadro 5 - Limites de WBGT em função do tipo de atividade e regime de trabalho.....	22
Quadro 6 – Faixas de Valores de Índice de Desconforto de Thom (DI).....	24
Quadro 7 – Faixas de Interpretativa para THI propostas por Fanger (1972)	25
Quadro 8 - Sensação térmica correspondente ao índice PMV	27
Quadro 9 - Aberturas para ventilação.	36
Quadro 10- Descrição dos materiais usados na construção	57
Quadro 11 – Tratamento de rotina de abertura de ventilação	64
Quadro 12 - Distribuição dos sensores para obtenção e variáveis climáticas.....	71
Quadro 13 - Índices e variáveis correspondentes	73
Quadro 14 - Valores das atividades e vestimentas simulação 1 do cálculo do PMV/ PPD.....	87
Quadro 15 - Valores atividades e vestimentas. Simulação 2 para o cálculo do PMV/PPD.....	96
Quadro 16 - Classificação dos ambientes segundo o PET	103
Quadro 17 - Valores limites das variáveis ambientais	103
Quadro 18- Diferenças de temperatura máxima do ar entre os ambientes estudados e o exterior	106
Quadro 19- Valores recomendados pela para habitações na ZB 06. Calculado das áreas de abertura para ventilação	107

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 Índice de Bulbo Úmido e Globo Negro	21
Equação 2 Índice de Desconforto (°F)	23
Equação 3 Índice de Desconforto (°C)	23
Equação 4 Índice de Temperatura e Umidade.....	24
Equação 5 Índice PMV.....	26
Equação 6 Isolamento de roupas	26
Equação 7 Coeficiente de transferência de calor por convecção	26
Equação 8 Índice PPD	28
Equação 9 Resistencia Termica.....	33
Equação 10 Capacidade Térmica.....	34
Equação 11 Fator Ganho Solar.....	35
Equação 12 Calibração e Coeficiente de Determinação do Globo Negro da Sala.....	71
Equação 13 Calibração e Coeficiente Determinação do Globo Negro do Quarto	71
Equação 14 Calibração e Coeficiente Determinação Globo Negro do Mezanino	71

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/UNIDADES

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
2. CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
3. UFCG - Universidade Federal de Campina Grande
4. LACRA - Laboratório de Construções Rurais e Ambiente
5. m - metros
6. m³ - metro cúbico
7. m² - metro quadrado
8. cm - centímetro
9. mm - milímetro
10. W - Watts
11. K - Kelvin
12. h - hora
13. min - minuto
14. Pa - Pascal
15. °C - Graus Celsius
16. V - Voltagem
17. GB - GigaBites
18. KG - Quilograma
19. J - Joule

RESUMO

O Brasil é um país de dimensões continentais com particularidades culturais, climáticas e disponibilidade de recursos naturais, dentre outros. Neste sentido é relevante a busca de uma identificação das características regionais, inserindo a necessidade de procurar um modelo de edificação apropriado para cada região bioclimática. Este trabalho tem, como objetivo, a análise do conforto térmico de uma residência projetada por pesquisadores da UFCG, observando as necessidades climáticas do Semiárido paraibano e construída dentro do conceito de sustentabilidade. A habitação, objeto deste estudo, foi construída no Distrito da Ribeira, pertencente ao município de Cabaceiras (PB). Para a avaliação do conforto térmico foram coletados dados das temperaturas do ar, do globo negro e da superfície de alvenaria, além da umidade relativa do ar e da velocidade do vento. As coletas ocorreram durante o período do verão de 2016, situação climaticamente mais adversa para a região do semiárido paraibano. Os dados foram levantados sob diferentes tratamentos de manipulação das aberturas de ventilação (janelas, bandeiras e cobogós). Para obtenção e armazenamento das variáveis climáticas foram construídas estações meteorológicas a partir de uma placa prototipagem, o arduíno, ligado a sensores de obtenção de variáveis climáticas. Diversos índices de conforto térmico foram utilizados visando à caracterização dos ambientes internos além de uma avaliação de desempenho térmico do invólucro da edificação. Foram calculados os valores de índice de conforto térmico que utilizam somente variáveis climáticas (a exemplo do Índice de Desconforto, Índice de Temperatura e Umidade e Índice de Bulbo Úmido e Globo Negro), calculados, também, índices que usam variáveis climáticas associadas a parâmetros individuais (a exemplo do Voto Médio Predito, Percentual de Pessoas Insatisfeitas e Temperatura Equivalente Fisiológica). O estudo aponta para o fato de que a residência oferece conforto ambiental na maior parte do dia apresentando ligeiro desconforto devido à temperatura quente, em parte do turno vespertino e atesta a contribuição da ventilação natural para o conforto térmico interno. Para minimizar o problema de desconforto térmico no turno da tarde, sugere-se a plantação de árvores na área circundante à habitação.

Palavras-chave: Tijolo em solo-cimento, variáveis climáticas, parâmetro individuais, Arduíno, Índices térmicos.

ABSTRACT

Brazil is a country of continental dimensions with cultural characteristics, climate, availability of natural resources, among others. In this sense, it is very important to search for an identification of regional characteristics, placing the need to find a suitable building model for each bio-climatic region. This study aims to analyze the thermal comfort of a residence, designed by researchers at UFCG observing the climate needs of the northeastern semi-arid and built within the concept of sustainability. For the evaluation of thermal comfort data were collected air temperature, black globe and masonry surface, in addition to the relative humidity and wind speed. The samples were collected during the summer period 2016, climatically most adverse situation for the semi-arid region. The house was built in the rural municipality of Cabaceiras (PB). The data were collected under different treatments of handling the ventilation openings (windows, flags and cobogós). For obtaining and storage of climate variables weather stations have been constructed from a plate prototyping, “arduíno”, connected to obtaining climate variables sensors. Several Indexes of Thermal Comfort were used to characterize the indoor as well as an evaluation of thermal performance of the building edification. Comfort Index values were calculated using only thermal climatic variables (such as the Discomfort Index , Temperature and Humidity Index and Bulb Index Moist and Black Globe) and indices were calculated using climatic variables associated with individual parameters (such as the Middle Vote Estimate, People Percentage Unmet Temperature Equivalent Physiologic). The study points to the fact that it offers environmental comfort for most of the day, with slight discomfort in cold part of the morning time and a slight discomfort from hot temperature of the afternoon shift.

Keywords: brick ground cement, climate variables, individual parameter, arduíno, thermal indices.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADRO	xii
LISTA DE EQUAÇÕES	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo geral	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificativa.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Conforto Térmico	6
2.1.1 O Ser humano	8
2.2. Variáveis Climáticas.....	9
2.2.1. Temperatura do ar (t_{bs})	9
2.2.2. Temperatura radiante média (t_{rm})	10
2.2.3. Umidade Relativa do ar	11
2.2.4. Movimento do ar	12
2.2.5. Radiação Solar	15
2.2.6. Parâmetros individuais	16
2.3. Transferência de energia térmica	18
2.4 Análise por índices térmicos	20
2.4.1 Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (WBGT)	21
2.4.2 - Índice de Desconforto (DI)	23
2.4.3. Índice de Temperatura e Umidade (THI)	24
2.4.4 Voto Médio Estimado (PMV) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)	25

2.4.5 Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)	29
2.5. Avaliação do desempenho térmico	30
2.5.1 Propriedades térmicas dos fechamentos (alvenaria e cobertura)	33
2.5.2 Verificação dos atendimentos das Normas	36
2.6. Ambiente Rural	37
2.7. Tijolo em Solo-Cimento	37
2.8- Instrumentação para medição das variáveis ambientais	39
2.8.1.- Estação meteorológica	39
2.8.2.- Arduíno	40
3. CONTEXTUALIZAÇÃO	41
3.1- Semiárido paraibano	41
3.2- Caracterização do município de Cabaceiras	42
3.3- Distrito da Ribeira	43
3.4.-Eco Residência	44
3.4.1. Déficit habitacional no país	46
3.4.2. Projeto Arquitetônico	46
3.4.3 Requisitos de sustentabilidade	47
3.5- Histórico do projeto da habitação em estudo	48
4. MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1. Descrição do objeto de estudo	51
4.1.1. Projeto da Eco Residência rural e materiais construtivos	51
4.2. Execução da Obra	58
4.2.1. Implantação da Eco Residência no terreno	58
4.2.2. Processo de construção da Eco Residência	59
4.2.3. Orçamento	60
4.2.4. Fundação e Alvenaria	60
4.2.5. Coberta	60

4.2.6. Critérios para definição dos ambientes avaliados	63
4.3. Tratamento de manipulação das aberturas de ventilação	64
4.4. Instrumentação, coleta e armazenamento de dados	65
4.4.1. Sistema de aquisição de dados.....	65
4.4.2. Medição de Temperatura e umidade relativa do ar dos ambientes.....	68
4.4.3. Medição da Temperatura de superfície	69
4.4.4. Temperatura do Globo negro (T_{gn}).....	70
4.4.5 Distribuição dos sensores	71
4.5. Caracterização do ambiente térmico	72
4.5.1. Obtenção dos dados para cálculo dos índices.....	72
4.5.2. Aplicação dos dados nas Equações de índices térmicos	73
4.5.3. Avaliação com as faixas interpretativas	74
4.6. Avaliação do desempenho térmico	74
4.6.1 Análise do comportamento térmico do envoltório	75
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
5.1 Caracterização do Ambiente	76
5.1.1 –Variáveis climáticas.....	76
5.1.2 Análise por Índices térmicos compostos exclusivamente de variáveis físicas.....	80
5.1.3- Índices térmicos com variáveis físicas e parâmetros individuais.....	87
5.2. Análise do desempenho térmico	106
5.2.2 Verificação das aberturas.....	107
5.2.3 Comportamento térmico das vedações	107
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
6.1 Conclusões	116
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	119
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O Brasil convive com um problema acentuado do déficit habitacional, correspondendo a grande demanda social e a um enorme desafio para as instituições governamentais. A Fundação João Pinheiro (2012) aponta que, no ano de 2011, havia um déficit habitacional de aproximadamente 5,9 milhões de moradias, o que representa 9,5% dos domicílios particulares. Em 2012 este número caiu para 5,792 milhões, o equivalente a 9,1% de déficit relativo; dentre as regiões com o maior déficit habitacional absoluto se destacam o Sudeste e o Nordeste.

É forçoso observar que, além da problemática englobando a falta de disponibilidade quantitativa de habitação adequada, verifica-se, também, inadequação da concepção de projetos dentro de um contexto de sustentabilidade. As habitações devem reunir técnicas e materiais apropriados para oferecer, a custo moderado, o conforto ambiental dos ocupantes das moradias e a boa gestão dos recursos advindos de fontes naturais, a exemplo da ventilação e da disponibilidade hídrica, dentre outros. Um grave problema motriz que gera a falta de qualidade das habitações reside na problemática da falta de regionalização climática habitacional, ou seja, a inexistência de adequação da habitação ao clima da região, utilizando os materiais e as técnicas locais. Este fato se relaciona, de forma muito próxima, com a necessidade de apresentação das novas opções construtivas e de materiais alternativos, tal como a intensidade da observação de aspectos ambientais.

Uma das ações mais efetivas no sentido de minimizar a problemática habitacional do Brasil foi a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH), através da Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, definindo que o Banco deveria operar como órgão orientador, disciplinador e de assistência financeira, voltando-se para a área de habitação. Em 14 de dezembro de 1971, a Lei nº 5.762 transformou o Banco Nacional da Habitação (BNH) em empresa pública e deu outras providências; no entanto, o Banco, que foi criado para realizar o sonho da casa própria da população de baixa renda, acabou frustrando seu objetivo principal. Daí que, através do Decreto-Lei nº 2.291, de 21 de novembro de 1986, o BNH foi extinto, ocorrendo a incorporação das suas funções pela Caixa Econômica Federal (CEF).

No período compreendido pela última década do século passado, a política habitacional do país não foi definida como prioridade e, assim sendo, não veio a receber maiores

investimentos dos governos. Portanto, não houve um plano ou política efetiva de habitação no país, neste período, o que acentuou o déficit habitacional.

Iniciou-se, no ano de 2003, uma nova fase na conjuntura da política de habitação do Brasil quando o país começou a promover grande debate concernente às necessidades de investimentos no setor de habitacional. Com a criação do Ministério das Cidades o país estabeleceu um olhar mais atento para novas diretrizes voltadas ao desenvolvimento habitacional interno. Foram criados, então, diversos programas e parcerias com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento habitacional. Em 2004 foi criada a Política Nacional de Habitação (PNH) que teve, como intuito, a universalização do acesso à moradia, promovendo o atendimento à população de baixa renda.

A ação governamental mais recente e que objetiva a redução do déficit habitacional foi a criação do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) instituído através da Lei nº 11.977, de 7 de Julho de 2009. O Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV compreende dois subprogramas, a saber: o Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) e o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR). Trata-se de um dos primeiros programas governamentais que apresentam fomento à construção da habitação rural. O PMCMV foi criado com o propósito de estabelecer mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais, requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de até dez salários mínimos.

Por sua vez, o texto legal aponta que o Programa Nacional de Habitação Rural - PNHR tem, como intuito, criar subsídios para a produção ou a aquisição de moradia aos agricultores familiares e trabalhadores rurais.

Deve-se atentar que, além da disponibilidade quantitativa de habitação, faz-se necessária a concepção de projetos dentro de uma adequação climática. Observa-se que conceitos arquitetônicos mais primários se preocuparam em oferecer as condições necessárias de abrigo e proteção contra os efeitos adversos do clima. Portanto, em um país de acentuada variação das condições ambientais não deve limitar-se a um único modelo de habitação, padronizando os materiais e técnicas construtivas. O que se pode verificar usualmente na prática dos programas habitacionais é a acelerada construção de grandes quantidades de unidades habitacionais tendo, como maior critério de planejamento, a maximização do aproveitamento do solo em função do maior número de unidades habitacionais por loteamento, com a finalidade de alcançar maior rentabilidade financeira.

Depreende-se que ocorre uma similaridade indevida, tanto no aspecto técnico como nos materiais construtivos utilizados, entre as edificações construídas na zona rural das regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul do país.

Sabe-se que o Brasil é um país de caráter continental e as cujas regiões *geoclimáticas* têm propriedades ambientais, econômicas e socioculturais próprias, que corroboram com o imperativo de construções de habitações diferentes.

Lamentavelmente, a busca por um modelo arquitetônico caracterizado pela especificidade regional, norteado pelos aspectos ambientais, econômicos, sociais e culturais, não tem despertado a atenção dos elaboradores das leis e dos programas fomentadores da proliferação da habitação.

Este trabalho foi fruto da preocupação em analisar o conforto térmico de uma habitação considerada residência rural, também chamada Eco Residência Rural ou simplesmente Eco Residência que tem, como um dos principais elementos norteador, o melhor uso dos recursos naturais existentes na região do semiárido paraibano. O projeto residência em estudo buscou oferecer conforto ambiental a partir da gestão de técnicas, como 'pé direito' elevado, boa orientação solar dos cômodos, substituição dos tijolos comuns por tijolos confeccionados no sistema de solo-cimento.

Ressalta-se que a Eco Residência é uma casa ecológica cujo projeto e construção atendem aos requisitos de sustentabilidade, por meio do uso eficiente de materiais e soluções tecnológicas compatibilizadas com a busca da harmonia com a natureza. Neste sentido consta, explicitamente, a diminuição da supressão vegetal devido à utilização do tijolo de solo-cimento, em substituição ao convencional tijolo cerâmico maciço e furado, fabricado a partir da queima da mata.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar o conforto térmico de uma Unidade Habitacional Rural (Eco Residência) construída com tijolo solo-cimento, no semiárido paraibano, observando as inovações de materiais e técnicas construtivas, além das rotinas de manipulação das aberturas de ventilação no período do verão brasileiro.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Avaliar o conforto térmico dos seguintes ambientes: sala, quarto e mezanino de Residência rural, considerando as variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar);
- ✓ Caracterizar os ambientes, concernente ao conforto térmico, por meio dos seguintes índices: Índice de Desconforto, Índice de Temperatura e Umidade, Índice de Temperatura e Globo Negro, além dos índices PMV/PPD e PET;
- ✓ Analisar o comportamento térmico dos invólucros de fechamento externo da Edificação;
- ✓ Analisar a influência que a ventilação cruzada, devido à combinação de abertura das janelas, cobogós e bandeiras de portas, exerce sobre as variáveis climáticas, durante o período experimental.

1.3. Justificativa

A regionalização climática habitacional corresponde à falta de adequação da habitação ao clima da região a partir da utilização de materiais e das técnicas locais. Tal fato encontra campo fértil de discussão e estudo considerando a intensidade das novas opções de projetos, técnicas e materiais alternativos. As ideias arquitetônicas executadas com sucesso em determinada região com características climáticas, econômicas, sociais e culturais típicas, não devem ser simplesmente inseridas em outras regiões com características diferentes.

Por sua vez, as adversidades de conforto ambiental, causadas por variáveis climáticas, podem ser superadas pela conformidade desta arquitetura regionalizada, recorrendo a sistemas adequados de ventilação e iluminação natural.

A região do semiárido paraibano se particulariza por sua condição climática definida por prolongados períodos de estiagem, caracterizados pela insuficiência e pela irregularidade na distribuição de chuvas, de acordo com as temperaturas elevadas e com as altas taxas de evaporação e baixa umidade relativa do ar. Resultado desta situação adversa se verificam a pouca disponibilidade de recursos hídricos e a baixa produtividade na atividade agrícola e pecuária; é também onde se localizam as áreas susceptíveis à desertificação no Brasil, que cobrem uma superfície equivalente a 15% do território nacional. O Nordeste brasileiro é a região semiárida com a maior densidade demográfica do mundo o que, por si só, justifica um olhar atento para a regionalização climática habitacional.

Portanto, deve-se buscar a consolidação de um projeto de habitação concebido para a zona rural da região do Semiárido paraibano observando, dentre outros, os aspectos

ambientais e as facilidades de acesso às técnicas e materiais construtivos. É relevante, também, elaborar um modelo de habitação econômico e ambientalmente adaptado para o interesse socioambiental caracterizado pelo diferencial imposto a esta região.

Um ambiente que possa ser caracterizado como confortável termicamente e devidamente apropriado para o descanso ou com atividade que gere menor consumo de energia do trabalhador, é instrumento de saúde humano e melhor desenvolvimento de atividades. Esta residência, modelo proposto pela UFCG, foi projetada, implantada e executada dentro do propósito de disponibilizar qualidade de vida ao homem do semiárido visto que dispõe de técnicas construtivas e de materiais construtivos que oferecem suporte, justificando seu enquadramento como modelo de sustentabilidade a ser adotado em toda a região.

Neste aspecto é de acentuada importância a discussão desse modelo de habitação proposto pela UFCG, de modo que pode caracterizar ou não como sustentável, obedecendo aos aspectos de ser ecologicamente correta, economicamente viável, socialmente justa e culturalmente aceita.

O tema da residência deve fazer parte do eixo fundamental para qualquer tipo de atuação que tente reverter a circunstância de adversidade nas áreas rurais, notadamente na zona rural onde a compreensão da habitação vai além dos limites da “casa” e é mais conexo concebê-la em relação ao uso do espaço.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conforto Térmico

Nogueira et al. (2005) defendem que o conforto ambiental, relacionado à arquitetura e ao ambiente construído, é composto por: conforto térmico, visual, acústico e ergonômico. O conforto térmico é responsável por grande parcela do conforto ambiental. O desconforto térmico é, em geral, uma das maiores reclamações dentre os fatores que compõem o conforto ambiental.

Para Lyra (2007), conforto ambiental é um processo resultante de fenômenos de transporte de massa e energia – transmissão de calor, luz e som, dentre outros, o qual se encontra relacionado com as propriedades físicas dos materiais (condutividade térmica, emissividade, porosidade, textura, refletância, transmitância etc.).

A NBR 15220 (ABNT, 2003) aponta que conforto térmico é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente. Lamberts et al. (2005) afirmam que a não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto, pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Segundo Nóbrega & Lemos (2011), o conceito de conforto térmico não é simples visto que, além de compreender os fatores físicos naturais, faz-se necessário entender, também, o sistema termorregulador de cada indivíduo.

Frota & Schiffer (2009) apontam que as condições de conforto térmico capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio.

Chrismann et al. (2015) declaram que a sensação de conforto térmico depende de fatores humanos e de fatores ambientais, tornando-se um critério individual e subjetivo. Assim, um ambiente confortável para um utilizador poderá não o sê-lo para outro, fato que exige grande versatilidade por parte das soluções.

As variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas. As variáveis humanas são: metabolismo gerado pela atividade física; resistência térmica oferecida pela vestimenta. As variáveis ambientais são: temperatura do ar; temperatura radiante média; velocidade do ar; umidade relativa do ar. Além disto, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso e altura, dentre outras, podem exercer

influência nas condições de conforto de cada pessoa e devem ser consideradas (Lamberts et al., 2005).

Para Souza (2013), o conforto térmico é afetado pela temperatura do ar, movimento do ar (velocidade do vento), umidade, vestimenta, nível de atividade (quantidade de trabalho físico realizado), temperatura média radiante (temperatura média das paredes, solo, janelas, etc.) e muitos outros fatores.

Segundo Santos & Andrade (2008), o conforto térmico pode ser observado de duas maneiras: do ponto de vista pessoal, considerando-se o conforto do indivíduo em determinados ambientes e da linha climatoambiental, que propõe o estabelecimento de um estado térmico, analisando-se as variáveis ambientais como temperatura, umidade do ar, radiação e vento. É neste contexto que diversos autores propuseram índices para estudar mais profundamente a quantificação do conforto térmico.

Para Maia & Gonçalves (2002), o organismo humano experimenta a sensação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação perde, para o ambiente, calor produzido pelo metabolismo, compatível com sua atividade. No caso de frio intenso, a termorregulação pode ocorrer, por exemplo, através da vasoconstrição e eriçar os pelos entre outros. No caso de calor intenso o corpo procura manter sua temperatura através do suor, vasodilatação e ingestão de líquidos gelados, entre outras maneiras.

O desconforto térmico, quer seja por frio ou por calor, tem a capacidade de influenciar no desempenho de atividades e grau de satisfação dos usuários de determinado ambiente, podendo levar até às condições extremas, afetar a saúde e levar à morte. Do ponto de vista fisiológico, a sensação de conforto térmico se daria, portanto, quando o corpo perdesse ou ganhasse calor sem ativar os mecanismos termorreguladores, ou seja, em um ambiente de neutralidade térmica (Lyra, 2007).

As condições térmicas dos ambientes laborais não dependem só do clima mas também do calor introduzido pelas atividades desenvolvidas e pelos equipamentos envolvidos nos processos, tal como pelas características construtivas do ambiente e sua capacidade de manter condições internas adequadas no que se refere ao conforto térmico das pessoas (Ruas, 1999).

O conforto térmico é uma característica apresentada pelo meio ambiente e pelas edificações, que indica a satisfação do ser humano com o ambiente térmico em que se encontra (Nogueira et al., 2012).

2.1.1 O Ser humano

“O homem é um animal homeotérmico. Seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante, na ordem de 37 °C, com limites muito estreitos – entre 36,1 e 37,2 °C” (Frota & Schiffer, 2009). Conforme Almeida & Veiga (2010), o corpo humano tem uma temperatura ótima de funcionamento orgânico em torno dos 37 °C e que quaisquer pequenas alterações são detectadas pelo centro termorregulador.

Para Ruas (1999), a termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho.

Graças (2010) aponta que:

“Uma pessoa está termicamente confortável quando não sente calor nem frio. O conforto térmico está relacionado entre as trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente, tais como:

1. Convecção: troca de calor sensível entre a superfície do corpo (pele e roupa) e o ar ambiente;
2. Radiação: troca de calor sensível entre a superfície do corpo (pele e roupa) e as superfícies envoltórias (paredes, envidraçados, aquecedores, etc.);
3. Condução: troca de calor sensível entre a superfície do corpo e as superfícies em contato.

Para se garantir o conforto térmico é preciso que haja equilíbrio entre o calor produzido pelo metabolismo e o calor perdido pelo corpo”.

Lamberts et al. (2005) destacam que 20% da energia produzida pelo organismo humano são transformados em potencialidade de trabalho enquanto que os 80% restantes são convertidos em calor, que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo se mantenha em equilíbrio.

Segundo Xavier (1999), o organismo humano pode ser comparado a uma "máquina térmica", a qual gera calor quando executa algum trabalho. O calor gerado pelo organismo deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente a fim de que não se eleve nem diminua a temperatura interna do corpo. Como o homem é um animal homeotérmico, isto é, deve manter sua temperatura corporal praticamente constante, esses desequilíbrios ocasionados entre a geração e a dissipação do calor pelo organismo podem ocasionar sensações desconfortáveis ou mesmo patologias, em casos mais extremos (stress térmico).

Batiz et al. (2009) descrevem que todos os seres humanos exibem respostas comportamentais e fisiológicas frente às variações térmicas ambientais. Tais fatos se

apresentam desde os tempos em que ocupavam cavernas até os dias atuais, com os sofisticados sistemas de climatização controlados por computadores.

2.2. Variáveis Climáticas

Para Lamberts & Xavier (2002), as variáveis ambientais relacionadas aos cálculos analíticos do conforto térmico que podem ser facilmente extraídas do meio, são a temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.

O clima é um fator de suma importância para diversas atividades humanas. O conhecimento dele proporciona melhorias no planejamento dos recursos naturais de uma região, em especial a atividade agrícola (Lopes et al., 2012).

2.2.1. Temperatura do ar (t_{bs})

Segundo Silva (2008), a temperatura do ar é uma medida que quantifica a agitação de moléculas de ar quando a radiação solar chega à superfície da terra. A agitação das moléculas obedece a uma relação de proporcionalidade direta com a unidade de temperatura. Na medição dessa grandeza são utilizados os termômetros analógicos ou digitais de bulbo seco. Lamberts et al. (2005) afirmam que a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico.

Conforme Medeiros et al. (2005), a temperatura do ar é, dentre os elementos climáticos, o que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais; portanto, seu conhecimento se torna fundamental em estudos de planejamento agrícola e em análises de adaptação de culturas a determinadas regiões com características distintas.

De acordo com Lamberts et al. (2005), a temperatura do ar não é resultado da ação direta dos raios do sol, em que o processo ocorre de maneira indireta: a radiação solar atinge o solo onde é absorvida parcialmente e transformada em calor. Portanto, a temperatura do solo aumenta e, por convecção e emissão, aquece o ar. A temperatura do ar será consequência de um balanço energético onde intervêm: a radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora; a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução e as perdas por evaporação e convecção.

Existem alguns fatores primordiais que influenciam na temperatura do ar, sendo como ponderados como mais importantes: latitude, época do ano, hora do dia, altitude, concentração de gases aerossóis e características físicas da superfície do solo (Silva, 2008).

Xavier (1999) considera que a temperatura deve ser observada nos estudos de conforto térmico para determinação das trocas térmicas por convecção entre as pessoas e o ambiente.

Ao nível da edificação, a temperatura do ar (t_{ar}) é resultado da combinação do comportamento térmico da envoltória em função das propriedades térmicas dos materiais com os quais foram confeccionados elementos de vedação, da umidade e da ventilação (Cunha, 2013).

“É a temperatura do ar ao redor do corpo humano. Esta variável é levada em consideração nos estudos de conforto térmico para se determinar a troca de calor por convecção entre as pessoas e o ambiente ao redor. Esta variável pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência variável ou termopares” (Xavier, 1999).

A temperatura do ar apresenta ciclo diário, passando por um máximo e por um mínimo. Em ocorrências normais as temperaturas máximas ocorrem, em geral, entre 14 e 15 horas e as mínimas acontecem pouco antes do nascer do sol. O conhecimento da temperatura do ar é de fundamental importância para diversas áreas de pesquisa, como a meteorologia, a oceanografia, a climatologia e a hidrologia (Vianello, 1991, apud Galvíncio, 2009).

Beraldo (2006) argumenta que temperatura de máximo conforto está relacionada com as condições de neutralidade térmica e que não se pode falar de uma temperatura de conforto mas, sim, de uma zona de conforto térmico.

Para Givoni (1992), "zona de conforto" é definida como sendo um intervalo de condições climáticas dentro do qual a maioria das pessoas não sente desconforto térmico, seja por excesso de calor ou por frio. Para pessoas que vivem em países quentes e em desenvolvimento, Givoni (1992) sugere a temperatura de zona de conforto variando dentro do limite de 21 a 29 °C.

2.2.2. Temperatura radiante média (t_{rm})

A NBR 15220:1 (ABNT, 2003) conceitua temperatura radiante média como sendo a “temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme”.

Segundo Lamberts et al. (2014), a temperatura radiante média é definida como a temperatura uniforme de um compartimento negro (no sentido físico radiante) que troca com um ocupante a mesma quantidade de radiação térmica que um ambiente real trocaria. É um valor único para todo o corpo podendo ser considerado uma média espacial das superfícies circundantes, ponderada por seus respectivos fatores com relação ao ocupante.

A temperatura radiante média pode ser mensurada com o auxílio de uma temperatura de globo negro que tem, em seu núcleo, um sensor de temperatura do tipo “bulbo de mercúrio”, “termopar” ou “resistor”. Existem globos de diferentes diâmetros mas para facilitar o cálculo empregando uma fórmula padrão (depende do diâmetro), é aconselhada a medição usando um globo de 15 cm. Quanto menor o diâmetro do globo maior será o efeito da temperatura e da velocidade do ar, o que pode levar a imprecisão dos resultados. Como a superfície externa do globo absorve a radiação derivada das paredes do ambiente, sua superfície deve ser negra ou com cobertura eletroquímica ou, ainda, pintura com tinta negra (Lamberts et al., 2014).

Conforme Hirashima (2014), em situações climáticas com ventos fracos, por exemplo, a temperatura radiante média tem aproximadamente a mesma importância para o equilíbrio térmico do corpo humano que a temperatura do ar.

2.2.3. Umidade Relativa do ar

Pelas definições da NBR 15220:1 (ABNT, 2003), a umidade absoluta (UA) é o quociente da massa de vapor d'água pela massa de ar seco (g.kg^{-1}) e a umidade relativa (UR), o quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica (%). A umidade relativa é o montante de vapor de água do ar em relação com o máximo montante de vapor de água que o ar pode conter em certa temperatura (Lamberts et al., 2014).

De acordo com Cunha (2013), a presença de vapor d'água no ar tem origem principalmente na evaporação natural da água e na transpiração dos vegetais. A existência de vapor de água na atmosfera é tratada como umidade. Umidade absoluta, umidade relativa e pressão de vapor, são apenas algumas das diferentes formas de expressão da quantidade de vapor d'água.

Para Varejão (2006), um dos parâmetros utilizados para a definição do grau de conforto ambiental para pessoas é a umidade atmosférica reinante no local em estudo.

Segundo Lamberts & Xavier (2002) sugere-se que a Umidade Relativa do ar oscile na faixa entre 30% a 70%, para que sejam minimizadas as ocorrências de sensações

desagradáveis por excesso de suor ou por pele ressecada, de proliferação de microrganismos e de deficiências respiratórias.

A umidade relativa do ar é de grande importância quando se trata de amplitude térmica diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas extremas, mínimas e máximas (Frota & Schiffer, 2009).

A umidade relativa do ar estabelece uma correlação direta entre a quantidade de vapor de água existente no ar e a quantidade que poderia haver numa condição de saturação na mesma temperatura. Segundo Varejão (2006), um ambiente é dito saturado a determinada temperatura quando possui a quantidade máxima possível de vapor d'água àquela temperatura.

A umidade existente no ar afeta diretamente o metabolismo do corpo humano. Quando aumenta a umidade do ar o corpo transpira menos, o suor se condensa na pele e ocorre sensação de mais desconforto ainda, além da dificuldade de respirar. Quando a umidade do ar é baixa, o ar fica mais seco e, mesmo com a temperatura elevada, não existe a sensação de tanto calor. (Fontanella, 2009)

A umidade relativa (UR) do ar úmido, submetido a determinada temperatura (t), é o quociente entre a pressão parcial do vapor (e) e a pressão de saturação (e_s) àquela temperatura.

O desempenho da umidade relativa do ar apresenta forte relação com a temperatura do ar, qualquer que seja o ambiente (interno ou externo), o que pode ser verificado em todas as manipulações de abertura de ventilação, neste trabalho.

Para se analisar as trocas de calor por evaporação entre o homem e o ambiente, a umidade absoluta é que deve ser levada em consideração (Lamberts, 2014).

Para Pinto (2011), a umidade do ar tem influência sobre a evaporação do suor na pele. Quanto mais seco o ar, maior a evaporação do suor e melhor é a sensação de frescor na pele, o que pode levar um trabalhador a executar suas atividades com sensação térmica mais amena do que a temperatura do ar indicada pelo termômetro.

2.2.4. Movimento do ar

Vento é o movimento do ar livre fornecido por correntes térmicas nos primeiros 16 km da superfície da terra. Dependendo da rugosidade do terreno este movimento pode tornar-se mais ou menos agitado (Oliveira, 2003). Ainda hoje o vento é considerado uma das variáveis de clima mais difíceis de serem previstas (Pinto, 2015).

Para Torres (2006), o movimento do ar é resultado das diferenças de pressão atmosférica verificadas pela influência direta da temperatura do ar deslocando-se, horizontal e verticalmente. O movimento horizontal está relacionado às diferenças de temperatura da superfície da terra, e o movimento vertical ao perfil de temperatura gerado pelo aquecimento do ar, na faixa equatorial.

O vento pode trazer sensação de frescor ou de desconforto proporção que se torna mais forte do que nossa necessidade de eliminação de suor. O vento, ao soprar por sobre a superfície de água se umidifica, o que faz refrescar o ar e assegura uma umidade relativa menos baixa e mais confortável. O uso da ventilação no projeto permite retificar condições de umidade incompatíveis ao uso do ambiente interno (Barroso-Krause et al., 2005).

Os equipamentos mais usuais para medição de velocidade do vento são os anemômetros de fio quente, direcionais, e os anemômetros de esfera aquecida, unidirecionais (Xavier, 2000). No caso de não se dispor de dados de velocidade de vento obtidos por instrumentos pode-se utilizar a Escala Beaufort de Ventos (Barroso-Krause et al., 2005), idealizada pelo meteorologista anglo-irlandês Francis Beaufort. O Quadro 1 apresenta a Escala de Beaufort e sua relação com a velocidade dos ventos e os fenômenos comumente observados.

Quadro 1– Escala de Beaufort

Escala de Beaufort	Velocidade dos ventos	Fenômenos comumente observados
0	0 a 0,2 m.s ⁻¹	Fumaça (churrasqueira, cigarro...) sob forma vertical
1	0,3 a 1,5 m.s ⁻¹	Vento que faz a fumaça inclinar mas não consegue girar um cata-vento
2	1,6 a 3,3 m.s ⁻¹	O ser humano percebe o vento no rosto e o cata-vento começa a se mexer.
3	3,4 a 5,4 m.s ⁻¹	As folhas e os pequenos ramos das arvores se mexem de forma contínua. O vento faz as bandeiras se mexer.
4	5,5 a 7,9 m.s ⁻¹	O vento tira poeira do chão e levanta folha de papel.
5	8,0 a 10,7 m.s ⁻¹	As pequenas árvores começam a se balançar. Formam ondas nos lagos.
6	10,8 a 13,8 m.s ⁻¹	Fios elétricos começam a se mexer e fica muito difícil usar o guarda-chuva.
7	13,9 a 17,1 m.s ⁻¹	As árvores ficam muito agitadas. É muito difícil andar de frente para o vento.
8	17,2 a 20,7 m.s ⁻¹	Os pequenos ramos das árvores se quebram. Só pode andar de frente para o vento se fizer muito esforço
9	20,8 a 24,4 m.s ⁻¹	As telhas dos telhados começam a ser arrancadas
10	24,5 a 28,4 m.s ⁻¹	Normalmente só ocorre no mar. Quando ocorre na terra, pode arrancar árvores com a raiz.

Fonte: Francis Beaufort apud Barroso-Krause et al. (2005)

Lamberts et al. (2005) explanam que a diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca movimentação do ar, chamada convecção natural: a parte mais quente se torna mais leve e sobe enquanto a mais fria desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

Variáveis de evidência para o estudo do conforto térmico são a direção e a intensidade do vento, visto que se trata de variável meteorológica que influencia e é influenciada por outros elementos, provocando condições específicas no espaço urbano, principalmente no que diz respeito aos processos de transporte de calor (convecção) e de umidade (evaporação), bem como na dispersão da poluição (Varejão, 2006).

Barroso-Krause et al. (2005) asseveram que na natureza os principais responsáveis pela transferência de energia térmica, por convecção, são os ventos.

Segundo Romero (2000), dos fatores locais que têm interferência na formação do movimento do ar, o relevo do solo exerce papel significativo, uma vez que desvia, altera, ou canaliza este movimento. Para a pesquisadora, o movimento do ar, assim como qualquer outro corpo em movimento, tem inércia, visto que em movimento tende a continuar na mesma direção até ser desviado por algum obstáculo.

Matos (2007) atesta que a troca entre o ar externo e o ar do interior de um edifício pode ser dividida em duas grandes classificações: ventilação e infiltração. Acrescenta que a ventilação pode ocorrer devido à diferença de pressão causada por dois fenômenos: (1) por ação do vento; (2) por diferenças de temperatura.

A ventilação é a introdução intencional de ar do exterior para o interior do edifício; é ainda dividida em ventilação natural e ventilação forçada. Ventilação natural é o fluxo de ar intencional através de janelas abertas, portas, grades, e outras penetrações através do envelope da edificação, e é dirigida pelos diferenciais de pressão produzidos naturalmente. Ventilação forçada é o movimento intencional de ar para dentro e para fora do edifício usando ventiladores, insufladores e exaustores; é também chamada de ventilação mecânica (ASHRAE, 2001, apud Matos, 2007).

A ventilação natural do ar possibilita, de forma adequada, a renovação do ar no ambiente diminuindo a temperatura interna e participando na melhoria das condições de conforto térmico podendo reduzir o consumo energético (Christmann et al., 2015).

Bittencourt & Cândido (2010) apontam que a ventilação natural pode ser usada em uma habitação com três finalidades complementares: manter a qualidade do ar nos ambientes internos; remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos e promover o resfriamento fisiológico dos usuários.

Christmann et al. (2015) atestam que a ventilação natural se relaciona principalmente com sua temperatura, umidade e velocidade. O ar quente tende a subir e o ar frio, a baixar. Duas massas de ar, postas em contato através de uma abertura, se mesclarão lentamente, caso tenham as mesmas temperatura e umidade.

Infiltração é o fluxo incontrolado do ar externo para dentro do edifício através de frestas e outras aberturas intencionais e através do uso normal das portas externas para entrada e saída de pessoas (ASHRAE, 2001, apud Matos, 2007).

2.2.5. Radiação Solar

Marques Junior (2008) afirma que a Radiação é a transferência de energia térmica entre dois objetos, através de ondas eletromagnéticas. Lembrando que as moléculas não precisam ter contato para passar o calor; comumente, a perda de calor pela radiação predomina na condição de repouso.

A radiação é um componente significativo do ambiente térmico exercendo influência acentuada no processo de transferência de calor animal-ambiente. A avaliação completa do conforto animal depende, em grande parte, da quantificação desse fator (Souza et al., 2002).

O Sol é a principal fonte de energia (de calor e de luz) para o planeta. A energia transmitida pelo Sol na forma de ondas eletromagnéticas é chamada radiação solar (Romero, 2000). Para Martins et al. (2004), a radiação solar constitui a principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos, em nosso planeta. A energia proveniente do Sol chega até a superfície propagando-se como energia radiante ou simplesmente radiação.

Para Souza et al. (2010), dentre as informações climáticas mais importantes para a caracterização do ambiente, pode-se destacar o conhecimento da temperatura de bulbo seco (tbs), a umidade relativa (UR), a velocidade (v) do ar, a radiação solar e a precipitação.

A radiação solar funciona como a energia de partida para diversos processos físico-químicos e dinâmicos que ocorrem na superfície terrestre e na interação atmosfera-superfície. A sua variabilidade no espaço e no tempo ocasiona diferentes respostas do ambiente (Porfirio, 2012).

A radiação solar pode ser dividida em radiação direta e difusa. Em virtude de a radiação começar a sofrer interferência no seu trajeto em direção à superfície da terra, após sua penetração na atmosfera. A parcela classificada como radiação direta é aquela que atinge diretamente a Terra (Lamberts et al., 1997).

A condição de céu é definida em função da transmitância da atmosfera com relação às nuvens e da pureza do ar quanto à poeira, dióxido de carbono e vapor d'água (Romero, 2000).

Segundo Gasparini (2005), a parcela de radiação transmitida para o interior de um ambiente atuará nas condições de conforto de forma instantânea sendo, portanto, a principal fração dos ganhos térmicos em ambientes construídos.

2.2.6. Parâmetros individuais

Para Frota & Schiffer (2009), as condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis. A partir das variáveis climáticas do conforto térmico citados anteriormente e de outras variáveis, como atividade desenvolvida pelo indivíduo e sua vestimenta, vem sendo desenvolvida uma série de estudos que procuram determinar as condições de conforto térmico e os vários graus de conforto ou desconforto por frio ou por calor.

Conforme descreve Ruas (1999), as variáveis de maior influência no conforto térmico podem ser reunidas em dois grandes grupos: nas de natureza ambiental e nas de natureza pessoal. As de natureza ambiental são: temperatura do ar (tar); temperatura radiante média (trm); velocidade relativa do ar (vr) e umidade relativa do ar ambiente (UR). Já as variáveis de natureza pessoal são: tipo de vestimenta (representada pelo seu isolamento térmico); tipo de atividade física executada (representada pelo metabolismo). Essas variáveis foram separadas em dois grupos somente para efeito de classificação tendo em vista que o efeito combinado de todas essas variáveis é o que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Para Gouvea (2007), além das variáveis ambientais a atividade física e a vestimenta também interagem na sensação de conforto térmico humano.

Segundo Cunha (2013), o uso de vestimentas adequadas influencia na sensação de conforto visto que reduz o ganho de calor advindo da radiação solar direta, restringe as perdas em condições de baixa umidade do ar e minora o efeito refrescante do suor em evaporação.

Para Frota & Schiffer (2009), a vestimenta representa uma barreira para as trocas de calor por convecção. Funciona como isolante térmico que mantém, junto ao corpo, uma camada de ar mais aquecida ou menos aquecida, conforme seja mais ou menos isolante.

Para Buriol et al. (2015), o comportamento e a atividade humana são relevantes para que as condições de conforto ambiental sejam quantificadas com o intuito de planejar as atividades humanas.

O isolamento térmico das vestimentas é descrito como o isolamento intrínseco da pele para a superfície externa das roupas, desconsiderando-se a resistência fornecida pela camada

de ar ao redor do corpo. É representada por “Icl”, expresso em $m^2.K.W^{-1}$ ou em “clo”, em que 1 clo corresponde a $0,155 m^2.K.W^{-1}$ (Xavier, 2000).

Para Moura (2012), o vestuário é um dos itens considerados como equipamento de proteção individual para ambientes de trabalho. Entre vários aspectos, a roupa se caracteriza como isolante térmico interferindo, assim, na troca térmica do ser humano, entre o corpo e o ambiente. O corpo revestido pela vestimenta pode garantir que não haja troca térmica quando a necessidade é evitar a troca de calor com o ambiente.

A ISO 7730 (ISO, 2005) define que o índice de resistência térmica para a vestimenta completa de uma pessoa será dado pelo somatório do isolamento térmico referente a cada peça do vestuário (Icl), separadamente, conforme dados constantes do Quadro 2.

Quadro 2 - Isolamento térmico para peças de vestuário, segundo a ISO 7730 (ISO, 2005)

Vestuário	Icl	
	m ² .K.W-1	Clo
Calcinha	0,03	0,005
Calcinha e sutiã	0,03	0,005
Cuecão longo	0,10	0,016
Camisa de baixo	0,09	0,014
Camisa de baixo com mangas longas	0,12	0,019
Camisa manga curta	0,15	0,023
Camisa fina manga longa	0,20	0,031
Camisa manga longa	0,25	0,039
Camisa flanelada manga longa	0,30	0,047
Blusa manga longa	0,15	0,023
Calça curta	0,06	0,009
Calça fina	0,20	0,031
Calça média	0,25	0,039
Calça flanelada	0,28	0,043
Saia leve (verão)	0,15	0,023
Saia grossa (inverno)	0,25	0,039
Vestido leve de manga curta	0,20	0,031
Vestido grosso de manga longa	0,55	0,085
Jaqueta	0,35	0,062
Meia fina	0,03	0,005
Meia grossa	0,05	0,008
Meia calça	0,10	0,016
Sapato	0,04	0,006

Fonte: Lamberts et al. (2005)

A taxa metabólica é a taxa de produção de energia do corpo. O metabolismo, que varia de acordo com a atividade desempenhada, é expresso em unidade “met”. 1 met, que corresponde a $58,2 W.m^{-2}$, é igual à energia produzida por unidade de área. Dentre as

respostas fisiológicas a frequência cardíaca e a temperatura interna corporal são mais sensíveis ao estresse metabólico enquanto a temperatura da pele responde mais às cargas de calor ambiental.

O desempenho humano durante qualquer atividade deve ser otimizado desde que o ambiente propicie condições de conforto e sejam evitadas as sensações desagradáveis, tais como dificuldade de eliminar o excesso de calor produzido pelo organismo, perda exagerada de calorias pelo corpo e desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo (Santos & Andrade, 2008).

No Quadro 3 podem ser visualizados valores para as taxas metabólicas relativas a diversas atividades, de acordo com a ISO 7730 (ISO, 2005).

Quadro 3- Taxa metabólica para diversas atividades, segundo a ISO 7730 (ISO, 2005)

Atividade desempenhada	Taxa metabólica	
	Em W.m ⁻²	Em met
Reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (em escritório, escola, laboratório)	70	1,2
Atividades leves, em pé (fazendo compras, em laboratórios, indústrias leves)	93	1,6
Atividades médias em pé (como vendedora, trabalhos domésticos, operadores de máquinas)	116	2,0
Caminhando em local plano a 2 km.h-1	110	1,9
Caminhando em local plano a 3 km.h-1	140	2,4
Caminhando em local plano a 4 km.h-1	165	2,8
Caminhando em local plano a 5 km.h-1	200	3,4

Fonte: Lamberts et al. (2005)

2.3. Transferência de energia térmica

Segundo Frota & Schiffer (2009) as trocas térmicas advêm de uma das condições básicas: existência de corpos com temperaturas diferentes ou mudança de estado de agregação. Os mecanismos de trocas térmicas entre corpo e ambiente são: trocas secas (condução, convecção e radiação) ou calor sensível; trocas úmidas (evaporação, condensação,

liquefação) ou calor latente. O Quadro 4 mostra, em detalhes, as formas de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.

Quadro 4 - Formas de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente

Forma transferência de energia	Definição
Radiação	Os objetos emitem continuamente ondas térmicas eletromagnéticas. A radiação é uma forma de calor que não requer contato molecular entre os corpos. Os corpos mais frios absorvem energia térmica dos corpos mais quentes.
Condução	A permuta de calor por condução envolve a transferência direta do calor de uma molécula para outra, através de líquido, sólido ou gás.
Convecção	A eficácia da perda de calor por convecção depende da rapidez com que o ar (ou a água) adjacente ao corpo é permutado após ter sido aquecido.
Evaporação	A evaporação proporciona a principal defesa contra o superaquecimento. A água que se vaporiza a partir das vias aéreas e da superfície cutânea transfere calor continuamente para o meio ambiente.

Fonte: McArdle et al. (2003) apud Almeida & Veiga (2010)

Leite (2002) ressalta que o intercâmbio de calor entre o organismo e o ambiente pode ser uma ação positiva ou negativa na troca térmica, por condução-convecção, dependendo das grandezas das temperaturas e da velocidade do ar. No mecanismo de convecção o aumento da velocidade do ar acelera a troca de camadas de ar próximas ao corpo aumentando o fluxo de calor entre este e o ar. Portanto, se a temperatura do ar for superior à da pele o processo de troca de calor deste para a pele é acelerado pela velocidade do ar. Se a temperatura do ar for inferior à da pele, o processo de troca de calor dar-se-á no sentido inverso, da pele para o ar.

Pétalas (2015) atesta que os mecanismos fisiológicos de termorregulação habilitam o corpo a regular a taxa de produção e perda de calor mas, mas se observa a seguir que as trocas térmicas são regidas por princípios puramente físicos e que as respostas comportamentais podem facilitar ou não os processos de troca de calor estabelecidos durante a regulação térmica.

Para Xavier (2000), as perdas de calor pela respiração e através da pele envolvem trocas secas e úmidas. As perdas de calor pela respiração ocorrem por convecção e evaporação sendo importante conhecer as seguintes variáveis: temperatura e umidade relativa do ar ou pressão parcial do vapor de água. As perdas de calor através da pele se dão por meio da convecção e da radiação; além da evaporação e difusão do suor, sendo importante conhecer as

seguintes variáveis: temperatura do ar, temperatura radiante média e isolamento das roupas; taxa metabólica e umidade relativa do ar.

2.4 Análises por índices térmicos

O trabalho de avaliação concernente ao conforto térmico de um ambiente rural voltado para o ser humano pode ser realizado por meio da utilização de diversos índices de conforto. Esses índices, já largamente conhecidos, foram elaborados em face da necessidade de caracterizar o ambiente por meio da análise de diferentes variáveis que influenciam o ser humano, especialmente quanto à sensação térmica, à saúde e à produtividade. Os índices podem ser usados como base para sugestões de adequação de projetos arquitetônicos construídos na zona rural e que são direcionados para atender aos anseios e às necessidades do ser humano.

Segundo Frota & Schiffer (2009), os índices podem ser classificados em índices biofísicos; índices fisiológicos e índices subjetivos. Os índices biofísicos se baseiam nas trocas de calor entre o corpo ocupante e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos. Por sua vez, índices fisiológicos se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar e, por fim, Índices Subjetivos tem como base nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Conforme trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2006), na necessidade de se estabelecer critérios para a classificação dos ambientes, foram desenvolvidos diversos índices de conforto térmico com o objetivo de englobar, em um único parâmetro, o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente construído sobre o homem ou animal. Os autores citam, como exemplos de índices térmicos elaborados para o homem: o Índice de Temperatura de Bulbo Úmido e do Globo e o Índice de Temperatura e Umidade.

Para Callejas & Nogueira (2013), a avaliação da sensação térmica pode ser feita a partir de vários índices, a exemplo do Voto Médio Predito, proposto por Fanger (1972), Temperatura Efetiva e Temperatura Efetiva Padrão, propostos por Gagge et al. (1986), a Temperatura Fisiológica Equivalente, proposta por Hoppe (1999) e mais recentemente, o Índice Climático Térmico Universal, proposto por Fiala et al. (2011).

Por sua vez, Nogueira et al. (2012) descrevem que, nas últimas décadas, inúmeros trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o conforto dos ambientes ocupados

pelos indivíduos e que grande número de índices de conforto térmico foi elaborado, a exemplo do Índice de Desconforto, o Índice de “WindChill” e Índice de Temperatura Efetiva.

Conforme descreve Pétalas (2015), os diversos índices de conforto térmico desenvolvidos nas últimas décadas auxiliam na descrição e quantificação do meio térmico humano e do efeito das complexas condições de troca de calor entre o corpo humano e o meio, visto que são ferramentas capazes de auxiliar na identificação de diretrizes mais adequadas ao clima.

2.4.1 Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (WBGT)

Monteiro & Alucci (2007) apontam a existência de Norma que avalia o estresse térmico do trabalhador com base no Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (WBGT), proposto em 1957 por Yaglou & Minard. A adoção deste Índice se deve à facilidade de realização das medições requeridas de temperatura de bulbo úmido e do globo e que é muito utilizada, até os dias atuais.

Em trabalho realizado para caracterizar a condição de conforto térmico para humanos, Carvalho et al. (2014) utilizaram o índice WBGT, calculado por meio da Equação 1, que é adequada para avaliação de ambientes internos (sem carga solar) de acordo com o estabelecido pela NR 15 (1978):

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{bu} + 0,3 t_{gn} \quad \text{Equação 1}$$

onde: WBGT = Temperatura de Bulbo Úmido e de Globo, em °C; t_{gn} = temperatura de globo negro, em °C; t_{bu} = temperatura de bulbo úmido, em °C.

A Norma Regulamentadora de Segurança e Higiene do Trabalho NR-15 (BRASIL, 1978) estabelece o WBGT (Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo) como índice técnico legal brasileiro para a análise e avaliação das condições de trabalho em ambientes considerando-se temperaturas elevadas. As faixas interpretativas para WBGT, determinadas na NR-15 (BRASIL, 1978), servem de parâmetro para classificação do ambiente térmico.

Para Leite (2002), o Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo é um índice empírico, de fácil e rápida determinação em um ambiente industrial, baseado por, no máximo, dois parâmetros: a temperatura de bulbo úmido natural (t_{bu}) e a temperatura de globo (t_{gn}).

As faixas adotadas pela norma brasileira, apresentadas no Quadro 5, classificam as atividades em leve ($80,8 \text{ W.m}^{-2} \leq M \leq 96,9 \text{ W.m}^{-2}$), moderada ($116,3 \text{ W.m}^{-2} \leq M \leq 193,8 \text{ W.m}^{-2}$) e pesada ($284,3 \text{ W.m}^{-2} \leq M \leq 355,4 \text{ W.m}^{-2}$).

Quadro 5 - Limites de WBGT em função do tipo de atividade e regime de trabalho

Regime de trabalho intermitente com descanso no local de trabalho	Atividade Leve	Atividade Moderada	Atividade Pesada
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho sem adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: NR 15 (BRASIL, 1978)

Leite (2002) aponta que o objetivo do índice WBGT é possibilitar uma análise quantitativa do estresse térmico de modo a maximizar métodos apropriados de atividades laborais em presença de estresse térmico, ou para conduzir uma análise mais detalhada do estresse térmico utilizando-se outros métodos que identifiquem o parâmetro mais significativo a ser minimizado, visando à melhoria do ambiente e o processo laboral.

A NR 15 (BRASIL, 1978) definiu as faixas interpretativas para WBGT observando que as mesmas podem servir como parâmetro para classificação do ambiente térmico, conforme o tipo de atividade desempenhada e sua referida taxa metabólica em função do regime de trabalho. Pela classificação dos espaços internos, a partir de estudo dos valores obtidos pelo WBGT, tem-se que o ambiente é considerado como tolerável à realização de atividades pesadas em regime de trabalho intermitente quando seu valor é inferior a 25 °C, conforme definido pela NR-15 (BRASIL, 1978).

Carvalho et al. (2014) realizaram trabalho em galpões de pinto de corte na região do semiárido Mineiro para avaliar o conforto térmico dos animais (adotando Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade) e para caracterizar o ambiente térmico para os trabalhadores (adotando o Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo Negro). De posse dos dados e com relação aos trabalhadores, verificou-se, no caso da atividade de manejo na granja, realizada durante o verão, que os funcionários precisam, a partir das 09:00 h, adotar pausas frequentes para reestabelecimento fisiológico, com hidratação e descanso. Concluíram

que, no verão, a condição climática é um fator que prejudica a eficiência do trabalho realizado pelos trabalhadores.

2.4.2 - Índice de Desconforto (DI)

O Índice de Desconforto (DI), desenvolvido por Thom (1959), é um índice bastante utilizado sendo o mesmo simples e fácil de ser obtido. Este Índice combina duas variáveis ambientais de fácil obtenção: temperatura do ar (ou de bulbo seco) e de bulbo úmido. O DI é calculado pela Equação 2.

$$DI = 0,4 (t_{bu} + t_{bs}) + 15 \quad \text{Equação 2}$$

onde DI é o índice de desconforto, t_{bu} é a temperatura de bulbo úmido, em °F, e t_{bs} é a temperatura de bulbo seco, em °F.

Por sua vez, Cunha (2013), descreve o DI, desenvolvido por Thom em 1959, com temperatura em °C e utiliza a Equação 3 para fazer os cálculos.

$$DI = 0,72 (t_{bu} + t_{bs}) + 40,6 \quad \text{Equação 3}$$

no qual, DI é o índice de desconforto, t_{bu} é a temperatura de bulbo úmido, em °C, e t_{bs} é a temperatura de bulbo seco, em °C.

Giles et al. (1990) apontam que as faixas interpretativas do Índice de Conforto Térmico DI, propostas por Thom (1959), relacionam os limites de conforto às sensações de satisfação ou insatisfação com o ambiente térmico, por parcelas da população. No Quadro 3 consta a faixa interpretativa apresentada por Thom (1959).

Cunha (2013) sugere que, por se tratar de um índice determinado para parametrizar condições de temperatura interna nas quais os sistemas de climatização (aquecimento ou resfriamento) devem ser acionados, o DI apresenta uma limitação na classificação do ambiente térmico, pois não estabelece faixas para avaliar se o desconforto é consequência da sensação de frio ou de calor.

Conforme Buriol et al. (2015), dentre os índices de quantificação do conforto térmico para os humanos o Índice de Desconforto é bastante utilizado, visto que pondera o efeito da umidade e da temperatura do ar. Sua simplicidade permite a aplicação em estudos climatológicos, especialmente em locais onde não existem informações de longo prazo dos

outros elementos meteorológicos. O Quadro 6 apresenta a faixa de valores do Índice de Desconforto de Thom.

Quadro 6 – Faixas de Valores de Índice de Desconforto de Thom (DI)

Situação	DI (°C)
Não desconforto	<70
Menos de 50% da população sente desconforto	70 a 75
Mais de 50% da população sente desconforto	75 a 79
Desconforto Generalizado	> 79

Cunha (2013) realizou trabalho visando analisar o conforto térmico de residência projetada para o Semiárido paraibano, caracterizada pelo uso da ventilação cruzada por pé-direito elevado e aberturas de ventilação posicionadas em diferentes alturas relativas ao solo. Deve-se destacar que a tipologia da habitação estudada por Cunha (2013) é assemelhada à habitação estudada no trabalho que subsidiou a dissertação ora apresentada.

2.4.3. Índice de Temperatura e Umidade (THI)

Oliveira et al. (2006) descrevem que apesar de existirem índices de conforto térmico mais completos que o Índice de Temperatura e Umidade (THI), este tem sido bastante usado em razão de envolver apenas informações meteorológicas disponíveis em Estações meteorológicas. Por outro lado, Giles et al. (1990) apontaram que versões alternativas foram propostas para o Índice de Desconforto de Thom e utilizaram a Equação 4 para o cálculo do THI:

$$THI = T_{ar} - 0,55 (1 - 0,01 UR) \cdot (T_{ar} - 14,5) \quad \text{Equação 4}$$

em que T_{ar} é a temperatura do ar (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%). O nível de desconforto térmico varia em função do valor do THI.

Cunha (2013) afirma que os intervalos interpretativos propostos por Fanger em 1972, a partir da faixa interpretativa do Índice de Thom, permitem identificar as causas do possível desconforto. No Quadro 7 aparecem discriminadas as faixas interpretativas para o Índice de Temperatura e Umidade.

Quadro 7 – Faixas Interpretativa para THI propostas por Fanger (1972)

Faixa de conforto térmico	THI (°C)
Menor que 13	Muito frio
Entre 13 e 16	Frio
Entre 16 e 19	Frio moderado
Entre 19 e 22	Ligeiramente frio
Entre 22 e 25	Confortável
Entre 25 e 28	Ligeiramente quente
Entre 28 e 31	Quente moderado
Entre 31 e 34	Quente
Maior que 34	Muito quente

Em se tratando de THI se encontra, na literatura, o trabalho de Silva & Almeida (2012) que desenvolveram estudo em sete locais, na cidade de Campina Grande-PB, para analisar o desconforto térmico durante os períodos seco e chuvoso, nas principais áreas da cidade onde, habitualmente, são desenvolvidas atividades físico-aeróbicas. Os resultados indicaram tendência suave de desconforto no ambiente urbano, durante a estação seca. Em nenhum horário de observação o Índice de Temperatura e Umidade (THI) atingiu a faixa de desconforto térmico sendo que no período chuvoso ele indicou o nível de confortável nas primeiras horas da manhã. O período da manhã é, até as 9 h, mais apropriado à prática esportiva do que no período entre meio dia e às 17 h.

2.4.4 Voto Médio Estimado (PMV) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

O índice Voto Médio Estimado (PMV) é muito utilizado com o propósito de caracterizar o ambiente adotando o referencial técnico do voto de sensação térmica do usuário. Este índice deve ser complementado pelos dados fornecidos por outro índice, o PPD.

Segundo Lamberts (2014), o Voto Médio Estimado (PMV) é um índice que prevê um valor médio de sensação térmica de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de 7 pontos, estratificando por aqueles que sentem desconforto por temperatura elevada ou baixa. Este Índice foi criado através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos por Fanger (1972) em estudos na Dinamarca, em câmaras climatizadas. Nesses estudos as pessoas registravam seus votos através da escala sétima de sensações.

Devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes de um ambiente se sintam termicamente confortáveis ao mesmo tempo. O PPD (Porcentagem de

Pessoas Insatisfeitas) estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas dentro de um ambiente (Lamberts et al., 2014).

Conforme Lyra (2007), o Voto Médio Estimado (PMV ou VME) foi proposto por Fanger e permite avaliar o conforto térmico de um recinto fechado, prevendo a sensação térmica para qualquer combinação entre o nível de atividade de uma pessoa ($W.m^{-2}$), a vestimenta (Clo) e quatro variáveis climáticas: temperatura do ar ($^{\circ}C$), temperatura de globo ($^{\circ}C$), velocidade do ar ($m.s^{-1}$) e umidade relativa do ar (%). O PMV é baseado na Equação de Conforto de Fanger e é bastante utilizado no mundo já que é a base de normas como a ISO 7730 e a ASHRAE.

Lamberts et al. (2014) afirmam que o índice Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD) aponta a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. Este Índice se baseia na percentagem de um grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala sétima de sensações. O PPD pode ser determinado em função do PMV.

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 (M - W) - p_v] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,710^{-5} \cdot M (5867 - p_v) - 0,0014 \cdot M (34 - t_{ar}) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_{ar}) \} \quad \text{Equação 5}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_{ar}) \} \quad \text{Equação 6}$$

$$h_c = 2,38(f_{cl} - t_{ar})^{0,25} \quad \text{para } 2,38(f_{cl} - t_{ar})^{0,25} > 12,1\sqrt{var}$$

ou **$h_c = 12,1\sqrt{var}$** **para $2,38 \cdot (f_{cl} - t_{ar})^{0,25} < 12,1\sqrt{var}$** Equação 7

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Ou $f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} \geq 0,078 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

PMV é o voto médio estimado, adimensional;

M é a taxa metabólica, em $W.m^{-2}$;

W é o poder mecânico efetivo, em $W.m^{-2}$;

t_{cl} é o isolamento de roupas, em $m^2 \cdot K.W^{-1}$;

- fcl* é o fator de área de superfície de vestuário;
- tar* é a temperatura do ar, em °C;
- trm* é a temperatura média radiante, em °C;
- var* é a velocidade relativa do ar, em m.s⁻¹;
- pv* é a pressão parcial do vapor de água, em Pa;
- hc* é o coeficiente de transferência de calor por convecção, em W.m⁻².K⁻¹;
- tcl* é a temperatura da superfície da roupa, em °C.
- var* entre 0 e 1 m.s⁻¹ (durante atividade leve pode ser sentido como corrente de ar);
- pv* entre 0 e 2700 Pa.

Abreu & Labaki (2010) asseveram que por meio de execução de ensaios envolvendo pessoas, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica de -3 a +3, foi proposto o método do Voto Médio Estimado (PMV – Predicted Mean Vote). A escala de PMV é simétrica, tendo o valor 0 (zero) como neutralidade térmica, e os valores de 1 a 3 como positivos, correspondendo às sensações de temperatura elevada, ou negativos, referentes às sensações de frio.

Para os efeitos das Normas pertinentes ao tema, o ser humano considerado termicamente descontente é aquele que classifica em “muito quente”, “quente”, “frio” ou “muito frio” considerando a escala de sensação térmica apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 - Sensação térmica correspondente ao índice PMV

SITUAÇÃO	VALOR
Muito frio	-3
Frio	-2
Ligeiramente Frio	-1
Confortável	0
Ligeiramente quente	+1
Quente	+2
Muito quente	+3

Fonte: Abreu & Labaki (2010)

O PPD é um índice fortemente relacionado com o PMV e institui uma previsão quantitativa da percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente, que o entendem muito frio ou muito quente. O valor de PPD, porcentagem de pessoas insatisfeitas, pode ser calculado por meio da Equação 8.

$$PPD=100-95.exp(-0,03353.PMV^4-0,2179.PMV)$$

Equação 8

onde:

PPD é a porcentagem de pessoas insatisfeitas, em %;

PMV é o voto médio estimado, adimensional.

Pinto (2014) aponta que para o melhor valor de PMV (zero), tem-se um mínimo de 5% de pessoas insatisfeitas pelo PPD - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas com a sensação térmica.

O aumento do PPD varia de acordo com uma curva representativa para cada valor correspondente de PMV, conforme o gráfico apresentado na Figura 1.

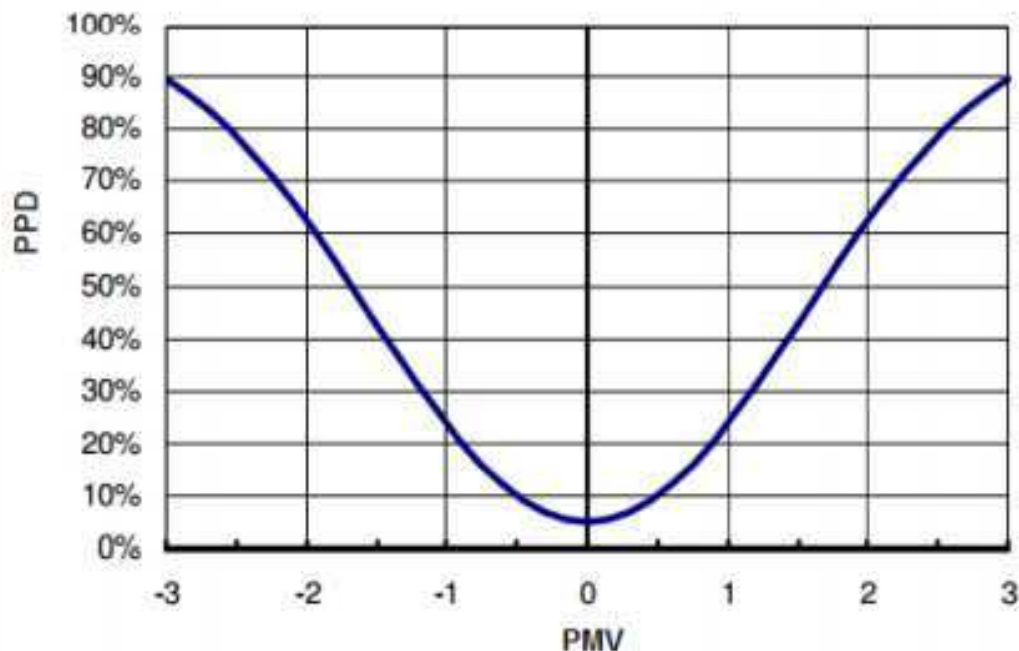


Figura 1- Variação do PPD em função do PMV.

Fonte: Pinto (2014)

A porcentagem mínima esperada de insatisfeitos, mesmo em um ambiente com sensação térmica neutra ($PMV=0$), é de 5%. A curva é simétrica, considerando-se como ponto de neutralidade, $PMV = 0$, em relação às sensações de frio e calor (Pinto, 2011).

Segundo Vieira (2008), quando o PMV é igual a zero significa que a combinação entre atividade, vestimenta e parâmetros ambientais promove, na média, uma sensação térmica neutra.

Para $0 < PMV < 1$ ou $-1 < PMV < 0$, os usuários sentem o recinto como ligeiramente quente ou ligeiramente frio, respectivamente. Nessas faixas o PPD prevê até 25 % de insatisfeitos embora a parte dos votantes ainda sinta neutralidade térmica no ambiente.

No caso de PMV na faixa de 1 a 2, os ocupantes do ambiente sentem desconforto classificando o ambiente na categoria quente. Para o PMV que varia de -2 a -1, os ocupantes do espaço sentem desconforto por frio. No intervalo no qual o PPD apresenta até 60% de insatisfeitos. A escala de sensação térmica apresenta uma linha graduada variando de -3 até +3 que permite uma avaliação termo ambiental classificada como muito fria ou muito quente, respectivamente.

São consideradas pessoas termicamente insatisfeitas aqueles que votariam em “muito quente”, “quente”, “muito frio” ou “frio”, na escala de sensação térmica de sete pontos. As pessoas satisfeitas termicamente votariam em “ligeiramente frio”, “confortável” ou “ligeiramente quente” (Vieira, 2008).

Nogueira et al. (2005) desenvolveram trabalho com o objetivo de analisar os índices de conforto térmico de uma escola na cidade de Cuiabá (MT), propondo soluções para atender às necessidades de conforto térmico. Tal trabalho visava identificar se o ambiente é agradável e se favorece o aprendizado por parte dos alunos. Os pesquisadores utilizaram, como método de avaliação, o PMV proposto por Fanger e adotado pela ISO 7730, e justificaram que este método é bastante utilizado atualmente, haja vista possuir a vantagem de analisar um número maior de variáveis. Foram escolhidos os meses de outubro e de dezembro, período que apresentava a presença dos alunos em sala de aula. Através das análises dos dados coletados foi possível se observar que os ambientes estudados apresentaram condições de desconforto e não atenderam às necessidades de conforto dos seus usuários. No horário das 11 h percebeu-se a falta de interesse no aprendizado por parte dos alunos refletindo o clima quente no ambiente. O horário das 14 h, quando foi registrado o maior desconforto térmico, é um período crítico e os alunos não manifestaram interesse nas aulas.

2.4.5 Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)

Abreu & Labaki (2010) apontam que a Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) foi desenvolvida por Höpfe (1999). Trata-se de um índice que define uma temperatura fisiológica equivalente em determinado local (ao ar livre ou em ambientes fechados) com temperatura do ar igual à de equilíbrio térmico do corpo humano, considerando o metabolismo de 80 W (considerando uma atividade tipo leve, sendo adicionado ao

metabolismo basal) e com resistência térmica do vestuário definido por 0,9 clo. O modelo adota os seguintes parâmetros de referência: (a) temperatura radiante média igual à temperatura do ar: $t_{rm} = t_{ar}$; (b) velocidade do ar: $v = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$; e (c) pressão parcial de vapor de água do ar: $p_v = 12 \text{ hPa}$ (correspondendo aproximadamente à umidade relativa do ar de 50 % e a $t_{ar} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Callejas & Nogueira (2013) citam que o índice PET pode ser estimado por meio do uso do software Rayman. Dentre os fatores necessários para cálculo do PET, no modelo Rayman, cita-se a temperatura do ar (T_{bs}), a umidade relativa (UR) ou a pressão de vapor (e), a velocidade do ar (v), a vestimenta, a atividade humana e a temperatura média radiante (T_{rm}), sendo este o fator mais importante, estimado por meio da temperatura de globo.

Farias (2009) utilizou, em dissertação de mestrado, um programa de software denominado Rayman para cálculo do PET, considerando dados das variáveis climáticas medidas e calculadas.

Sette et al. (2012) realizaram pesquisa cujo objetivo foi analisar a relação das doenças respiratórias na área urbana de Londrina com o conforto térmico. Para cálculo do PET, os pesquisadores utilizaram, com o software Rayman versão 2.0, a partir dos dados diários de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação global, obtidas na estação de meteorologia do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizado no setor sul da área urbana de Londrina. A população estudada se compunha de crianças menores de 9 anos e idosos acima de 60. Os dados de morbidade foram obtidos das AIHs do DATASUS, nos anos de 2006 a 2009. O índice de conforto térmico em Londrina se apresenta na maior parte do tempo (53,9 % dos dias) dentro da faixa de conforto ($18^\circ \text{C} - 26^\circ \text{C}$) e sem estresse térmico. Os resultados reforçam que o clima, entre outros fatores, pode ser um elemento desencadeador na manifestação de determinados agravos à saúde, que interfere no bem-estar das pessoas.

2.5. Avaliação do desempenho térmico

Atualmente se encontram disponíveis diversas Normas Técnicas que exercem a função de balizamento do processo de tomada de decisões e que também ajudam a promover a definição de um rumo para a elaboração de projetos e/ou especificação de sistemas construtivos de habitação regional. Deve-se atentar para as orientações técnicas existentes nas disposições normativas e que favorecem a concepção de habitações dentro de aspectos voltados para a regionalização da tipologia das moradias. Neste contexto, deve-se considerar a

adequação climática, bem como uma melhor aplicação de recursos naturais, abrigando um bom nível de qualidade ambiental na área interna das habitações.

Silva (2015) descreve que o conhecimento dos processos físicos que participam no envoltório permite avaliar a resposta da edificação frente às mudanças meteorológicas, facilitando a escolha das melhores soluções técnicas que garantam um desempenho térmico adequado às condições do envoltório em que o edifício será construído.

Segundo Curcio (2011), em relação ao desempenho térmico, a NBR 15575 estabelece que a edificação deva atender às exigências de conforto térmico considerando o zoneamento bioclimático definido na NBR 15220 – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) conceitua desempenho como comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. O objetivo de uma avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada. Para atingir esta finalidade, na avaliação do desempenho, é realizada uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições definida de uso.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos e critérios de desempenho que se empregam às edificações habitacionais, podendo ser aplicados como um todo integrado e serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos. Assim sendo, esta Norma pode ser usada como um procedimento de avaliação do desempenho de sistemas construtivos.

Silva, A. et al. (2014) delineiam que esta norma define formas de avaliação para determinação do nível de classificação através de três procedimentos com requisitos diferentes. Trata-se do método simplificado, do método de simulação e do método de medição.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece um procedimento normativo e outro procedimento informativo para avaliação do desempenho térmico de habitações. O Procedimento 1 é o método “Simplificado”, de caráter normativo, que busca analisar o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013). Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas normas supracitadas resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo, pelo método da

simulação computacional. Por outro lado, o Procedimento 2 é a “Medição”, de caráter informativo. Seu objetivo é verificar o atendimento dos requisitos e critérios estabelecidos nesta NBR 15575-1 (ABNT, 2013), por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Como já informado. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no método simplificado.

Para efeito da avaliação por medição o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior. A Norma pertinente recomenda trabalhar com sequência de três dias. Para efeito da avaliação por medição o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior (Curcio, 2011).

Os métodos de avaliação estabelecidos nesta Norma consideram a realização de ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos.

Para Ochoa et al. (2012), atingir um desempenho ambiental satisfatório envolve um planejamento arquitetônico correto diante das diferentes condições climáticas que influenciarão nas condições térmicas (temperatura, vento e umidade).

Silva, A. et al. (2014) desenvolveram trabalho no qual investigaram a incerteza de valores subjetivos adotados para as variáveis desconsideradas pelo método de simulação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) em relação aos resultados dos níveis de classificação de desempenho térmico para uma habitação. As variáveis analisadas foram: a data do dia típico de verão e inverno, a velocidade e a direção do vento, o algoritmo de cálculo da irradiação solar e o tipo de céu. Conclui-se que as variáveis desconsideradas pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013) exercem considerável influência nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, o que favorece a falta de precisão do resultado final.

Santos et al. (2015) realizaram trabalho na cidade de São Leopoldo/RS (que faz parte da Zona Bioclimática brasileira 2). O objetivo dos pesquisadores foi a avaliação comparativa do comportamento térmico de edificações executadas com fechamentos em alvenaria estrutural, com uso de blocos cerâmicos e de concreto. A avaliação foi realizada a partir de medições de temperaturas externas e internas, simultaneamente obtidas em duas edificações entre as quais o diferencial construtivo era apenas o tipo de bloco estrutural utilizado nos fechamentos. As medições foram efetuadas em dois períodos; uma no inverno e a outra no verão. Embora tenham ocorrido diferenças de temperaturas entre os ambientes dos edifícios construídos com o bloco estrutural de concreto e o cerâmico, essas diferenças foram em quantidades reduzidas. O fato que indicou, para os pesquisadores, que os dois tipos de blocos considerados no estudo

exerceram pouca influência no comportamento térmico das edificações estudadas, tanto no período de inverno como no de verão.

2.5.1 Propriedades térmicas dos fechamentos (alvenaria e cobertura)

O atendimento às exigências de conforto térmico é de extrema importância, principalmente no Brasil, caracterizado por um clima tropical, com temperaturas bastante elevadas na maior parte do país (Nogueira et al., 2005).

Compulsando a NBR 15575:1 (ABNT, 2013), observa-se que o comportamento térmico da edificação deve estar relacionado com a interatividade entre o comportamento térmico das peças que constituem seu envoltório, destacando-se os elementos de vedação e cobertura.

Por sua vez, a NBR 15220 (ABNT, 2003) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e propõe diretrizes construtivas para habitações de interesse social enquanto a NBR 15575 (ABNT, 2013) define os requisitos que devem ser contemplados pelos sistemas de vedações verticais internas e externas, além dos subsistemas de cobertura.

A NBR 15220 (ABNT, 2003) determina um Zoneamento Bioclimático estabelecendo um conjunto de recomendações e de estratégias construtivas para cada uma das oito zonas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. No plano de diretrizes são abordados diversos parâmetros, como: tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, características das vedações externas (paredes e cobertura), segundo as propriedades dos materiais utilizados e estratégias de condicionamento passivo. Esta norma define as principais propriedades térmicas dos elementos de fechamento da edificação.

A Resistência Térmica (R_t) de elementos e componente é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário e a unidade é $m^2.K.W^{-1}$. Por sua vez, Transmitância Térmica ou coeficiente global de transferência de calor é o inverso da Resistência Térmica total. Essa relação pode ser vista na Equação 9:

$$R_t = e/\lambda$$

Equação 9

onde: R_t é a resistência térmica da placa; λ é a condutividade térmica do material da placa; e é a espessura da placa.

Deve-se observar que a NBR 15220 (ABNT, 2003) conceitua condutividade térmica como propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo

de calor constante, com densidade de 1 W.m^{-2} , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.

Capacidade Térmica (C) é a quantidade de calor necessária para variar, em uma unidade, a temperatura de um sistema e seu cálculo é feito pela Equação 10.

$$C_t = c \cdot e \cdot \rho \quad \text{Equação 10}$$

onde: C_t é a capacidade térmica em J.K^{-1} ; c é calor específico; e é espessura da placa; ρ é a densidade de massa aparente do material.

O Atraso Térmico (ϕ) é medido em horas e corresponde ao tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Um esquema para explicar o Atraso Térmico é mostrado na Figura 2.

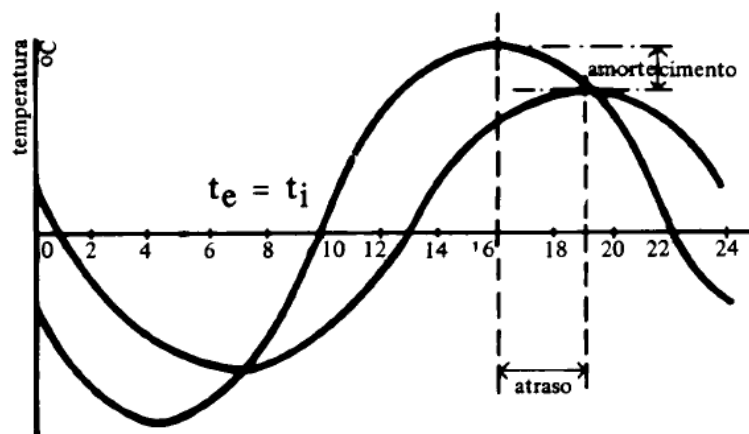


Figura 2 – Esquema para explicar o atraso térmico e o amortecimento.

Fonte: Frota & Shiffer (2009)

Frota & Shiffer (2009) afirmam que o amortecimento e o atraso da onda de calor, dois fenômenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício, estão associados à inércia térmica, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais.

O amortecimento e o atraso serão tanto maiores quanto maior for a inércia da construção. A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos.

Por fim, o Fator de ganho de calor solar de elementos opacos ou Fator Solar de elementos opacos (FS_o), é o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. A Equação 11 mostra como se calcula o FS_o :

$$FS_o = 100.U.\alpha.R_{se}$$

Equação 11

onde: FS_o é o fator solar de elementos opacos em percentagem; U é a transmitância térmica do componente; α é a absorvância à radiação solar – função da cor, dada pela Tabela B.2 da NBR 15.220 (ABNT, 2003); R_{se} é a resistência superficial externa, dada pela Tabela A.1 da mesma Norma.

Para possibilitar o cálculo das propriedades supracitadas, a Tabela B.3 da NBR 15220:2 (ABNT, 2003) apresenta a condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente (ρ). Esses valores são apenas indicativos devendo-se utilizar, sempre que possível, valores medidos em laboratório.

Conforme Siqueira et al. (2005), o desempenho térmico de edificações é um fator relevante em habitações, notadamente naquelas destinadas a pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada adequadamente para o clima no qual está inserida, torna-se naturalmente confortável.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece que o desempenho térmico da edificação deve ser estudado considerando-se duas condições distintas: desempenho no verão e desempenho no inverno. O critério da análise é fundamentado em valores máximos e mínimos de temperatura dos ambientes de permanência prolongada. A Norma recomenda que o desempenho da edificação seja avaliado em um ambiente de permanência prolongada (dormitório ou sala de estar) para a condição crítica do ponto de vista térmico.

No método de medição ocorre a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos também na Parte 1 desta Norma, mas por meio da realização de medições em edificações ou em protótipos construídos (SORGATO et al., 2014).

No Anexo A da NBR 15575 (ABNT 2013) consta que o procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações, via medições in loco, deve ser realizado em edificações em escala real.

Compulsando a citada Norma observa-se, na Tabela 11.2- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão, que a exigência com que a temperatura máxima do ar na área interna dos recintos de permanência prolongada (salas, dormitórios e outros) deve ser sempre menor ou igual à temperatura máxima externa. A Norma destaca que neste comparativo do valor máximo diário da temperatura do ar interior e do valor máximo diário da temperatura do ar exterior deve ser considerada a ausência de Fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral).

O dia definido para análise deve apresentar valor máximo de temperatura externa de bulbo seco igual ao do obtido no dia típico de verão selecionado devendo ser precedido pelo menos de um dia, em condições similares. Durante a obtenção dos dados o dia em que a temperatura máxima no dia típico de verão, 28 de janeiro, foi de 33,7 °C, tendo sido precedido por dia semelhante.

2.5.2 Verificação dos atendimentos das Normas

A NBR 15220:3 (ABNT, 2003) do Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, no seu Anexo C apresenta recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local, relativas às aberturas para ventilação. Essas recomendações podem ser vistas no Quadro 9.

Quadro 9 - Aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte NBR 15220 (ABNT, 2003).

No mesmo anexo são apresentadas diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, para paredes externas e coberturas.

A Parte 3 NBR 15220 (ABNT, 2003)– Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social – estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social, possibilitando aprofundamento no estudo sobre conforto térmico. Esta Norma citada é considerada um grande passo para facilitar a prática de uma arquitetura mais adequada às condições locais (Lyra, 2007).

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito zonas definidas de acordo com o que é apresentado na Figura 3, segundo o critério de homogeneidade quanto ao clima. Para cada uma foi formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas a fim de aperfeiçoar o desempenho térmico das edificações. Segundo a NBR 15220:3 (ABNT, 2003), a

Zona Bioclimática 06 corresponde a 12,6 % do território brasileiro e nela está inserido o município de Cabaceiras (PB).

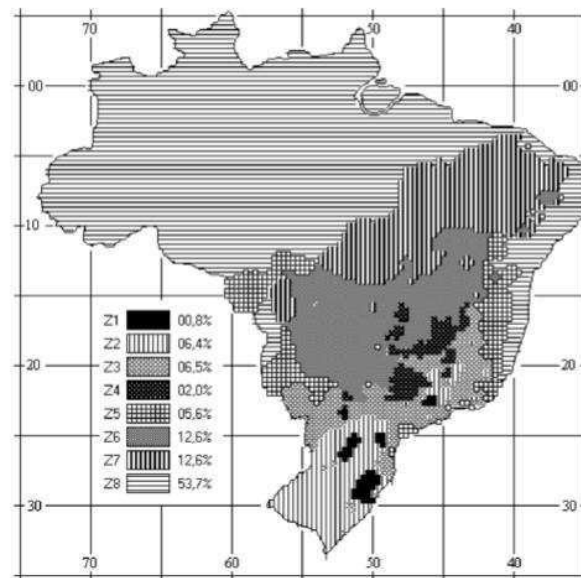


Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220:3 (ABNT, 2003).

2.6. Ambiente Rural

Na sua dissertação de mestrado Peres (2003) descreve que a maneira como se qualifica o meio rural responde a tradições nacionais e que antes de se estudar os procedimentos estatísticos, o importante é saber exatamente o que se entende por “espaços rurais”.

Ferrão (2007) enfoca que o ambiente construído na zona rural deve ser visto a partir de diversas áreas do conhecimento, integrando conceitos e caracterizar o que se poderia chamar de “espaço não urbano”. Destaca que, no campo da Arquitetura e Urbanismo, o ambiente rural chama a atenção para o patrimônio cultural rural, sua sustentabilidade e valorização.

Conforme Sanchez (2014), as áreas rurais dispõem de ampla gama de atividades e definições, bem como uma rede complexa de relações entre os diferentes setores econômicos. Por sua vez, a fronteira entre o rural e o urbano se encontra cada vez mais difusa.

Se em regiões tropicais se verifica um processo contínuo de urbanização, em algumas cidades de países desenvolvidos, ocorre o processo inverso (Krugger, 2012).

2.7. Tijolo em Solo-Cimento

De acordo com Albuquerque et al. (2008), Solo-cimento é o material obtido pela interação íntima de solo, cimento Portland e água. Esses autores realizaram pesquisa para analisar a resistência à compressão de tijolos de solo-cimento, no traço 1:8 com adição montículo do cupim *Cornitermes cumulans* e comprimidos em prensa manual. Depois de confeccionados, os tijolos eram submetidos ao processo de cura e armazenados em local protegido do sol e do vento e sendo os mesmos molhados diariamente.

Castro (2008) desenvolveu um trabalho cuja finalidade foi o estudo da potencialidade do uso dos resíduos de beneficiamento do caulim para a produção de uma mistura alternativa com solo-cimento para construções civis. No trabalho foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica dos resíduos de caulim e solo e análise ambiental dos resíduos de caulim. Foi avaliado o índice de atividade pozolânica dos resíduos e realizados ensaios tecnológicos para determinação da absorção d'água e resistência à compressão simples em corpos-de-prova. Nos traços da mistura de solo-cimento 1:10, 1:12 e 1:15 foram incorporados, respectivamente, 10%, 20% e 30% de caulim, em substituição à parte do solo.

Grande (2003) analisou estudos com tijolos modulares compostos por misturas binárias e ternárias de solo-cimento e solo-cimento-sílica produzidos em prensa manual, com a finalidade de obter parâmetros e diretrizes que visam a um desempenho melhor do material. Foram executados painéis de parede com o objetivo de verificar o comportamento da alvenaria em relação à resistência, à compressão e à deformidade das paredes.

Ainda segundo Grande (2003), a adição de cimento ao solo permite obter um material com as seguintes vantagens: a absorção e a perda de umidade do material não causam variações volumétricas consideráveis; o material não deteriora quando submerso em água; há aumento da resistência à compressão; é durável em razão de uma permeabilidade menor.

Souza et al. (2008) realizaram ensaios de laboratório objetivando avaliar a possibilidade de aproveitamento dos resíduos de concreto na confecção de tijolos de solo-cimento. Conforme os resultados de ensaios realizados em corpos-de-prova cilíndricos e em tijolos de solo-cimento, verificou-se que a adição dos resíduos proporcionou melhoria nas propriedades mecânicas do solo-cimento favorecendo a redução do consumo de cimento e a obtenção de tijolos de melhor qualidade.

Silva, F. et al. (2014) realizaram, no município de São José de Sabugi/PB, pesquisa, com o intuito de analisar a produção de tijolos ecológicos de solo e cimento de forma sustentável para a construção de residência no semiárido. Foi utilizado na produção dos tijolos

um percentual de 6,7 % de cimento, adicionando ao solo do próprio local e também uma máquina manual na fabricação dos tijolos e não se utilizou o processo de queima.

Castro (2008) destaca que o solo-cimento vem se consagrando como tecnologia alternativa como material construtivo de habitação, por oferecer o principal componente da mistura, o solo, em abundância na natureza e geralmente disponível no local da obra ou próximo a ela.

Lima & Marcelo (2014) procederam a um estudo voltado para a análise de casa sustentável para a cidade de São Paulo, objetivando analisar a alvenaria de solo cimento e projetar uma edificação unifamiliar que possa ser construída em solo cimento dentro dos critérios da NBR 15220 – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2003).

2.8- Instrumentação para medição das variáveis ambientais

A automatização dos dados corresponde a um processo amplamente usado para coleta de informações que fundamenta as pesquisas que envolvem variáveis de conforto térmico. Sousa, M. et al. (2015) desenvolveram pesquisa abrangendo uma metodologia de automatização do processo de coleta e disponibilização de variáveis climáticas. A metodologia utilizou uma linguagem de scripts para definir as ações a serem executadas desde a coleta dos dados na estação climática, passando pelo seu processamento e finalizando com o envio dos dados processados para publicação em um site na internet.

2.8.1.- Estação meteorológica

Uma estação meteorológica de superfície automática é composta de uma unidade de memória central ("datalogger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc.), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente, a cada hora (INMET, 2016).

A estação meteorológica é um local estruturado que tem, por objetivo, quantificar e avaliar o comportamento dos elementos meteorológicos, tais como: temperatura, umidade do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento, dentre outros, procurando definir as condições de tempo e o clima de uma região (Silva, 2011).

2.8.2.- Arduíno

Banzi (2012) atesta que o arduíno é uma plataforma de computação física de Fonte aberta, com base em uma placa simples de entrada/saída (input/output, ou I/O), assim como em um ambiente de desenvolvimento que implementa a linguagem Processing. Tem por base o IDE de programação Processing e se trata de ambiente de desenvolvimento fácil de ser utilizado e que costuma ser empregado por artistas e designers. Pode ser programado utilizando-se um cabo USB, sem necessidade de uma porta serial. Este recurso é útil de vez que muitos computadores modernos não têm portas seriais. Trata-se de um hardware e software de Fonte aberta e foi desenvolvido em um ambiente educacional. Portanto, é ideal para iniciantes que desejam resultados rápidos.

Sousa, R. et al. (2015) ressaltam que o ambiente open-source Arduíno facilita o processo de escrever e enviar o código à placa i / o. Este ambiente é executável em Windows, Mac OS X e Linux, sendo escrito em Java e baseado em Processing, avr-gcc e outros softwares de código aberto.

O micro controlador é constituído de um microprocessador, memória e periféricos de entrada/saída e pode ser programado para funções específicas como, por exemplo, o controle de máquinas e diferentes automações. Existem outras plataformas construídas para micro controladores mas o Arduíno tem se destacado no cenário mundial, pela facilidade de programação, versatilidade e baixo custo. Mesmo para os que desejam interações de alto nível, o Arduíno tem atendido às expectativas (Cavalcante et al., 2011).

Arduíno Mega

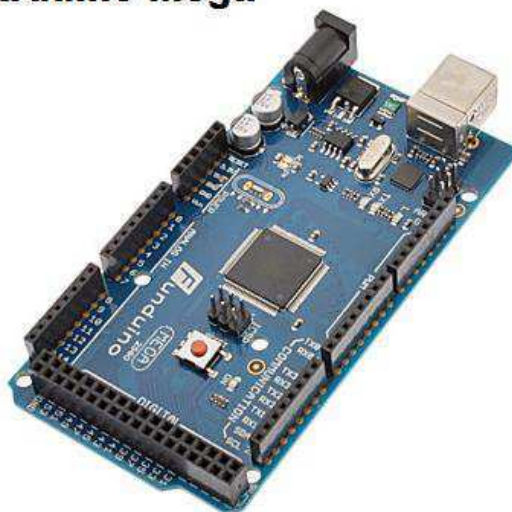


Figura 4 – Arduíno Mega

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1- Semiárido paraibano

Segundo Moreira & Targino (2007), a expressão “semiárido” é amplamente empregada para assinalar um tipo climático marcado por forte insolação, temperaturas relativamente altas e um regime de chuvas marcado pela escassez, além da irregularidade e concentração das precipitações num curto período. A formação vegetal da região de semiárido é a Caatinga, caracterizada por adaptação dos vegetais à carência hídrica, com espécies, na sua maioria, caducifólias, espinhosas, com folhas pequenas ou de lâminas subdivididas, existindo.

Para Alves (2009), o Estado da Paraíba é subdividido em três regiões climáticas: a fachada atlântica tropical; o planalto da Borborema, onde se situam os Cariris, com seu clima semiárido acentuado; e o Sertão, também, na faixa semiárida. Na Paraíba, os Cariris formam uma diagonal Nordeste-Sudoeste (NE-SW) que pode ser cognominado de diagonal da seca.

A região do Cariri Paraibano, também conhecida como Cariris Velhos, constitui área piloto para os estudos dos processos de desertificação no Estado da Paraíba (Nascimento & Alves, 2008). Para Sousa et al. (2008), o processo de desertificação já se mostra bastante acentuado nas áreas de caatinga, sobretudo em que os índices pluviométricos são inferiores a 500 mm/ano, a exemplo da Microrregião do Cariri.

Conforme descrevem Sousa et al. (2007), o Município de Cabaceiras está localizado na microrregião do Cariri paraibano sendo, portanto, submetido às adversidades climáticas próprias do clima semiárido, notadamente o processo da desertificação. Este processo se caracteriza a degradação das terras semiáridas, resultantes de diversos fatores, a exemplo das variações climáticas e as atividades humanas.

Para Baracuchy et al.(2015), o semiárido se caracteriza como uma região que sofre com as frequentes secas prolongadas, prejudicando a vida de milhares de pessoas sendo imprescindível a criação de estratégias para mitigar tal fenômeno natural. A reutilização de água doméstica surge como alternativa, no intuito de harmonizar a relação de demanda e oferta de água.

A irregularidade das chuvas no semiárido nordestino afeta sobremaneira a agricultura e a pecuária, reverberando diretamente na economia dos municípios afetados. Com base no exposto, Pereira (2013) abordou a possibilidade de interpretar o baixo índice pluvial como um problema real que existe em Cabaceiras-PB e que traz consigo muitas dificuldades, porém não atrelando esta variável como único fator responsável pela falta de crescimento econômico.

Ferreira et al. (2013) destacam que a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas é limitada devido à escassez de água, surgindo novas alternativas que estão sendo pesquisadas e validadas para garantir a sustentabilidade da produção.

3.2- Caracterização do município de Cabaceiras

A casa foi construída no município de Cabaceiras-PB, mais precisamente no distrito da Ribeira, que tem as coordenadas geográficas de 7°24'29" de Latitude Sul e 36°21'59" de Longitude Oeste. O supracitado distrito se encontra localizado a 14 km da sede de Cabaceiras-PB, com acesso por meio de estrada vicinal. Por sua vez, o terreno onde a casa foi edificada foi cedido pela Prefeitura Municipal da cidade.

O município de Cabaceiras, Paraíba, distante 184 km de João Pessoa e 69 km de Campina Grande, se localiza na Mesorregião da Borborema e na Microrregião do Cariri Oriental e, segundo o IBGE, a cidade possui uma população de 5.035 habitantes e uma área de 452,92 km², cujo bioma é a caatinga. Cabaceiras está implantada no semiárido paraibano e sua localização pode ser vista na Figura 5.

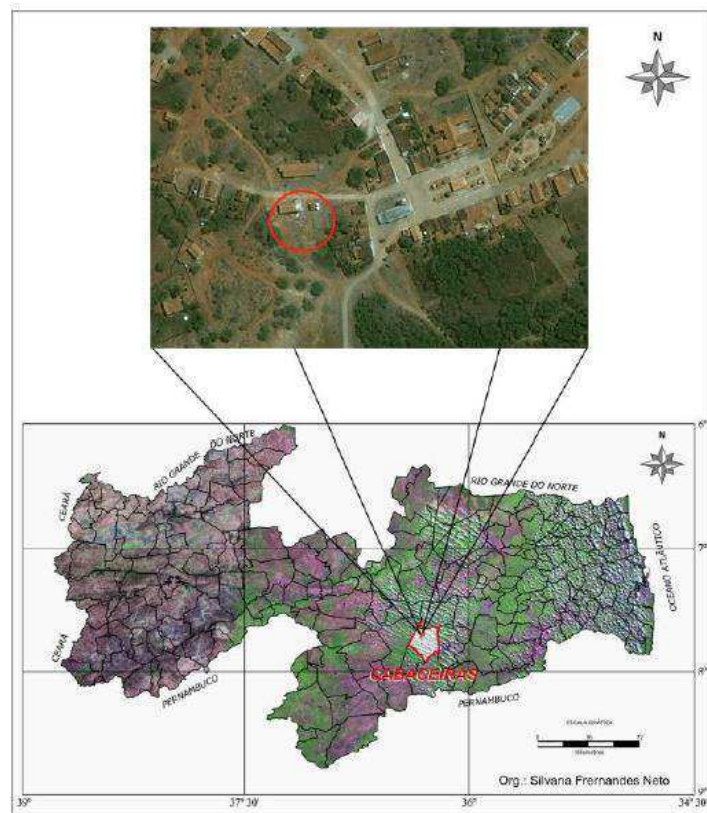


Figura 5- Mapa de localização da área em estudo.
Fonte: Fernandes Neto (2013).

A vegetação predominante é do tipo Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia, uma vegetação tipo savana estépica, estratos arbóreos e gramíneo, com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas (Medeiros et al, 2012).

O clima predominante na região, de acordo com BRASIL (2005), é do tipo tropical chuvoso. Conforme o Atlas Geográfico da Paraíba e a classificação Köppen, o clima de Cabaceiras é do tipo AS, conforme apresentado na Figura 6. Este tipo de clima se caracteriza por ser seco (precipitação anual inferior a 500 mm), evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual; não existir cursos de água permanentes; Clima de estepe; Temperatura média anual do ar maior que 18 °C.

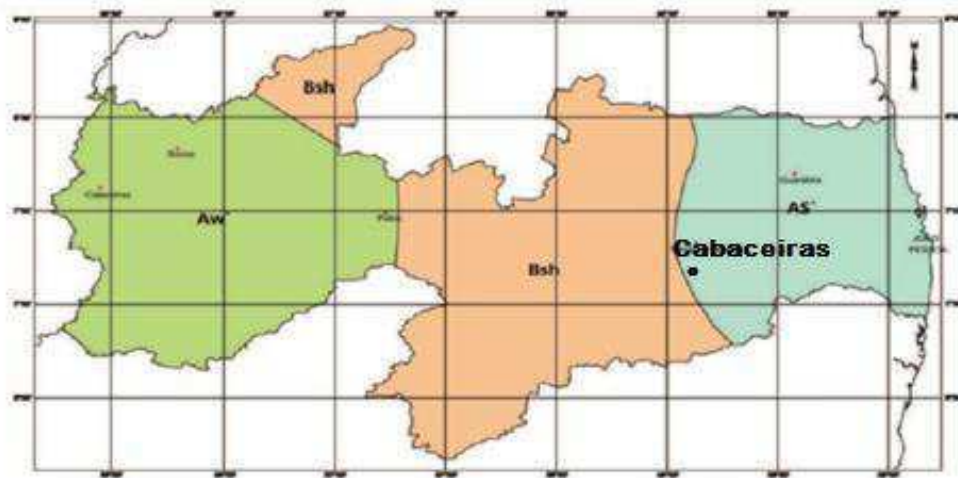


Figura 6 - Clima do Estado da Paraíba, segundo Köppen

Fonte: Atlas Geográfico da Paraíba, 1985

3.3- Distrito da Ribeira

O distrito da Ribeira de Cabaceiras se destaca pela produção de couro e calçado. É comunidade rural que tem, na produção do artesanato em couro, uma de suas maiores fontes de recurso financeiro. Diversos Artesãos em Couro produzem sandálias, chapéus, carteiras, bolsas, cintos e outros acessórios, tudo de couro de boi e bode, produtos esses comercializados em cidades do Nordeste e de outras regiões do país.

Outra atividade que fomentou a economia do distrito foi a produção do alho. Na década de 1980, o distrito foi uma das áreas mais produtoras desta cultura. No entanto, a produção de alho se encontra bastante reduzida na região.

As ruas do distrito constam, parcialmente, com calçada em paralelepípedo; o suprimento de água se dá por meio de poços e não existe sistema de saneamento básico.

Conforme apontam Medeiros et al. (2012), a média da temperatura máxima em Cabaceiras ocorre em dezembro e é da ordem de 32,6 °C. Por outro lado, o valor da temperatura mínima anual é de 17,8° C, ocorrendo no mês de agosto. Cabaceiras tem uma temperatura média anual de 24,0 °C e suas flutuações mensais oscilam entre 22,1 a 25,3 °C, enquanto as amplitudes térmicas mensais flutuam entre 9,3 a 12,4 °C com uma taxa anual de 10,8 °C.

Ainda, segundo Medeiros et al. (2012), o quadrimestre mais chuvoso engloba os meses de março a junho, com uma precipitação na ordem de 60 % do total anual. Por outro lado, o quadrimestre menos chuvoso ocorre de setembro a dezembro.

O município de Cabaceiras está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Alto Paraíba. Os principais cursos d'água são: os rios Taperoá, Paraíba e Boa Vista, além dos riachos: do Pombo, Gangorra, Pocinho, Algoduais, do Junco e Macambira. O principal corpo de acumulação de água, na região, é o Açude Público Epitácio Pessoa ou do Boqueirão, com capacidade aproximada de 450.424.550 m³. (BRASIL, 2005).

Cabaceiras tem, no turismo, não só uma alternativa mas uma realidade para a economia local. Os principais atrativos turísticos são o turismo de eventos e o do ecoturismo. O ecoturismo é fomentado pelas “belas” formações rochosas existentes na região, a exemplo do lajedo Pai Mateus, que é o de maior valor turístico, dentre os visitantes (Pereira, 2013).

3.4.-Eco Residência

Uma Eco Residência deve ser projetada com melhor aproveitamento das águas servidas, melhor qualidade no ambiente interno com pé direito alto, receptividade de boa ventilação e temperatura amena (o que produz menos retenção de micro-organismos no ambiente), uma economia de materiais, um conjunto de técnicas construtivas simples e inovadoras, bem como conforto ambiental de seus moradores. Na sua concepção deve-se prever um melhor planejamento do melhor uso de água ressaltando o arrefecimento do seu consumo e uma boa gestão, a partir da captação da água pelo reúso e pelo telhado.

A edificação deve ser construída de modo a inserir estratégias da arquitetura que possam contribuir para uma utilização melhor dos recursos naturais, a exemplo do uso de técnicas e materiais construtivos mais adequados. Para a construção de uma habitação rural no modelo da sustentabilidade, deve-se fundamentar em diversos fatores. Uma proposta de

edificação ecologicamente sustentável busca oferecer a preservação ambiental aliada a uma melhoria da qualidade de vida das pessoas (Rocha, et al. 2015).

Frota & Schiffer (2009) consideram que, como no processo criativo está sempre implícita uma nova proposta, deve-se buscar um método para a previsão do desempenho térmico, em nível quantitativo, de maneira a atentar a verificação e possíveis ajustes ainda na etapa de projeto. Para que as edificações apresentem um desempenho térmico eficiente, os pesquisadores recomendam o seguinte encaminhamento: a) Conhecimento do clima local, principalmente em termos das variáveis que interferem no conforto térmico (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos); b) Escolha dos dados climáticos para o projeto do ambiente térmico; c) Adoção de partido arquitetônico cujas características sejam adequadas ao clima e às funções do edifício. Tomadas as decisões de projeto que dizem respeito às suas especificidades, é necessário que seja efetuada uma avaliação quantitativa do desempenho térmico que o edifício poderá ter.

De acordo com Sorgato et al. (2014), a aplicação de algumas tecnologias recentemente introduzidas no setor da construção civil tem gerado, por vezes, dúvidas sobre a qualidade das edificações. No entanto, é consenso que as habitações devam proporcionar conforto e segurança aos seus usuários, atendendo às suas necessidades, ao longo do ciclo de vida das construções.

Ferreira et al. (2007) apontam a necessidade de elaborar um projeto voltado para a escolha da arquitetura e materiais empregados na construção da residência que, além da visão de preservação do meio ambiente e redução dos custos, deve ser observada a preocupação com os aspectos de ambiência na habitação e o resgate de velhos costumes.

Para Meira Filho et al. (2009), no contexto da captação de água de chuva, todas as partes constituintes do sistema de abastecimento, com exceção do manancial e da instalação predial, são integradas, constituindo uma unidade denominada sistema de captação de águas pluviais, composto basicamente de três elementos: área de captação (telhado); subsistema de condução (calhas e dutos) e reservatório (cisterna).

Cohim & Kiperstok (2008) apontam que, ao invés de um problema, as águas pluviais podem ser manejadas como uma das soluções para o abastecimento descentralizado. Porém, o manejo deve buscar aproveitar a água precipitada antes que ela entre em contato com substâncias contaminantes, armazenando-a para uso doméstico, criando condições de infiltração do excedente, restaurando os fluxos naturais, disponibilizando mais uma alternativa para abastecimento de água local e descentralizado. Em algumas cidades brasileiras já existem leis que têm, por objetivo, obrigar as construções a reter a água de

chuva, para diminuir as enchentes urbanas. Em Santo André (SP), a Lei Municipal nº 7.606, de dezembro de 1997 institui a cobrança de taxa referente ao volume de água lançado na rede de coleta pluvial do município. Em São Paulo, a Lei Municipal nº 13.276, de janeiro de 2002, torna obrigatória a execução de reservatório para as águas de chuva nos lotes que tenham área impermeabilizada superior a 500 m².

3.4.1. Déficit habitacional no país

Pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) aponta para uma redução do déficit habitacional no país. O trabalho teve, por base, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios e mostra que o déficit de 10% do total dos domicílios brasileiros registrados em 2007 caiu para 8,53% em 2012. Segundo a pesquisa, o déficit brasileiro é majoritariamente urbano (85% do total), restando, à área rural, um número aproximado de 742 mil famílias nesta condição, em 2012 (IPEA, 2015).

3.4.2. Projeto Arquitetônico

Florim & Quelhas (2004) apontam existir carência de literatura acerca da aplicação dos conceitos da sustentabilidade em políticas habitacionais, levando em consideração todas as fases de um empreendimento e não apenas através de uma visão setorizada do produto ou processo.

Para Reis & Lay (2010), a qualidade das soluções arquitetônicas envolvendo os aspectos estéticos e funcionais do projeto da habitação social, é determinante na eficiência com que o projeto responde às necessidades de seus usuários.

As exigências atuais relativas ao conforto humano apontam necessidade de projetos de edificações que apresentem um desempenho global adequado e possuam um sistema de fechamento que apresente bom desempenho térmico em relação às condições climáticas locais (Souza & Fontanella, 2011).

Carvalho & Sposto (2012) desenvolveram trabalho para elaborar metodologia de análise da sustentabilidade de projetos de habitações de interesse social. A principal motivação foi a necessidade de estabelecer indicadores de sustentabilidade para esses tipos de edificações considerando-se ações orientadas ao desenvolvimento mais sustentável de sua produção.

As cargas de aquecimento e resfriamento de um ambiente podem ser divididas em quatro componentes principais: (1) ganhos solares pelas aberturas; (2) condução e calor; (3)

ventilação/infiltração e (4) cargas internas. As três primeiras componentes são definidas pelas características da envolvente do edifício (Beraldo, 2006).

A utilização da ventilação natural como estratégica arquitetônica e bioclimática é importante. Um projeto adequado de ventilação natural deve ser avaliado em detalhes observando-se as condições climáticas e as condições de vento locais, para se alcançar ótimos resultados (Souza & Rodrigues, 2012).

De acordo com Trindade et al. (2010), ventilação natural é o principal recurso passivo para a obtenção do conforto térmico em climas quentes e úmidos, reduzindo também o consumo energético com condicionamento artificial. Entretanto, arquitetos fazem restrição ao seu uso por não haver garantias de solução dos problemas de conforto térmico, quando comparada aos sistemas artificiais.

Conforme descrevem Fonseca et al. (2010), a ventilação cruzada deve adequar-se às necessidades dos usuários, ocorrendo através da localização correta e dimensionamento das aberturas. Tais decisões devem ser complementadas pela escolha de esquadrias que possam direcionar o fluxo de ar, seja por retirada de ar quente da camada mais alta do ambiente com direcionamento de fluxo para o usuário ou somente visando à ventilação higiênica.

3.4.3 Requisitos de sustentabilidade

Santos & Hatakeyama (2012) afirmam que se deve entender o termo sustentabilidade como algo que possua a qualidade de ser sustentável. Pode-se definir o termo “sustentável” como sendo algo capaz de se manter mais ou menos constante, ou estável, por longo período. De acordo com os autores, sustentabilidade está atrelada a termos como desenvolvimento ou crescimento econômico sustentável.

O tema sustentabilidade, tido como multidisciplinar, vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea. Ele extrapola as questões de conforto térmico e suas relações com a eficiência energética, recursos para a construção, dentre outros, com especial atenção na formulação de propostas de menor impacto ambiental (Gonçalves & Duarte, 2006).

Segundo Santos & Hatakeyama (2012), do ponto de vista do conceito todo e qualquer empreendimento humano para ser sustentável necessariamente precisa ser economicamente viável, ecologicamente correto, socialmente justo e culturalmente aceito.

Para Diniz & Diniz (2008), uma arquitetura deve, para ser considerada sustentável, satisfazer os seguintes aspectos: Sustentabilidade econômica (lucratividade e crescimento

através do uso eficiente de recursos como mão-de-obra, materiais, água e energia); Sustentabilidade ambiental (evitar efeitos prejudiciais ao ambiente através de uso cuidadoso de recursos naturais, minimização de resíduos, proteção e melhoria do ambiente); Sustentabilidade social (responder às necessidades dos “atores sociais” envolvidos no processo de construção, do planejamento à demolição)

Christmann et al. (2015) sustentam que em um momento no qual a sustentabilidade da habitação é uma preocupação cada vez mais relevante, a adoção de um sistema passivo para conforto térmico não pode ser subestimada. E, como a sustentabilidade é uma preocupação cada vez mais relevante, a adoção de um sistema de ventilação natural, que proporcionará conforto térmico para os seus usuários, não deve ser desprezada.

3.5- Histórico do projeto da habitação em estudo

O projeto da residência rural que fundamenta o estudo em tela, também chamado de Eco Residência Rural ou simplesmente Eco Residência, faz parte de uma ampla conjuntura envolvendo estudo da complexidade das variáveis de uma bacia hidrográfica tendo, por base, o trabalho de pesquisa de Baracuhy (2001). Conforme o pesquisador, em uma avaliação de melhoria da qualidade voltada para o homem do campo deve-se atentar para sua qualidade de vida e para sua qualidade inerte, observando a importância da sua condição ambiental dentro da moradia. Trata-se do olhar da qualidade de vida associada à produtividade. O pesquisador aponta, ainda, que no campo se observa que a delimitação de espaço é muito tênue, não se tendo a clareza da separação da habitação do ser humano e aquela dos outros animais.

Fez-se conveniente a elaboração de um projeto de manejo integrado de Bacia Hidrográfica abrangendo pesquisas concernentes à habitação rural, irrigação, armazenamento de recursos hídricos, conservação de solo, nível de alfabetização, saúde física e atividade econômica, dentre outros, sendo avaliados elementos essenciais para a construção de uma habitação rural que oferecesse qualidade ambiental ao homem do campo. Ainda segundo o pesquisador, foram devidamente tratados aspectos como revestimento da alvenaria, pé direito, abertura para ventilação e iluminação natural, banheiro, fossa, uso e reúso de água, captação de água de chuva através do telhado, dentre outros.

Baracuhy (2001) assinalou que foram discutidos diversos aspectos voltados para a qualidade de vida do homem do campo. Dentro de um olhar logístico e holístico da bacia hidrográfica foi procedida uma avaliação por meio do “índice de deterioração”, que se trata do desgaste da bacia. No diagnóstico, fruto do trabalho e dentre aproximadamente 200 variáveis,

a habitação rural foi classificada com um dos piores índices, devendo merecer um olhar de prioridade.

A variável habitação apresentou um valor muito próximo do valor máximo atribuída, o que proporciona um índice de deterioração na microbacia, para a variável, na ordem de 74,95% o que representa um valor bem alto (Baracuhy, 2001).

No ano de 2005 a UFCG, a partir de trabalho coordenado pelo Professor José Geraldo Baracuhy, juntamente com professores e alunos da Unidade Acadêmica Engenharia Agrícola da UFCG, teve aprovado e executado o projeto MISOPA-Manejo Integrado em microbacias no Sertão Paraibano, com fonte de financiamento através de edital CT-HIDRO/CNPq, com execução da UFCG. Foi inserida neste, a construção de uma casa dentro dos padrões de sustentabilidade defendendo que, conforme antecedentes devidamente fundamentados a habitação é um dos grandes problemas para o homem do campo, devendo buscar a regionalização da sua tipologia.

A contextualização da residência em estudo estabeleceu uma visão que envolveu aspectos relacionados ao conforto térmico, à gestão de recursos hídricos e à gestão de matrizes energéticas, dentre outros. Assim sendo, sua concepção e construção exigiram a utilização de diversas técnicas construtivas e materiais alternativos além da atenção com outros elementos, como a arborização circundante, a orientação solar, o reúso de água e a economicidade.

Um critério relevante discutido para a viabilidade de técnica e de materiais construtivos alternativos para a Eco Residência é a da facilidade de acesso aos mesmos, viabilizando a utilização de mão-de-obra pouco especializada e materiais disponíveis a custo baixo.

Deve-se destacar que a concepção do objetivo do projeto da Eco Residência com um conjunto de novas técnicas e materiais alternativos envolveu um grupo de professores e alunos pertencentes à UFCG. Coube a este grupo, também, definição da área de atuação da família que seria beneficiada (casal jovem sem filhos) e do local dentro da microbacia da Região de São José do Sabugi-PB (parte alta da microbacia). O projeto arquitetônico e a execução direta no campo, foram da responsabilidade do aluno de Engenharia Civil/UFCG, Sideley de Castro, supervisionado pelo prof. Edson Costa Pereira. O acompanhamento da execução da obra, bem como o ordenamento de despesas foram realizados pela pesquisadora Eng. Agrícola Soahd Arruda Rached Farias, aluna de doutorado do Programa de Pós Graduação de Engenharia Agrícola da UFCG, cujo trabalho foi apresentado por Ferreira et al. (2007). Um dos princípios objetivos do projeto foi disponibilizar, à comunidade, um modelo concebido dentro de um padrão de desempenho térmico satisfatório. No entanto, o mesmo

ainda não foi devidamente testado quanto aos aspectos de conforto ambiental e do uso racional dos recursos naturais.

Tomando por base a experiência positiva da habitação Eco Residência da cidade de São José do Sabugi (PB), uma equipe de Professores e alunos do Programa de Pós-Graduação de engenharia Agrícola da UFCG promoveu ajustes no projeto desta habitação rural, sendo construída outra habitação no distrito da Ribeira, em Cabaceiras-PB tendo, como um dos principais propósitos, o trabalho alvo desta Dissertação. A equipe supracitada foi formada pelo professor Doutor José Pinheiro Lopes Neto, pela doutoranda Cassia dos Anjos e o pelo mestrando Vicente de Paula Teixeira Rocha.

A concepção da inclusão das bandeiras móveis nas esquadrias de madeira foi fundamentada na experiência do Prof. Dr. José Wallace Nascimento Barbosa, que coordenou a elaboração de projeto e a execução de uma habitação edificada no ano de 2012, na cidade de Campina Grande-PB, com tipologia similar à habitação construída em Cabaceiras-PB. A relevância da bandeira móvel sobre portas e janelas encontra fulcro na necessidade de evitar que a ventilação natural seja prejudicada nos momentos em que as esquadrias da habitação estiverem fechadas. Situação que se torna indispensável em habitação da zona rural para evitar a entrada de animais. Desta forma é possível estabelecer um escoamento constante do vento no interior do ambiente, favorecendo uma situação de conforto mesmo quando a habitação estiver fechada. Uma habitação dotada de esquadrias com bandeira móveis é muito importante também por favorecer o fluxo de ventilação natural necessária para higiene do ar interno.

Deve-se atentar que a bandeira das esquadrias é giratória em torno do seu eixo horizontal podendo ser aberta de modo a permitir uma regulação do vento. Portanto, a especificação deste componente de abertura, que passa a ser intitulado de “esquadria ventilada”, é considerada um recurso importantíssimo na qualidade ambiental das habitações.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Descrição do objeto de estudo

4.1.1. Projeto da Eco Residência rural e materiais construtivos

No projeto arquitetônico da Eco Residência Rural que subsidiou esta pesquisa, se encontram inseridos indicativos de arquitetura sustentável, alicerçados no tripé da sustentabilidade que Persson (2009) cita como ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo. Ademais, foram observadas as recomendações e as diretrizes construtivas estabelecidas para habitações de interesse social, preceituadas na Norma Brasileira NBR 15.220 (ABNT, 2003), que institui o zoneamento bioclimático brasileiro.

O projeto da Eco Residência foi concebido e ajustado, observando-se métodos ambientalmente corretos, desenvolvendo uma linha de raciocínio do sentido de utilizar técnicas que reduzam os impactos ambientais de uma construção do gênero, com melhor gestão dos recursos naturais, além de buscar gerar conforto térmico.

Observa-se que no projeto consta a busca do aproveitamento dos benefícios oriundas da ventilação natural do ar, sobretudo os aspectos de ventilação cruzada. Verifica-se, portanto, o posicionamento das janelas em pontos simétricos intercalados por elementos com a capacidade de dissipar a corrente de ar fazendo com que a mesma atinja várias partes da Eco Residência. Neste contexto fez-se uso do fato de que a ventilação natural faz parte de uma estratégia de projetos para a obtenção de conforto térmico para os moradores da habitação. No entanto, se deve atentar para a existência de ponto de estagnação em todos os ambientes.

Conforme Christmann et al. (2015), pontos de estagnação correspondem aos pontos em que a circulação de ar fica prejudicada, neste caso devido às dimensões e posicionamento das esquadrias.

A estrutura da residência em estudo possui característica (em planta baixa) de formato quadrangular, medindo 7,50 x 7,50 m, tipo térreo e dotado de ambiente mezanino, na área dos fundos, sobre um dos quartos.

A residência possui planta baixa de formato quadrangular, conforme é apresentada nas Figuras 7 e 8.

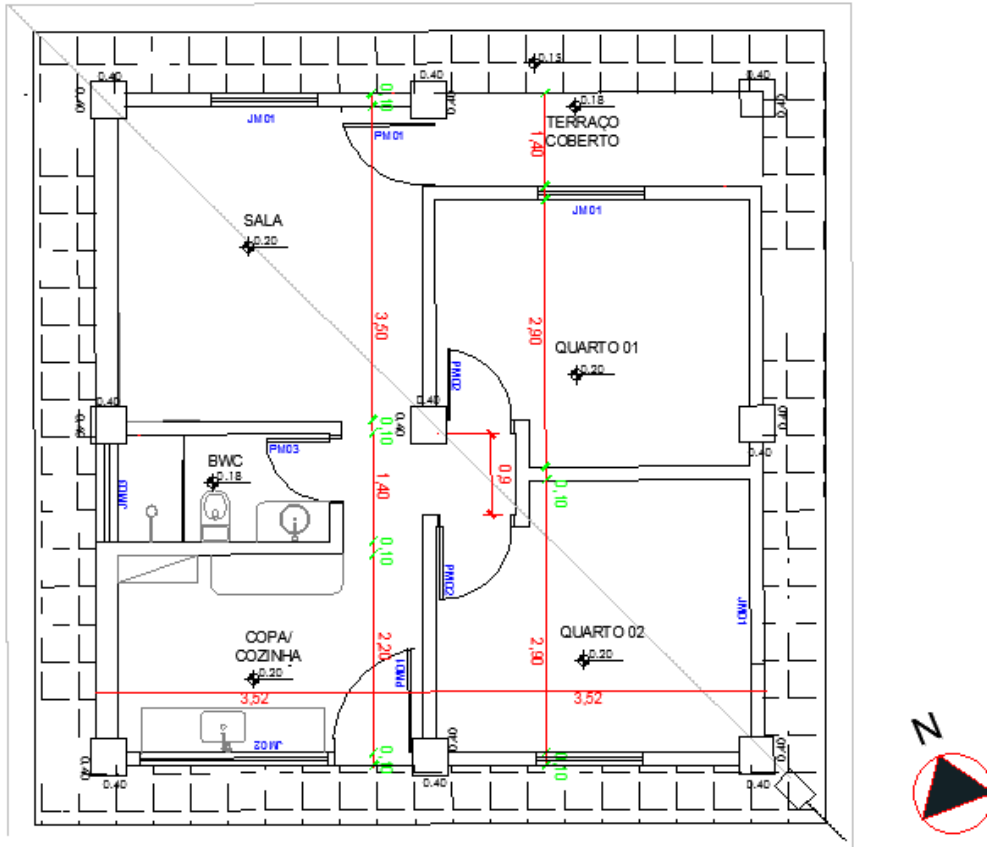


Figura 7 - Planta baixa do pavimento térreo da Eco Residência

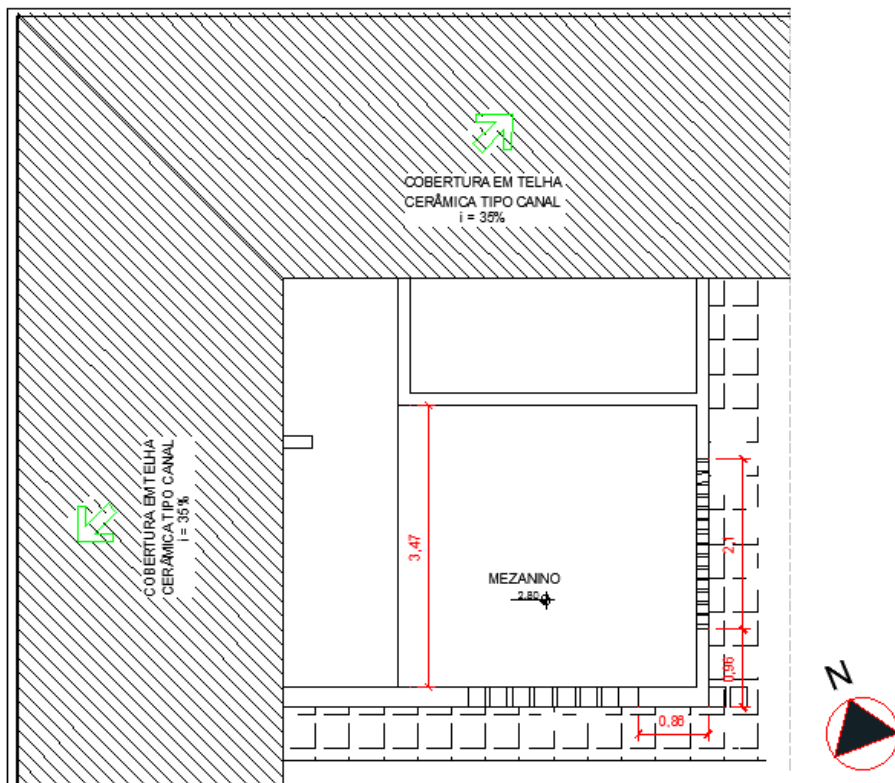


Figura 8- Planta baixa do pavimento superior-mezanino da Eco Residência

O projeto da cobertura, que possui formato com duas quedas d'água, foi inspirado na técnica construtiva apresentada por Meira Filho et al. (2009), considerando que os sistemas de captação de água de chuva para o consumo humano, por meio de telhados, bem como seu armazenamento em cisternas é uma prática crescente em regiões como grande parte do Semiárido brasileiro. Os pesquisadores desenvolveram um trabalho que teve por objetivo central apresentar alternativas de telhados para residências rurais, adotando tecnologia apropriada à população do Semiárido brasileiro e considerando aspectos econômicos, funcionais e estético-formais.

A coberta tem uma tipologia assemelhada a uma asa delta, no sentido oposto ao caimento do terreno. Este formato da coberta facilita o recolhimento de água para a cisterna sem tubulação atravessando a fachada ou lateral da habitação. A planta da coberta é apresentada na Figura 9.

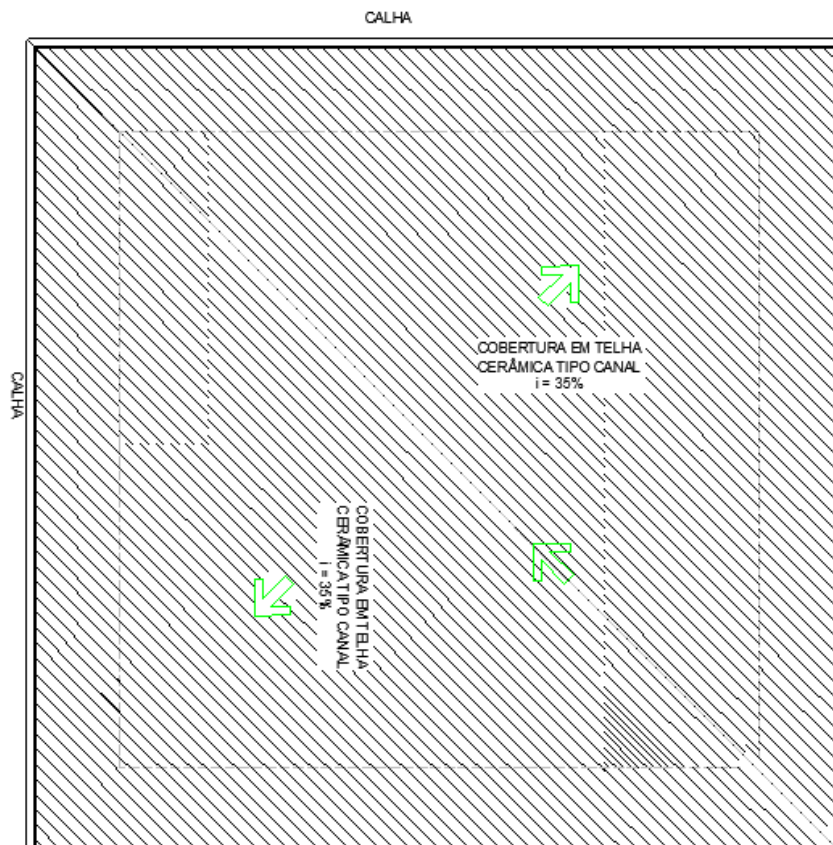


Figura 9 - Planta da cobertura da Eco Residência

Verifica-se, no entanto, que o beiral do projeto é de 50 cm, o que favorecerá pouco para o sombreamento das envoltórias e carecendo de uma ampliação para futuros projetos.

A casa possui uma arquitetura bem atípica, com um pé direito variável, sendo no mínimo de 2,70 m. Apresenta janelas maiores que aquelas costumeiras construídas na região, o que consiste em fatores proporcionadores de maior conforto ambiental sendo, portanto, observado melhor comportamento termo-acústico-lumínico, com boa climatização, melhor iluminação natural.

O projeto da habitação consta de dois quartos, sala, cozinha, banheiro, área externa coberta e mezanino, contemplando uma área de construção de 69,60 m², sendo 56,85 m² no térreo e 12,75 m² no mezanino. O acesso ao mezanino ocorre por meio de escada móvel de madeira. A cobertura tem uma área de 90,25 m² e inclinação de 35%, conforme pode ser visto na Figura 10, que apresenta a fachada leste da Eco Residência.

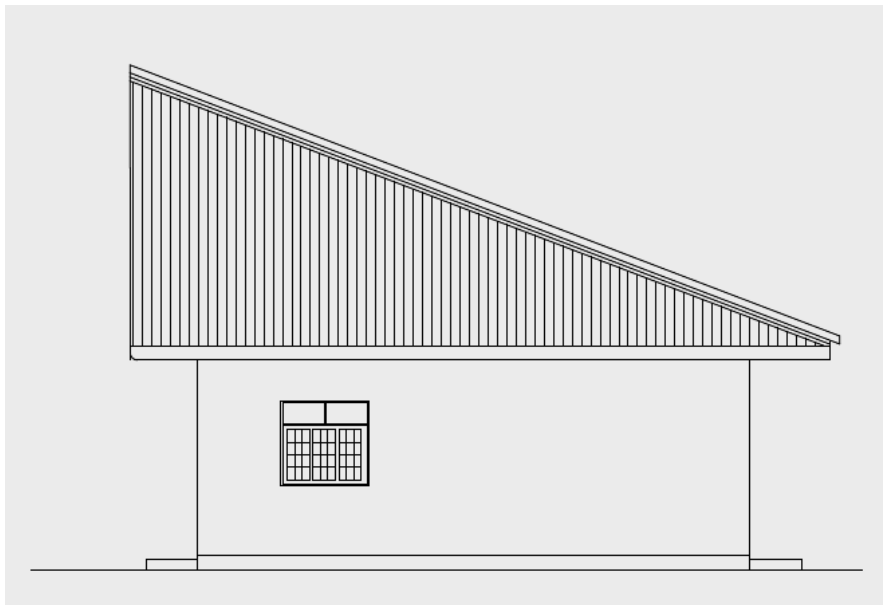


Figura 10 - Fachada leste da Eco Residência Rural

Os quartos têm medidas individuais de 3,55 x 2,90 m, enquanto que a cozinha mede 3,55 x 2,20 m. Outro ambiente de dimensão destacada da Eco Residência é a sala que mede 3,55 x 3,50 m, enquanto os menores ambientes são: o banheiro (2,37 x 1,40 m) e a área externa coberta (3,75 x 1,40 m). A alvenaria consiste em tijolo solo-cimento, aparente (sem revestimento, exceto parte de áreas molhadas do banheiro e da cozinha).

Constaram no projeto e na execução da Eco Residência, as bandeiras móveis sobre as esquadrias de madeira da casa. As bandeiras móveis têm altura de 30 cm e foram confeccionadas em madeira e vidro.

4.1.1.1- Característica dos ambientes

Todos os ambientes da habitação são dotados de ventilação natural, por meio de portas, bandeiras sobre as esquadrias, janelas ou elementos vazados (cobogós). Os três ambientes escolhidos para estudo são de permanência prolongada (quarto com laje, mezanino e sala) e têm abertura por meio de janela em fachadas diferentes. O quarto com laje possui abertura direta com janela de madeira na fachada sul, com ventilação do tipo por admissão. O Mezanino possui abertura direta, por meio de elemento vazado em concreto, na fachada sul e na fachada leste. Por sua vez, a sala tem abertura de janela de madeira na fachada norte. Observa-se o propósito de reforçar a ventilação da sala através das aberturas internas que interligam o quarto com laje e a sala, tal como a interligação da cozinha com a sala. A abertura de interligação entre o quarto com laje e a sala ocorre por meio de esquadria tipo porta de madeira dotada de bandeira móvel situada na parte superior da porta podendo esta bandeira ser aberta como espécie de duto de ventilação. Acrescenta-se que a sala estudada também é dotada de ventilação cruzada, por efeito chaminé, no sentido vertical de cima para baixo, ocorrendo através de sua ligação com o mezanino.

4.1.1.3- Material utilizado

O material de construção utilizado para vedação dos ambientes foi o tijolo de solo-cimento. Esse tipo de tijolo corresponde a blocos com dois furos no sentido transversal. O tijolo tem formato de encaixe (tipo macho e fêmea), tendo seu assentamento bastante facilitado e com redução acentuada de argamassa.

O tijolo de solo-cimento, construído em prensa manual, apresenta faces regulares e um duplo encaixe, conforme apresentado na Figura 9 (a). Ele permite bom nivelamento, prumo, esquadro e alinhamento, além de acabamento satisfatório, oferecendo boa estética à construção. Para a confecção dos tijolos aplicados na Residência alvo deste trabalho foi usada uma máquina manual composta de duas articulações com rolamentos, sendo o molde preso por meio de parafusos garantindo a troca de modelos de tijolos. O equipamento utilizado para a fabricação deste tijolo de solo-cimento é de manuseio muito simples, não exigindo uma mão-de-obra especializada.

Para a fabricação dos tijolos, processo que é mostrado na Figura 11, a mistura fresca de solo-cimento é colocada dentro de moldes de ferro e é imediatamente prensada. Depois de retirado da prensa, o tijolo é armazenado em local coberto e protegido do sol, sendo molhado por um período mínimo de sete dias para atender ao processo de cura e adquirir melhor

resistência mecânica. O traço volumétrico da mistura de solo-cimento ficou na proporção 1:15 (cimento: solo natural), sendo 20% de resíduo da borra fina de caulim, em substituição à parte do solo. A Figura 12 mostra como o tijolo solo-cimento é utilizado.



Figura 11 – Confeção dos tijolos de solo-cimento.



Figura 12 – Utilização do Tijolo em solo-cimento.

O tijolo tem dimensões em seção de 10x20 cm e altura de 5 cm. Os orifícios funcionam como câmaras de ar de diâmetro de 5 cm, sendo esses elementos importantes contribuintes para a inércia térmica da alvenaria.

Pode-se constatar que além das vantagens já destacadas pelo uso do tijolo solo-cimento deve-se mencionar o baixo custo, incluindo a economia de transporte (quando produzido no local da obra), a durabilidade, a segurança estrutural e o caráter de harmonização com

respeito ao meio ambiente visto que a construção com esse tipo de tijolo, proporciona uma menor supressão da flora. Além de não usar vegetação para a queima do tijolo, a forma de madeira é dispensada para confecção de peças de concreto armado, uma vez que o tijolo funciona como elemento para moldar os pilares da construção, conforme apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Tijolo solo-cimento funcionando como forma de Pilar de concreto armado

O Quadro 10 descreve o material empregado na construção desta Eco Residência, considerando todos os ambientes da habitação.

Quadro 10- Descrição dos materiais usados na construção

AMBIENTE	TIPO	MATERIAL
Sala	Piso	Em cerâmica esmaltada assentada com argamassa industrial AC-II sobre camada de regularização de argamassa (cimento:areia)
	Parede	Em Tijolo solo-cimento, aparente, pintada em PVA látex
	Teto	Estrutura e madeira aparente com telha cerâmica.
	Esquadria	Janela em madeira maciça e vidro fantasia 3 mm com 1,20 x 1,50 m. Porta em madeira maciça e vidro fantasia 3 mm medindo 0,90 x 2,45 m. Bandeira em madeira maciça móvel.
Quarto sem laje	Piso	Em cerâmica esmaltada assentada com argamassa industrial AC-II sobre camada de regularização de argamassa (cimento:areia)
	Parede	Em Tijolo solo-cimento, aparente, pintado com tinta PVA látex
	Teto	Estrutura e madeira aparente com telha cerâmica.
	Esquadria	Janela em madeira maciça e vidro fantasia 3 mm, com 1,20 x 1,50 m. Bandeira em madeira maciça móvel e vidro. Porta em madeira compensado, 100% opaca medindo 0,80 x 2,45 m.

Quarto com laje	Piso	Em cerâmica esmaltada assentada com argamassa industrial AC-II sobre camada de regularização de argamassa (cimento:areia)
	Parede	Em Tijolo solo-cimento, aparente, pintado com tinta PVA látex
	Teto	Laje pré-moldada com vigota de concreto armado e bloco cerâmico.
	Esquadria	Janela em madeira maciça e vidro fantasia 3 mm, com 1,20 x 1,50 m, Bandeira em madeira maciça móvel. Porta em madeira compensado, 100% opaca medindo 0,80 x 2,45 m.
Cozinha	Piso	Em cerâmica esmaltada assentada com argamassa industrial AC-II sobre camada de regularização de argamassa (cimento:areia)
	Parede	Em Tijolo solo-cimento, aparente, pintado com tinta PVA látex. Sobre a pia da cozinha consta uma faixa de cerâmica esmaltada medindo 1,20 x 0,60 m.
	Teto	Estrutura e madeira aparente com telha cerâmica.
	Esquadria	Janela em madeira maciça e vidro fantasia, com 2,10 x 0,60 m. Bandeira em madeira maciça móvel. Porta em madeira maciça, com vidro fantasia 3 mm medindo 0,80 x 2,45 m
Banheiro	Piso	Em cerâmica esmaltada assentada com argamassa industrial AC-II sobre camada de regularização de argamassa (cimento:areia)
	Parede	Revestida de cerâmica esmaltada h=1,80 m. Acima desta altura em Tijolo solo-cimento, aparente, pintado com tinta PVA látex.
	Teto	Laje pré-moldada com vigota de concreto armado e bloco cerâmico.
	Esquadria	Janela em madeira maciça e vidro fantasia, com 1,20 x 0,60 m, Bandeira madeira maciça móvel. Porta em madeira maciça, com vidro fantasia 3 mm medindo 0,70 x 2,10 m.
Mezanino	Piso	Em camada de regularização de argamassa (cimento : areia)
	Parede	Em alvenaria de Tijolo solo-cimento e cobogós, aparente, pintado com tinta PVA látex.
	Teto	Estrutura e madeira aparente com telha cerâmica.
	Esquadria	Sem esquadrias. Em seu contorno externo constam apenas cobogós. Trata-se do mesmo tijolo solo-cimento da alvenaria, assentado no sentido vertical.

4.2. Execução da Obra

4.2.1. Implantação da Eco Residência no terreno

A habitação alvo do estudo foi edificada pela UFCG, através de equipe técnica de professores e alunos que compõem a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Na definição da utilização de técnica construtiva alternativa e a construção da Eco Residência

Rural estabeleceu-se uma estreita relação da necessidade de subsidiar a pesquisa em tela, sobretudo naquilo que concerne à avaliação do conforto térmico desta tipologia habitacional, regionalizada para a escassez da região.

Para a implantação da Eco Residência no terreno, foram observados a orientação solar de seus cômodos, a localização das esquadrias, o comportamento do vento e a iluminação natural, bem como a opção do sentido de escoamento de água da cobertura, sempre com o intuito de melhor atender ao aspecto de sustentabilidade da edificação.

A implantação foi executada de forma que os ambientes classificados de permanência prolongada (quartos e mezanino) ficassem predominantemente orientados para leste. A área externa coberta foi projetada para que ficasse também situada para leste.

A sala de estar, o banheiro e a cozinha ocupam a área orientada para o oeste. Para abrandar os efeitos da insolação do oeste as alvenarias voltadas diretamente para este lado receberam tijolo de espessura de 12,5 cm, diferente das demais alvenarias que têm 10 cm de espessura.

Na área circunvizinha da Eco Residência não constam edificação nem outro tipo de obstáculo que possa prejudicar a ventilação natural. No entorno inexistente vegetação ou outro elemento que possa melhorar a Umidade relativa do ar. A direção predominante dos ventos para Cabaceiras (PB) é SD (sul-sudeste).

4.2.2. Processo de construção da Eco Residência

A construção da casa ecológica foi iniciada no final de agosto de 2014 e concluída em dezembro do mesmo ano, executada por 1 pedreiro e 1 servente, moradores da localidade. Buscou-se utilizar o máximo possível de material de construção oriundo da própria região, a exemplo de agregados graúdo e miúdo. Foram adicionados ao primeiro modelo, na composição da mistura do solo 20% de caulim na composição do tijolo solo cimento (Castro, 2008), já a sua disposição no terreno permaneceu semelhante à residência anterior, tendo a frente da residência para o nascente, e a declividade do terreno maior na parte frontal que nos fundos, mantendo a lavanderia e cisterna na parte do jardim, passível de serem estudados meios de encobrir tal estrutura, através de vegetação e arranjos de jardinagem.

Observa-se que a construção desta casa possibilita estabelecer resposta ao trabalho de pesquisa desenvolvido por Baracuhy (2001), voltado para o estudo da qualidade de vida do homem do campo através de um projeto mais amplo relativo ao Manejo Integrado da Bacia Hidrográfica.

4.2.3. Orçamento

A Eco Residência é dotada de propriedades capazes de proporcionar boas condições de habitabilidade, ajustando conforto e segurança hídrica, mesmo em grandes períodos sem chuva e de elevadas temperaturas. A mesma foi financiada com recursos advindos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e resultou em um custo total de R\$ 32.000,00 (trinta e dois mil reais), ficando o valor do metro quadrado em R\$ 459,77 (quatrocentos e cinquenta e nove reais e setenta e sete centavos).

Considerando a cotação do dólar americano, para outubro de 2014, de U\$ 1,00 (um dólar) no valor de R\$ 2,41 (dois reais e quarenta e hum centavos), consta que a construção resultou no valor de U\$ 13.278,00 (treze mil duzentos e setenta e oito dólares).

4.2.4. Fundação e Alvenaria

A fundação foi executada em alvenaria de pedra argamassada (no traço 1:6-cimento:areia). Para o aterro foi usada areia grossa, adquirida na própria localidade. As sapatas isoladas e viga baldrame foram confeccionadas em concreto armado. Da mesma maneira, os pilares foram construídos em concreto armado moldado *in locu*.

A alvenaria de vedação foi confeccionada em tijolo solo-cimento, tipo aparente, com furos verticais, sendo observadas regras essenciais como alinhamento, nivelamento, prumo e esquadro. Todas as esquadrias foram em madeira, inclusive as forras e os alisares. As instalações (elétrica, hidráulicas e sanitárias) foram instaladas de forma embutida, passando por dentro dos furos dos tijolos.

Como referido, as paredes periféricas do lado oeste têm espessura de 12,50 cm mas sem acabamento de reboco. As paredes internas e aquelas voltadas para o leste, o norte e o sul são de 10 cm de espessura e também foram executadas em tijolo solo-cimento sem revestimento. Todas as alvenarias são do tipo aparente recebendo apenas pintura em tinta acrílica nas suas faces interna e externa, excetuando as paredes interna do banheiro e da cozinha. A pintura foi feita em duas cores: na cor branca, para as alvenarias, e em tom concreto, para os pilares (tipo detalhe).

4.2.5. Coberta

Na cobertura foram executados um engradamento em madeira mista e telhamento com telha cerâmica do tipo canal, observando-se a preocupação com a captação de água de chuva. A calha horizontal para captação da água pluvial é em material policloreto de vinila (PVC) sendo fixada a estrutura da cobertura, por presilha metálica. Conforme já informado, o processo de uso de água pluvial da Eco Residência Rural foi projetado de forma a dispensar a necessidade de bombas uma vez que a utilização dessas águas ocorre por processo de gravidade visto que o terreno onde a casa está construída consta de uma declividade de 6,4%.

Para Meira Filho et al. (2009), no contexto da captação de água de chuva todas as partes constituintes do sistema de abastecimento, com exceção do manancial e da instalação predial, são integradas, constituindo uma unidade denominada sistema de captação de águas pluviais, composto basicamente de três elementos: área de captação (telhado); subsistema de condução (calhas e dutos) e reservatório (cisterna).

As fachadas (frontal, traseira e em perspectiva) da Eco residência rural em estudo são apresentadas nas Figuras 14 a 17.



Figura 14 - Fotografia da vista Frontal da Residência



Figura 15 - Fotografia da vista posterior da Residência



Figura 16- Fotografia em perspectiva - vista de posterior e lateral da Residência



Figura 17- Fotografia de ambientes internos da casa.
(a) Quarto com laje; (b) Cozinha; (c) Banheiro; (d) acesso ao Mezanino

4.2.6. Critérios para definição dos ambientes avaliados

Conforme já descrito, o quarto com laje, a cozinha e o mezanino foram escolhidos como ambientes alvos dos estudos deste projeto de conforto térmico. Os principais aspectos definidores na escolha desses ambientes, para estudo, foram: importância como ambiente de permanência prolongada; abertura para captação e circulação de ar funcionando como ventilação com circulação por admissão ou exaustão; característica volumétrica, considerando a área e o pé-direito; característica de piso, parede e teto e sua localização dentro da Eco Residência, observando a orientação solar com faces voltadas para as direções leste, oeste, norte ou sul.

O quarto com laje tem área útil de 10,29 m², pé-direito de 2,70 m e está localizado no pavimento térreo. Suas paredes estão situadas: externas para o leste e para o sul; internas, para o quarto sem laje e para a cozinha. O acesso ao quarto ocorre através de uma porta de madeira com dimensões de 0,80 por 2,10 m, dotada de bandeira móvel. Para estabelecer uma boa

ventilação natural por admissão foi instalada uma janela de madeira no eixo da parede externa voltada para o sul. A janela, que tem dimensões de 1,20 x 1,20 m e dotada de bandeira móvel com 30 cm de altura, foi assentada a uma altura de 1,00 m do piso (peitoril).

O mezanino tem área útil de 12,31 m² e altura variável em função da tipologia adotada para a cobertura. Suas paredes estão assim situadas: externas para o leste e para o sul; internas para a parte alta do quarto sem laje e para a parte alta da cozinha. As alvenarias são dotadas de tijolo e de elementos vazados, ambos construídos de solo-cimento. Os elementos vazados servem para captação de ar, melhorando as condições ambientais nos períodos quentes. O seu acesso pela cozinha ocorre por escada móvel.

A área útil da sala é de 12,42 m² e tem um pé-direito variável, sendo que a altura mínima é de 3,00 m. Suas paredes estão assim situadas: externas para o oeste e para o norte; internas para o terraço/quarto sem laje e para banheiro/cozinha. O acesso principal da sala se dá pela área externa coberta através de uma porta com dimensões de 0,90 por 2,10 m, orientada para o leste, com bandeira móvel de madeira e vidro. O outro acesso (secundário) acontece por meio de abertura na alvenaria, com dimensões de 0,90 x 2,40 m, que possibilita acesso à cozinha e favorece a ventilação. Existe, ainda, outra abertura para melhoria de ventilação da sala que compreende de uma janela medindo 1,50x1,20 m, dotada de 02 folhas com dobradiças laterais, em madeira e vidro, instalada na parede frontal (norte).

4.3. Tratamento de manipulação das aberturas de ventilação

Previamente ao trabalho experimental foi planejada a composição de cinco tratamentos que correspondem a diferentes tipos de abertura para as trocas térmicas nos ambientes a serem estudados. As rotinas de tratamento são apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 – Tratamento de rotina de abertura de ventilação

	DESCRIÇÃO		PERÍODO
	ABERTOS	FECHADOS	(horário intervenção: 07 às 18 h)
1	Bandeiras, núcleo das janelas e elemento vazado	Portas externas	Dias 14, 21, 28 /janeiro e 04, 11, 18, 25/fevereiro/2016
2	Núcleo das janelas, bandeiras	elemento vazado e portas externas	Dias 13, 19, 26 /janeiro e 02, 09, 16, 23/fevereiro/2016
3	Bandeiras, elemento vazado	Núcleo das janelas e portas externas	Dias 12, 20, 27/janeiro e 03, 10, 17, 24/fevereiro/2016
4	---	Núcleo das janelas, bandeiras, elemento vazado e portas externas	Dias 15,16,17; 23,24, 29,30,31/jan. 05,06,07,12,13,14, 26,27,28 fev.
5	Bandeiras	Núcleo das janelas,	Dias 11, 18, 25/ janeiro e

		elemento vazado e portas externas	01, 08, 15, 22/fevereiro/2016
--	--	-----------------------------------	-------------------------------

O fechamento do elemento vazado (cobogó) ocorreu por meio de colocação de placa de isopor de espessura de 10 mm, que fica preso pelos furos dos cobogós.

Deve-se destacar que as aberturas dos ambientes obedeceram a caráter cíclico, sendo executado conforme planejamento prévio. O trabalho de intervenção dos ambientes ocorreu no horário compreendido entre 07 e 18 horas, durante os meses de janeiro a fevereiro de 2016, período do verão brasileiro.

No horário noturno todos os elementos ficaram fechados. Todos os ambientes estudados receberam esses cinco tratamentos de rotina de abertura de ventilação, ou seja, dois meses de trabalho experimental na Eco Residência Rural.

Durante a experimentação os dados foram coletados de forma automatizada, a cada 30 min, sendo que a mensuração da temperatura ocorrera através dos sensores DTH22 (para temperatura e umidade relativa do ar do ambiente interno e externo), LM35 (instalado dentro de globo negro), DS18B20 (para medir temperaturas superficiais – parte interna e externa- da alvenaria e parte superior e interior da telha).

4.4. Instrumentação, coleta e armazenamento de dados

4.4.1. Sistema de aquisição de dados

A primeira etapa prática da análise do conforto térmico diz respeito à obtenção e armazenamento dos dados das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura de globo negro, umidade relativa do ar e velocidade do vento) da área interna da sala, do quarto com laje e do mezanino, tal como as condições ambientais superficiais da telha e da alvenaria do quarto com laje. Foram coletados, também, dados de variáveis climáticas na área externa da casa em um ponto instalado na parte frontal do terreno, a 4 metros de distância da casa.

Para a execução do trabalho de coleta e armazenamento foi confeccionada uma Estação móvel, instalada no centro de cada ambiente estudado, composta de uma estrutura de ferro. Esta Estação foi associada a uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, denominada arduíno, ao qual foram conectados os sensores de temperatura e de umidade, bem como o de velocidade do vento, que funcionou como datalogger.

A metodologia com Estação Meteorológica construída especificamente para este experimento apresentou diversas vantagens, dentre elas: materiais de baixo custo e plenamente eficiente; disponibilidade, no mercado, do arduino e dos sensores para medir temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento; download de um software gratuito para programação do arduino; fácil montagem dos equipamentos; verificação dos dados coleta de dados, na estação meteorológica.

As medições ocorreram nos sete dias consecutivos da semana, ao longo do período de 7 (sete) semanas, período compreendido entre 11 de janeiro a 27 de fevereiro do ano de 2016, período do verão brasileiro, meses em que se observa grande adversidade térmica. A coleta de dados ocorreu no horário das 7 às 18 h e o sistema de obtenção e armazenamento de dados foi programado para obter as informações dessas variáveis climáticas no intervalo de 30 min.

Os dados obtidos foram armazenados em cada um dos cartões tipo SD de 8G, acessados e transferidos semanalmente para um notebook.

O Arduino, uma placa baseada no micro controlador ATmega 2560 e de fácil programação, mostrou-se bastante eficiente para a realização dessa atividade por período ininterrupto de 40 (quarenta dias), considerando-se que o equipamento não foi desligado em momento algum, durante o período de realização de experimentos.

Para melhor proteção contra poeiras, a placa de arduino (de dimensões 10,2 cm de comprimento, 5,4 cm de largura e 1,4 cm de espessura) foi colocada numa caixa de PVC translúcida. Pode-se atestar que a placa arduino tem a capacidade de funcionar como um datalogger, devendo ser colocado no centro do recinto e o mais próximo possível dos sensores de medição das variáveis climáticas.

Associado a ele foram instalados sensores de temperatura e umidade, DTH22, bem como os globos negros (que contaram, no seu interior, com um sensor de temperatura denominado LM35). Para obtenção da temperatura de superfície foi usado um sensor denominado DS18B20.

O núcleo de obtenção de dados de temperatura externa, instalado na área circunvizinha da Eco Residência rural, foi colocado a 1,20 m de altura relativa ao nível do terreno, na sua parte frontal e dos fundos, distando 4 m da invólucro do edifício. Os sensores de temperatura foram protegidos da incidência de chuvas e radiação solar direta sem obstruir a ventilação natural.

A Estação meteorológica, composta pelo arduino e sensores de temperatura, pode ser visualizada na Figura 18.



Figura 18 - Estação meteorológica composta de arduíno tipo Mega e sensores para obtenção e dados de temperatura, umidade e velocidade do vento

O Sensor de temperatura e umidade DTH22 é um instrumento de mensuração e armazenamento de temperatura e umidade relativa do ar, que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a $+80$ °C (graus Celsius), sendo a precisão de medição de temperatura de mais ou menos $0,5$ °C. Por sua vez, a umidade relativa do ar medido pode variar entre 0 a 100% , com uma precisão de umidade de medição de mais ou menos $2,0\%$, com tempo de resposta de 2 s. Este sensor é muito fácil usar com Arduíno, pois possui apenas 1 pino com saída digital e dois pinos para tensão de operação, que variam de 3 a 5 V. O DTH22 é formado por uma unidade capacitiva e um termistor para medir o ar ao redor enviando no

pino de dados um sinal digital sem a necessidade de utilização de pinos analógicos. Suas dimensões são 25 por 15 mm (desconsiderando os terminais).

Por sua vez, o sensor denominado DS18B20 é recomendado para medir a temperatura de superfície ou superficial da alvenaria. Trata-se de um sensor que tem a capacidade de efetuar leituras com precisão de até mais ou menos 0,5 °C, e enviar as informações para o micro controlador utilizando apenas 1 fio. A sua tensão de operação varia de 3 a 5 V, enquanto que a faixa de medição de temperatura compreende o intervalo de -55 a +125 °C, tendo uma precisão de mais ou menos 0,5 °C se a temperatura estiver entre -10 e +85 °C. O sensor é composto por com cabo de 108 cm de comprimento e na ponta consta de um cilindro de aço inoxidável com dimensão de 6 x 50 mm.

Didaticamente, o Globo Negro é uma esfera de cobre de diâmetro de aproximadamente 0,15 m, no qual se insere um sensor de temperatura. Ele deve ser pintado exteriormente de preto fosco. Seu objetivo é permitir avaliação do conforto térmico através do Índice WBGT.

4.4.2. Medição de Temperatura e umidade relativa do ar dos ambientes

Os dados de temperatura e umidade foram coletados através do sensor denominado DTH22, associado a um uso do arduíno, tipo Mega. Deve-se ressaltar que o sistema arduíno e os sensores DTH22 dispensaram a calibração e a aferição. A Figura 19 mostra como foi realizada a captação dos dados de Temperatura e Umidade



Figura 19 - Sensor DTH 22 – Medição de Temperatura e Umidade

4.4.3. Medição da Temperatura de superfície

A temperatura de superfície ou superficial das alvenarias foi medida por um sensor denominado DS18B20. Este sensor tem a capacidade de enviar as informações para o micro controlador utilizando apenas posterior um cabo de rede, com medição de temperatura compreendida no intervalo de -55 a +125 °C e com precisão de mais ou menos 0,5 °C se a temperatura estiver entre -10 e +85 °C.

Os sensores de temperatura superficial foram instalados no interior e no exterior dos invólucros dos ambientes e foram fixados utilizando-se fita adesiva. No caso dos sensores instalados no lado externo da alvenaria foram adotados os mais diversos cuidados para a proteção do DS18B20 contra os efeitos da radiação solar direta ou proveniente de superfícies vizinhas. Assim sendo, os sensores instalados nas superfícies externas de paredes foram fixados com cinco camadas de fita isolante recobertas com massa epóxi, conforme mostrado na Figura 20.

Os sensores de temperatura de parede foram posicionados a uma altura de 1,20 m relativa ao piso da edificação, estando os mesmos fixados no centro da distância entre limites verticais e aberturas de ventilação.

Por sua vez, os sensores de temperatura da cobertura foram localizados no centro geométrico do plano inclinado de maior área considerando-se os limites verticais dos ambientes objetos da pesquisa. No mesmo ponto geométrico foram fixados sensores de temperatura, sendo um do lado interno e outro do lado externo da alvenaria.

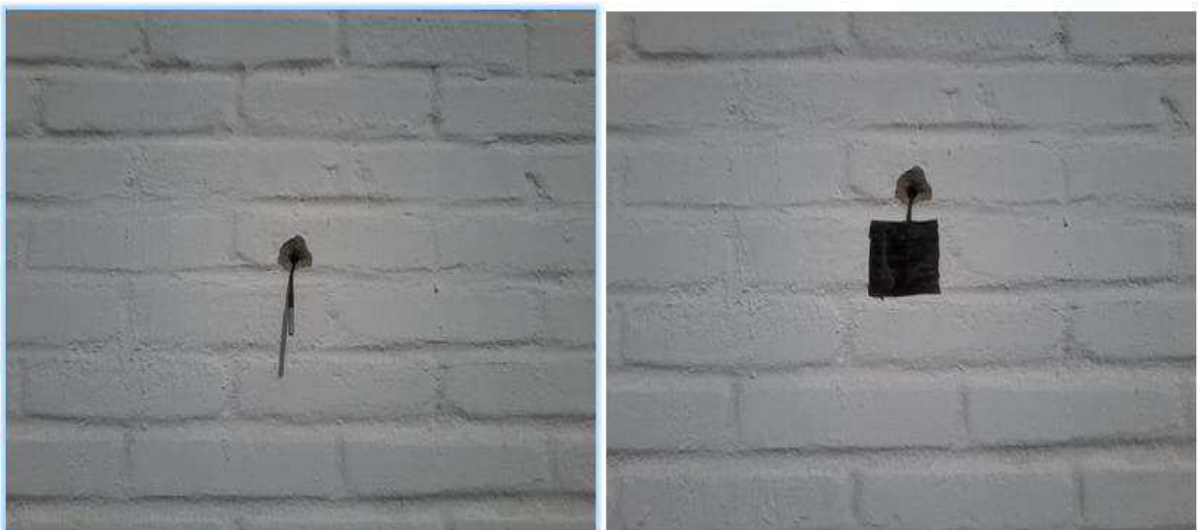


Figura 20 - DS18B20 – antes e depois da colocação do adesivo e da fita

4.4.4. Temperatura do Globo negro (T_{gn})

A temperatura de globo negro (T_{gn}) foi obtida através de instrumento composto por Globos Negros, feitos com bolas plásticas, diâmetro de aproximadamente 0,15 m, em cujo interior foi inserido um sensor de temperatura tipo LM35. Os globos negros foram previamente pintados exteriormente com tinta em spray na cor preto fosco, em três demãos. Seu objetivo foi o de obter os dados de temperatura que possam permitir avaliação do conforto térmico através do Índice WBGT.

Três globos negros foram confeccionados e colocados, simultaneamente, em cada ambiente estudado, a saber: quarto com laje, sala e mezanino. Essas esferas foram perfuradas para introdução dos sensores de temperatura denominado de LM35. Logo depois da inserção dos sensores, o furo foi devidamente fechado.

Para a execução do trabalho de calibração, os quatro globos, sendo 03 de plástico e 01 de bronze, foram suspensos em uma estrutura metálica instalada no centro geométrico de um ambiente de estudo de maneira que todos estivessem submetidos à semelhante quantidade de radiação. Desta forma, os globos negros em plástico foram dispostos de modo mais próximo possível do globo negro metálico, conforme consta na Figura 21. A partir dos dados de temperatura coletados e armazenados no intervalo de tempo de 03 (três) dias de medições foram geradas as equações de calibração para os globos negros de plástico, em função do globo padrão.



Figura 21 - Aferição dos globos negros

Posterior à coleta de dados, foram geradas as equações de calibração para os 03 (três) globos negros em plástico. As equações de calibração e seus coeficientes de determinação são dados através das Equações 12, 13 e 14.

Sala.

Equação de calibração: $y = 0,957x + 1,0252$. **Coefficiente de Determinação:** $R^2 = 0,9716$
Equação 12

Mezanino

Equação de calibração: $y = 0,9743x + 0,3523$. **Coefficiente de Determinação:** $R^2 = 0,9808$
Equação 13

Quarto com laje

Equação de calibração: $y = 0,9787x + 0,502$. **Coefficiente de Determinação:** $R^2 = 0,9813$
Equação 14

O sensor LM35, que coletou os dados de temperatura do globo negro, é um sensor de precisão que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura em que ele se encontrar no momento em que for alimentado por uma tensão que varia de 4 a 20 V.

4.4.5 Distribuição dos sensores

Os sensores foram distribuídos a partir das Estações metrológicas, conforme apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Distribuição dos sensores para obtenção de variáveis climáticas

Local	Sensor		Tipo de medição
	Núm.	Nome	
Estação meteorol. da Sala	1	DS18B20_PrdW_ext	Temperatura Parede Oeste externa;
	2	DS18B20_PrdW_int	Temperatura Parede Oeste interna;
	3	DTH22_amb.exte_Tar	Temperatura e umidade. Amb. externo;
	4	DTH22_amb.inte_Tar	Temperatura e umidade. Amb. interno;
	5	LM25_amb.inte_Tgn	Temper. Globo negro, ambiente interno;
	6	DS18B20_Telha_sup	Temperatura Parte superior da telha;

	7	DS18B20_Telha_inf	Temperatura Parte inferior da telha;
	8	ANM_sala	Anemômetro de concha
Estação meteorol. do Quarto com Laje	1	DS18B20_Prdleste_ext	Temperatura Parede Leste externa;
	2	DS18B20_Prdleste_int	Temperatura Parede Leste interna;
	3	DTH22_amb.exte_Tar	Temperatura e umidade. Amb. externo
	4	DTH22_amb.inte_Tar	Temperatura e umidade. Amb. interno;
	5	LM35_amb.inte_Tgn	Temper. Globo negro, ambiente interno;
	6	ANM_QL	Anemômetro de concha
Estação meteorol. do Mezanino	1	DTH22_amb.inte_Tar	Temperatura e umidade. Amb. interno;
	2	LM35_amb.inte_Tgn	Temper. Globo negro, ambiente interno;
	3	DS18B20_Telha_sup	Temperatura Parte superior da telha;
	4	DS18B20_Telha_inf	Temperatura Parte inferior da telha;
	5	ANM_meza	Anemômetro de concha

4.5. Caracterização do ambiente térmico

A caracterização térmica dos ambientes estudados foi feita levando-se em consideração os seguintes índices: DI (Índice de Desconforto), THI (Índice de Temperatura e Umidade), WBGT (Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo), PMV (Voto Médio Predito), PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas) e PET (Temperatura Equivalente Fisiológica).

4.5.1. Obtenção dos dados para cálculo dos índices

A coleta de dados, ocorrida através de sistema automatizado composto por arduíno e sensores, obtendo informações ao longo de sete semanas, foi utilizada para “alimentar” os modelos matemáticos que embasam os índices supracitados.

Os dados correspondentes à temperatura do ar, temperatura das envoltórias (parede e telha), à umidade relativa do ar e à temperatura do globo negro foram estratificados pelos cinco tipos de tratamentos definidos no projeto dos ensaios.

Observa-se, para a obtenção da temperatura de bulbo úmido, que foi utilizada a tabela psicométrica considerando-se que já estão disponíveis a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, obtidas pelos sensores.

4.5.2. Aplicação dos dados nas Equações de índices térmicos

De posse dos dados obtidos pelo datalogger (construído por meio de sistema de arduíno e sensores) e devidamente tratados por modelo estatístico, as informações foram aplicadas nas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente, DI, THI e WBGT cujas variáveis são relacionadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Índices e variáveis correspondentes

Índice	Desenvolvido/Utilizado por	Variáveis
de Desconforto (DI)	Thom, 1959	Temperatura do ar e do bulbo úmido
de Temperatura e Umidade (THI)	Giles et al., 1990	Temperatura do ar e Umidade relativa do ar
Temperatura de Bulbo Úmido e de Globo (WBGT)	Yaglou & Minardi, 1957	Temperatura do bulbo úmido e do globo negro

Para cálculo do Índice PMV e PPD foram utilizadas duas simulações, em virtude da impossibilidade da aplicação e preenchimento do questionário. De posse das variáveis climáticas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s), como também considerando parâmetros individuais como vestimenta (clo) e atividade desempenhada ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), os índices podem ser calculados a partir do software Analysis BIO 1.5, desenvolvido pelo LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em edificações da Universidade Federal de Santa Catarina– UFSC, a partir da inserção dos dados solicitados.

Por sua vez, para a obtenção do Índice PET foram consideradas as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do ar ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e umidade do ar (%). E as seguintes variáveis individuais: taxa metabólica, isolamento da vestimenta e atividade. Para cálculo dos valores do Índice PET foi usado o programa computacional RayMan® 1.1. Trata-se de um programa desenvolvido pelo Professor Andréas Matzarakis, na Universidade de Freiburg, e de domínio público através de solicitação pelo endereço eletrônico <http://www.mif.uni-freiburg.de/RayMan>.

4.5.3. Avaliação com as faixas interpretativas

Para o cálculo de DI, THI, WBGT, PMV, PPD e PET foram utilizadas planilhas eletrônicas elaboradas a partir do software Microsoft Excel versão 2010.

Observou-se que as faixas interpretativas relativas ao Índice de Desconforto térmico DI, definido por Thom (1959), vinculam os limites de conforto às sensações de satisfação ou insatisfação com o ambiente térmico, considerando-se parte da população. Conforme já apresentado, quando o DI é inferior a 70 °C, indica que a totalidade da população não sente desconforto térmico. Por sua vez, se o Índice em tela estiver na faixa de 70 °C a 75 °C, significa que a minoria da população vem a sentir desconforto térmico e quando a maioria das pessoas se sentir desconfortável, tem-se que o DI se encontra no intervalo de 75 °C a 79 °C. Por fim, observa-se um caso de estado de emergência médica generalizada, caso o Índice de Desconforto seja superior a 79 °C.

4.6. Avaliação do desempenho térmico

O envoltório (alvenaria externa) da Eco Residência considerado para efeito desta pesquisa, trata-se de alvenaria aparente de tijolo de solo-cimento e telha cerâmica, tipo canal. Para análise do desempenho térmico da edificação foram empregados os métodos de medição, de acordo com determinações contidas nas NBR 15.220 (ABNT, 2003) e NBR 15.575 (ABNT, 2013).

No método por medição foi feita uma avaliação comparativa da temperatura máxima do ar no interior da edificação com a temperatura máxima do ar no exterior da edificação para cada um das simulações de rotina. Foi seguida a disposição normativa constando que a avaliação do desempenho térmico de edificações, via medições *in loco*, deve ser feita em edificações em escala real (1:1). Ademais, deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso.

Para a Eco Residência construída no semiárido paraibano e alvo deste trabalho, foi procedida uma avaliação detalhada do comportamento das temperaturas superficiais das alvenarias externas (t_{s_ext} e t_{s_int}).

Ainda neste contexto se trata de muita relevância realizar um estudo prévio das características de absorvidade da superfície, destacando-se que no presente caso não foi executado revestimento externo das paredes, mas apenas pintura a cal.

Para a análise das temperaturas superficiais dos envoltórios (alvenarias) da Eco Residência foram escolhidos pontos nas fachadas voltadas para o Sul (fundos da casa) e para o Leste (lateral esquerda) que compõem o quarto com laje. Foram analisadas, também, as alvenarias externas voltadas para o norte e para o oeste, respectivamente partes frontal e lateral direita do ambiente sala que compõe a Eco Residência em estudo.

4.6.1 Análise do comportamento térmico do envoltório

Considerando que a NBR 15.220 (ABNT, 2003) não disponibiliza as variáveis básicas de entrada para o cálculo da Resistência Térmica total (RT), Transmitância Térmica (U); Capacidade Térmica (CT); Atraso Térmico (ϕ); Fator de Ganho de Calor Solar (F_{SO}), o cálculo das propriedades térmica do invólucro não pode ser realizado.

Realizou-se a verificação do atendimento da Norma Brasileira 15.220 (ABNT, 2003) naquilo que concerne o tamanho da abertura das janelas. Foi procedido, também, o estudo da temperatura superficial, interna e externa, do envoltório (alvenaria de fechamento externo) da Eco Residência em estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do Ambiente

5.1.1 –Variáveis climáticas

5.1.1.1 *Temperatura de ar (t_{ar})*

A temperatura do ar é uma variável climática importante que nos permite realizar estudo das condições de conforto ambiental, vez que dela derivam destacados resultados concernentes a diversos processos fisiológicos que ocorrem no ser humano. Justifica-se, portanto, que a análise do seu comportamento seja uma das diretrizes deste trabalho.

O gráfico que representa os dados concernentes a todos os tratamentos são apresentados nas Figuras 22 a 26. Constam as médias horárias das temperaturas do ar do interior da sala (t_{ar_sala}), do quarto com laje (t_{ar_quarto}) e do mezanino (t_{ar_mez}), bem como as temperaturas do ar ambiental externo da casa (t_{ar_ext}) para estratificado por tratamento. A faixa horizontal destacada corresponde à zona de conforto térmico.

Avaliando as curvas dos gráficos citados observa-se que no tratamento em que a janela/cobogós/bandeira estavam abertas, todos os ambientes ficaram dentro da zona de conforto durante as vinte quatro horas do dia. Quando se procedeu ao fechamento dos cobogós apenas o mezanino saiu da desejada zona de conforto, no horário vespertino. Quando os elementos da construção, os cobogós e as bandeiras estavam abertos, apenas o mezanino ficou o dia todo dentro da zona confortável. Por fim, quando janela/cobogós/bandeira estavam fechados, todos os ambientes estudados ficaram fora da zona desejada, aproximadamente 4 ou 5 horas no turno da tarde.

Analisando os gráficos observa-se que, durante o dia e em razão da radiação solar, bem como da convecção externa e emissão dos elementos no entorno, a temperatura do ar externo é mais elevada que a interna. Ocorre que o sol é uma das fontes de energia térmica mais relevantes e sua incidência sobre o involucro externo da habitação provoca ganho de energia.

Durante a noite a temperatura do ar interno se torna superior à externa em razão da ausência da incidência da radiação solar. As temperaturas variam segundo uma “onda” (a temperatura do ar está sujeita a amplitudes térmicas durante as 24 horas do dia). Em adição a isto verifica-se, também, que embora a diferença de temperaturas, em um momento, entre o exterior e o interior, apresente um valor específico, o fluxo de energia térmica correspondente a essa diferença só se efetuará mais tarde, caracterizando o atraso térmico.

As curvas que apresentam os dados da temperatura do ar concernentes a todos os tratamentos são mostrados nos gráficos 22 a 26. A faixa horizontal destacada corresponde à zona de conforto térmico.

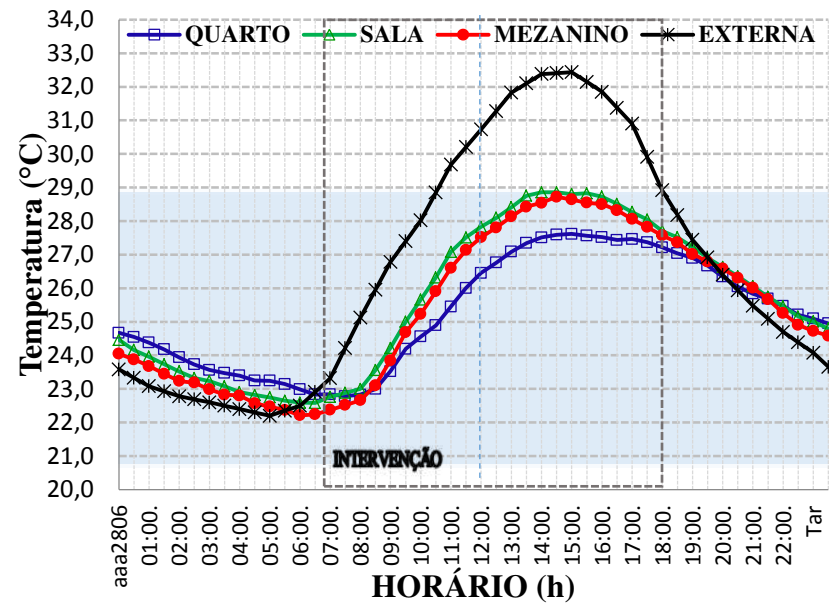


Figura 22 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.

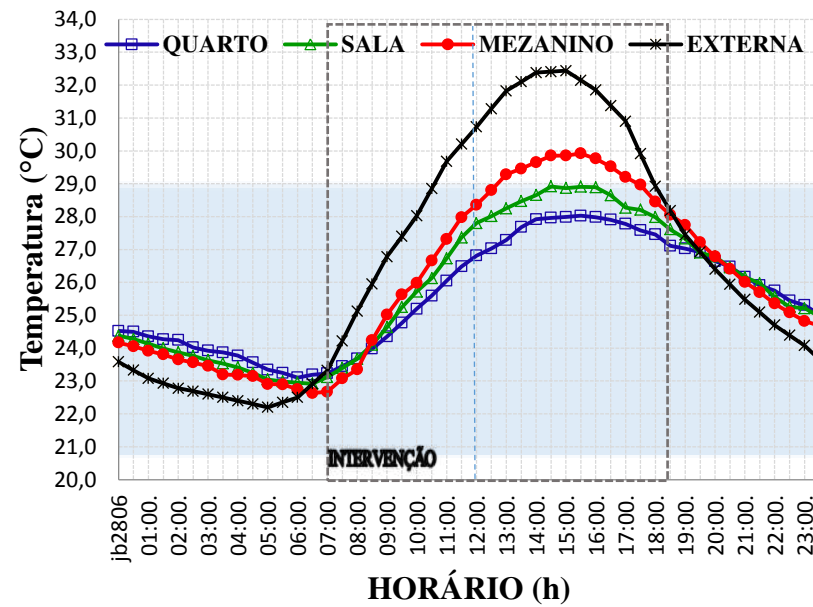


Figura 23 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira e Janela abertas. Cobogó fechado

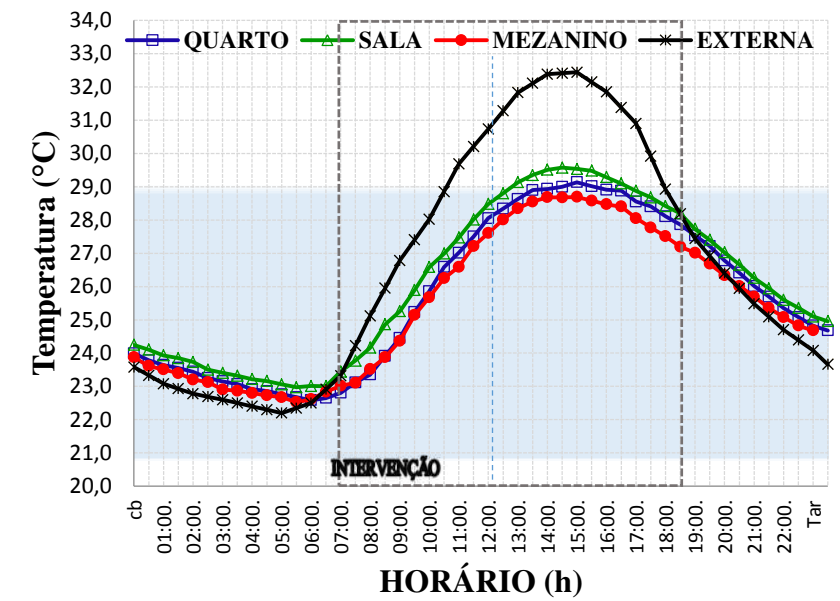


Figura 24 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada

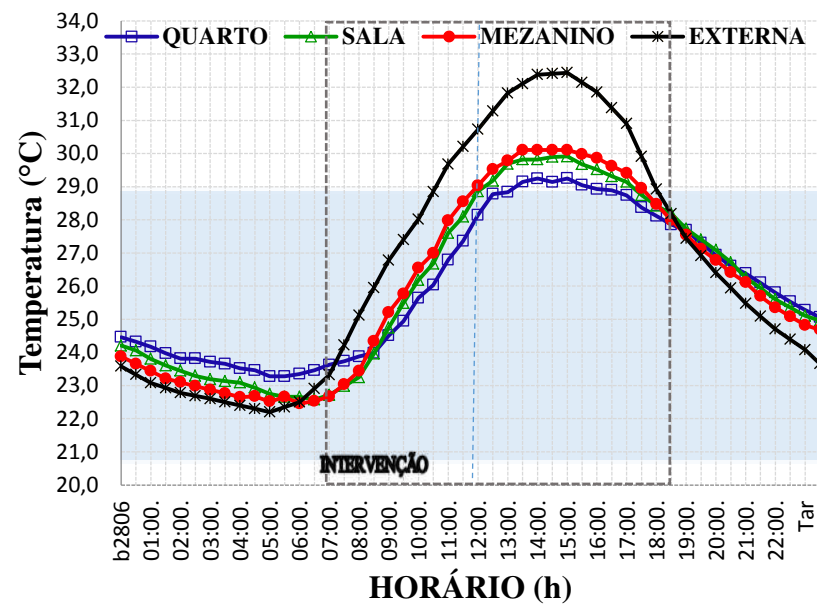


Figura 25- Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechados

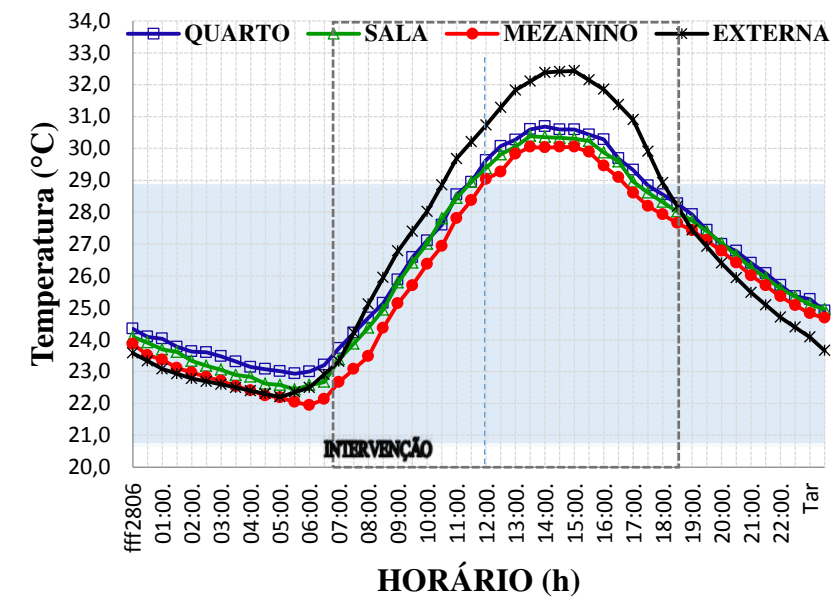


Figura 26 - Curvas de t_{bs-Ext} , $t_{bs-quarto}$, $t_{bs-sala}$ e t_{bs-mez} , por hora para Bandeira, Cobogó e Janela fechados

5.1.1.2 Umidade relativa (UR)

Analisando os dados pertinentes à Umidade relativa do ar e compulsando a Figura 28 a 32, observa-se o comportamento das médias horárias da umidade relativa do ar ao longo do período de intervenção das 7 às 18 h para o primeiro tratamento analisado, isto é, quando Bandeira, Janela e Cobogó estão abertos.

Observa-se que o desempenho da umidade relativa do ar apresenta forte relação com a temperatura do ar, qualquer que seja o ambiente - interno ou externo, o que pode ser verificado em todas as manipulações de abertura de ventilação esta trabalho.

Observa-se, no período noturno, que a umidade relativa do ar dos ambientes internos supera 70% para todos os tratamentos estudados.

Ao se analisar os resultados da Umidade relativa do ar para os ambientes internos e para a área externa circunvizinha da residência em estudo, observa-se que o comportamento térmico está em todos os gráficos condizente com o previsto pela literatura.

A umidade relativa do ar apresenta uma redução de forma acelerada no turno da manhã e no começo do turno vespertino, atingindo o percentual mínimo entre as 14 e 16 h.

Após este horário a umidade relativa do ar volta a crescer, atingindo percentual máximo no horário compreendido das 5 às 7 h.

As curvas que apresentam os dados da Umidade relativa do ar concernentes a todos os tratamentos são mostrados nos gráficos 28 a 32.

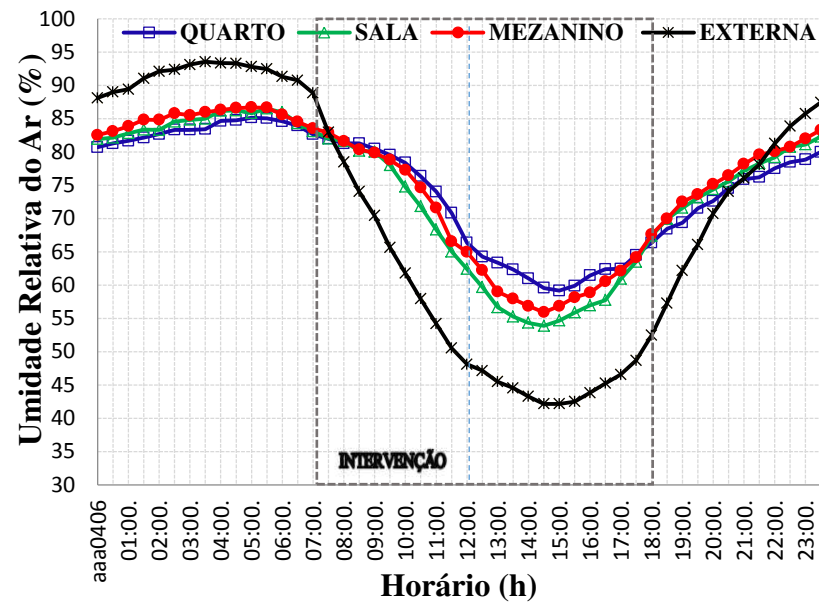


Figura 27- Curvas de UR por hora da área externa, quarto, sala e mezanino para Bandeira, Janela e Cobogó abertos

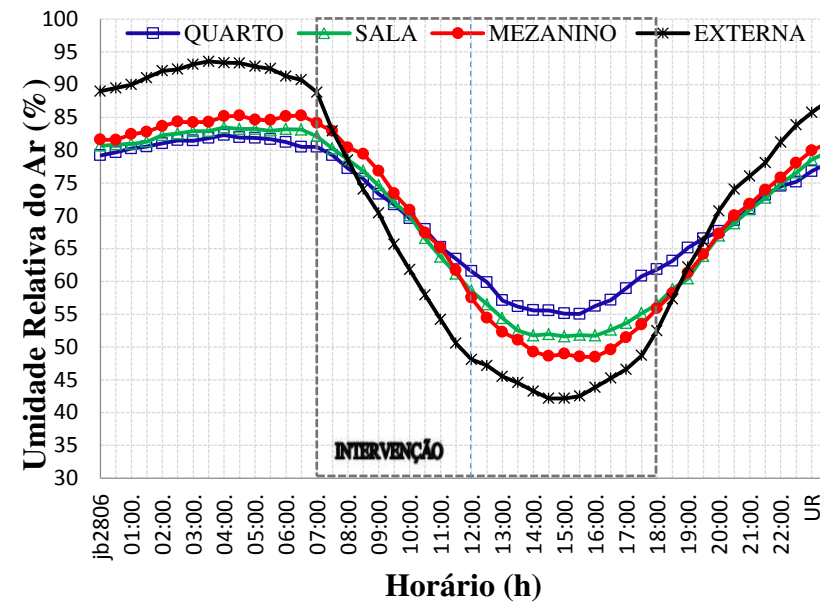


Figura 28 - Curvas de UR por hora da área externa, quarto, sala e mezanino para Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado

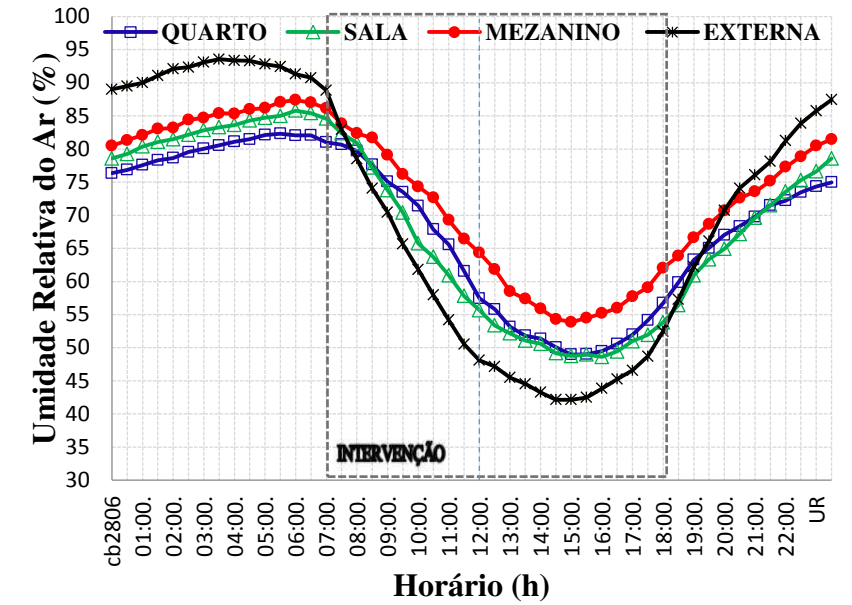


Figura 29 - Curvas de UR por hora da área externa, quarto, sala e mezanino, para bandeira e cobogó aberto. Janela fechadas

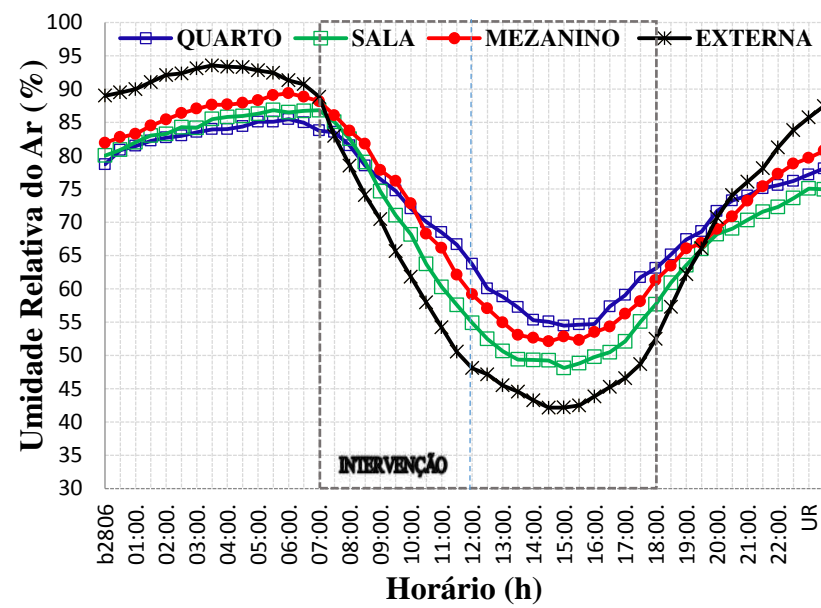


Figura 30 - Curvas de UR por hora da área externa, quarto, sala e mezanino, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada.

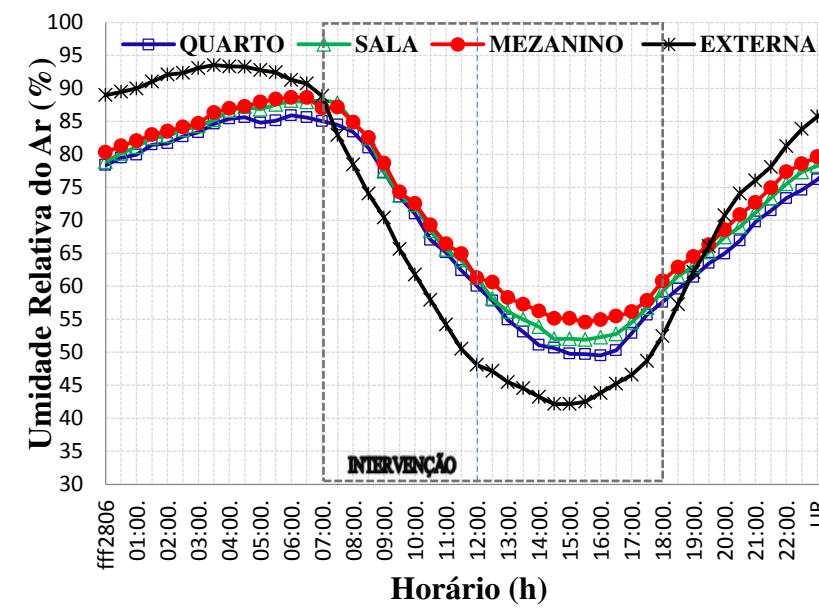


Figura 31 - Curvas de UR por hora da área externa, quarto, sala e mezanino, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados.

5.1.2 Análise por Índices térmicos compostos exclusivamente de variáveis físicas

5.1.2.1 Temperatura de Bulbo Úmido e de Globo (WBGT)

O índice de Temperatura de Bulbo Úmido e de Globo é considerado, em um ambiente, de fácil determinação. É calculado a partir da obtenção da temperatura de bulbo úmido natural (t_{bu}) e da temperatura de globo negro (t_{gn}).

Os resultados apresentados nas Figuras 33 a 37 permitem proceder à classificação dos ambientes a partir do índice de WBGT.

Neste ponto é importante destacar que os experimentos de caracterização de ambientes através do índice Temperatura de Bulbo Úmido e de Globo (**WBGT**) foram realizados em recintos com ausência de radiação solar.

As curvas de WBGT para a sala, quarto com laje e o mezanino, apresentadas nas Figuras 33 a 37, se enquadram no intervalo que indica que tais ambientes são adequados à execução de atividades pesadas e com trabalho contínuo sem grandes prejuízos à produtividade e à saúde do trabalhador, uma vez que os ambientes estudados não ultrapassaram o valor de 25 °C.

Outra observação que pode ser feita é que o WBGT apresentou valores superiores a 23 °C, no intervalo compreendido entre 9:00 h e 22:00 h, aproximadamente, em todos os tratamentos, exceto para o tratamento Janela, Bandeira e Cobogó abertos, quando este intervalo foi menor situando-se em torno das 10 às 20 h. Para todos os tratamentos nos outros horários fora dos intervalos citados acima, que apresentam WBGT inferiores a 23 °C, a taxa metabólica recomendada pode ser aumentada.

Baseado no WBGT e considerando que o estudo foi realizado em edificação destinada ao uso residencial na qual das 7 às 19 h devem predominar o trabalho doméstico e as atividades sedentárias cujas taxas metabólicas estimadas variam em torno de 116 W.m⁻² (trabalho doméstico, em pé), é possível presumir que os ambientes térmicos do quarto com laje, sala e mezanino, independentes das condições de ventilação, tendem a ser caracterizados como toleráveis. Nos demais horários os ocupantes da moradia se encontram sentados e relaxados ou dormindo, situação em que a taxa metabólica é ainda menor, conforme aponta o Quadro 8.

As curvas que apresentam os dados do Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo concernentes a todos os tratamentos são mostrados nos gráficos 33 a 37.

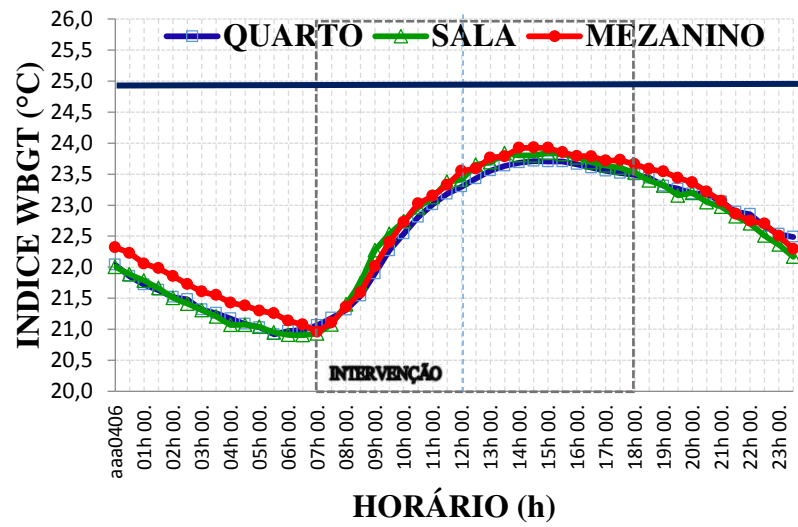


Figura 32 - Curvas do Índice WBGT por hora. Quarto, sala e mezanino, para Bandeira, Janela e cobogós abertos.

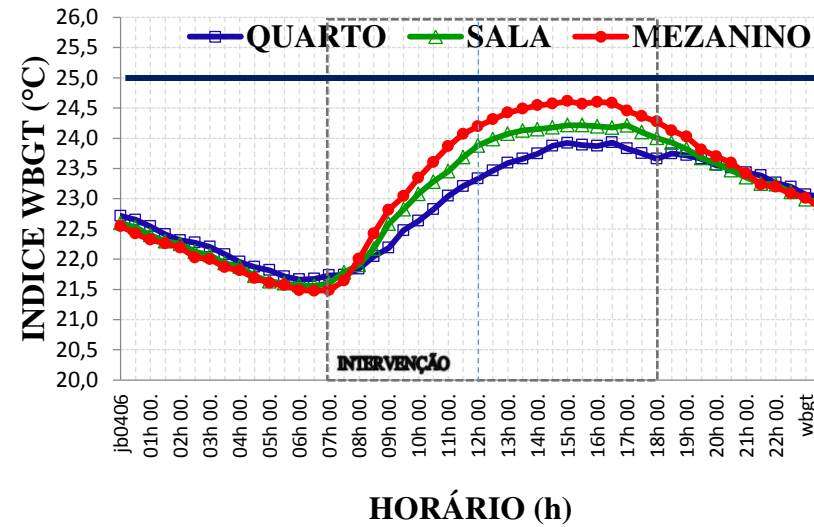


Figura 33- Curvas do Índice WBGT por hora. Quarto, sala e mezanino. Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado

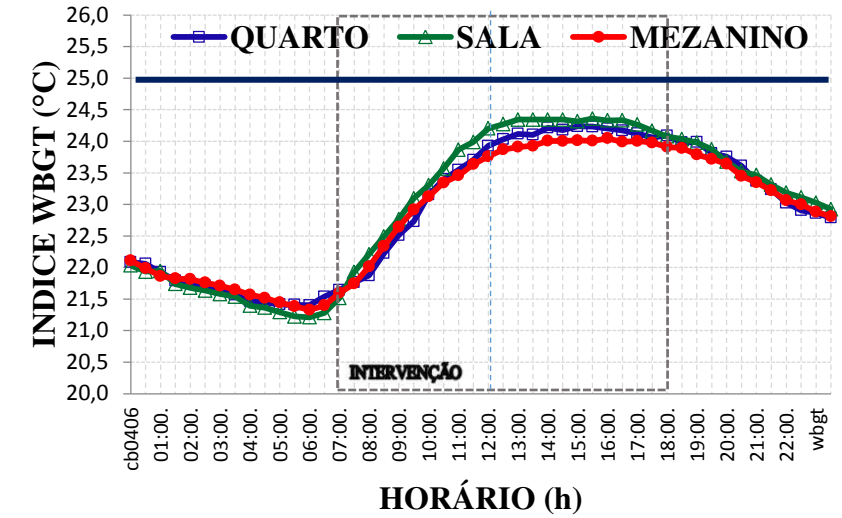


Figura 34- Curvas do Índice WBGT por hora. No quarto sala e mezanino. Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada

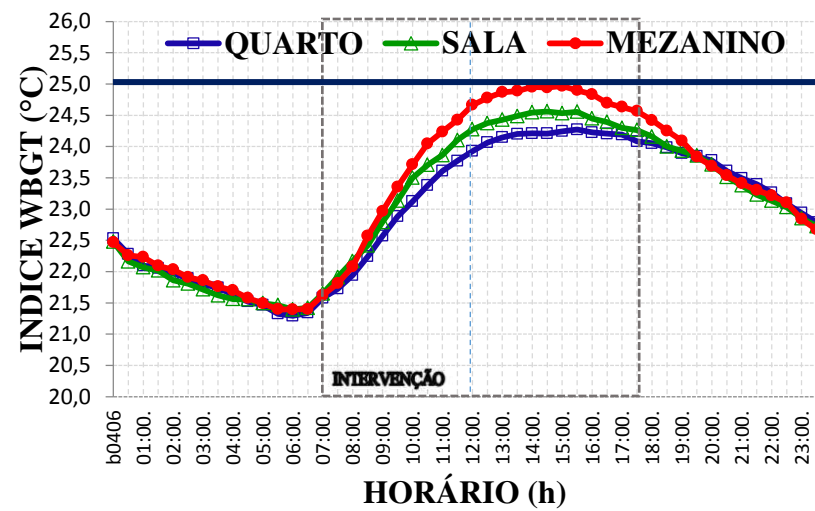


Figura 35 - Curvas do Índice WBGT por hora. No quarto, sala e mezanino. Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechados

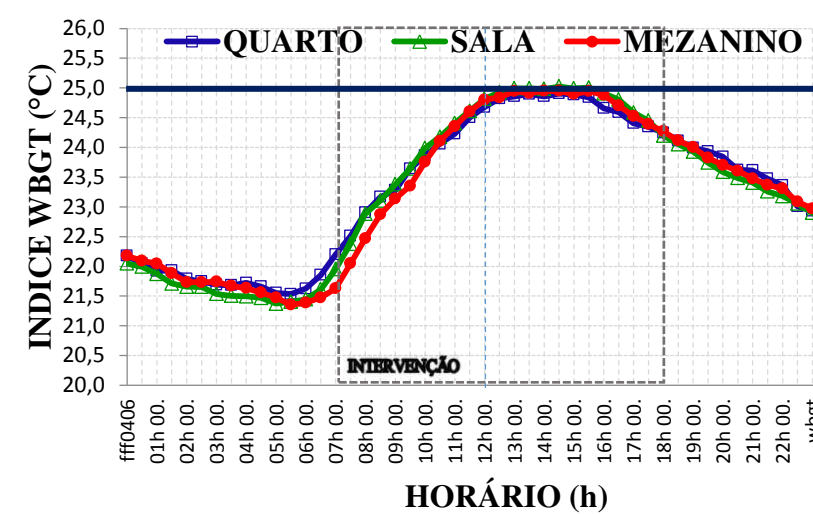


Figura 36 - Curvas do Índice WBGT por hora do quarto, sala e mezanino, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados

Cunha (2013) realizou trabalho visando analisar o conforto térmico de residência construída na cidade de Campina Grande cuja habitação é caracterizada pelo uso da ventilação cruzada por pé-direito elevado e aberturas de ventilação posicionadas em diferentes alturas relativas ao solo. Destaca-se que a tipologia da habitação estudada por Cunha (2013) é semelhante à habitação estudada no trabalho que subsidiou a dissertação ora apresentada. No caso do WBGT e considerando todos os padrões de ventilação estabelecidos, os ambientes avaliados são toleráveis à realização de atividades com taxa metabólica acima de 200 W.m^{-2} , em regime intermitente de trabalho, sem prejuízos à saúde e à produtividade humana.

Uma comparação detalhada entre os dados registrados por Cunha (2013) e os resultados obtidos no trabalho em tela, aponta para adequabilidade desse modelo habitacional tanto para o período de inverno como na estação de verão considerando-se que as pesquisas foram executadas em cidades distintas.

5.1.2.2 Índice de Desconforto (DI)

Este índice é de fácil utilização, sobretudo pela simplicidade na obtenção de dados sendo necessária apenas a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, obtidos com dois termômetros simples. No entanto, não considere a temperatura radiante e atividade individual.

Thom (1959) propôs faixas interpretativas que associam os limites de conforto às sensações de satisfação ou insatisfação com o ambiente térmico, por parcelas da população. Para que a totalidade da população não apresente desconforto, DI deve ser inferior $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Para que a minoria da população apresente desconforto térmico, o DI deve se encontrar na faixa de 70 a $75 \text{ }^\circ\text{C}$. No caso da maioria das pessoas se sentir desconfortável termicamente o DI varia de 75 a $79 \text{ }^\circ\text{C}$. Por fim, no caso de insatisfação generalizada, DI é superior a $79 \text{ }^\circ\text{C}$.

Porém, o Índice de Desconforto não atesta, em sua classificação do ambiente térmico, qual o fator definidor se a sensação de desconforto ocorre em razão de frio ou resultado de temperatura elevada.

Para o trabalho alvo da presente dissertação foram procedidas intervenções, no horário das 7 às 18 h, por manipulação das aberturas nos ambientes da sala, do quarto com laje e do mezanino; esses recintos podem ser caracterizados, segundo DI, como termicamente confortáveis ou não, para os diversos tratamentos, conforme apresentadas nas Figuras 38 a 42.

Os dados relativos ao Índice de Desconforto são apresentados nas figuras de 37 a 41. Observa-se o comportamento das médias horárias considerando do período de intervenção das 7 às 18 h para os mais diferentes tipos de tratamentos. A área destacada é classificada como Zona em que a maioria das pessoas estão satisfeitas termicamente.

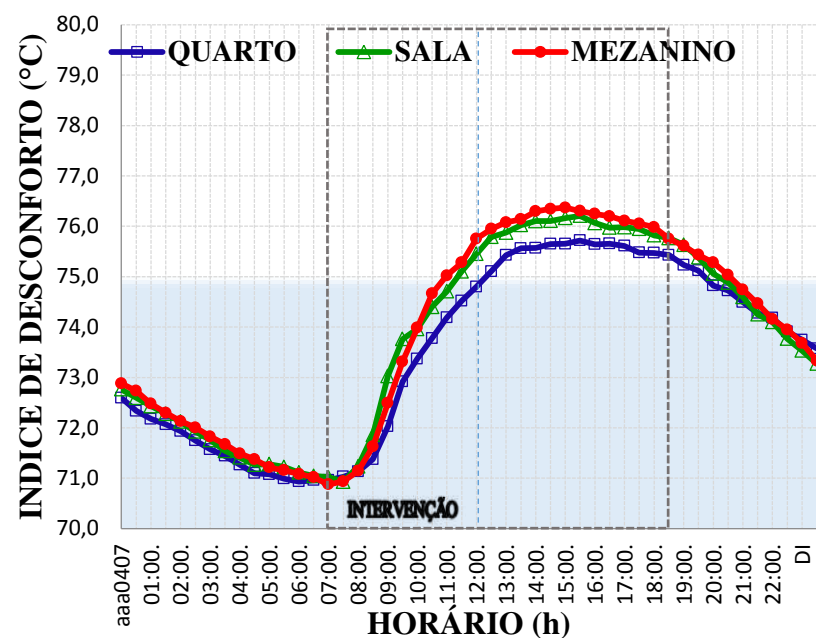


Figura 37 - Curvas de DI por hora do quarto, sala e mezanino, para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.

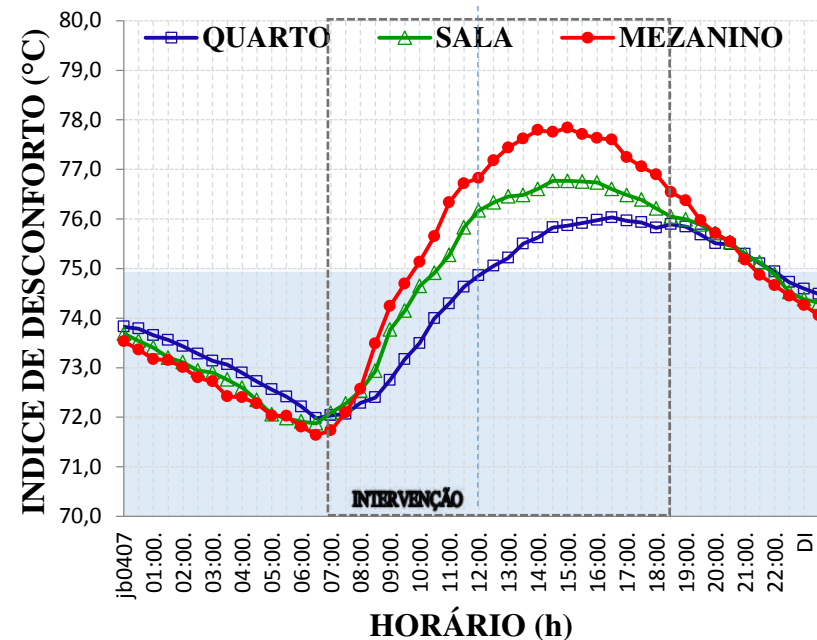


Figura 38 - Curvas de DI por hora quarto, sala e mezanino, para Bandeira e Janela abertas. Cobogó Fechado.

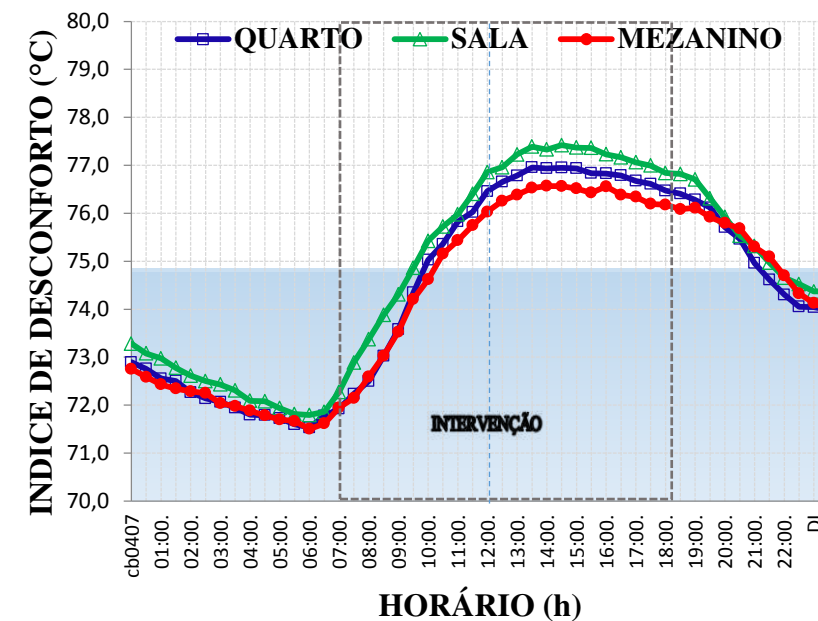


Figura 39 - Curvas de DI por hora do quarto, sala e mezanino, para Bandeira e Cobogó aberto. Janela fechada.

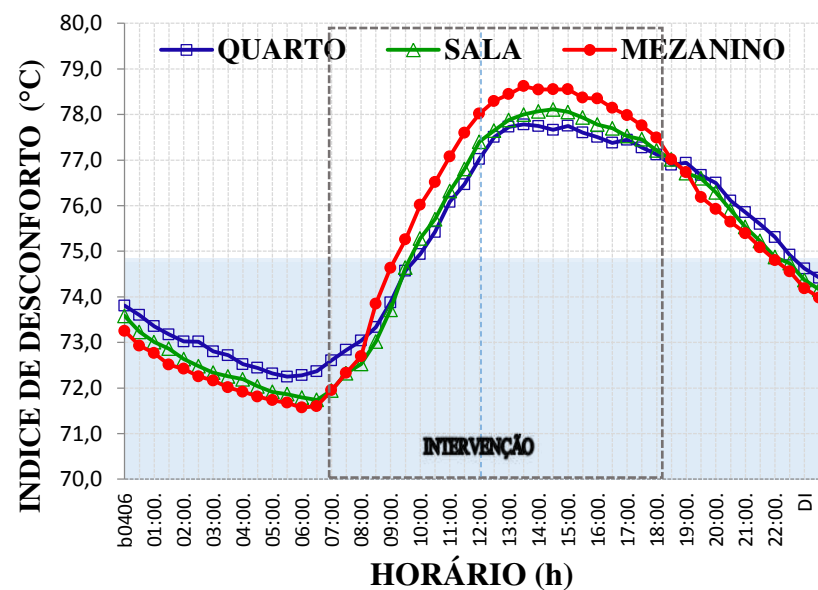


Figura 40 - Curvas de DI por hora. Quarto, sala e mezanino, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela Fechadas

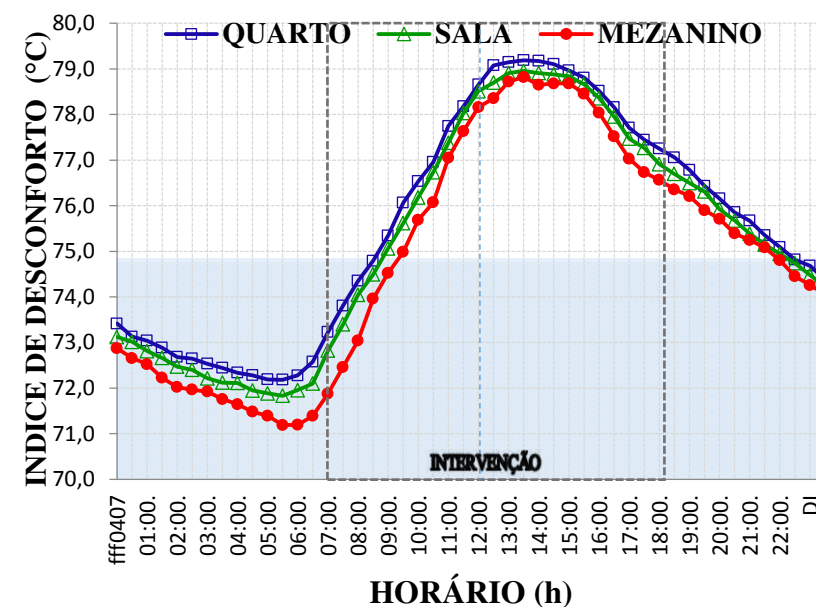


Figura 41- Curvas de DI por hora. quarto, sala e mezanino, para Bandeira, Cobogó e Janela Fechados

Analisando, de forma detalhada e nos horários de observação em todos os ambientes avaliados e para todos os tratamentos, o DI não atingiu a faixa de desconforto generalizado. Excetua-se, para esta assertiva, o caso do tratamento com todas as aberturas fechadas quando o Índice de Desconforto atingiu o valor de 79,1 °C, do quarto com laje. O índice ultrapassou esse valor em curto intervalo de tempo, entre 13 e 14 h, aproximadamente. Deve-se considerar que este tratamento, ou seja, uma rotina de manipulação de abertura de ventilação em que todas as esquadrias estão fechadas, não representa hábito usual dos habitantes de uma edificação, para a ocasião em que os mesmos estão realizando algum tipo de atividade laboral ou de lazer. Em geral, os indivíduos procuram, ao acordar, abrir algum tipo de captor e/ou exaustor de vento, esquadrias, antes de iniciar as atividades do dia.

Durante o tratamento Bandeira, Janela e Cobogós abertos, os três ambientes analisados apresentaram comportamento térmico mais favorável com valor de DI variando entre 71 e 75,5 °C, para o quarto. Para a sala e o mezanino oscilou entre 71 e 76,5 °C, para o período das 7 às 18 h, aproximadamente. Neste tipo de tratamento, o índice indica que os ambientes são caracterizados como de “satisfação para a maioria” em todo o turno da manhã e para todos os ambientes. Para o turno da tarde observa-se “satisfação para a minoria”.

Conclui-se que os ambientes da sala, quarto com laje e mezanino são caracterizados, segundo DI, como termicamente confortáveis durante o turno matutino. No entanto, deve-se adotar medidas para melhorar o conforto da habitação no turno da tarde.

5.1.2.3 Índice de Temperatura de Umidade (THI)

O THI é um índice muito usado em razão de requerer dados meteorológicos facilmente disponibilizados nas estações meteorológicas e em bancos de dados. A agregação de variáveis como umidade relativa do ar e a temperatura do ar, favorecem uma profícua análise de conforto térmico.

Considerando o estudo de avaliação pelo Índice de Temperatura e Umidade (THI), tem-se uma escala simétrica composta por uma faixa central que se trata da “faixa confortável”, oscilando entre 22 e 25 °C. Na proporção em que os valores do índice reduzem, a caracterização do desconforto proveniente pelo frio se acentua. Desta forma, o ambiente se encontra em “ligeiramente frio”, “frio moderado”, “frio” e “muito frio” se estiver, respectivamente, nas faixas constituídas no limite de 22 a 19 °C, 19 a 16 °C, 16 a 13 °C e menor que 13°C.

Com os valores acima da faixa central constata-se um desconforto em razão da situação quente. Neste caso, o ambiente pode ser considerado ligeiramente quente, quente moderado, quente ou muito quente, se estiver nas faixas definidas, respectivamente, entre 25 a 28 °C, 28 a 31 °C, 31 a 34 °C e maior que 34 °C.

No caso da pesquisa alvo desta dissertação, foram realizados os tratamentos dos ambientes em estudo e coletados os dados concernentes à temperatura do ar e umidades relativas do ar. Foi procedido o estudo de caracterização do ambiente, de acordo com o Índice de Temperatura e Umidade (THI), conforme apresentadas nas Figuras 43 a 47.

Quanto ao desconforto pelas condições de ser temperatura elevada, verifica-se para o tratamento Bandeira, Cobogó e Janela abertos, que o mezanino se apresentou “ligeiramente quente”, durante o intervalo compreendido entre 13:30 e 19:30 h, aproximadamente. Os valores obtidos para o THI, foram, neste intervalo, ligeiramente maiores que 25,0 °C, chegando a 25,33 °C às 18 h para a sala. Esses valores podem ser considerados quase no limite superior da faixa “confortável”. Para o quarto com laje, em nenhum momento o valor do THI ultrapassou este limite.

Para o tratamento Bandeira, Cobogó aberto e Janela fechada, verifica-se que as curvas do THI para os três ambientes apresentam comportamento e valores próximos. A sala foi o ambiente que apresentou os maiores índices para este tratamento atingindo o valor máximo de 25,35 °C, por volta das 14:30 h, enquanto o mezanino ficou com os menores valores, o que pode ser justificado pela abertura dos cobogós.

Quando o cobogó e a janela foram fechados, mantendo bandeira aberta, ocorreu uma elevação no THI do mezanino durante o período de intervenção enquanto as variações no THI do quarto e da sala foram imperceptíveis. O valor máximo do THI para o mezanino chegou a 26,06 °C às 13 h. Este ambiente entrou na zona “ligeiramente quente” depois das 10 h, permanecendo neste patamar até depois das 19:30 h, enquanto a sala e o quarto permaneceram ligeiramente quentes num intervalo um pouco menor, das 12 às 19 h.

Para o tratamento Bandeira, Cobogó e Janela fechada, verifica-se que as curvas do THI, para os três ambientes, voltam a apresentar comportamento e valores assemelhados entre si, sofrendo todos eles elevação no THI, porém sem ultrapassar muito o patamar de 26 °C, permanecendo na zona denominada “ligeiramente quente”. Mesmo para o tratamento com todas as aberturas fechadas, o que não é usual para os habitantes de uma edificação durante o período de intervenção e considerando, através das faixas interpretativas de THI, é possível concluir que os ambientes analisados apresentam apenas um pequeno desconforto para seus habitantes.

Os dados relativos ao Índice de Desconforto são apresentados nas figuras de 43 a 47. Observa-se o comportamento das médias horárias considerando do período de intervenção das 7 às 18 h para os mais diferentes tipos de tratamentos. A área destacada é classificada como Zona em que as pessoas estão satisfeitas termicamente e engloba a faixa CONFORTÁVEL.

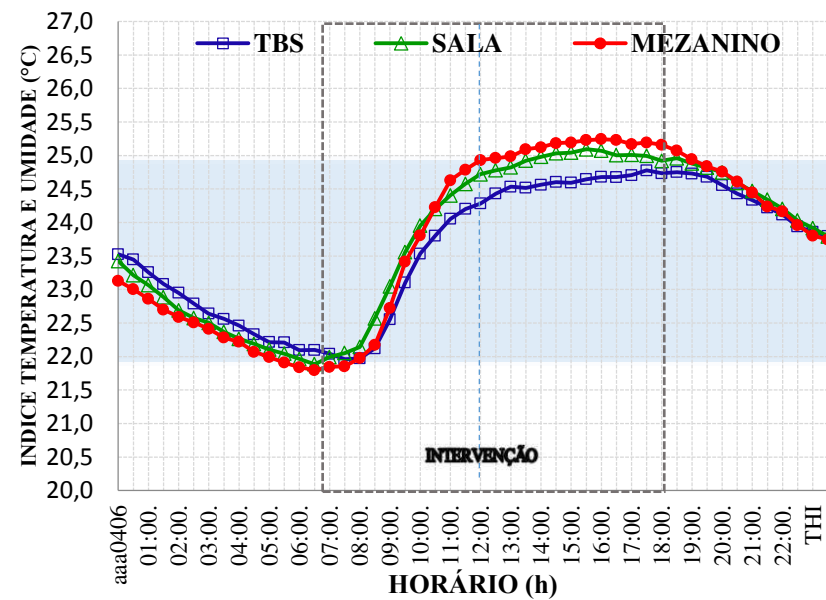


Figura 42 - Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos.

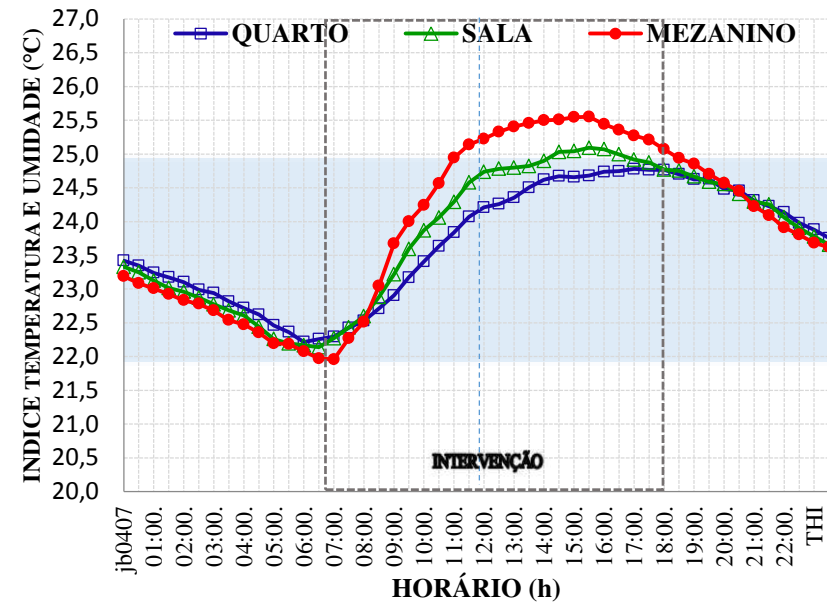


Figura 43- Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Janela abertas. Cobogó fechado.

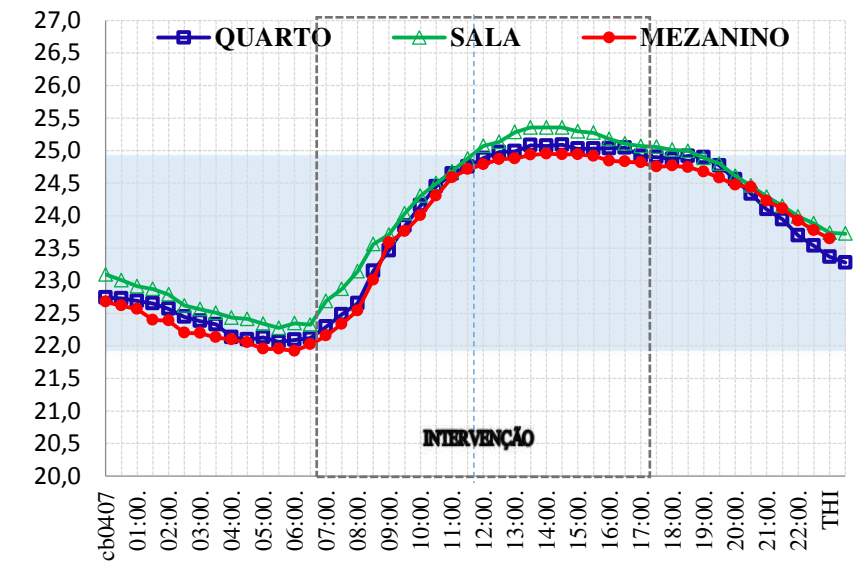


Figura 44 - Curvas de THI QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada.

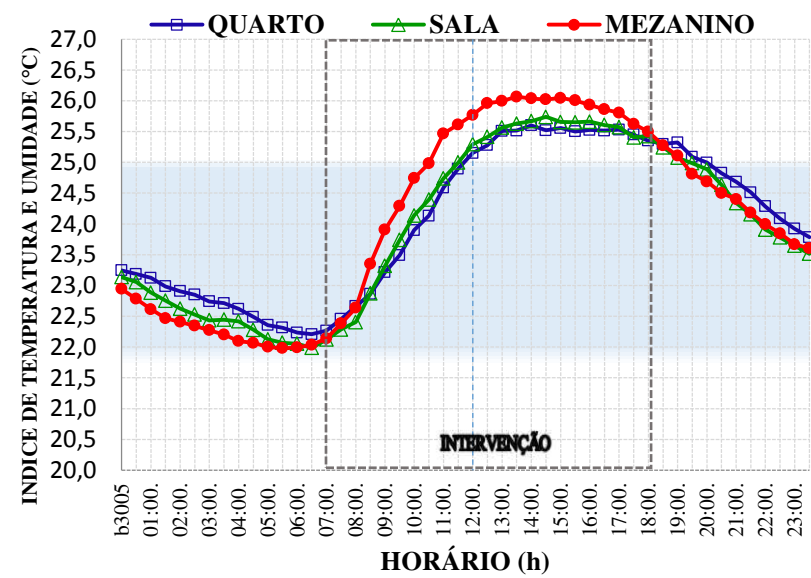


Figura 45 - Curvas de THI do QUARTO, SALA e MEZANINO para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados.

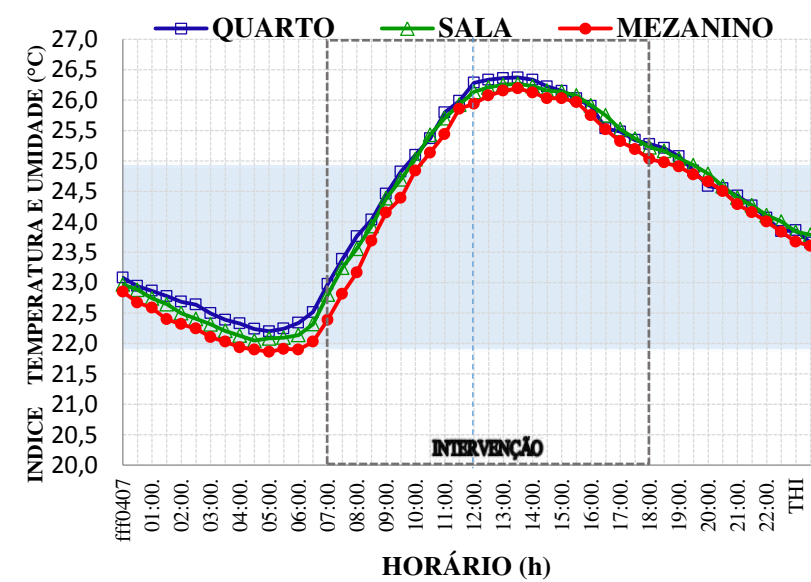


Figura 46 - Curvas de THI do QUARTO, SALA E MEZANINO, para Bandeira, Janela e Cobogó fechados

A pesquisa realizada por Cunha (2013) para avaliação do conforto térmico de habitação construída em campina Grande e cuja tipologia é assemelhada à habitação estudada no trabalho que subsidiou a dissertação, ora apresentada, observou-se que, segundo o THI, a sala e o mezanino são caracterizados como desconfortáveis por frio, quando da realização de atividades leves por pessoas vestidas com roupas normais de trabalho.

5.1.3- Índices térmicos com variáveis físicas e parâmetros individuais

5.1.3.1 Voto Médio Predito (PMV) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

Nesta dissertação, que ora é apresentada e objetiva a caracterização da Eco Residência Rural edificada no semiárido paraibano, foi utilizado o Software Analysis Bios, multi-plataforma livre e disponibilizado pela Universidade Federal de Santa Catarina para procedimento dos cálculos de PMV/PPD.

Considerando que o modelo habitacional em estudo não se encontrava habitado, foram previstas duas simulações que variavam com o horário, de acordo com o que é mostrado nos Quadros 14 e 15.

Simulação 1:

Quadro 14 - Valores das atividades e vestimentas simulação 1 do cálculo do PMV/ PPD

Horário	Atividade (w.m⁻²)	Vestimenta (clo)
0 às 6 h	Deitado (46)	Camisa comprida e calça grossa (0,716)
6 às 22 h	Sentado, relaxado (58)	Cueca, camiseta, calça fina (0,40)
22 às 0 h	Deitado (46)	Camisa comprida e calça grossa (0,716)

As curvas de PMV e PPD para todos os tratamentos são, nesta simulação, apresentadas nas Figuras 47 a 56, respectivamente. O trecho em destaque se trata da zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas, variando de 1,5 a -1,5, com percentual inferior a 50% de insatisfeitos.

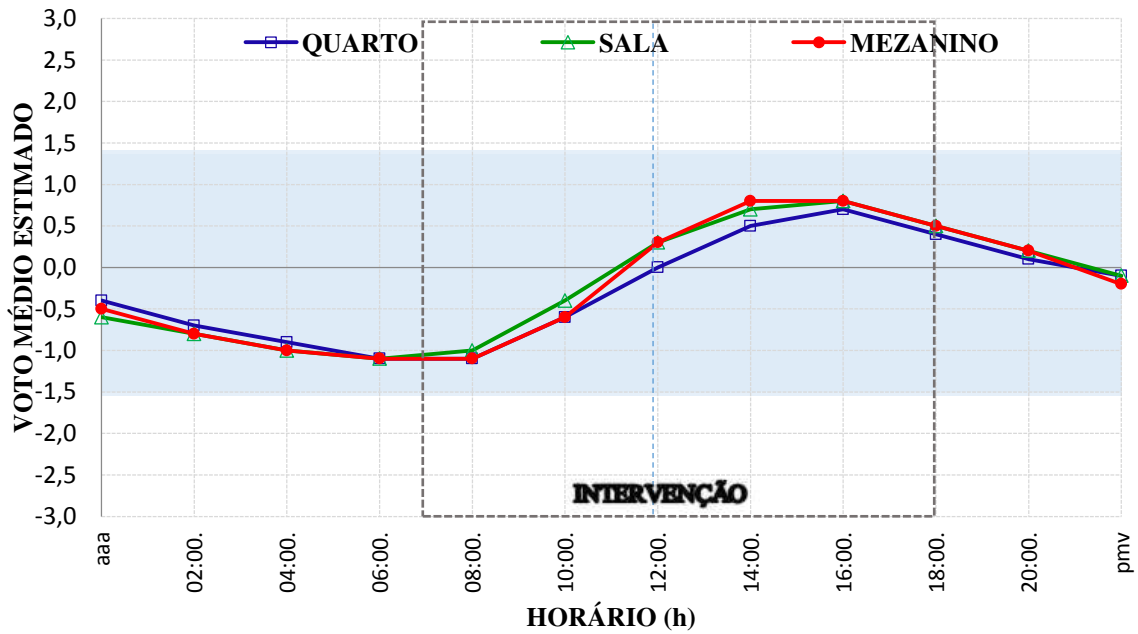


Figura 47 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 1)

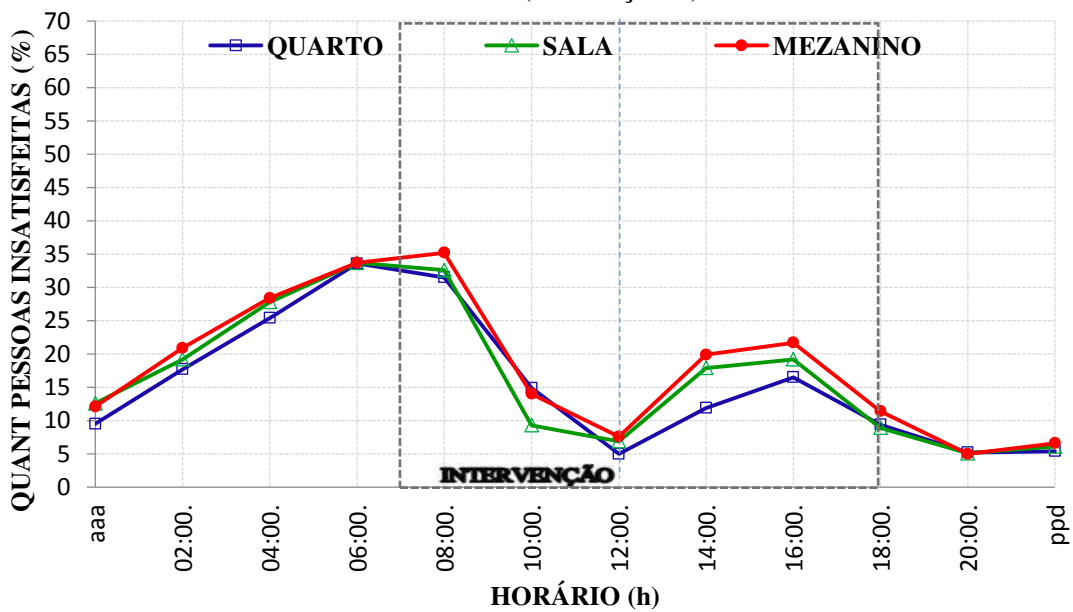


Figura 48 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 1)

Para o primeiro tratamento analisado, em que as esquadrias em estudo e os elementos vazados estão todos abertos, os três ambientes apresentam comportamento de forma bastante assemelhada tanto para o PMV quanto para o PPD, durante o período de intervenção, que vai das 7 às 18 h. Por volta das 8 h eles estão com o valor mínimo de -1,1 para o PMV, o que classifica o ambiente como ligeiramente frio. Neste ponto, o percentual de pessoas

insatisfeitas, com desconforto pelo frio atingiu seu máximo com um valor de 35,2 % para o mezanino, e 32,6 % para a sala e o quarto com laje.

Depois deste horário os ambientes começaram a entrar na zona de neutralidade térmica ($-0,5 < PMV < 0,5$), o que ocorreu das 10 às 14 h para o quarto enquanto que para a sala e para o mezanino este intervalo foi um pouco menor, das 10 às 13 h. Verifica-se uma diferença no comportamento térmico entre os ambientes em estudo entre 10 e 16 h, período em que o quarto permanece termicamente mais confortável, enquanto o mezanino e a sala mantiveram comportamentos similares, embora todos os ambientes tenham permanecido numa zona classificada como ligeiramente quente, aí permanecendo até as 18 h. Neste intervalo o mezanino e a sala apresentaram o maior índice de PMV, cujo valor é 0,8 e ocorreu das 14 às 16 h, respectivamente. O maior percentual de insatisfeitos pela temperatura elevada foi verificado no intervalo das 14 às 16 h, simultaneamente para os três ambientes, sendo que o mezanino foi o que apresentou maior valor, 21,7%, enquanto o quarto ficou com o menor percentual, 16,5 %, ficando a sala numa situação intermediária, com o percentual de 19,2%. Esses resultados estão coerentes com o esperado, de acordo com o gráfico de PPD, em função do PMV.

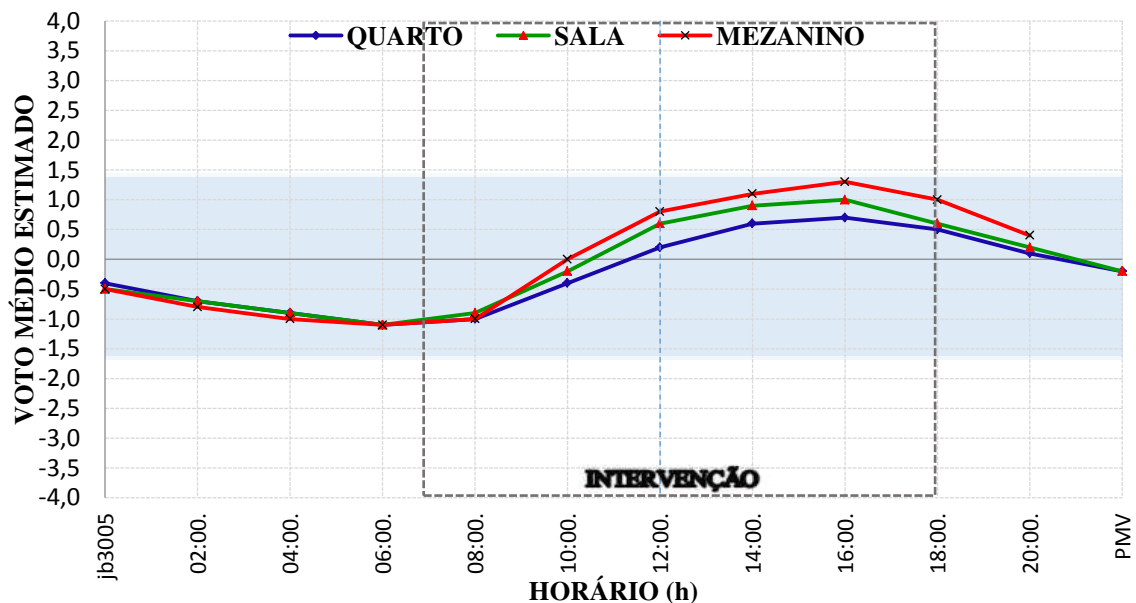


Figura 49 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta, Cobogó fechado (Simulação 1)

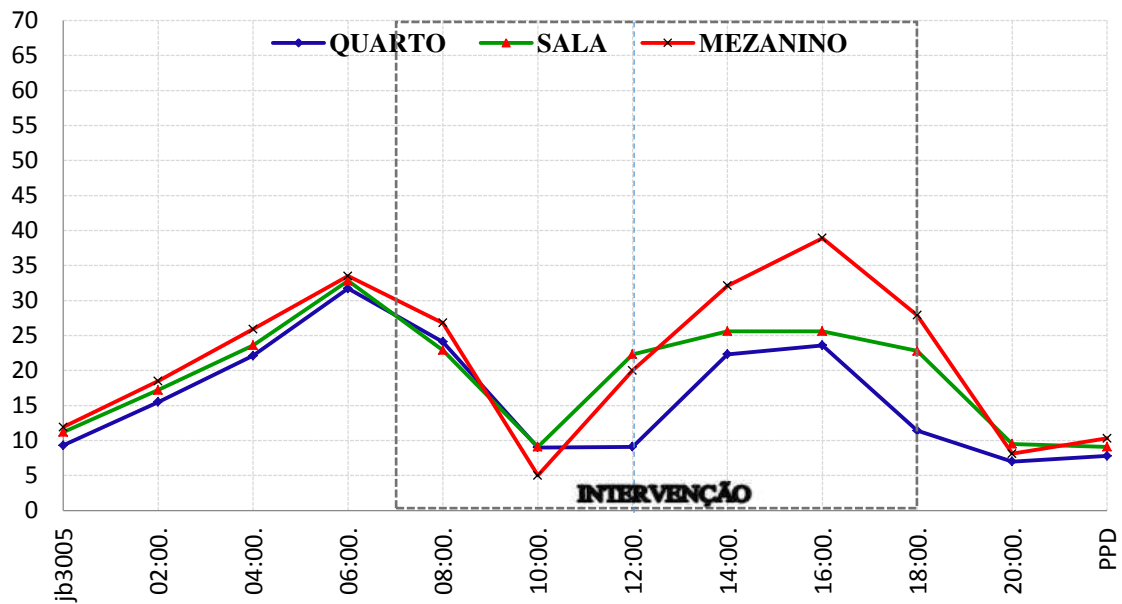


Figura 50- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela aberta, Cobogó fechado (Simulação 1)

Estudando o horário de intervenção da abertura de esquadrias e para o tratamento Bandeira e Janela abertas, sendo o cobogó fechado, observa-se que durante o período que vai das 7 às 9 h, aproximadamente, todos os ambientes analisados estão na zona considerada ligeiramente fria com $-1 < PMV < -0,5$ e PPD entre 5 e 35% aproximadamente. Entre 9 e 11 h, a sala e o mezanino se situam na zona de neutralidade térmica sendo que, por volta das 10 h, o mezanino está na zona de conforto ótima ($PMV = 0$ e $PPD = 5\%$), enquanto a sala só atinge esse ponto alguns minutos depois. No turno vespertino, a sala permanece na zona ligeiramente quente, atingindo os índices máximos às 16 h, com $PMV = 1$ e $PPD = 25,6\%$. Por sua vez, o mezanino pode ser classificado, no intervalo das 14 às 18 h, como ambiente da zona quente, atingindo o máximo de insatisfação às 16 h, com $PMV = 1,3$ para o total de insatisfeitos termicamente pelo calor de 38,9 %. Em relação ao quarto, este atingiu o valor 0 para o PMV, próximo das 11 h, mantendo-se na zona de neutralidade térmica até as 14 h. Como ocorreu com os outros ambientes, o quarto alcançou índices máximos ($PMV = 0,7$ e $PPD = 23,6$) também às 16 h. Em seguida, os índices dos três ambientes voltam a cair, entrando na zona de neutralidade térmica depois de passado o período de intervenção.

Como o cobogó é a única abertura dentre as que estão em análise, que se encontra fechada, verifica-se que, na maior parte do período analisado, o mezanino apresenta o maior índice de insatisfeitos em relação aos outros ambientes que estão recebendo ventilação através das bandeiras e janelas. O valor máximo do PMV para o mezanino vale 1,3, que corresponde à zona quente para o ambiente e ocorreu por volta das 16 h. Em relação ao quarto e à sala, o

PMV se manteve durante todo tempo entre -1 e +1 e, por isso o percentual máximo de insatisfeitos não ultrapassou os 25 %.

Para os tratamentos em que apenas a janela está fechada os valores do PMV e PPD estão apresentados nos gráficos das Figuras 51 e 52.

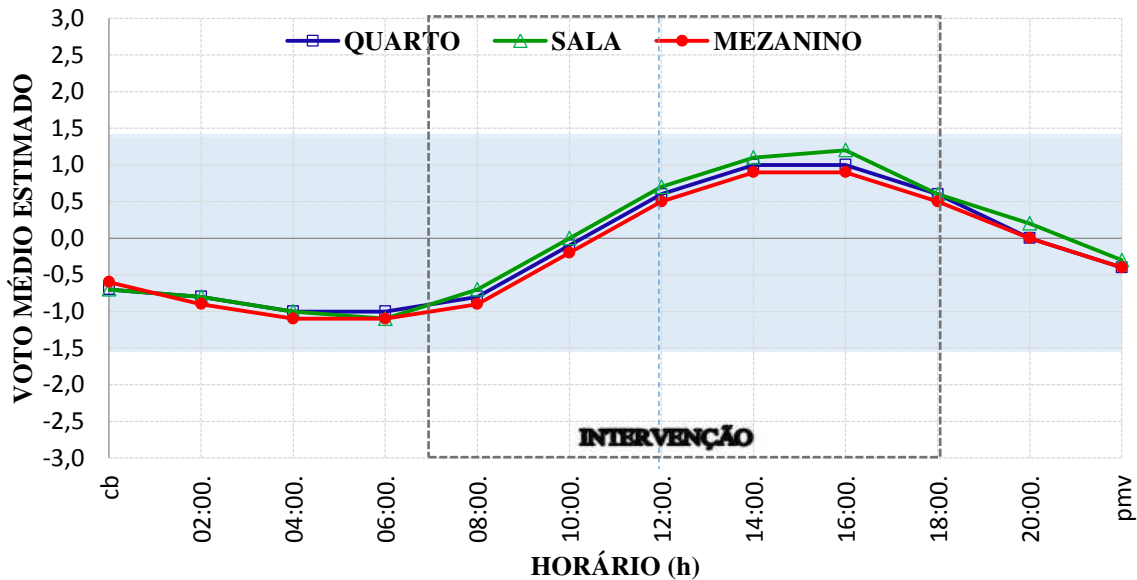


Figura 51 - Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 1)

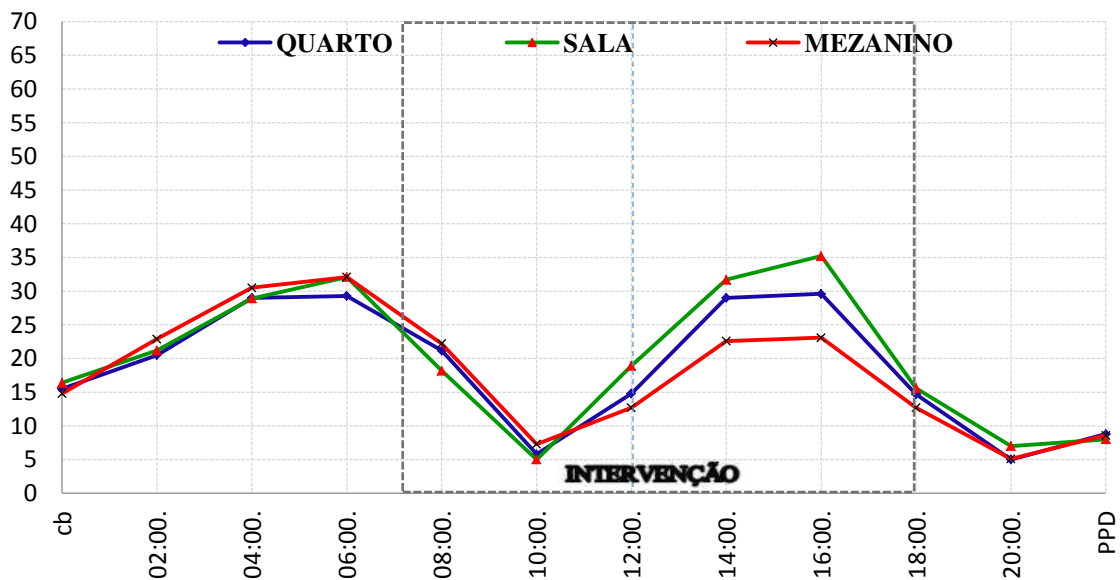


Figura 52 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 1)

No tratamento, onde a janela é o único vão de captação de vento que se encontra fechada, os três ambientes apresentam comportamento semelhante entre si tanto para o PMV

como para o PPD. Entre 7 e 9 h, os ambientes podem ser classificados como ligeiramente frio, com um percentual de insatisfeitos entre 5 e 25 %. Das 9 até às 12 h, o mezanino, a sala e o quarto com laje podem ser classificados como ambientes termicamente neutros. Neste intervalo verifica-se que o percentual de insatisfeitos cresce pela temperatura elevada. Após as 13 h a sala entra na zona quente, que vai até as 18h, sendo que o máximo ocorreu às 16h, com $PMV= 1,2$ e $PPD= 35,2 \%$. O quarto e o mezanino ficaram na zona quente das 12 às 18 h, com $PMV= 1$ e $PPD= 29,6 \%$ para o quarto, enquanto que o mezanino foi o mais confortável termicamente com $PMV= 0,9$ e $PPD= 23,1 \%$. Em seguida, todos os índices voltam a cair, alcançando a maior neutralidade térmica depois das 20 h.

O fato de o mezanino ser o que apresenta menores índices na maior parte do tempo, pode ser explicado pela sua localização e o tamanho das aberturas dos elementos vazados. A ventilação recebida através das bandeiras não é suficiente para deixar o quarto e a sala mais refrigerados que o mezanino. Esses resultados, embora dependam de fatores individuais, tais como vestimentas e atividades metabólicas estão condizentes com a temperatura, que atinge seu máximo entre 14 e 16 h.

O tratamento em que apenas a Bandeira se encontra aberta tem seus resultados para PMV e PPD mostrados nas Figuras 53 e 54.

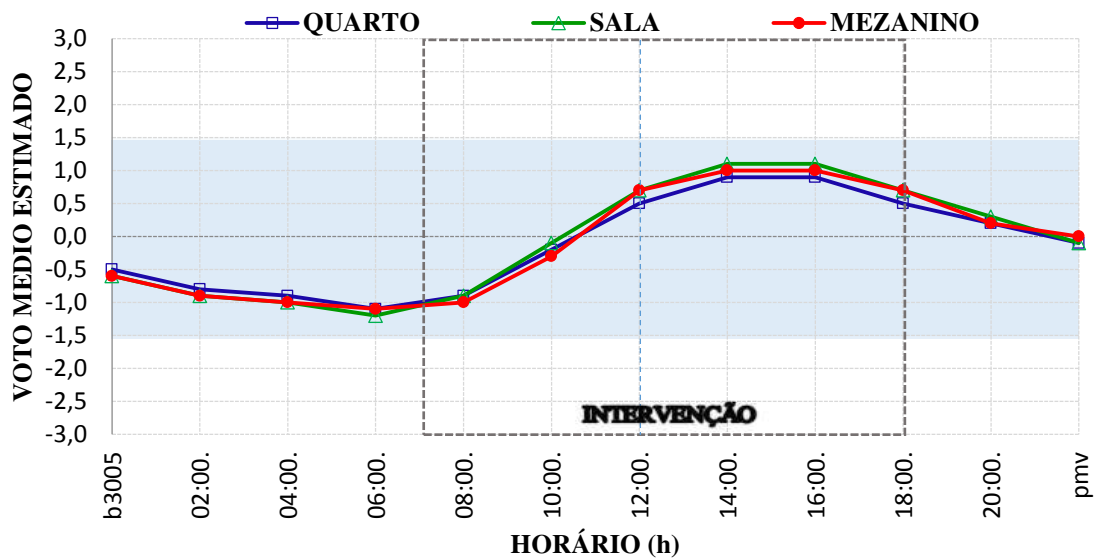


Figura 53- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada (Simulação 1)

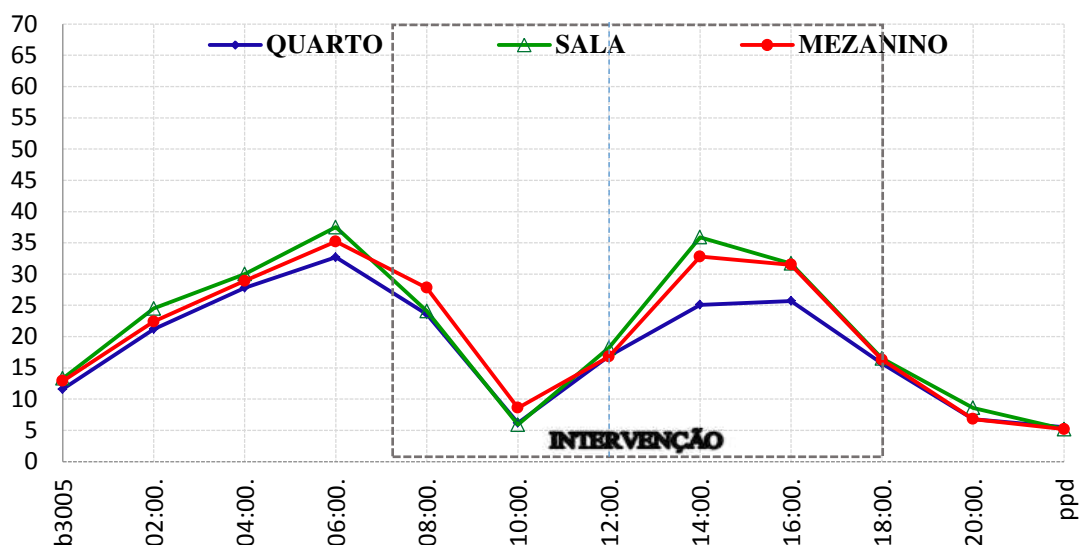


Figura 54 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta.
Cobogó e Janela fechada (Simulação 1)

Para o período de intervenção de abertura dos ambientes e considerando o tratamento em que apenas a bandeira se encontra aberta, os recintos apresentam entre si, valores muito próximos para PMV e PPD, durante todo o tempo de intervenção. Às 7 h, eles estão na zona ligeiramente fria com $PMV = -1$ para os três ambientes e PPD em torno de 30 %. Depois desse horário o desconforto pelo frio começa a diminuir, atingindo a zona termoneutra, poucos minutos depois das 10 h, com $PMV = 0$ e PPD próximo de 5%. A zona de neutralidade térmica é deixada pelos ambientes, por volta das 12 h. Entre 12 e 18 h, verifica-se que a sala é ambiente classificado como o mais quente. Por sua vez, o quarto se mostra como o mais confortável termicamente, e se encontra na zona ligeiramente quente, com valor máximo de 0,9 para o PMV e 25,7 % para o PPD das 14 às 16 h. Neste intervalo de tempo, embora o mezanino também permaneça na zona ligeiramente quente, seu PMV máximo vale 1 das 14 às 16, e PPD máximo de 32,8 %.

O tratamento em que todos os elementos de manipulação se encontram fechados tem seus resultados para PMV e PPD mostrados nas Figuras 55 e 56.

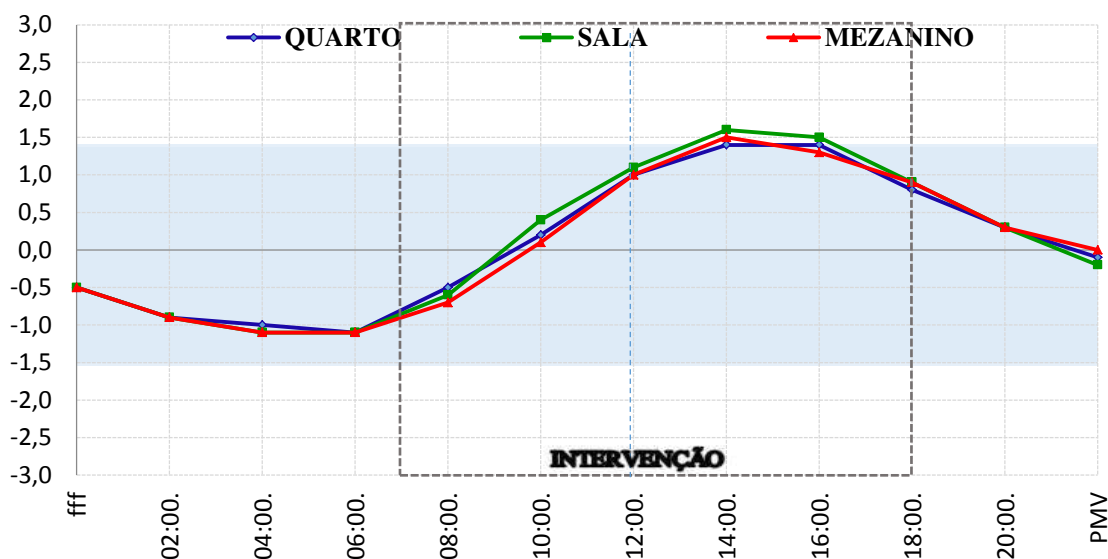


Figura 55- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Simulação1)

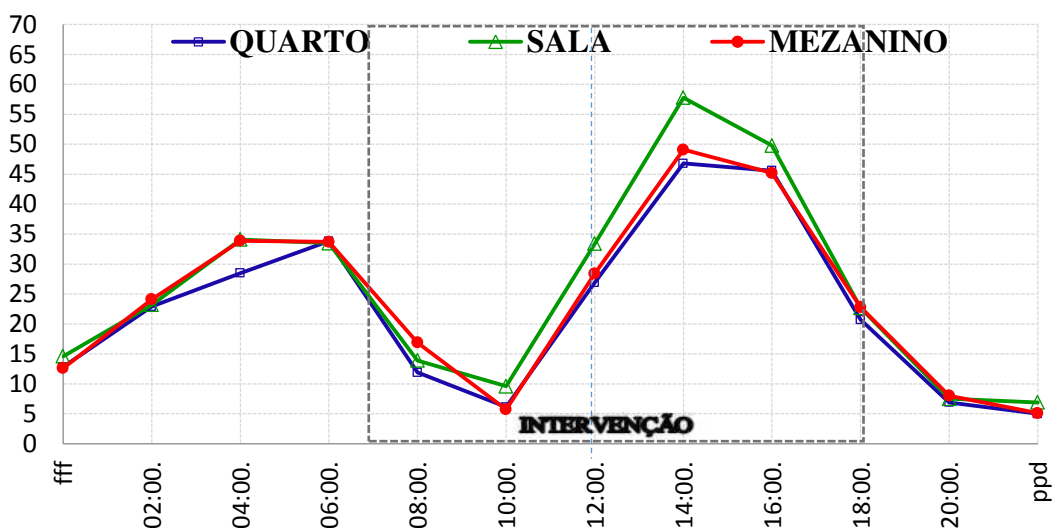


Figura 56 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Situação 1)

Para o tratamento em que todas as captações de vento estão fechadas, verificam-se semelhanças no comportamento das curvas em relação aos resultados anteriores, tanto para o PMV quanto para o PPD. A diferença está nos valores dos índices, que são maiores para este tratamento, no intervalo onde a temperatura é mais alta, entre 12 e 17 h, em todos os ambientes avaliados. Como consequência, ocorre maior desconforto pelo calor, com pelo menos metade de pessoas declarando insatisfação, no intervalo entre 14 e 16 h. A sala é o ambiente classificado como o mais quente alcançando os valores mais elevados para os

índices às 14 h, com $PMV = 1,6$ e $PPD = 57,8 \%$, sendo seguida pelo mezanino que, neste mesmo horário, também atinge os valores máximos ($PMV = 1,5$ e $PPD = 49,1$). O quarto se mantém com seu patamar máximo ($PMV = 1,4$ e $PPD = 46,8 \%$) das 14 às 16 h. No restante do tempo avaliado os valores dos índices variam entre -1 e 1 para o PMV e de 3 a 35% para o PPD, com o conforto ótimo sendo alcançado entre 9 e 10 h, aproximadamente.

No intervalo de tempo em que a simulação considerou os indivíduos deitados, que vai das 22 às 6 h, o comportamento das curvas foi semelhante para todos os tratamentos visto que durante a noite as esquadrias e os elementos vazados se encontravam fechados. O PMV se manteve entre -0,5 e -1, intervalo que caracteriza o ambiente como ligeiramente frio, enquanto o percentual de insatisfeitos pelo frio, o PPD correspondente, variou entre 10 e 35%, aproximadamente.

Os resultados apresentados nas Figuras 41 a 50 mostram coerência em todos os ambientes analisados, para todos os tratamentos visto que, à medida que o PMV se aproxima da zona de neutralidade térmica, o percentual de insatisfeitos, calculado pelo PPD, diminui, chegando a valores próximos de 5% para $PMV = 0$. Esses resultados podem ser considerados bons, visto que, de acordo com a ISO 7730/94, na condição de conforto ótimo ($PMV = 0$) o valor do PPD é de 5%.

De maneira geral, a caracterização dos ambientes estudados em função de PMV e PPD no período de verão, no horário vespertino, considerando que pessoas se encontram sentadas e relaxadas ($M = 58 \text{ W.m}^{-2}$), elas percebem o ambiente térmico da sala, quarto e mezanino como ligeiramente quente, mesmo quando expostas à maior ventilação (janelas, bandeiras e cobogós abertos). Por outro lado, no horário matutino, até antes das 10 h, os ambientes podem ser classificados termicamente como ligeiramente frio, mesmo quando todas as esquadrias e elementos vazados estão fechados. Os resultados mostram que o conforto ótimo é atingido mais ou menos no mesmo horário, isto é, em torno de 10 h, para todos os ambientes, com algumas variações.

Analisando os gráficos apresentados decorrentes de estudo de PMV e PPD para a situação, verifica-se, para todos ambientes e em todos os tratamentos, que os mesmos podem ser classificados como confortáveis termicamente. Excetua-se apenas a sala para o tratamento com todos os elementos fechados no horário das 13 às 16h.

Conforme mencionado anteriormente, no período diurno, comumente os habitantes de qualquer edificação mantêm aberto algum tipo de elemento de captação de vento.

Simulação 2

A simulação 2, considerando atividade desempenhada e vestimenta, está descrita no Quadro 15. Observa-se que, em relação à simulação 1, ocorreu apenas a mudança da atividade desempenhada no horário entre 6 e 22 h.

Quadro 15 - Valores atividades e vestimentas. Simulação 2 para o cálculo do PMV/PPD

Horário	Atividade ($w.m^{-2}$)	Vestimenta (clo)
0 às 6 h	Deitado (46)	Camisa comprida e calça grossa (0,716)
6 às 22 h	Em pé, atividade doméstica (116)	Cueca, camiseta, calça fina (0,40)
22 às 0 h	Deitado (46)	Camisa comprida e calça grossa (0,716)

As curvas de PMV e PPD, para todos os tratamentos, são, na segunda simulação, apresentadas nas Figuras 57 a 66, respectivamente. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas

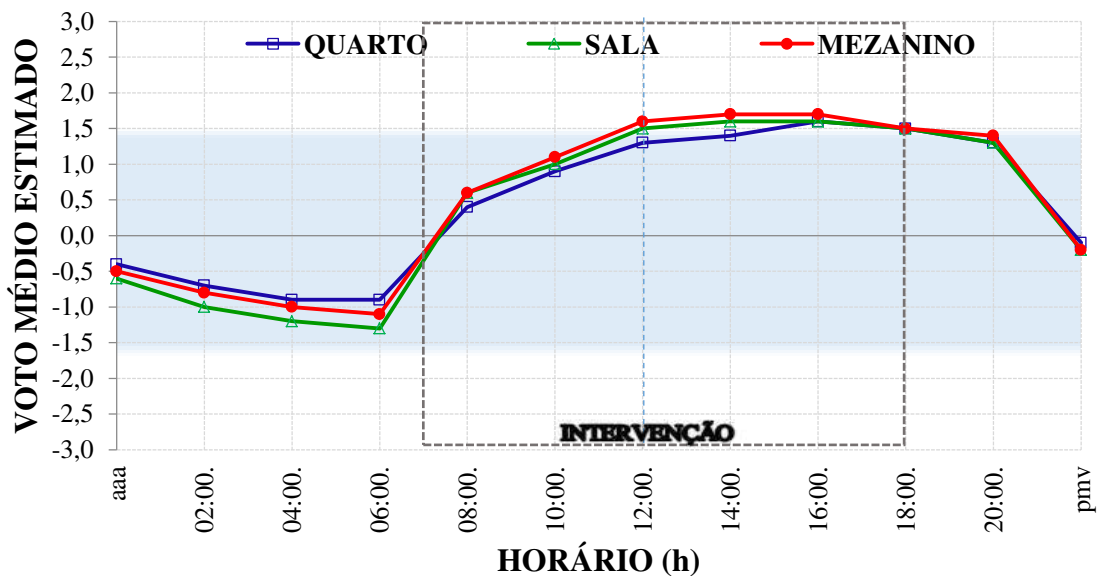


Figura 57- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertos (Simulação 2)

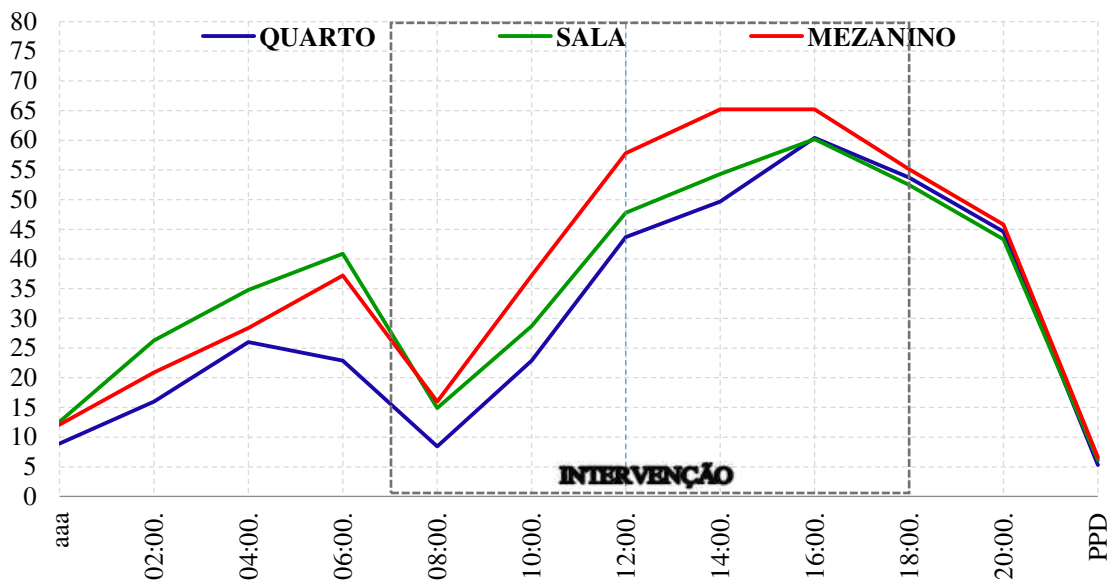


Figura 58- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela abertas (Simulação 2)

As curvas de PMV e PPD, para o tratamento considerando-se janela/bandeira abertas são apresentadas nas Figuras 60 e 61, respectivamente. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas.

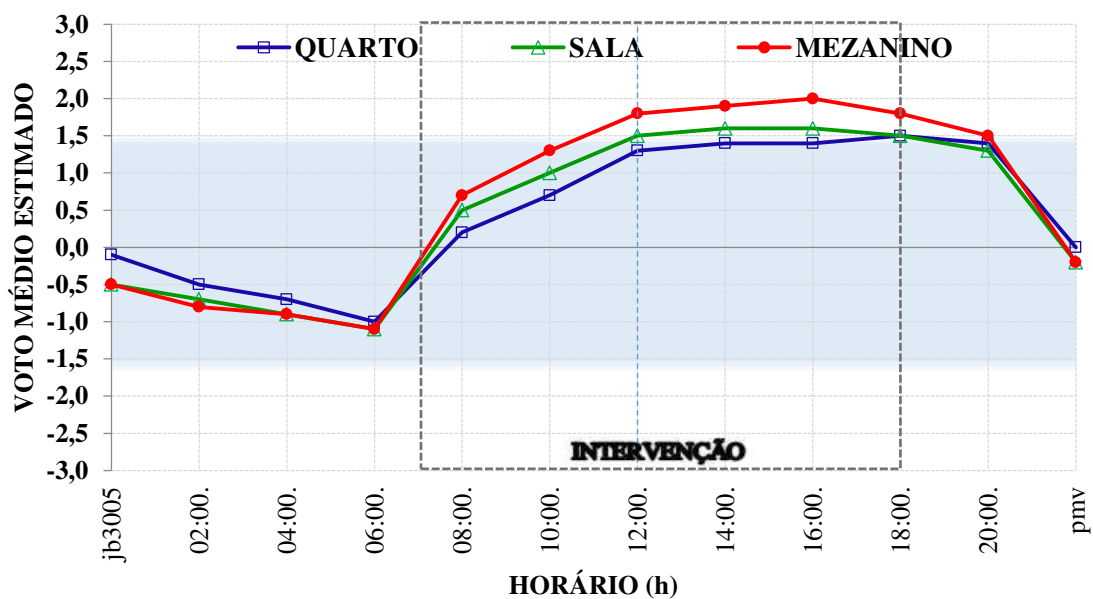


Figura 59- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela abertas. Cobogó fechado (Simulação 2)

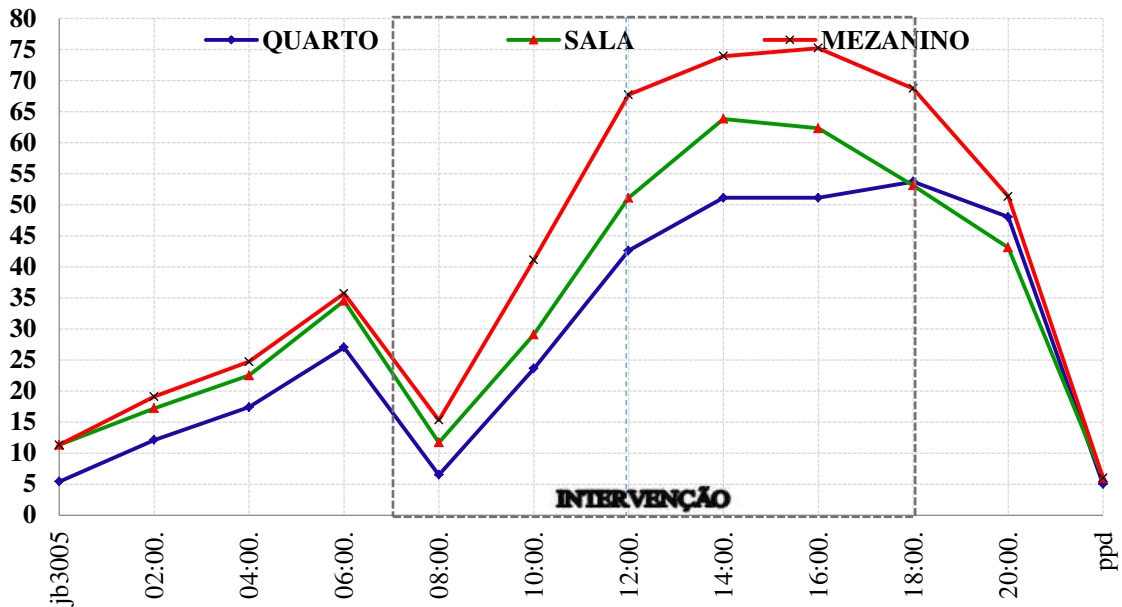


Figura 60- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Janela abertas, Cobogó fechado (Simulação 2)

As curvas de PMV e PPD, para o tratamento com cobogó e bandeira aberta, são apresentadas nas Figuras 62 e 63, respectivamente. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas, com percentual de insatisfeitas inferior a 50%.

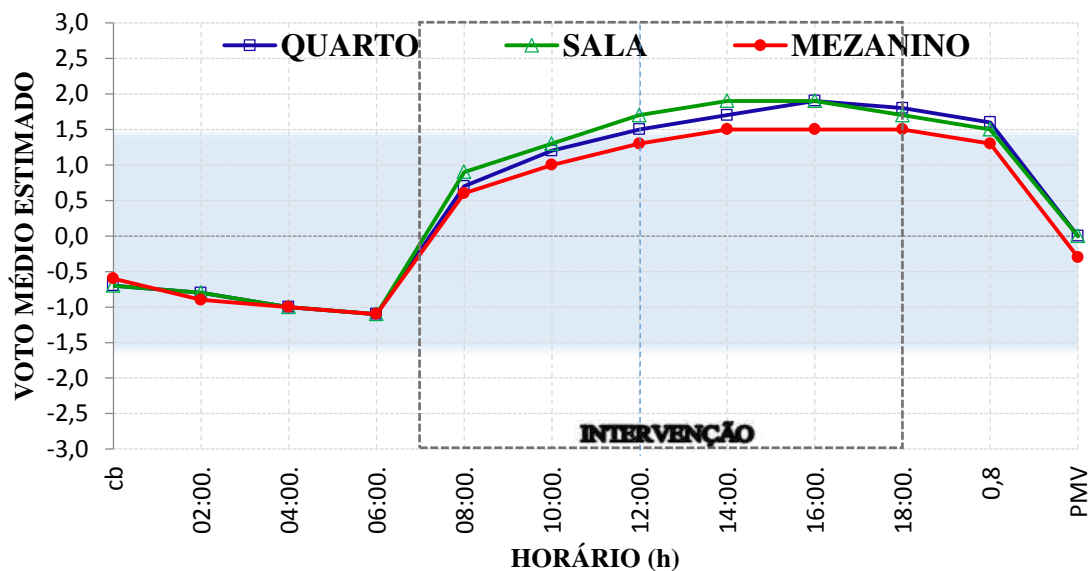


Figura 61- Curvas de PMV por horas do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 2)

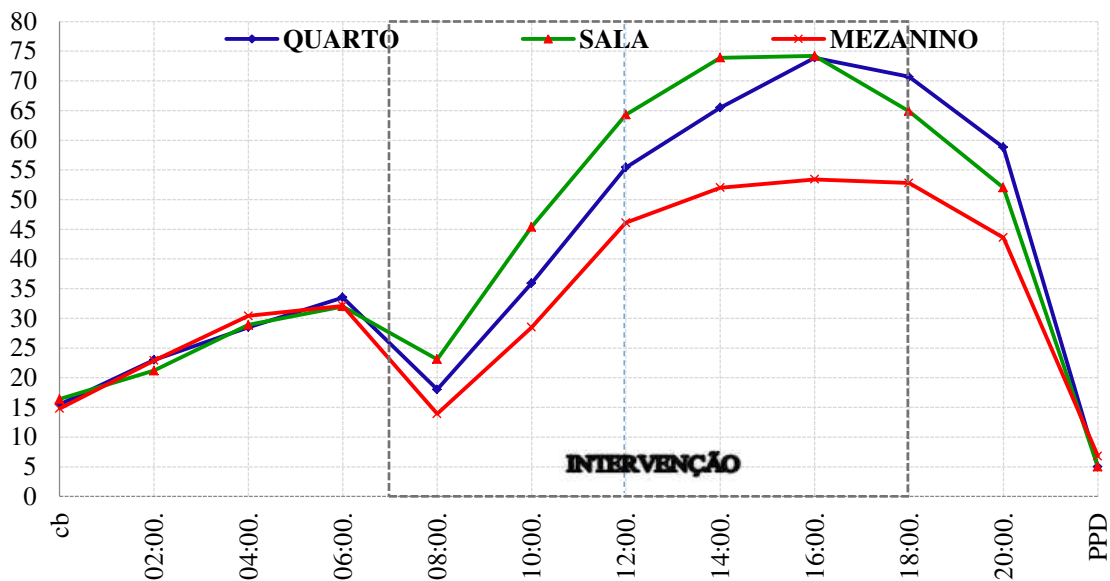


Figura 62 - Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira e Cobogó abertos. Janela fechada (Simulação 2)

As curvas de PMV e PPD, para o tratamento com bandeira aberta, são apresentadas nas Figuras 64 e 65, respectivamente. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas.

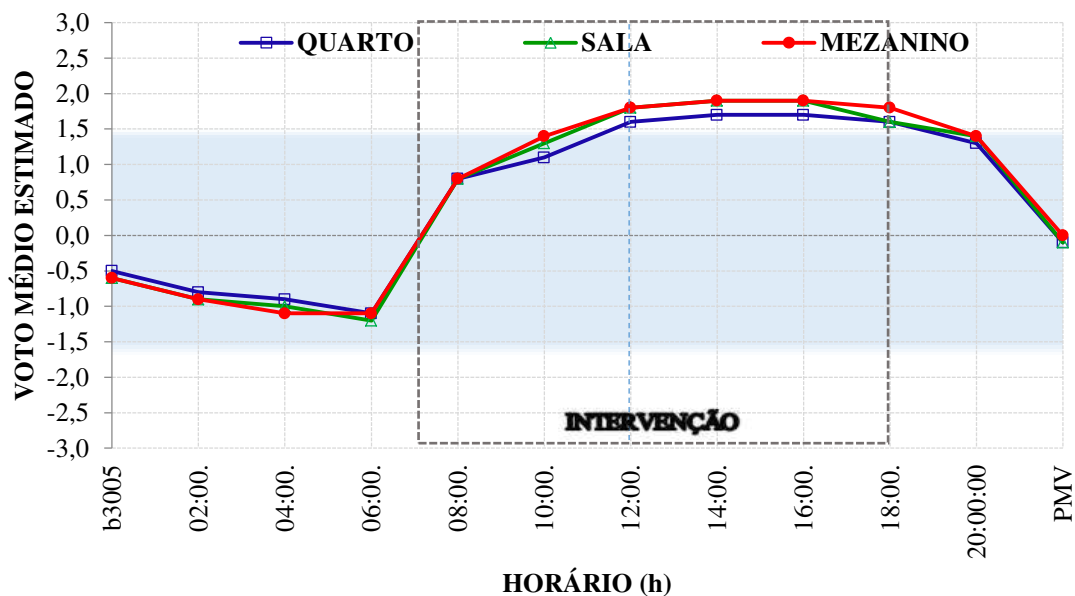


Figura 63- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados (Simulação 2)

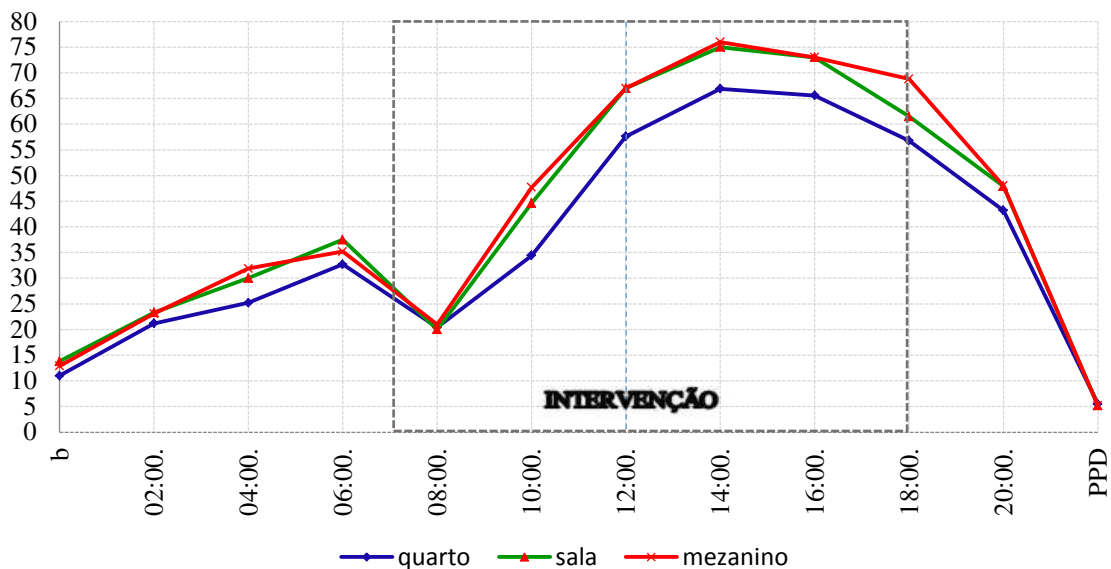


Figura 64- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechado (Simulação 2)

As curvas de PMV e PPD, para o tratamento com bandeira, cobogó e janela fechada, são apresentadas nas Figuras 66 e 67, respectivamente. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas com PMV variando de -1,5 a 1,5.

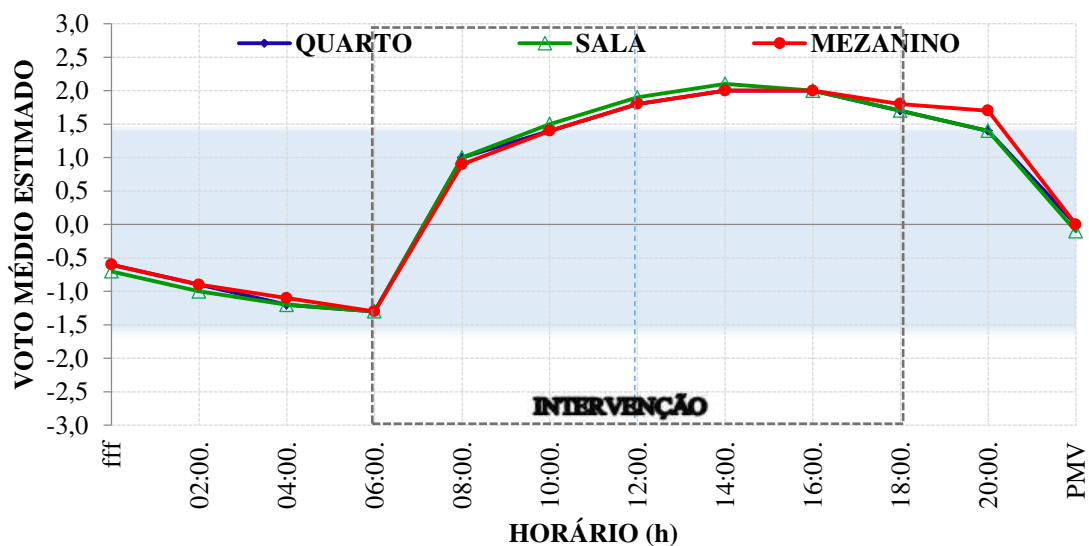


Figura 65- Curvas de PMV do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechada (Simulação 2)

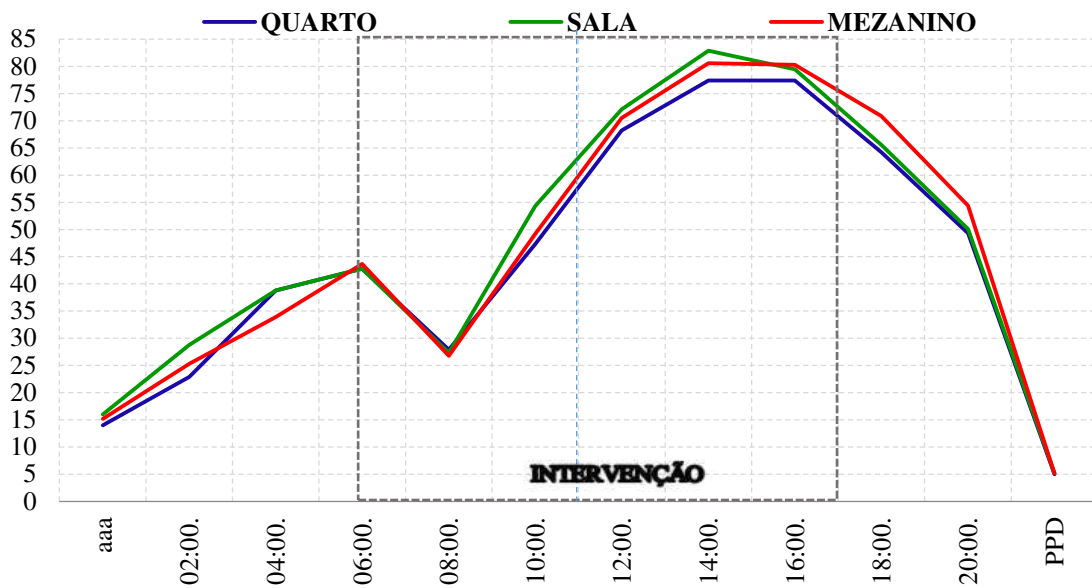


Figura 66- Curvas de PPD do QUARTO, SALA e MEZANINO, para Bandeira, Cobogó e Janela fechados (Simulação 2)

Os resultados mostrados através de gráficos de PMV e PPD para a Simulação 2 mostram coerência quando comparados com a distribuição de temperatura ao longo do dia para os ambientes analisados. Os maiores valores para os dois índices, que classificam os recintos com algum grau de desconforto por temperatura elevada, ocorrem no período vespertino, mais precisamente no intervalo compreendido entre 14 e 16 h. Esses resultados coincidem com as temperaturas máximas dos ambientes estudados, que ocorrem nesse mesmo período. Da mesma forma, o maior desconforto pelo frio acontece pela manhã, entre 6 e 8 h, horário da temperatura mínima registrada nos recintos. O mínimo para o PMV observado oscilou na faixa entre -1,0 e -1,3, enquanto o PPD correspondente ficou na ordem de 22 a 35 %.

Ao comparar os resultados obtidos para Simulação 02 com aqueles decorrentes da Simulação 01, verifica-se coerência em relação ao horário no qual ocorrem os máximos e os mínimos para os valores de PMV e PPD, o que corrobora com os dados obtidos para a temperatura. Quanto aos valores desses índices, pode-se constatar um aumento significativo para os valores máximos, tanto para o PMV quanto para o PPD, fato justificado pelo valor da taxa metabólica que mais que dobrou da situação 1 para a situação 2, isto é, passou de 46 $W.m^{-2}$ para 116 $W.m^{-2}$.

Na condição em que apenas a janela está fechada, o mezanino é o mais confortável termicamente, com PMV máximo valendo 1,5 e PPD correspondente de 52 %, das 14 às 18 h. Nesta circunstância a sala e o quarto alcançam, às 16 h, simultaneamente, os mesmos valores

máximos para os índices (PMV = 1,9 e PPD = 73 %). Para os outros tratamentos o mezanino aparece como o mais quente, na situação em que apenas o cobogó está fechado, com PMV máximo de 1,9 e 65% de insatisfeitos pela temperatura elevada.

Os valores de PMV para o tratamento com ventilação advindas apenas das bandeiras mostram que o mezanino e a sala são os mais quentes termicamente, com PMV máximo 1,9 e o valor correspondente para o PPD de 76%.

A pior situação envolvendo os três ambientes é quando todas as aberturas de ventilação estão fechadas. No período vespertino, mais precisamente às 14 h, a sala pode ser considerada como o ambiente mais quente, chegando a apresentar um PMV máximo de 2,1 e PPD correspondente em torno de 82,9% . Em seguida vem o mezanino e o quarto, ambos com PMV máximo de 2 e PPD 80,6% para o mezanino e 79,4% para o quarto.

Em relação ao período matutino, constata-se um maior conforto térmico, visto que na maioria dos casos, os ambientes não ultrapassaram a zona ligeiramente quente antes das 10 h. Os piores resultados para a sala e o quarto foram observados nos tratamentos que incluía o fechamento da janela. Para o mezanino, observou-se quando foi tratado o fechamento dos cobogós. Por outro lado, os melhores resultados para o quarto e a sala podem ser vistos quando as janelas estão abertas. Já para o mezanino, foi quando os cobogós estão abertos.

A avaliação da sala, do quarto e do mezanino considerando os índices PMV e PPD permite concluir que a manutenção do conforto térmico, durante a execução de tarefas domésticas em pé e no período de verão, está relacionado o estabelecimento de rotinas diferenciadas para ambientes estudados.

5.1.3.2 Temperatura Fisiológica Equivalente

Um denominador comum de diversos trabalhos semelhantes a este são os seus objetos de pesquisa, que tocam de alguma forma na relação entre variáveis climáticas e as variáveis subjetivas que podem ser classificadas como percepção e sensações térmicas. Estas últimas variáveis podem ser medidas por parâmetros individuais, dentre eles constam as vestimentas e as atividades físicas.

Para o cálculo do PET relativo ao trabalho de pesquisa na Eco Residência Rural construída pela UFCG na cidade de Cabaceiras, foi simulado uma situação em que das 22 às 6 h, o ser humano encontra-se deitado e, portanto, sua taxa metabólica (M) foi considerada 46 W.m⁻². Sua vestimenta é uma camisa comprida e uma calça grossa o que aponta para um I_{cl} =

0,716 clo. Durante o dia, das 6 às 22 h, o mesmo indivíduo está realizando atividades domésticas com taxa metabólica de 116 W.m^{-2} e com uma vestimenta composta por cueca, camiseta e calça fina, o que deriva em um $I_{cl} = 0,40$ clo. Dentro da simulação executada foi adotado, como características pessoais, um indivíduo com 30 anos de idade pesando 70 kg e medindo 1,75 m de altura.

Considerando que este índice requer, como dados de entrada, parâmetros individuais, depreende-se que o mesmo apresenta respostas em bom alinhamento com a sensação térmica real dos indivíduos, notadamente nos casos em que a pesquisa não pode contar com a presença de moradores do objeto estudado.

A análise dos resultados foi feita com base na faixa interpretativa proposta por Monteiro (2008), que considerou pessoas adaptadas às condições climáticas em que se encontram. Com esses limites é possível classificar os ambientes térmicos em sete faixas, de acordo com o Quadro 16.

Quadro 16 - Classificação dos ambientes segundo o PET

SENSAÇÃO	PET
muito calor	$\text{PET} > 43$
calor	$31 < \text{PET} < 43$
pouco calor	$26 < \text{PET} < 31$
neutra	$18 < \text{PET} < 26$
pouco frio	$12 < \text{PET} < 18$
frio	$4 < \text{PET} < 12$
muito frio	$\text{PET} < 4$

Fonte: Monteiro (2008)

Os limites de aplicabilidade das faixas interpretativas são bastante abrangentes e estão apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 - Valores limites das variáveis ambientais

Variável climática	Valor mínimo	Valor máximo
t_{ar} (°C)	15	33
t_{rm} (°C)	15	66
UR (%)	30	95
v_{ar} (m.s^{-1})	0,1	3,6

Fonte: Monteiro (2008)

Os resultados relativos ao PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) e que foram obtidos para o Quarto com laje, para o mezanino e para a sala são apresentados nas Figuras 67 a 71, constando com análise térmica para os ambientes.

As curvas de PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) para todos os tratamentos são apresentadas na Figura 67 a 71. A área destacada é considerada de Zona em que as pessoas estão satisfeitas termicamente e engloba as faixas: “neutra”, “pouco frio” e “pouco calor”.

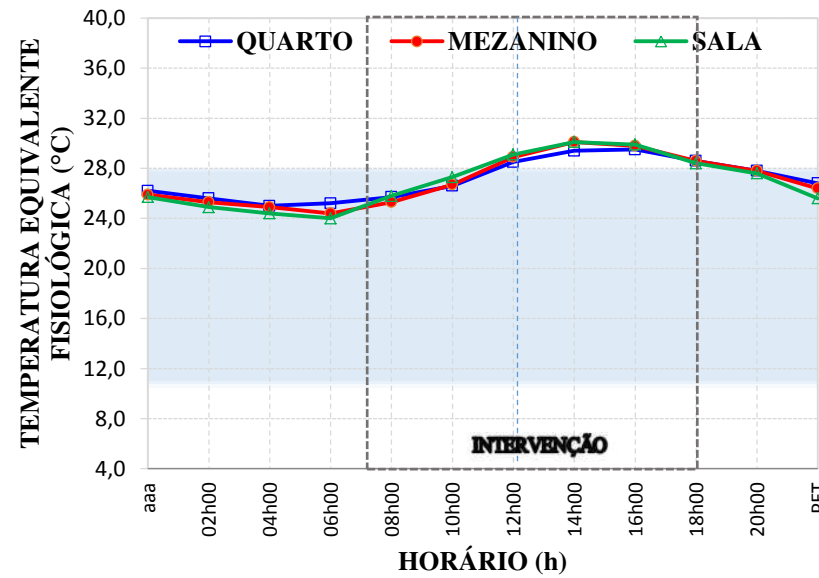


Figura 67 - Curvas de PET para QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira, Cobogó e Janela abertos.

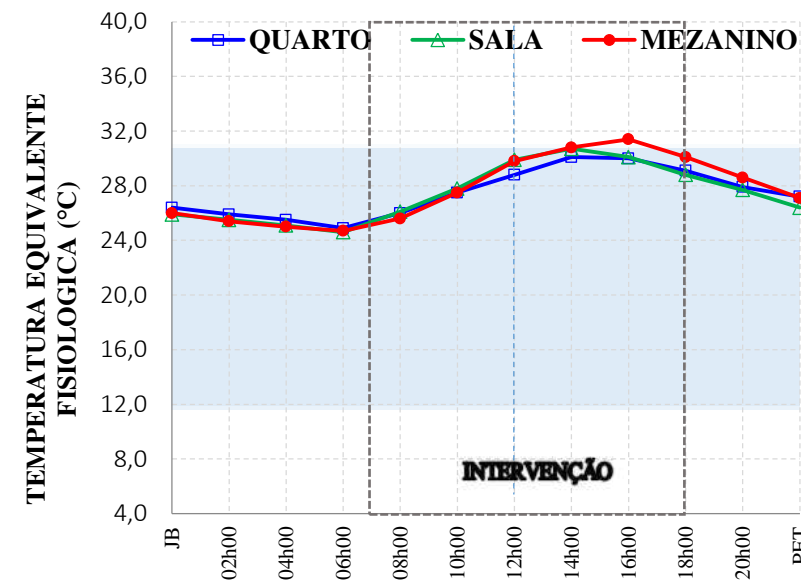


Figura 68 - Curvas de PET para QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado

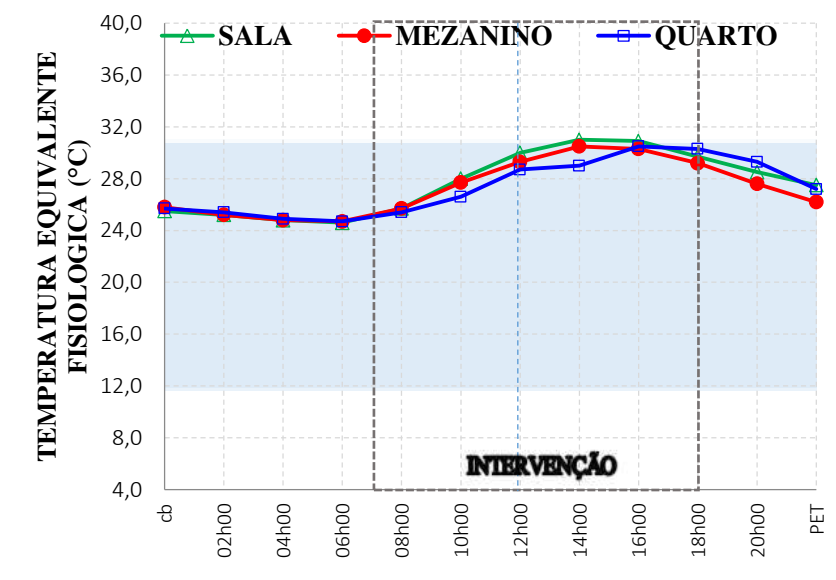


Figura 69 - Curvas de PET para QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira Cobogó aberto. Janela fechada.

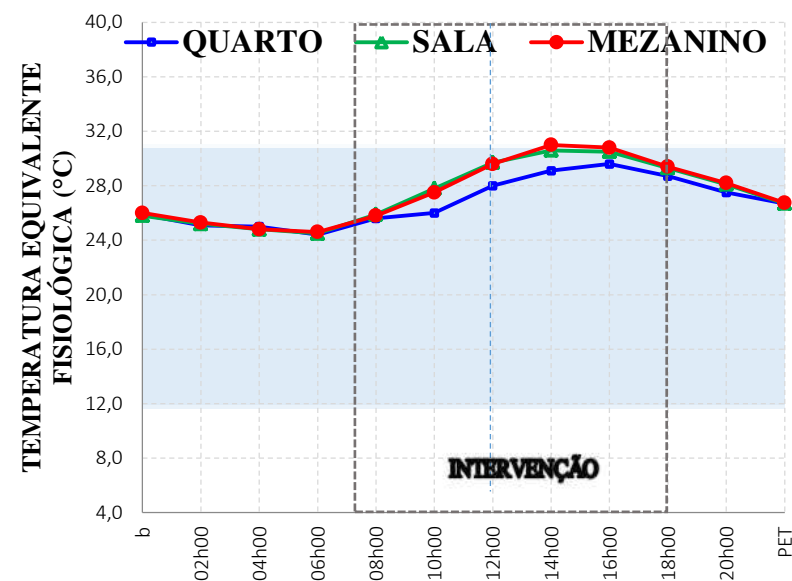


Figura 70 - Curvas de PET para o QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira aberta. Cobogó e Janela fechada

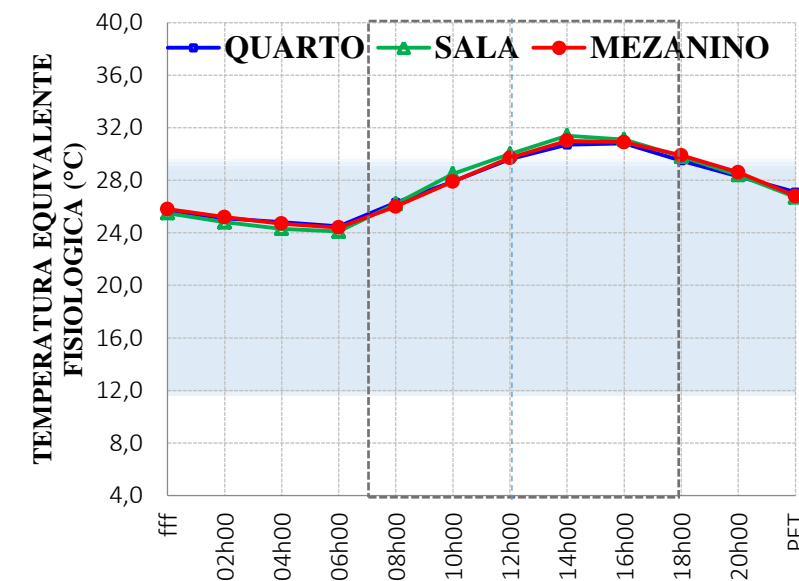


Figura 71- Curvas de PET para o ambiente QUARTO, SALA E MEZANINO considerando Bandeira, Cobogó e Janela fechada.

Analisando os resultados obtidos e apresentados na forma de gráficos, observa-se um comportamento semelhante aos obtidos para os outros Índices, cujos valores máximos ocorrem no horário vespertino, entre 14 e 18 h, aproximadamente. Por outro lado, os valores mínimos são verificados em horários aproximados das 6 h, ou seja, cerca de 1 hora antes da manipulação das aberturas de ventilação. Este fato foi constatado nos três ambientes analisados para todos os tratamentos das aberturas de ventilação.

Para os valores máximos do PET, os menores picos aconteceram quando todas as aberturas estavam abertas e os maiores picos ocorreram quando não havia nenhuma abertura para a captação de vento. Para este último tratamento, as curvas obtidas para o PET nos três ambientes são semelhantes entre si, sendo que a sala apresenta um PET ligeiramente superior aos demais recintos. Esses resultados são condizentes com a teoria estudada para conforto térmico que prevê uma redução na temperatura ao se ventilar os ambientes. Em se tratando dos valores mínimos obtidos para o PET, nota-se que as variações são pequenas ao se comparar os resultados dos recintos para cada tratamento entre si.

Verifica-se, ainda, que em todo horário vespertino, os ambientes se situam, em todos os tratamentos, numa Zona em que as pessoas estão satisfeitas termicamente com a sensação térmica de “pouco calor” sentido pelos usuários. As únicas exceções foram para a sala no tratamento em que todas as aberturas de ventilação se encontravam fechadas e para o mezanino na situação em que o cobogó estava fechado. Para os dois casos, o PET subiu um pouco atingindo o valor máximo de 31,4 °C.

Foi observado um aumento nos resultados obtidos para o PET no quarto e na sala para os tratamentos em que a janela foi fechada diminuindo, portanto, a ventilação recebida por esses recintos. Nos casos em que a bandeira se encontrou aberta sozinha, durante o período de intervenção, o quarto obteve os menores valores para o PET, enquanto a sala e o mezanino ficaram com valores muito próximos entre si. Já para o mezanino os maiores valores encontrados ocorreram quando o cobogó se encontrava fechado, sendo considerado o ambiente com a maior sensação de calor neste tratamento. Para esta situação o quarto foi o recinto com os menores valores do PET. O quarto com laje também foi o que apresentou os resultados menores quando todas as aberturas se encontravam abertas e, neste caso, o mezanino e a sala permaneceram com valores aproximados entre si.

Segundo o PET, os ambientes entram na região de neutralidade em torno da meia noite, aproximadamente para todos os tratamentos, conservando-se termicamente neutro até as 10 h aproximadamente, desde que pelo menos a janela ou a bandeira esteja aberta para o quarto e sala, enquanto que, para o Mezanino, o cobogó é que precisa estar aberto. No

tratamento em que todas as possibilidades de entrada de ar estão interdidas, os recintos permanecem na região de neutralidade num intervalo um pouco menor, até aproximadamente as 8 h.

Como os valores encontrados para o PET foram maiores que 18 e menores que 31 °C, exceto para os dois casos mencionados acima, os ambientes não atingiram a região de condição “calor”, nem a de “frio”, permanecendo como neutros (madrugada e início da manhã) ou na condição de “pouco calor” (final da manhã e tarde) para todos os tratamentos. Deve-se ressaltar que essas conclusões foram tiradas considerando-se que os indivíduos estavam realizando atividades domésticas em pé no período diurno.

Em relação ao PET, verifica-se que o valor calculado oscilou entre 18 e 31 °C, daí que, em nenhum momento o ambiente estudado atingiu a região de “calor” ou “frio”, permanecendo como “neutro” (madrugada e manhã) ou “pouco calor” (tarde) para todos os tratamentos.

Para Cunha (2013), em trabalho fruto de pesquisa de modelo habitacional, assemelhada a habitação estudada no trabalho que subsidiou a dissertação ora apresentada, edificado na cidade de Campina Grande, o PET da sala e do mezanino foi caracterizado como confortáveis no período noturno. Ao longo do dia e se considerando prováveis usuários em pé desempenhando atividades domésticas, a condição de conforto na sala é máxima desde que as bandeiras permaneçam abertas e os cobogós fechados (Bab_Cfe), já o mezanino apresentou desconforto no intervalo compreendido entre 8:00 e 17:00 h, independente do padrão de manipulação estabelecido.

5.2. Análise do desempenho térmico

Conforme pode ser observado no Quadro 19, os dados de temperaturas máximas para o exterior e para o interior da sala, do quarto com laje e do mezanino, com suas respectivas diferenças.

Quadro 18- Diferenças de temperatura máxima do ar entre os ambientes estudados e o exterior

Data	Tbs _{max} exterior	Tbs _{max} sala	Diferença sala-ext	Tbs _{max} quarto	Diferença quart-ext	Tbs _{max} mezanino	Diferença mez.-ext
28/01	33,7	32,0	1,7	31,3	2,4	31,8	1,9
27/01	33,4	32,4	1,0	30,8	2,6	32,5	0,9

Observa-se que, quando se utiliza o método de análise por medição, o desempenho térmico da sala, do quarto com laje e do mezanino da Eco Residência, atende às exigências constantes na NBR 15575:1 (ABNT, 2013).

5.2.2 Verificação das aberturas

O método simplificado para avaliação de desempenho térmico determina a exigência concernente ao tamanho mínimo das áreas de abertura de ventilação. Para a Zona Bioclimática em que Cabaceiras-PB está inserida, ZB 06, o tamanho da abertura do cômodo varia de 15 a 25 % da área do piso do ambiente. O percentual recomendado é apresentado no Quadro 19.

Quadro 19- Valores recomendados para habitações na ZB 06. Calculado das áreas de abertura para ventilação

RECOMENDADO	SALA (janela)	QUARTO C/LAJE (janela)
$15\% < A_{\text{piso}} < 25\%$	15%	18%
	Atende	Atende

NBR 15.220 (ABNT, 2003)

5.2.3 Comportamento térmico das vedações

5.2.3.1 Temperaturas superficiais das Alvenarias

O envoltório vertical da Eco Residência em estudo é formado pelos componentes físicos alvenaria, janelas, porta e cobogó, que separam os ambientes internos das variáveis climáticas externas. Este envoltório tem a capacidade de exercer a função similar à de um filtro, regulando a transferência de energia térmica.

O quarto com laje é formado por quatro vãos de alvenaria, sendo dois internos e dois externos. Dos vãos externos consta que um é voltado para a orientação solar leste e o outro é voltado para o sul.

O comportamento da alvenaria voltada para o LESTE é apresentado nas Figuras 72 a 76; os resultados advindos do estudo da temperatura superficial externa (t_{s_ext}) e temperatura superficial interna (t_{s_int}) do envoltório voltado para o leste do quarto com laje. A faixa vertical com destaque corresponde ao atraso térmico.

Quanto aos resultados numéricos, constata-se que as médias das temperaturas do lado externo aumentam paulatinamente a partir das 5 h, chegando ao pico de 32,48°C, por volta das 12 h, estabilizando-se e voltando a decrescer acentuadamente depois das 15 h.

O amortecimento (diferença entre a média temperatura máxima da face externa da alvenaria e a média da temperatura da máxima da face interna da parede - tomado em ponto simétrico) foi registrado em torno de 2,36 °C.

Analisando os gráficos verifica-se que o atraso térmico referente à temperatura superficial do involucro Leste, que compõe o quarto com laje, se dá no valor de 2 h. É de bom alvitre destacar que não foi possível calcular numericamente este atraso, à luz das normas brasileiras, conforme já citado.

A amplitude térmica da temperatura superficial externa, considerando a média máxima ocorrida em torno das 12 h e a média mínima ocorrida por volta das 5 h, é no valor de 10 ° C.

A inversão quanto à superioridade das temperaturas, entre a superficial interna e superficial externa, ocorreu às 7h30min e às 18 h.

As curvas de temperatura superficial na parede SUL, do quarto com laje, para todos os tratamentos, são apresentadas nas Figuras de 77 a 81.

No envoltório lateral, voltado para o sul, as médias da temperatura superficial externa registram valores ascendentes a partir das 5h30min. Os valores máximos da temperatura superficial externa da alvenaria Eco Residência ocorrem no período entre 13 e 15 h atingindo o pico de 33,3 °C, decrescente acentuadamente a partir das 15 h. Por sua vez, os valores máximos da temperatura superficial interna foram na ordem 30,34 °C ocorridos no período entre 15 e 16. O amortecimento foi registrado em torno de 2,95 °C.

A amplitude térmica da temperatura superficial externa, voltada para o sul, considerando a média máxima ocorrida em torno das 14 h e média mínima ocorrida por volta das 5h30 min, consta de 10,43 ° C.

O atraso térmico observado nos gráficos concernentes à temperatura superficial da parede sul aponta para um retardo de 2 horas. O fluxo de calor relativo a essa diferença de temperatura só se efetuou mais tarde, pois esteve “atrasado” no tempo em relação à “onda” de variação da temperatura no exterior. Esse tempo de atraso será tanto maior quanto menor for a difusividade térmica do material que constitui a parede.

A inversão da superioridade de temperaturas entre a superficial interna e superficial externa, ocorre das 7 às 19 h.

As curvas de temperatura superficial na parede LESTE, do quarto com laje, para todos os tratamentos são apresentadas na Figura 72 a 76. A faixa vertical em destaque corresponde ao atraso térmico.

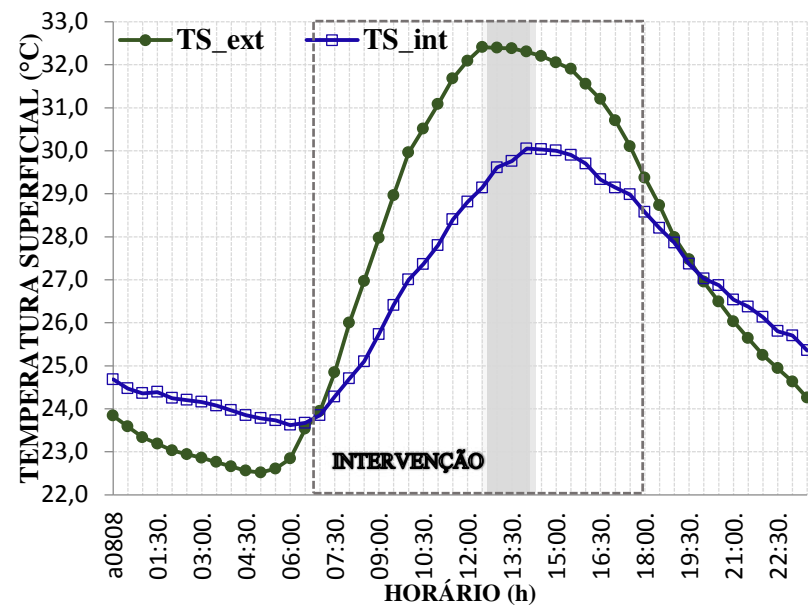


Figura 72 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para Janela, Bandeira e Cobogó abertos

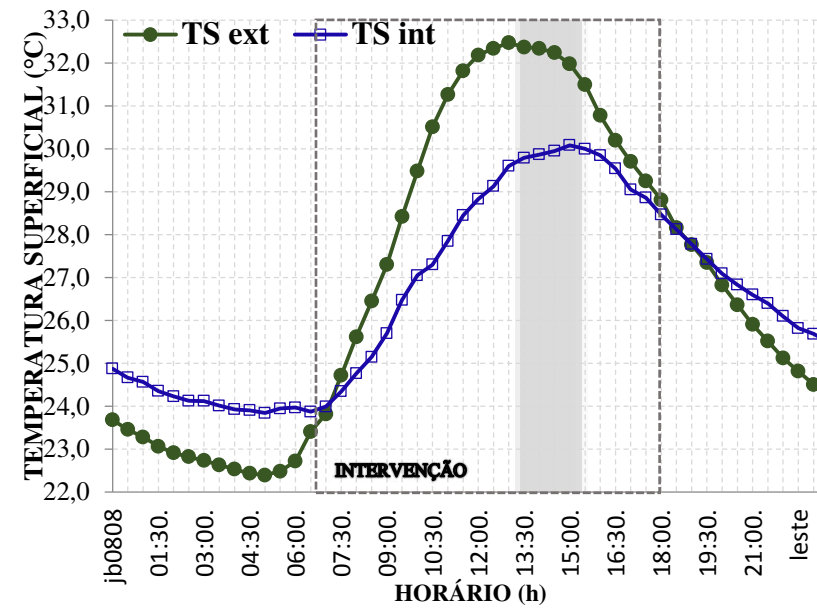


Figura 73- Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para Janela e Bandeira abertas. Cobogó fechado.

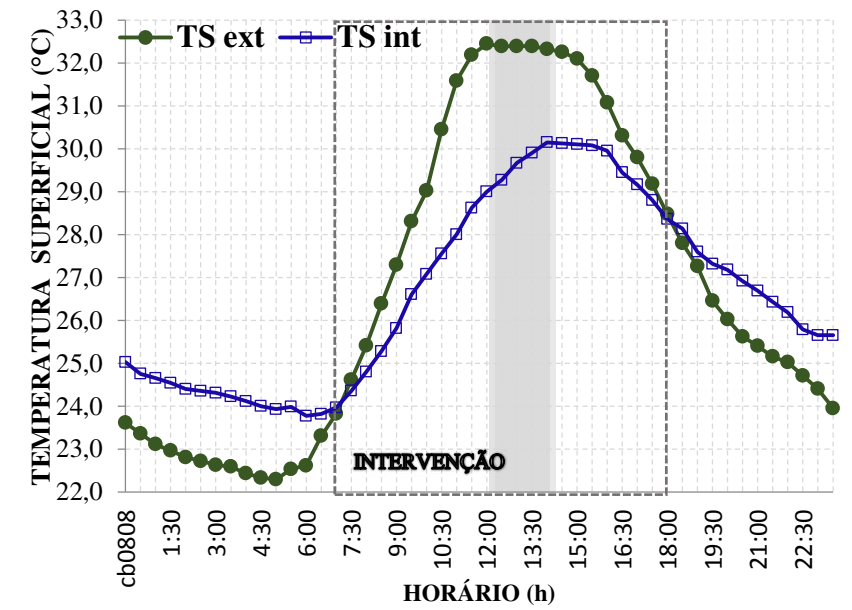


Figura 74 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para Bandeira e Cobogó abertos, Janela fechada

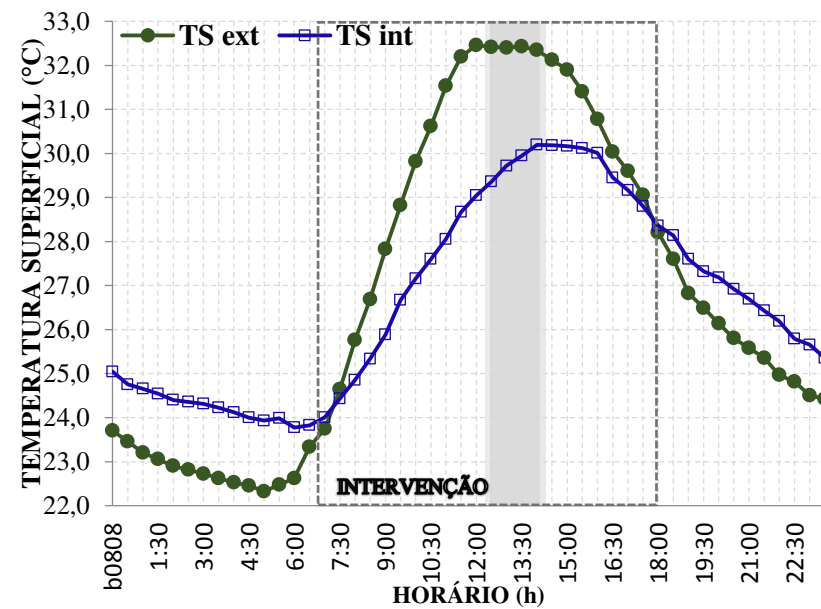


Figura 75 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para o Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechados.

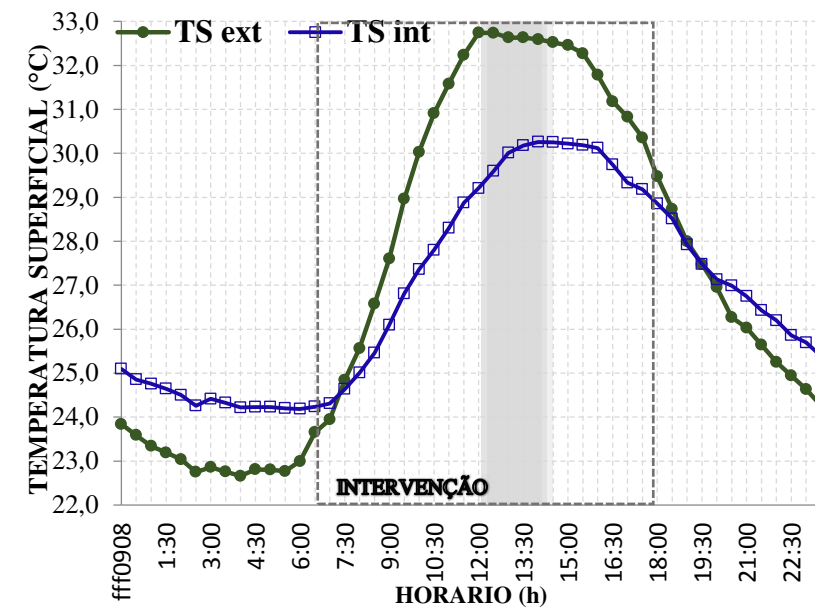


Figura 76 - Gráfico da temperatura superficial da parede leste do quarto para Bandeira, Janela e Cobogó fechados.

As curvas de temperatura superficial na parede SUL, do quarto com laje, para todos os tratamentos são apresentadas na Figura 77 a 81. A faixa vertical em destaque corresponde ao atraso térmico.

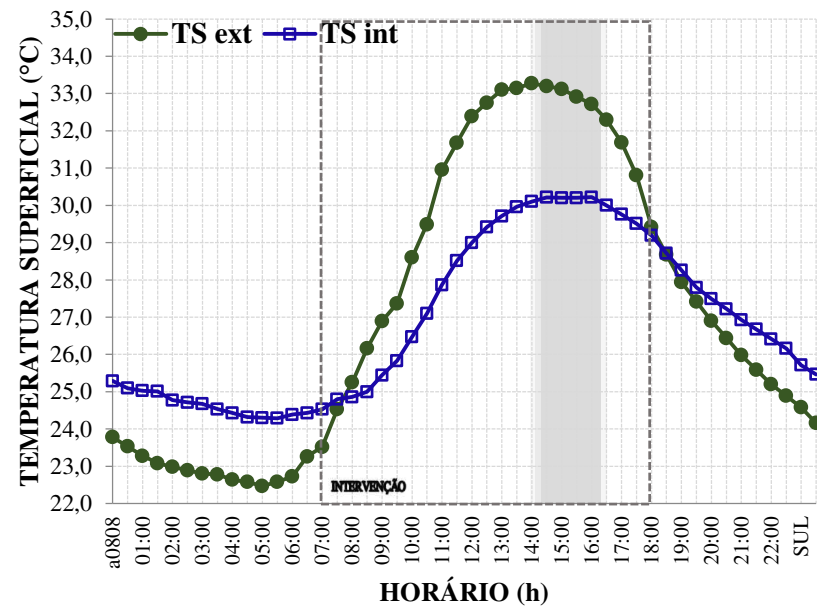


Figura 77 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.

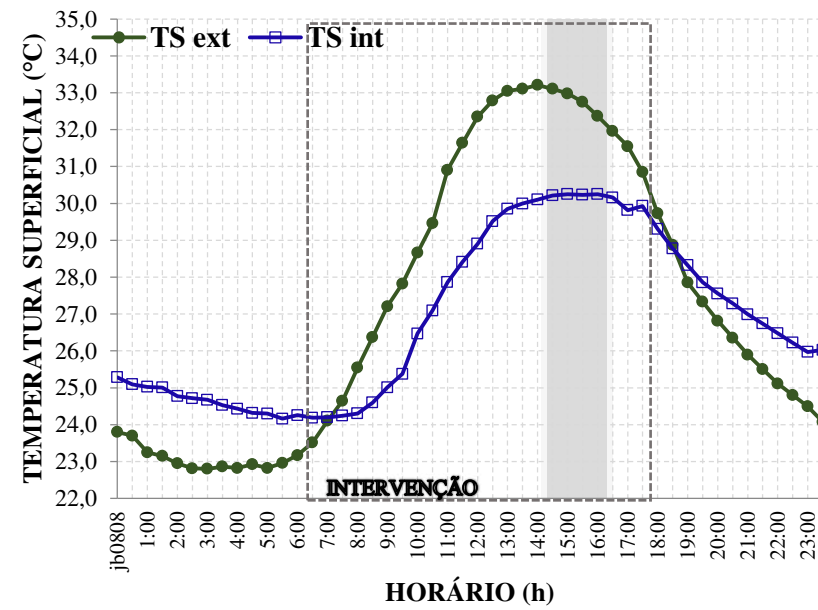


Figura 78 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para Bandeira e Janela aberta e Cobogó fechado.

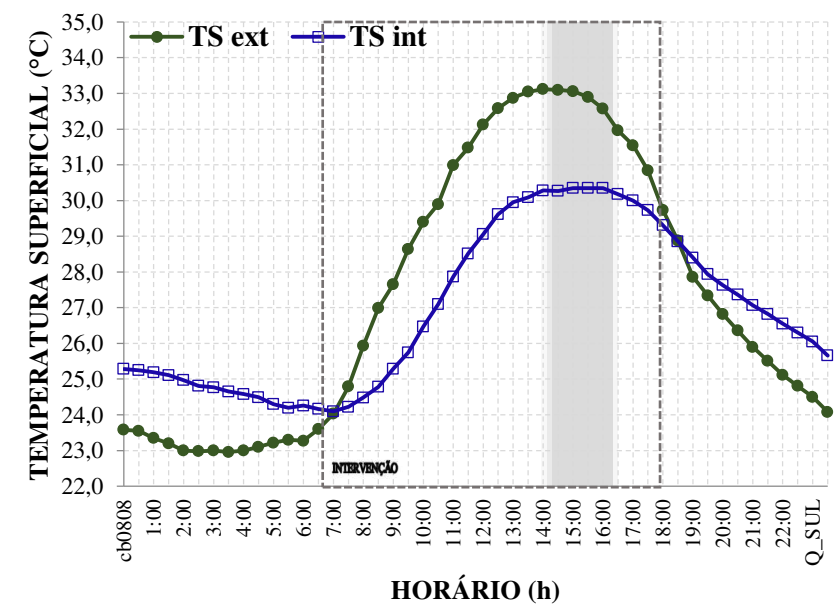


Figura 79 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para Bandeira e Cobogó aberto e Janela fechada.

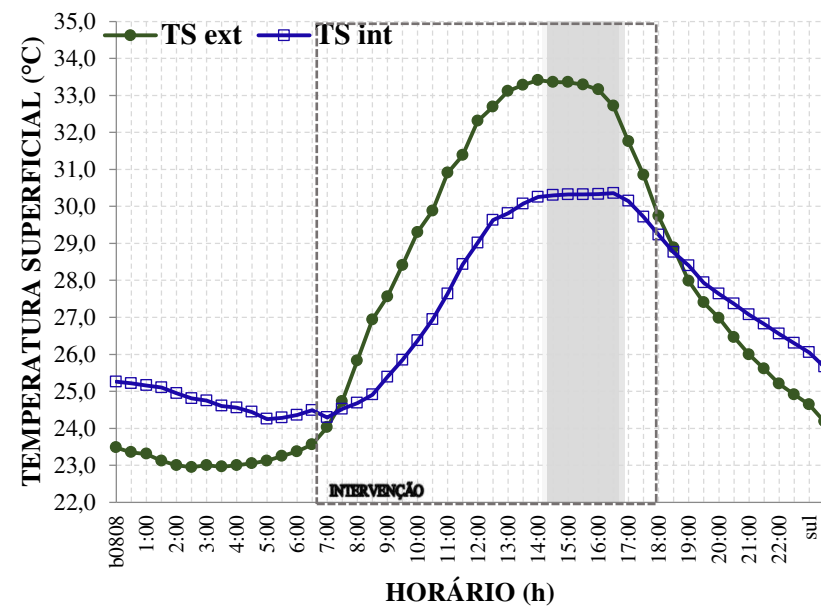


Figura 80 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para Bandeira aberta, Janela e Cobogó fechado.

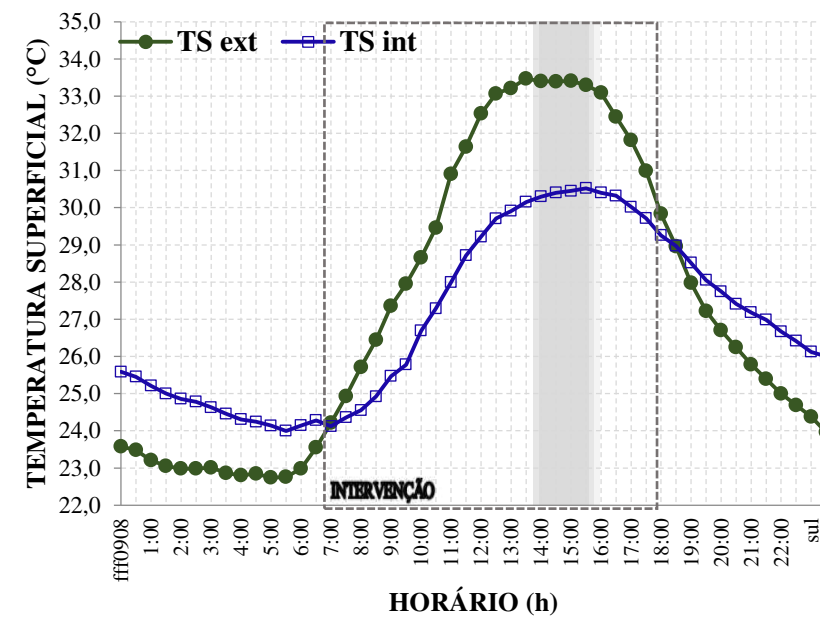


Figura 81 - Gráfico da temperatura superficial da parede sul do quarto para Bandeira, Janela e Cobogó fechados.

A sala é formada por quatro vãos de alvenaria, dois internos e dois externos. Dos vãos externos consta um, voltado para a orientação solar norte e o outro é voltado para o oeste.

As curvas geradas para t_{s_ext} , e t_{s_int} , para o ambiente sala, no seu invólucro voltadas para o NORTE, são apresentadas nas Figuras 82 a 86.

Analisando a face voltada ao Norte a partir dos gráficos pode-se atestar que o amortecimento (diferença entre a média temperatura máxima da face externa da alvenaria e a média da temperatura da máxima da face interna da parede, tomando em ponto simétrico) foi registrado em torno de 2,40 °C.

Verifica-se que os valores máximos da temperatura superficial externa da alvenaria da residência rural em estudo ocorrem no período das 14 às 15 h, alcançando o pico na temperatura em torno de 33,20 °C. O invólucro faceado para o norte, apresenta médias da temperatura na superfície com números crescendo a partir das 5h 30min.

A inversão da superioridade de temperaturas, entre a superficial interna e superficial externa, ocorre das 7 às 19 h. Verifica-se que o atraso térmico referente à temperatura superficial do involucro norte, que compõe a sala, foi de 2 horas.

A amplitude térmica da temperatura superficial externa, considerando a média máxima ocorrida em torno das 14 h e média mínima ocorrida por volta das 5 h, consta de 10,62 °C.

As curvas geradas para t_{s_ext} , t_{s_int} , do ambiente sala considerando a alvenaria voltada para o OESTE são apresentadas nas Figuras 87 a 91.

A temperatura da superfície externa da Eco Residência começa a elevar-se após o nascer do sol, atingindo o máximo entre 14 e 15 h e decrescendo acentuadamente depois. A alvenaria externa voltada para o oeste registrou a temperatura superficial externa no valor máximo de 35,63 °C.

O atraso térmico observado nos gráficos concernentes à temperatura superficial da parede sul aponta para um retardo de 2 horas.

O amortecimento, que corresponde à diferença das medidas da média temperatura máxima da face externa da alvenaria e a média da temperatura da máxima da face interna da parede, foi em torno de 3,72 °C.

A amplitude térmica da temperatura superficial externa, considerando a média máxima ocorrida em torno das 14 h e média mínima ocorrida por volta das 5 h, consta de 13,0 °C.

Os horários nos quais se verifica a inversão apresentam algumas diferenças, sendo que a temperatura superficial externa superou a interna por volta das 7 h. Por outro lado, a média da temperatura superficial interna ultrapassa a média da temperatura superficial externa em horários que variam das 18 às 19 h, aproximadamente.

As curvas geradas para t_{s_ext} e t_{s_int} , para o ambiente sala, no seu involucro voltada para o NORTE são apresentadas nas Figuras 82 a 86. A faixa vertical em destaque corresponde ao atraso térmico.

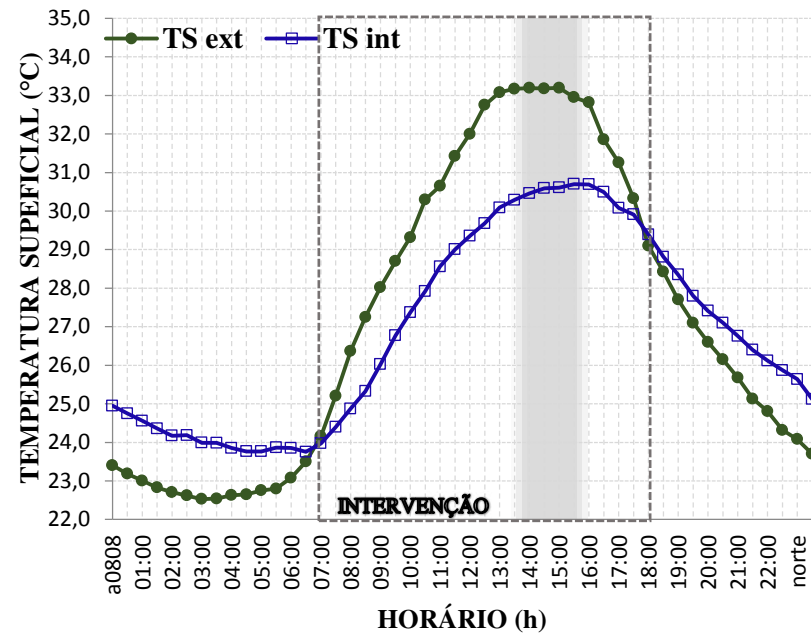


Figura 82 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte da sala para Bandeira, Janela e Cobogó abertos.

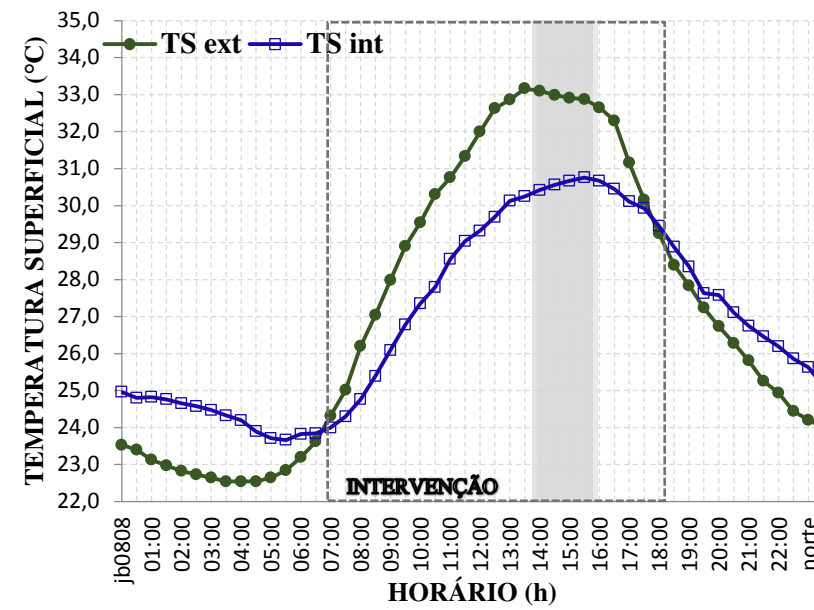


Figura 83 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte da sala para Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.

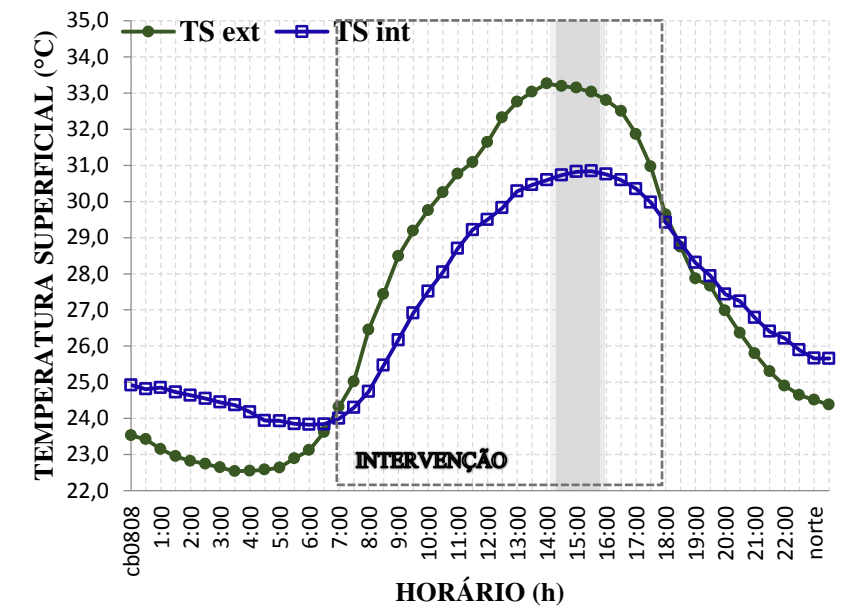


Figura 84 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte da sala para Bandeira, Cobogó abertos e Janela fechada.

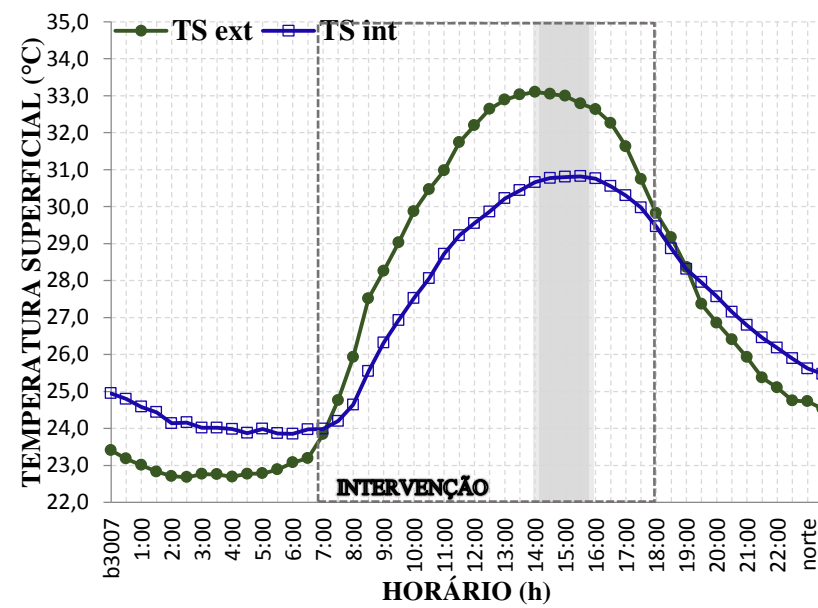


Figura 85 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte da sala para Bandeira aberta e Janela, Cobogó fechados.

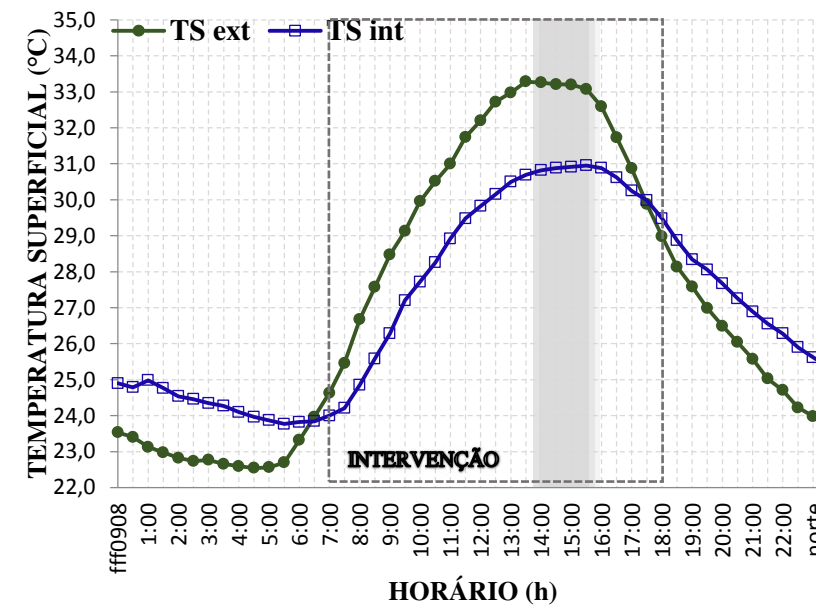


Figura 86 - Gráfico da temperatura superficial da parede Norte da sala para Bandeira, Janela, Cobogó fechados.

As curvas geradas para ts_{ext} , ts_{int} , do ambiente sala considerando a alvenaria voltada para o OESTE são apresentadas nas Figuras 87 a 91. A faixa vertical em destaque corresponde ao atraso térmico.

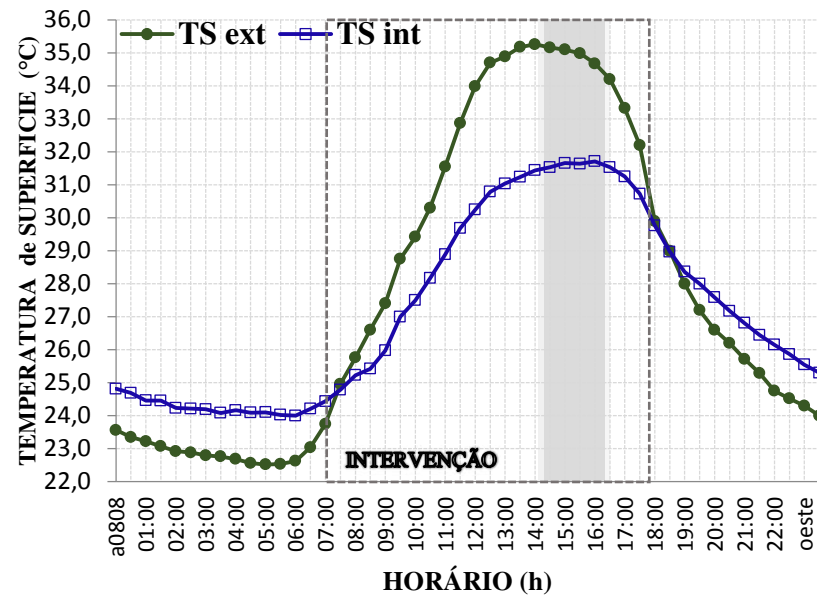


Figura 87 - Gráfico da temperatura superficial parede OESTE da sala Para Bandeira, Janela, Cobogó abertos

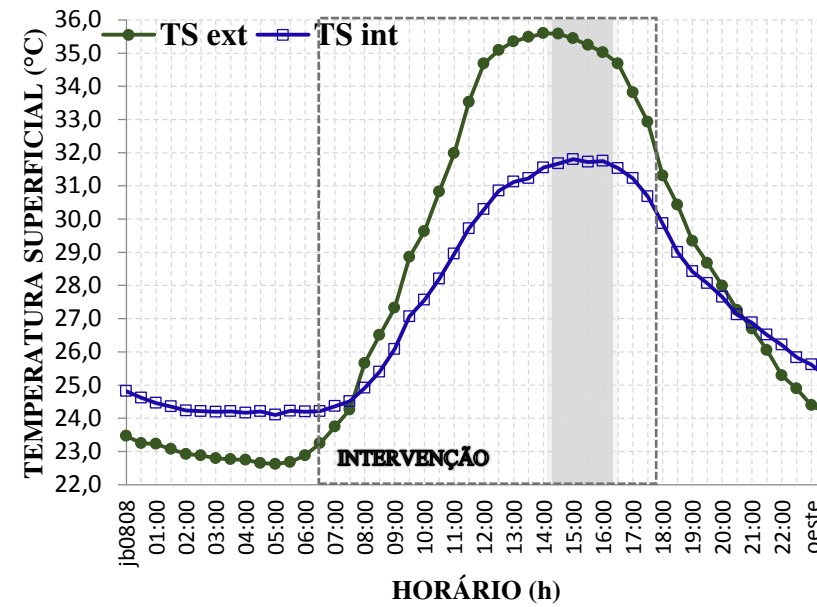


Figura 88 – Gráfico da temperatura superficial parede OESTE da sala para Bandeira e Janela aberta. Cobogó fechado.

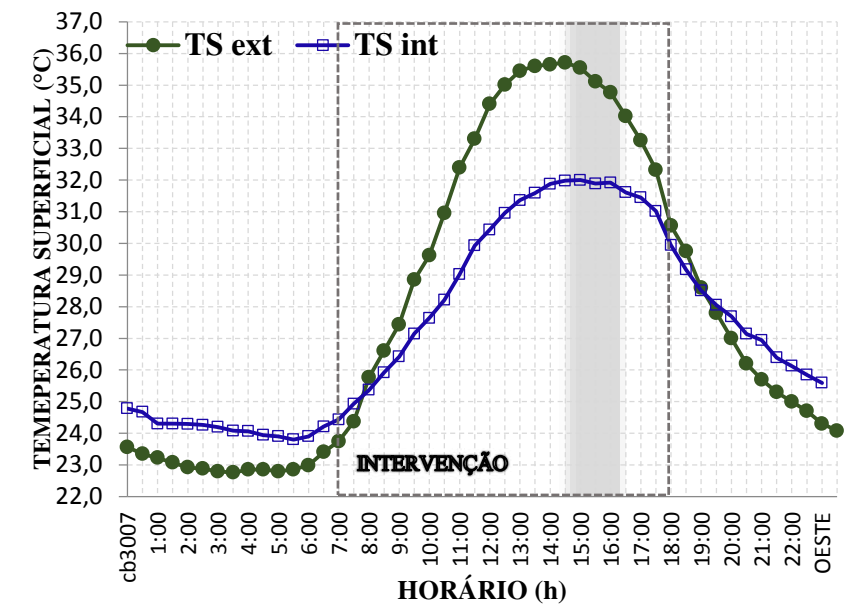


Figura 89 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE da sala para Bandeira e Cobogó aberto. Janela fechada.

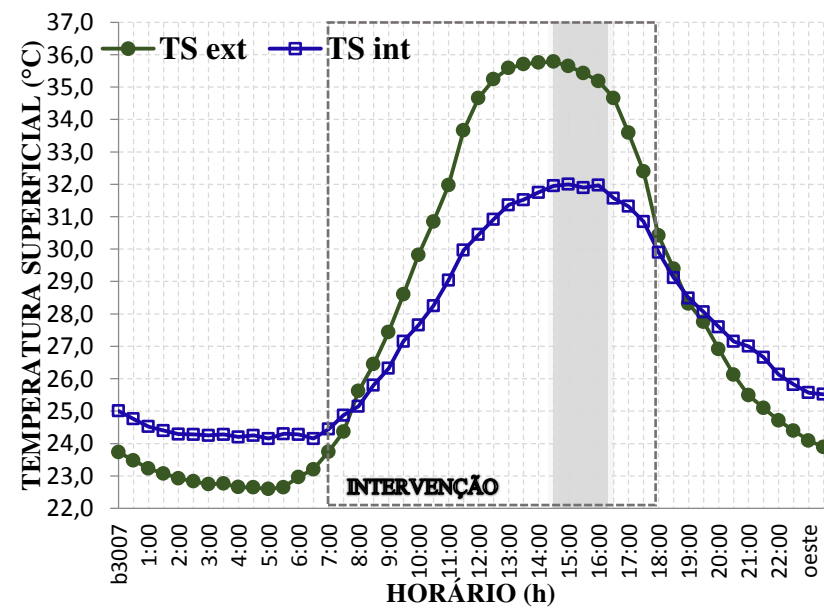


Figura 90 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE da sala para o Bandeira aberta. Janela e Cobogó fechado.

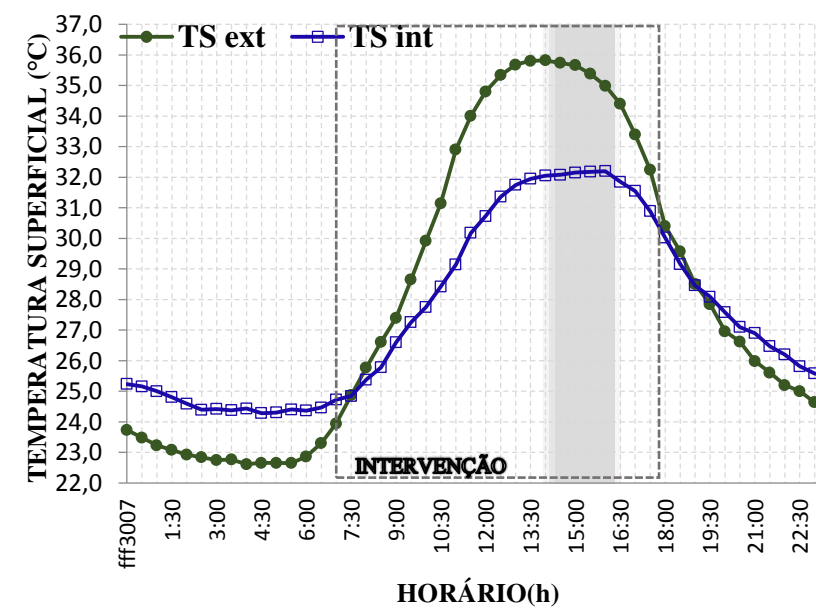


Figura 91 - Gráfico da temperatura superficial da parede OESTE da sala para Bandeira, Janela e Cobogó fechado

O desempenho térmico da alvenaria da Eco Residência rural guarda um estreito alinhamento com os mecanismos de transferência de energia térmica. Os mecanismos de transferência (convecção, condução, radiação, irradiação refletida, bem como a emissão) atuaram no balanço energético do envoltório da habitação e contribuem para a percepção do conforto térmico por parte do morador. Lambert (2014) destaca que o balanço de energia envolvente da edificação tem, como base, a primeira lei da termodinâmica (da conservação da energia). Esta lei estabelece que a diferença entre a energia térmica que ingressa e a que sai da envolvente deve ser igual à variação da energia armazenada ou liberada.

A temperatura superficial externa, considerando todos os envoltórios e todos os tratamentos, apresentou um pico alto entre os 32,48 e 35,63 °C. Ocorre que a incidência do sol sobre os envoltórios externos das edificações representa, em maior ou menor escala, um ganho de energia térmica, diretamente relacionado com a intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais. Observa-se, também, a transferência de energia por convecção externa transportada pelo ar e irradiação refletida pelo solo.

Para minimizar o problema da alta temperatura superficial externa é de boa técnica inserir elementos que possam proteger as alvenarias externas da habitação. Aspectos como grandes beirais, *brises* verticais e horizontais, arborização, dentre outros, têm a capacidade de reduzir a incidência direta do sol, diminuindo a transferência de energia térmica por radiação.

O amortecimento (diferença entre a temperatura máxima da face externa e a temperatura máxima da face interna da parede) também pode ser observado em todas as situações e variou entre 2,36 e 2,95 °C, considerando todos os envoltórios e todos os tratamentos. Através do interior da alvenaria ocorre a transferência de energia térmica por condução (parte maciça do tijolo) e por convecção considerando-se a transferência pelas duas câmaras de ar interna do tijolo. Neste caso, salienta-se a importância da utilização de componentes construtivos com elevada inércia térmica, o que permite aumentar a diferença das temperaturas máximas da face externa em relação à face interna da envoltória. Assim, os picos de temperatura verificados externamente são menos transmitidos para a face interna da alvenaria, o que é particularmente relevante em clima quente e seco, em que a temperatura alcança valor muito alto, no decorrer do dia e baixo durante a noite.

O atraso térmico observado nos gráficos concernentes à temperatura superficial das paredes, aponta para um retardo médio de 2 horas. Observa-se que, apesar das temperaturas externa e interna, em determinado momento ter apresentado uma diferença específica, o fluxo de energia térmica, decorrente dessa diferença de temperatura, só se expressou mais tarde, caracterizando o fenômeno denominado atraso térmico. À luz da termodinâmica compreende-

se que esse tempo de atraso é tanto maior quanto menor for a difusividade térmica do material que constitui a parede.

O atraso na onda de calor faz com que a energia térmica incida no ambiente interno apenas no período da noite, fazendo com que a temperatura superficial interna se torne maior que a externa e invertendo, conseqüentemente, o sentido do fluxo de calor.

Os horários nos quais se verifica a inversão, têm pequenas diferenças e, na maioria das vezes, a média da temperatura superficial externa superou a interna por volta das 7 h.

Por outro lado, a média da temperatura superficial interna ultrapassa a média da temperatura superficial externa em horários que variam em torno das 18 h, aproximadamente. A partir deste horário, a energia perdida na camada da Terra é maior que a recebida, fazendo com que a temperatura da superfície da Terra diminua. Por consequência, a superfície externa dos invólucros das edificações tende a cair tornando-se inferior à face interna, o que ocorre no horário noturno. Nesta situação a condução térmica ocorre de dentro para fora. As temperaturas nas superfícies exteriores das paredes modificaram conforme uma “onda” com as superfícies apresentando amplitudes térmicas ao longo do dia

As alterações sofridas no comportamento das temperaturas superficiais das alvenarias externas ($t_{s\ ext.}$) podem ser explicadas em razão da incidência direta dos raios solares, da radiação refletida pelos elementos do entorno (neste caso, pelo terreno) e pela convecção da temperatura do ar exterior. Em virtude disto, é de grande relevância as características de absorvidade e o grau de sombreamento de sua face externa.

A amplitude térmica da temperatura superficial externa, considerando a média máxima ocorrida em torno das 14 h e a média mínima ocorrida por volta das 5 h, é no valor entre 10,42 e 13 ° C. Reforça-se o fato de que a incidência solar é uma das mais relevantes matrizes de energia térmica e sua incidência sobre o invólucro externo da habitação provoca ganho de energia. Durante o turno da manhã e da tarde e em razão dessa radiação solar, tal como em razão da convecção externa e da emissão dos elementos no entorno, a temperatura superficial na face externa da envolvente é mais elevada que a interna. Por outro lado, no turno da noite ocorre redução da temperatura do ar externo e da face externa da parede, em razão da ausência da incidência da radiação solar.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

- ✓ Para o caso da melhor simulação de manipulação das aberturas, onde constam esquadrias externas e cobogós abertos, a temperatura do ar interno se manteve durante o período do verão de 2016, entre 22 a 28 °C para os ambientes estudados. As menores temperaturas foram registradas no início do período de intervenção, ou seja, às 07 h. No entanto, as maiores temperaturas foram registradas entre as 14h30 e 16h. Para esta manipulação conclui-se que os ambientes estudados estão dentro da zona de conforto, ao longo de todo o dia, quando se analisa apenas a variável temperatura;
- ✓ A rotina de maior adversidade, ou seja, em que todas as esquadrias externas e cobogós estavam fechados, a temperatura do ar oscilou dentro da faixa 23 a 30,7 °C para o quarto com laje; no intervalo de 22,6 a 30,5 °C para a sala e uma faixa compreendida de 22,7 a 30,4 °C para o mezanino da Eco Residência Rural. Em todas as situações, as menores temperaturas foram registradas no início do período de intervenção, ou seja, das 6 às 7 h, e as maiores temperaturas foram anotadas entre as 14 e 16 h. Para esta manipulação conclui-se que os ambientes estudados estão dentro da zona de conforto, ao longo do turno da manhã e noite;
- ✓ De acordo com os Índices relacionados apenas com as variáveis climáticas, observa-se que, para o WBGT, todos os ambientes podem ser classificados como toleráveis à realização de atividades pesadas e em trabalho contínuo, sem grandes prejuízos à saúde e à produtividade humana;
- ✓ De acordo com o Índice de Desconforto (DI) concluiu-se que os ambientes da sala, quarto com laje e mezanino são caracterizados como termicamente confortáveis durante o turno matutino. No entanto, deve-se adotar medidas para melhorar o conforto da habitação no turno da tarde. Em nenhuma situação ocorreu classificação de ambiente com desconforto generalizado.

- ✓ Quanto ao Índice de Temperatura e Umidade (THI), o quarto com laje, a sala e o mezanino podem ser classificados como confortáveis termicamente ao longo de todo o dia.
- ✓ Para os índices de conforto térmico que associam variáveis climáticas com parâmetros individuais, o procedimento foi baseado em uma avaliação fundamentada pelos índices PMV, PPD e o PET. Para o PMV/PPD, de maneira geral, a caracterização dos ambientes estudados no período de verão e no horário vespertino, permite afirmar que pessoas percebem o ambiente térmico da sala, quarto com laje e mezanino como “ligeiramente quente”, mesmo quando expostas à maior ventilação (janelas, bandeiras e cobogós abertos). Por outro lado, no horário matutino e antes das 8 h, os ambientes podem ser classificados termicamente como “ligeiramente frios”, mesmo quando todas as esquadrias e elementos vazados se encontram fechados. Os resultados mostram que o conforto ótimo é atingido em torno das 9 h, para todos os ambientes.
- ✓ O quarto com laje é considerado o mais confortável quando os tratamentos são: cobogós-janela-bandeira abertos, cobogós-janela abertos e janela-bandeira abertos. O mezanino mostrou-se mais confortável para os tratamentos cobogós-bandeira abertos. Tal fato atesta a contribuição positiva da ventilação natural para o conforto interno.
- ✓ Para análise de desempenho térmico dos invólucros do quarto, da sala e do mezanino, segundo o método de “*medição in locu*”, pode-se afirmar que a unidade habitacional atende aos requisitos estabelecidos nas normas brasileiras de desempenho térmico.
- ✓ As temperaturas superficiais internas da parede foram superiores às suas correspondentes temperaturas externas durante a noite, sendo que ocorreu uma inversão dos valores durante o dia. A inversão, em número de duas, ocorreu nos horários das 7 h, pela manhã, e entre 17 e 18 h, no período vespertino. O atraso térmico ocorreu numa grandeza na ordem de 2 horas. As temperaturas superficiais internas ($t_{s_int.}$) foram substancialmente influenciadas pela inércia e resistividade térmica dos materiais que, combinados, compõem o sistema de vedação vertical.

- ✓ As diferentes taxas de ventilação, referentes aos tratamentos adotados, não provocaram efeitos significantes na $t_{s \text{ int.}}$, a despeito do posicionamento (relativo às aberturas) dos pontos de medição. Tal fato ocorreu em razão da existência de ponto de estagnação na face interna envoltória medida.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ As características do entorno da habitação interferem diretamente nos resultados de conforto térmico. Sugere-se, assim, o estudo de uma Eco Residência Rural, dotado de sistema arbóreo no seu entorno, sobretudo na área próxima às aberturas dos invólucros. Porém sem prejudicar a ventilação natural da habitação;
- ✓ Pesquisas relativas às propriedades térmicas do material alternativo construtivo, sobretudo o tijolo solo-cimento, notadamente à luz dos princípios da Termodinâmica;
- ✓ Realização de pesquisas voltadas ao conforto térmico em Eco Residência com a tipologia assemelhada a esta mas construída em outras regiões do estado da Paraíba, notadamente na região denominada alto sertão, visando aprofundar o tema sustentabilidade relacionado a este modelo de habitação;
- ✓ Alteração no tamanho do beiral do projeto, tal como a implantação de outros recursos técnicos, a exemplo de brises, de modo a aumentar o sombreamento das envoltórias da habitação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro.
Desempenho térmico de edificações - Parte 1: NBR 15.220-1. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Desempenho térmico de edificações - Parte 2:** NBR 15.220-2. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Desempenho térmico de edificações - Parte 3:** NBR 15.220-3. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Edifícios habitacionais – Desempenho - Parte 1:** NBR 15.575-1. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Edifícios habitacionais – Desempenho - Parte 4:** NBR 15.575-4. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Edifícios habitacionais – Desempenho - Parte 5:** NBR 15.575-5. Rio de Janeiro, 2013.

Abreu, L. V.; Labaki, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.

Albuquerque, L. Q. C.; Biscaro, G. A.; Negro, S. R. L.; Oliveira, A. C. de; Carvalho, L. A. de; Leal, S. T. Resistência à compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832). **Revista Ciência agrotécnica**, v. 32, n. 2, p. 553-560, mar./abr., 2008.

Almeida, R. A. C. dos S. de; Veiga, M. M. Processo de trabalho rural e EPI's: discussão sobre termorregulação corporal. **Revista P&D**, v.08, n.02, p. 29-39, 2010.

Alves, J. J. A. Caatinga Do Cariri Paraibano **Revista Geonomos** , v. 17, p. 19-25, 2009.

Banzi, M. **Primeiros Passos com Arduíno**. 1.ed. São Paulo: Novatec Editora. 2012. 20 p.

Baracuhy, J. G. de V. **Manejo integrado de microbacias no semiárido nordestino: estudo de um caso**. Campina Grande: UFPB, 2001. 221p. Tese Doutorado

Baracuhy, V. S.; Pereira, J. P. G.; Ferreira, A. C.; Silva, V. F. Eficiência na remoção de coliformes em águas cinza através da fitorremediação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 10, n.1, p. 57 - 61, jan-mar, 2015.

Barroso-Krause, C.; Santos, M.J. de O.; Niemeyer, M. L.; Porto, M. M. Bioclimatismo no Projeto de Arquitetura: Dicas de Projeto. **Apostila da disciplina de Conforto Ambiental**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 83p.

Batiz, E. C.; Goedert, J.; Morsch, J. J.; Kasmirski-Jr, P.; Venske, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Revista Produção**, v.19, n.3, p.477-488, 2009.

Beraldo, J. C. **Eficiência Energética em edifícios: avaliação e uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2006. 285p.

Bittencourt, L.; Cândido, C. **Ventilação Natural em edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2010.

BRASIL - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de Fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cabaceiras, Estado da Paraíba**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3214 de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR- do Capítulo V, Título II, da Consolidação das

Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho: NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 06 jul. 1978.

Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Righi, E.; Bressan, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Revista Ciência Rural**, v.45, n.2, p.223-230, fev. 2015.

Callejas, I. J. A.; Nogueira, M. C. de J. A. Sensação Térmica em ambiente urbano a céu aberto na cidade Cuiaba-MT. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, v.9, n.9, p.1946-1958, Fev. 2013.

Carvalho, C. da C. S.; Santos, T. C. dos; Silva, G. C. da; Santos, L. V.; Moreira, S de J. M; Botelho, Luiz F. R. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e ambiental**, v.18, n.7, p.769–773, 2014.

Carvalho, M. T. M.; Sposto, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Revista Ambiente Construído**, v.12, n.1, p.207-225, jan./mar. 2012.

Cavalcante, M. A.; Tavoraro, C. R. C.; Molisani, E. Física com Arduíno para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p.1-9, 2011.

Castro, S. F. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2008. 112 p. Dissertação Mestrado

Christmann, S. S.; Bitelbron, A. F. F.; Nogueira, B. T. M. V. Estudo da Ventilação Natural em uma Edificação Residencial. **Revista Gestão e Desenvolvimento Em Contexto-Gedecon**. v. 3, nº. 01, pp. 13-24. 2015.

Cunha, G. C de A. **Influência da tipologia de coberta e aberturas de ventilação no conforto térmico em habitação de interesse social**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2013. 162 p. Dissertação de Mestrado

Curcio, D. da R. **Desempenho termo-energético de Habitações de Interesse Social produzidas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2011. 181 p. Dissertação de Mestrado

Diniz, J. A. V.; Diniz, I. S. A CASA AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL. **Relatório Programa de Pesquisa e iniciação Científica.** 2008. 36 p.

Farias, P.M. **Condições do ambiente do trabalho do professor: avaliação em uma escola municipal em Salvador-BA.** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2009. 225 p. Dissertação de Mestrado

Fernandes Neto, S.; Travassos, K. D.; Ferreira, A. C.; Santos, J. S. dos; Baracuhy Neto, G. M.; Medeiros, S. S. de; Medeiros, J. X. de. Dossiê ambiental - zona rural do município de Cabaceiras-PB. **Revista Educação Agrícola Superior.** v. 21, n 02, p. 52-53, 2007.

Ferrão, A. M. de A. Arquitetura Rural e o espaço não-urbano. **Revista Labor & Engenho,** v.1, n.1, p.89-112, 2007.

Ferreira, A. C.; Travassos, K. D.; Medeiros, J. X. de; Lima, V. L. A. de; Rached, S. A.; Baracuhy, J. G. de V.; Castro, S. F. de. Eco Residência com sustentabilidade no sertão paraibano. **Revista Educação Agrícola Superior.** v.22, n.1, p.23-32, 2007.

Ferreira, A. C; Silva, V. F.; Baracuhy, J. G. de V.; Lima, V. L. A. de. Unidades de produção agrícola controlada no semiárido para o tratamento de água cinza. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.** v.8, n.4, p.183-188, 2013.

Florim, L. C.; Quelhas, O. L. G. Contribuição para a construção sustentável: características de um projeto habitacional Eco-eficiente. **Revista ENGEVISTA,** v. 6, n. 3, p. 121-120, dezembro 2004

Fonseca, I. C. L. da; Almeida, C. C. da R. de; Bittencourt, L. L. L.; Mello, E. N. Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de

Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. **Revista Ambiente Construído**, v.10, n.2, p.41-58, 2010.

Fontanella, M. S. **Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. Ouro Preto: UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. 2009. 164pp. Dissertação de Mestrado

Frota, A. B.; Schiffer, S. R. **Manual do conforto térmico**. 8.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, Centro de Estatística e Informações, Belo Horizonte. **Déficit habitacional no Brasil 2009**. Belo Horizonte, 2012.

Galvêncio, J. D.; Dantas, L. G.; Fernandes, J. G.; Silva, J. B.; Moura, M. S. B.; Machado, C. C. C. Análise da temperatura do ar e da superfície no Sítio Boa Felicidade em São José do Sabugi-PB no Semi-árido do Brasil. **Revista de Geografia**. v. 26, n. 2, mai/ago. 2009.

Gasparini, R. R. **Modelagem da Transferência de calor combinada por condução e radiação em isolantes térmicos de Edificações**. Curitiba: Universidade Católica do Paraná, 2005.109p. Dissertação Mestrado

Giles, D. B.; Balafouts, C.; Maheras, P. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. **International Journal of Biometeorology**, v.34, p.98-104, 1990.

Givoni, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Revista Energy and Buildings**, v.18, p.11-23. 1992

Grande, F.M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003. 165 p. Dissertação Mestrado

Graças, J. A. das. **Residências Sustentáveis e sua Contribuição ao Meio Ambiente**. Guimarães/Portugal: Universidade de Minho, 2010. 133p. Dissertação Mestrado

Gonçalves, J. C. S.; Duarte, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Revista Ambiente Construído**, v.6, n.4, p.51-81, Out./Dez. 2006.

Gouvea, M. L. **Cenário de impacto da propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007, 91p. Dissertação de Mestrado

Hirashima, S. Q. da S. **Percepção sonora e térmica e avaliação do conforto em urbano espaços abertos no município de Belo Horizonte**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014. 246p. Tese de Doutorado.

IBGE, **Instituto Brasileiro de geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 28/07/2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>> Acessado em 06 jan. de 2016.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=20656> Acessado em 16 dez. de 2015.

Kruger, E. L.; Drach, P. R. C.; Emmanuel, R.; Corbella, O. D. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Revista Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 7-25, Jan./Mar. 2012.

John, V. M.; Silva, V. G.; Agopyan, V. Agenda 21: Uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: II Encontro Nacional,2, e I Encontro Latino Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis,1, 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre : ANTAC, 2001. p. 91-98.

Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura (3ª Edição)**. Editora: ELETROBRAS/PROCEL. 1997.

- Lamberts, R.; Xavier, A. A. de P. **Conforto térmico e stress térmico**. Apostila da disciplina: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 111p.
- Lamberts, R.; Ghisi, E.; Abreu, A. L. P. de.; Carlo, J. C. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila da Disciplina de Graduação ECV 5161, Graduação em Engenharia Civil. 3.ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 82p.
- Lamberts, R.; Xavier, A. A. de P.; Goulart, S.; Vecchi, R. de. **Conforto e stress térmico**. Apostila da disciplina ECV 4200: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 139p.
- Leite, E. S. C. de, **Stress Térmico por Calor - Estudo comparativo dos métodos e Normas de quantificação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2002. 152 p. Dissertação de Mestrado
- Lima, S. S. de; Marcelo, V. C. C. Casa sustentável para a cidade de São Paulo. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**. v.4, n.2, p.1-37, Ago. 2014.
- Lopes, R.M.; Carvalho, L. F. M. de; Lima, A. M. de Lima. Variabilidade da temperatura do ar no entorno da Usina Hidroelétrica Barra dos Coqueiros-GO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1071-1078, 2012.
- Lyra, D. S. F. M. **Aplicabilidade de índices de conforto térmico: um estudo de caso em Salvador – BA**. Universidade Federal da Bahia. 2007. 132 p. Dissertação Mestrado
- Maia, J. A. ; Gonçalves, F. L. T. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de São Paulo – PARTE 1**. Anais: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, p. 305-314, Foz de Iguaçu, 2002.
- Marques Junior, N. K. Altas Temperaturas. **Revista Movimento & Percepção**. v. 9, n. 12, p. 6-17. Jan/jun 2008.

- Martins, F. R.; Pereira, E. B.; Echer, M. P. de S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 145 – 159. 2004.
- Matos, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. 108pp. Dissertação Mestrado
- Meira Filho, A. da S.; Nascimento, J. W. B. do; Lima, V. A. de L.; Santos, J. S. dos. Desenvolvimento de um modelo de captação de água. **Revista Engenharia Ambiental**. V. 6, n. 1, p. 121-136, jan/abr 2009.
- Medeiros, S. de S.; Cecílio, R. A.; Melo Junior, J. C. F. de ; Silva Junior, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental** v. 9, n.2, Abr./Jun 2005
- Medeiros, R. M.; Brito, J. I. B. de; Borges, C. K. Análise Hidroclimático do Município de Cabaceiras, PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 05, 1174-1190, 2012.
- Monteiro, L. M.; Alucci, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Revista Ambiente Construído**, v.7, n.3, p.43-58, Jul./Set. 2007.
- Monteiro, L. M.; **Modelos Preditivos de Conforto Térmico, quantificação de relações entre as variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projetos de Espaços abertos**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2008. 382p. Tese de Doutorado
- Moreira, E.; Targino, I. De território de exploração a território de esperança: organização agrária e resistência camponesa no semi-árido paraibano. **Revista Nera**. n. 10, p. 72-93. Janeiro/Junho 2007.
- Moura, L. F.. **Verificação Da Existência De Imprecisões Nos Valores Do Índice De Isolamento Térmico De Vestimenta Da Norma Iso 9920:2007**. PONTA GROSSA:

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. 2012. 111pp. Dissertação de Mestrado

Nascimento, S. S. do; Alves, J. J. A. Ecoclimatologia do Cariri Paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**. v. 2, n.3. 2008.

Nóbrega, R. S.; Lemos, T. V. da S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)** v. 28, n 1, p. 93-109, 2011.

Nogueira, C. E. C.; Siqueira, J. A. C.; Souza, N. M. de; Niedzialkoski, R. K.; Prado, N. V. Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do “Projeto CASA”, Unioeste, Campus de Cascavel. **Revista Acta Scientiarum. Technology** , v.34, n.1, p.3-7, Jan./Mar. 2012.

Nogueira, M. C. de J. A.; Durante, L. C.; Nogueira, J. de S. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista eletrônica Mestrado Educação Ambiental**, v.14, p.37 – 49, Jan./ Jun. 2005.

Ochoa, J. H.; Araújo, D. L.; Sattler, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Revista Ambiente Construído**, v.12, n.1, p.91-114, Jan./Mar. 2012.

Oliveira, M. G. K. **Desenvolvimento de um suporte flexível para ensaio de um modelo aerolásticos em tunel de vento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 103 p. Dissertação de Mestrado

Oliveira, L. M. F. de; Yanagi Junior, T.; Ferreira, E.; Carvalho, L. G. de; Silva, M. P. da. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, pp. 1-11, Set./Dez. 2006.

Oliveira, G. S. J. F. de O.; Queiroz, M. T. A.; Pagiola,-R. G.; Ferreira, W. L. Conforto térmico no ambiente de trabalho: avaliação das variáveis subjetivas da percepção do calor. In VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 7, 2010,

- Pereira, R. R.; Souza, A. de O. O discurso da estiagem como fator limitante ao crescimento econômico: um estudo de caso da cidade de Cabaceiras – PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial 3, v.7, n.1, pp.503-519, 2013.
- Peres, R. B. **Habitação Rural, Discussão e diretrizes para políticas públicas, planejamentos e programas habitacionais**. São Carlos: Universidade de São Paulo. 2003. 212 pp. Dissertação Mestrado
- Persson, J. G. **Análise Comparativa dos Planos de DRS, Desenvolvimento Regional sustentável- na cadeia de leite da regional do BB em Passo Fundo-RS**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. 41 pp. Especialização
- Petalas, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2015. 274pp. Tese de Doutorado
- Pinto, N de M. **Condições e parâmetros para a Determinação de Conforto Térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011. 110 pp. Dissertação Mestrado
- Pinto, V. L. R. **Reabilitação Integrada de um Edifício Visando a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior**. Portugal: Universidade do Minho. 2014. 148pp. Dissertação Mestrado
- Pinto, S. M. F. **Modelação e Previsão de Velocidade de Ventos**. Portugal: Universidade do Porto. 2015. 98p. Dissertação Mestrado
- Porfírio, A. C. S. **Estimativa de irradiação solar direta normal mediante satélite: um estudo para o nordeste brasileiro**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2012. 165 p. Dissertação de Mestrado
- Reis, A. T. da Luz; Lay, M. C. D. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Revista Ambiente Construído**, v.10, n.3, pp.99-119, jul./set. 2010.

Rocha, V. de P. T.; Baracuh, J. G. de V.; Furtado, D. A.; Francisco, P. R. M. **Eco residência rural**. In: Baracuh, J. G. de V.; Furtado, D. A.; Francisco, P.R.M. Unidade de Tecnologias Integradas para Conservação de Recursos Hídricos. Campina Grande: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Universidade Federal de Campina Grande; *Centro de Desenvolvimento, Difusão e Apoio Comunitário*, 2015. Cap.11, p.103-107.

Romero, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. CopyMarket.com, 2000.

Ruas, A. C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. Editora FUNDACENTRO. 1999.

Sánchez, V. U. **Hábitat residência rural, el concepto de habitabilidad en territorios rurales vulnerables. comuna de paredones. Región de O'higgins**. Santiago: Universidade de Chile. 2014. 157pp. Dissertação Mestrado

Santos, R. L.; Andrade, H. O. de. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista Geografia Norte Grande**, n.40, Setemb./2008.

Santos, J. C. P. dos; Kothe, K. K.; Mohamad, G.; Vagheti, M. A. O.; Rizzatti, E. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Matéria**, v.20, n.4, pp. 1030-1047, 2015.

Santos, S. de F. de O. M.; Hatakeyama, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Revista Produção**, v.22, n.2, pp.309-321, mar./abr. 2012.

Silva, A. S.; Sorgato, M. J.; Mazzaferro, L.; Melo, A. P.; Ghisi, E. Incerteza do método de simulação da NBR 15575- 1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Revista Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, pp. 103-117, out./dez. 2014.

Silva, B. I. C. **Comportamento Térmico de Fachadas Ventiladas**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2015, 94pp. Dissertação de Mestrado

Silva, F. S.; Brito, K. S. A. de; Nascimento, E. C.; Farias, S. A. R. de. Produção de tijolo ecológico para construção de residência no semiárido. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.29, n.1, pp.41-44, 2014.

Silva, J. G. da. **Climatologia e Meteorologia**. 3ª edição. Editora UnisulVirtual, 2011.183 p.

Silva, R. G. **Biofísica Ambiental: os animais e seu ambiente**. 1ª edição. Jaboticabal: Funep, 2008. 393p.

Silva, V. G. da; Silva, M. G. da; Agopyan, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Revista Ambiente Construído**, v.3, n.3, pp.7-18, Jul./Set. 2003.

Siqueira, T. C. P. A.; Akutsu, M.; Lopes, J. I. E.; Souza, H. A. de. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola Minas**, v. 58, n.2, pp. 133-138, abr./jun 2005.

Sette, D.M.; Ribeiro, H.; Silva, E. N. de. O índice de temperatura fisiológica equivalente (PET) aplicado a Londrina-PR. e sua relação com as doenças respiratórias. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.2, n.5, pp.813-825, 2012.

Sorgato, M. J.; Melo, A. P.; Marinoski, D. L.; Lamberts, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Revista Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, pp. 83-101, out./dez. 2014.

Sousa, M. M. de; Drumond, L. C. D.; Naldi, M. C. Sistema Computacional para aquisição automática e disponibilização de Dados Meteorológicos. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.606-612, 2015.

Sousa, R. F. de; Barbosa, M. P.; Morais Neto, J. M. de; Fernandes, M. de F. Estudo do processo da desertificação e das vulnerabilidades do município de Cabaceiras–Paraíba. **Revista Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 4, n. 1, p. 089-102, jan/jun 2007.

- Sousa, R. F.; Fernandes, M. F.; Barbosa, M. P. Vulnerabilidades, semi-aridez e desertificação: cenários de riscos no Cariri Paraibano. **Revista OKARA: Geografia em debate**. v.2, n.2, p. 128-206, 2008.
- Sousa, R. R. de; Antunes, J. P.; Cabral, I. Estação Meteorológica de Baixo Custo. **Revista Geo UERJ**, n. 27, p. 80-97, 2015.
- Souza, A.; Pavão, H. G.; Lastoria, G.; Gabas, S. G.; Cavazzana, G. H.; Paranhos Filho, A. C. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **REA – Revista de estudos ambientais (Online)** v.12, n. 2, p. 15-25, jul./dez. 2010.
- Souza, A. **As influências das variáveis ambientais na morbidade respiratória na cidade de Campo Grande-MS**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2013. 106 p. Dissertação de Mestrado
- Souza, A. de; Fernandes, W. A.; Pavão, H. G.; Lastoria, G.; Albrez, E. do A. **Potenciais impactos da variabilidade climática sobre a morbidade respiratória em crianças, lactentes e adultos**. J. bras. pneumol. v.38 n.6 São Paulo Nov./Dec. 2012.
- Souza, C.F.; Tinôco, I.F.F.; Baêta, F.C. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n.1, p.157-164, 2002.
- Souza, D. M.; Nery, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 21, n.2. p.65-83, maio/ago. 2012
- Souza, H. A. de; Fontanella, M. S. Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da Universidade Federal de Ouro Preto. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n.4, p.415-419, out. dez. 2011.
- Souza, H. A. de, Rodrigues, L. S. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. **Revista Escola Minas**, v.65, n.2, p.189-194, Jun 2012.

Souza, M. I. B.; Segantini, A. A. S.; Pereira, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n2, p.205–212, 2008.

Thom, E. C. The Discomfort Index. **Weatherwise**. P. 57-60, april, 1959.

Torres, S. C. **Arranjos construtivos Urbanos: Um estudo sobre a influencia da configuração de conjuntos habitacionais Verticais na Qualidade Térmica de Edificações em Maceió-AL**. Universidade Federal de Alagoas. 2006. 76 p. Dissertação de Mestrado

Trindade, S. C.; Pedrini, A.; Duarte, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. **Revista Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p.37-58, Out./Dez. 2010.

Varejão-Silva, M. A. *Metereologia e Climatologia*. Xx ed. Recife: Editora, 2006

Vieira, C. C. Conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo. 2008. 187p. Dissertação de Mestrado

Xavier, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. Florianópolis: Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 1999. 209p. Dissertação de Mestrado

Xavier, A. A. de P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias** Florianópolis: - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 2000. 267p. Tese de Doutorado