



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Carolina Rodrigues Dal Soglio

Comportamento higrotérmico de ambientes internos com paredes em adobe: Estudo de caso em edificação residencial em Florianópolis/SC.

Florianópolis
2019

Carolina Rodrigues Dal Soglio

Comportamento higrotérmico de ambientes internos com paredes em adobe: Estudo de caso em edificação residencial em Florianópolis/SC.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.

Coorientador: Prof. Roberto Lamberts, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dal Soglio, Carolina Rodrigues

Comportamento higrotérmico de ambientes internos com paredes em adobe : Estudo de caso em edificação residencial em Florianópolis/SC. / Carolina Rodrigues Dal Soglio ; orientador, Martin Gabriel Ordenes Mizgier, coorientador, Roberto Lamberts, 2019.

150 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Adobe. 3. Inércia Térmica. 4. Edificações residenciais. 5. clima subtropical úmido. I. Mizgier, Martin Gabriel Ordenes. II. Lamberts, Roberto. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Carolina Rodrigues Dal Soglio

Comportamento higrotérmico de ambientes internos com paredes em adobe: Estudo de caso em edificação residencial em Florianópolis/SC.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Michele Fossati, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Ana Ligia Papst de Abreu, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Saulo Güths, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.

Coordenador do Programa

Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2019

À minha principal referência, minha mãe, Rosângela e
ao Ailton, pelo companheirismo e poesia.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha mãe, Rosângela Schwarz Rodrigues, ao meu pai, Fábio Kessler Dal Soglio e ao meu padrasto, Paulo Emílio Lovato, pelo afeto, incentivo e apoio, sempre. Ao meu companheiro, Ailton Pereira Junior, fonte de poesia e amor.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Martin Ordenes Mizgier e ao meu Coorientador, Prof. Roberto Lamberts, por me orientarem ao longo do processo. Ao Prof. Saulo Guths, Prof. Ana Lígia Papst e Arq. Greici Ramos pelas valiosas contribuições.

Meus agradecimentos aos amigos do LabCon: Mayna Tenório, Fabíola Arnt, Jéssica Carvalho, Yuri Piffer, Ricardo Rupp, Natália Gonzalez, Natália Queiroz, Mônica Martins Pinto, Franciele Da Rosa, Vinicius de Castro e Dayan Loyola, pelo exemplo e parceria ao longo do processo. À Lidiane Richartz, pelo aporte ao trabalho e por sua dedicação.

À minha irmã, Java Orlando Teixeira, às Neides Gabriel Villas-Boas, Camila Barbosa de Amorim, Maria Eduarda Lima e Fernanda Oliveira. Aos demais amigos da vida, por compreender minha ausência em alguns momentos.

Aos amigos e colegas Arq. Ana Ruivo e ao Arq. Paulo Rodriguez, que contribuíram com minha formação como arquiteta e como ser humano, assim como para o desenvolvimento da arquitetura bioclimática em terra.

À Isabela e ao Sérgio, pela extrema paciência e bondade que demonstraram, viabilizando a produção deste trabalho.

Estendo meus agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para esta pesquisa e à população brasileira que, através da CAPES, apoiou financeiramente, permitindo dedicação a esta obra.

“Sou o que sou graças ao que somos todos nós”.

“Crie sua arquitetura com o que está sob seus pés”

Hassan Fathy

RESUMO

O setor de construção civil é responsável por grande impacto ambiental, em parte pelas emissões de gases do efeito estufa e pelo alto consumo de energia primária na etapa de construção e de operação das edificações, visto que as edificações consomem cerca de 30 a 40% da energia primária global (UNEP, 2009). Projetos arquitetônicos bioclimáticos aliados a sistemas construtivos de baixa energia incorporada e passíveis de reciclagem têm a capacidade de reduzir o consumo de energia, a emissão de gases do efeito estufa e a produção de resíduos ao longo do ciclo de vida dos ambientes construídos. A terra é um material de construção civil com potencial de reduzir o consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono na fase de construção e de operação das edificações. A terra apresenta condutividade térmica mediana e, a partir de certa espessura de material, alta capacidade térmica. O fato de ser um material poroso possibilita que os sistemas construtivos de terra absorvam e liberem umidade em forma de vapor. Este estudo tem por objetivo avaliar o comportamento higrotérmico de ambientes internos com vedações verticais em adobe no clima subtropical úmido com verão quente de Florianópolis (SC), sendo o objeto deste estudo uma residência unifamiliar, construída em 2017. A temperatura e a umidade relativa horária foram coletadas em ambientes internos e externos por 9 meses (02/06/2018 a 02/03/2019), em períodos com temperaturas frias, amenas e quentes. Durante o verão, as temperaturas internas do ar de dois ambientes semelhantes, um fechado e outro com ventilação noturna, foram comparadas. Para compreender o comportamento térmico das paredes no verão foram coletadas temperaturas de superfície de duas paredes voltadas para o leste, dos dias 10/01 a 10/02/2019. Os ambientes internos apresentaram amortecimento térmico mais acentuado para as temperaturas externas mais baixas do que para as mais altas. No período frio o atraso térmico foi significativo, levando até 4 dias para os ambientes internos responderem a uma queda de temperatura de 9 °C no ambiente externo. Foi possível concluir que, no clima subtropical úmido, as paredes de tijolos de adobe com grandes espessuras (neste caso de 30 cm), que possuem alta inércia térmica, devem ser aplicadas em uma edificação que apresente um conjunto de fatores favorável a seu desempenho ótimo: sombreamento no verão, potencial de ventilação noturna, operação dos usuários (manter aberturas fechadas ao longo do dia e abertas à noite, uso de insufladores para favorecer as trocas). Avaliando o comportamento térmico de dois dormitórios com operação das aberturas controlada, percebeu-se resfriamento de até 2 °C da temperatura interna do ar através da ventilação noturna.

Palavras-chave: Adobe. Inércia Térmica. Comportamento higrotérmico. Residência.

ABSTRACT

The construction industry is responsible for significant environmental impact, due to greenhouse gas emissions and high primary energy consumption, seen that buildings consume about 30 to 40% of global primary energy (UNEP, 2009). Bioclimatic architectural projects associated with low embodied energy and recyclable constructive systems have the potential to reduce energy consumption, greenhouse gas emissions and waste generation throughout the life cycle of the built environment. Earth is a building material with capacity to attend this demand, reducing energy consumption and carbon dioxide emissions throughout the construction and operation phase of buildings. Thermal properties of earth include a high density, high thermal conductivity and high thermal capacity. A building envelope constructed with earth, depending on the conditions to which the material is exposed, may attenuate external temperature fluctuations and promote a thermal lag. Being a porous material, earth constructive systems can absorb and release moisture in the form of vapor. The aim of this study is to verify the hygrothermal behavior of indoor environments with adobe walls in the humid subtropical climate with hot summer of Florianópolis (SC). The object of this study is a single-family residence, built in 2017 in the south of Florianópolis. Hourly temperature and relative humidity values were collected in indoor and outdoor environments for 9 months (02/06/2018 to 02/03/2019), in periods with cold, mild and hot temperatures. During the summer, the internal air temperatures of two similar rooms, one closed and one with nocturnal ventilation, were compared. To understand the thermal behavior of the walls, surface temperatures of two walls facing east were collected in the summer, from 10/01 to 10/02/2019. The indoor environments of the building analyzed presented a higher thermal attenuation for lower temperatures, other than higher temperatures. In the cold period the time lag was significant, taking up to 4 days for the indoor environments to respond to a 9 °C temperature drop in the exterior environment. It was possible to conclude that, in the subtropical climate, the thick adobe brick walls (in this case of 30 cm) should be applied in a building that presents a set of factors favorable to its optimal performance: summer shading, night ventilation potential, user operation (keep openings closed throughout the day and open at night, use of fans to facilitate fan changes). Evaluating the thermal behavior of two bedrooms with controlled opening operation, it was observed a cooling of up to 2 °C of the internal air temperature through the nocturnal ventilation and that the external air velocity and the window opening and closing times influences the potential for nocturnal ventilation.

Keywords: Adobe. Thermal Inertia. Hygrothermal behavior. Residential building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta bioclimática adaptada ao Brasil	25
Figura 2 – Distribuição de temperaturas mensais.....	27
Figura 3 – Gráfico Rosa dos Ventos.....	27
Figura 4 - Distribuição mensal de chuvas	28
Figura 5 – Distribuição mensal da umidade relativa do ar	28
Figura 6 - Carta Bioclimática de Florianópolis/SC	29
Figura 7 – Efusividade e Difusividade de materiais de construção.....	34
Figura 8 – Atraso térmico e amortecimento	36
Figura 9 - Variáveis que influenciam no desempenho da alta massa térmica.....	42
Figura 10 - Construções com terra e exemplares do patrimônio histórico da UNESCO	43
Figura 11 – Processo de forma (esq.), desforma (centro) e secagem natural dos adobes (dir.)	44
Figura 12 – Mesquita projetada por Hassan Fathy em de Nova Gourna, Egito (1945)	44
Figura 13 – Centro de Ervas da Ricola. Laufen, Suíça (2014).....	45
Figura 14 – Residência projetada por Àngel Castellarnau. Ayerbe, Espanha (2014)	45
Figura 15 - Energia incorporada e Emissão de CO ₂	46
Figura 16 - Transferências de calor e água em uma parede de terra	48
Figura 17 - Condutividade térmica (esq.), calor específico de tijolos (dir.) em relação a variação da umidade relativa.....	49
Figura 18 - Mapa de Florianópolis com indicação do local da residência analisada	57
Figura 19 – Planta dos pavimentos térreo e superior.....	58
Figura 20 - Residência analisada	59
Figura 21 - Fachadas	60
Figura 22 - Detalhamento das paredes de adobe (esq.) e processo de construção (dir.)	62
Figura 23 - Detalhamento da cobertura ajardinada	63
Figura 24 – Localização dos sensores nos Quartos 3 e 4	67
Figura 25 – Análise de proteção solar da abertura norte - Quarto 1 e Quarto 2.....	70
Figura 26 - Difusividade e efusividade dos adobes em comparação a outros materiais utilizados como fechamento de vedações verticais.....	73
Figura 27 – Distribuição diária de temperatura do ar	76
Figura 28 – Diagrama de dispersão entre temperaturas do ar medidas no Labsolar e in loco .	77
Figura 29 – Distribuição diária de umidade relativa do ar e amplitude higríca	77

Figura 30 - Diagrama de dispersão entre umidades relativas medidas no Labsolar e in loco..	78
Figura 31 – Radiação Solar Diária	78
Figura 32 - Gráfico Rosa dos Ventos	79
Figura 33 –Temperatura do ar e radiação solar – Período frio (09 a 22/06/2018)	81
Figura 34 – Umidade relativa do ar e radiação solar - Período frio (09 a 22/06/2018).....	81
Figura 35 – Temperatura do ar e radiação solar - Período ameno (10 a 29/10/2018).....	82
Figura 36 – Umidade relativa do ar e radiação solar – Período ameno (10 a 29/10/2018)	82
Figura 37 – Temperatura do ar e radiação solar – Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)	83
Figura 38 - Umidade relativa e radiação solar – Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)..	83
Figura 39 - Período controlado com ventilação noturna – Temperatura do ar.....	87
Figura 40 - Período controlado com ventilação noturna – Velocidade do ar	88
Figura 41 - Período controlado com ventilação noturna – Temperatura das superfícies	89
Figura 42 - Amplitude térmica diária – Período frio (09 a 22/06/2018)	90
Figura 43 - Amplitude térmica diária - Período ameno (10 a 29/10/2018)	91
Figura 44 - Amplitude térmica diária – Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)	92
Figura 45 - Coeficiente de amortecimento diário – Período frio (09 a 22/06/2018).....	93
Figura 46 - Coeficiente de amortecimento diário (μ) - Período ameno (10 a 29/10/2018).....	93
Figura 47 - Coeficiente de amortecimento (μ) - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)..	94
Figura 48 – Atraso térmico diário – Período frio (09 a 22/06/2018).....	95
Figura 49 - Correlação entre a hora de pico máximo externa e interna – Período frio	96
Figura 50 – Atraso térmico diário - Período ameno (10 a 29/10/2018)	97
Figura 51 - Correlação entre a hora de pico máximo externa e interna – Período ameno	98
Figura 52 – Atraso térmico diário - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)	98
Figura 53 – Correlação entre a hora de pico máximo externa e interna – Período quente.....	99
Figura 54 – Dados de temperatura do ar e umidade relativa medidos de 02/06/2018 a 02/03/2019 plotados na carta bioclimática	100
Figura 55 - Percentual de conforto e desconforto térmico – (02/06/2018 a 02/03/2019)	100
Figura 56 – Estratégias recomendadas – (02/06/2018 a 02/03/2019)	101
Figura 57 – Conforto e desconforto térmico – Período frio (09 a 22/06/2018)	102
Figura 58 – Estratégias recomendadas – Período frio (09 a 22/06/2018)	103
Figura 59 - Conforto e desconforto térmico – Período ameno (10 a 29/10/2018)	104
Figura 60 - Estratégias recomendadas - Período ameno (10 a 29/10/2018).....	104
Figura 61 - Conforto e desconforto térmico - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)....	105

Figura 62 - Estratégias recomendadas - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019).....	105
Figura 63 – Temperatura Externa - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária	106
Figura 64 – Radiação Solar - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária	107
Figura 65 – Umidade Absoluta - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a umidade absoluta interna horária	108
Figura 66 - Diferença entre temperatura interna e externa horária.....	109
Figura 67- Diferença do amortecimento térmico entre Q3 e Q4.....	110
Figura 68 – Calibração de temperatura dos Data Loggers HOBO® Temp/RH.....	125
Figura 69 – Calibração de umidade relativa dos Data Loggers HOBO® Temp/RH	126
Figura 70 – Amostra de adobe.....	127
Figura 71 - Condutividade térmica do adobe em relação a variação da umidade relativa	129
Figura 72 - Amostra de tinta natural camurça sobre reboco de cal e terra	131
Figura 73 - Refletância solar para diferentes comprimentos de onda	132
Figura 74 – Análise de proteção solar das aberturas da residência	133
Figura 75 - Correlograma - Text - (01/06/2018 a 02/03/2018)	142
Figura 76 – Correlograma Radiação solar (01/06/2018 a 02/03/2018).....	142
Figura 77 – Correlograma - Umidade absoluta (01/06/2018 a 02/03/2018).	143
Figura 78 – Correlograma Temperatura interna - Período frio (09 a 22/06/2018).....	143
Figura 79 – Correlograma Radiação Solar - Período frio (09 a 22/06/2018).....	144
Figura 80 – Correlograma - Umidade Absoluta - Período frio (09 a 22/06/2018).....	144
Figura 81 Correlograma - Período ameno	144
Figura 82 – Correlograma - Radiação solar - Período ameno	145
Figura 83 - Correlograma de umidade absoluta - Período ameno.....	145
Figura 84 – Correlograma Temperatura externa - Período quente	146
Figura 85 – Correlograma radiação solar - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019).....	146
Figura 86 – Correlograma Umidade absoluta - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019) .	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Recomendações para o uso da alta massa térmica no clima de Florianópolis/SC .	38
Quadro 2 – Diretrizes de projeto e orientações para edificações com alta massa térmica	39
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do uso da terra como material de construção	47
Quadro 4 – Padrões de ocupação ao longo do período monitorado	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento térmico para Florianópolis/SC.....	30
Tabela 2 - Requisitos de Desempenho térmico NBR 15575 (ABNT, 2013) para ZB 3	30
Tabela 3 – Propriedades da envoltória da residência monitorada	61
Tabela 4 - Propriedades térmicas dos adobes da envoltória.....	63
Tabela 5 - Propriedades térmicas da cobertura.....	64
Tabela 6 - Especificações do HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger	66
Tabela 7 – Especificações dos sensores de temperatura e umidade relativa.....	68
Tabela 8 – Propriedades da envoltória da residência monitorada	69
Tabela 9 - Propriedades térmicas das paredes	72
Tabela 10 - Propriedades térmicas da cobertura.....	73
Tabela 11- Identificação do sensor utilizado em cada ambiente	126
Tabela 12 - Características das amostras	128
Tabela 13 - Propriedades termofísicas do adobe em relação a variação da umidade relativa	129
Tabela 14 - Propriedades termofísicas do adobe em relação à variação da umidade relativa	130
Tabela 15 - Valores de refletância/absortância obtidos através do Refletômetro.	132
Tabela 16 - Resultados da carta bioclimática – 02/06/2018 a 02/03/2019	135
Tabela 17 - Dados plotados na carta bioclimática - 02/06/2018 a 02/03/2019	135
Tabela 18 - Resultados da carta bioclimática - Período frio (9 a 22/06/2018).....	136
Tabela 19 - Dados plotados na carta bioclimática - Período frio (9 a 22/06/2018).....	137
Tabela 20 - Resultados da carta bioclimática - Período ameno (10 a 29/10/2018).....	138
Tabela 21 - Dados plotados na carta bioclimática - Período ameno (10 a 29/10/2018).....	138
Tabela 22 - Resultados da carta bioclimática - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)..	139
Tabela 23 - Carta bioclimática - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019).....	140
Tabela 24 – Período completo de medição (01/06/2018 a 02/03/2018).....	142
Tabela 25 - Período frio (09 a 22/06/2018)	143
Tabela 26 - Período Ameno.....	144
Tabela 27 - Período quente.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI - American National Standards Institute

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

MTA – Massa de ar Tropical Atlântica

MPA – Massa de ar Polar Atlântica

NBR - Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas

ZB - Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Conceito	Unidade
AU	Área Útil	m ²
Aab	Área da abertura	m ²
Avent	Área efetiva para ventilação	m ²
Ailum	Área efetiva para iluminação	m ²
α	Absortância	-
λ	Condutividade térmica	W/m.K
ρ	Densidade de massa aparente	kg/m ³
c	Calor específico	J/kg.K
CT	Capacidade térmica	kJ/m ² .K
U	Transmitância térmica	W/(m ² .K)
FS _o	Fator Solar	%
e _f	Efusividade térmica	W _s ^{0.5} /m ² K
α	Difusividade térmica	m ² /s
φ	Atraso térmico	horas
μ	Coeficiente de amortecimento	-
T	Temperatura	°C
TBS	Temperatura de bulbo seco	°C
UR	Umidade relativa	%
UA	Umidade absoluta	g/m ³

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	23
2.1.1	Arquitetura bioclimática no clima de Florianópolis (SC)	26
2.1.1.1	<i>Condições climáticas de Florianópolis</i>	27
2.1.1.2	<i>Estratégias de condicionamento térmico recomendadas para Florianópolis (SC)</i>	29
2.2	ALTA MASSA TÉRMICA COMO ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA	31
2.2.1	Parâmetros relacionados a inércia térmica	32
2.2.1.1	<i>Difusividade e efusividade térmica</i>	33
2.2.1.2	<i>Atraso térmico e coeficiente de amortecimento</i>	35
2.2.1.3	<i>Influência da temperatura externa e da radiação solar de horas anteriores na temperatura interna de ambientes</i>	37
2.2.2	Recomendações para o uso da alta massa térmica em Florianópolis (SC)	38
2.3	TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	43
2.4	COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DA TERRA.....	48
2.4.1	Medições em campo	51
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA	54
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1	RESIDÊNCIA E PADRÃO DE OCUPAÇÃO.....	57
3.1.1	Propriedades termofísicas da envoltória	60
3.1.2	Padrão de ocupação dos usuários	64
3.2	MEDIÇÕES EM CAMPO	65
3.2.1	Variações climáticas externas	65
3.2.2	Comportamento higrotérmico do ar nos ambientes internos	66
3.2.3	Período controlado com ventilação noturna	67
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBSERVADOS	69
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA.....	69
4.1.1	Morfologia da envoltória	69
4.1.2	Vedações verticais	71
4.1.2.1	<i>Telhado jardim</i>	72

4.1.2.2	<i>Difusividade e efusividade</i>	73
4.2	PERFIL DE OCUPAÇÃO DOS USUÁRIOS	74
4.2.1	Entrevista	74
4.2.2	Questionário	75
4.3	REGISTRO DE CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS (2/06/2018 A 02/03/2019) ..	76
4.4	COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DOS AMBIENTES INTERNOS	80
4.4.1	Distribuição horária de temperatura do ar e radiação solar global	80
4.4.2	Distribuição horária de umidade relativa do ar e radiação solar global	85
4.4.3	Período controlado com ventilação noturna	86
5	TRATAMENTO DE DADOS	90
5.1	AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA.....	90
5.2	AMORTECIMENTO TÉRMICO DIÁRIO.....	92
5.3	ATRASO TÉRMICO DIÁRIO	95
5.4	CARTA BIOCLIMÁTICA	99
5.5	INFLUÊNCIA DE HORAS ANTERIORES	105
5.6	PERÍODO CONTROLADO COM VENTILAÇÃO NOTURNA	108
6	CONCLUSÕES	111
6.1	SUGESTÕES DE TEMAS PARA FUTURAS PESQUISAS	116
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICE A	125
	APÊNDICE B	127
	APÊNDICE C	131
	ANEXO A – Entrevista	147
	ANEXO B – Questionário	149

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm apresentado grandes impactos nos sistemas naturais e a influência antropogênica no clima é evidente, sendo as recentes emissões de gases do efeito estufa as maiores registradas na história (IPCC, 2014). A crise mundial do petróleo, ocorrida na década de 70, evidenciou que as fontes de energia não renováveis que sustentam a urbanização e as transformações industriais não são bens infinitos e passíveis de serem explorados sem prevenção (FLORENSA, 2008). No Brasil, mesmo com 43,2% das fontes de energia consideradas renováveis (EPE, 2018) foram enfrentados colapsos no sistema energético no ano de 2001 (MENDES et al., 2005) e, novamente, em 2015.

O setor da construção civil é responsável por grande impacto ambiental, visto que as edificações consomem cerca de 30 a 40% da energia primária global (UNEP, 2009). No Brasil o consumo de energia elétrica em edificações (setor residencial, comercial e público) corresponde a 51% do total, sendo o setor residencial responsável por 29%. Em 2017 as emissões de dióxido de carbono associadas à matriz energética brasileira foram na ordem de 435,8 milhões de toneladas, sendo 4,3% gerados pelo setor residencial (EPE, 2018).

Com os desafios de sustentabilidade firmando-se cada vez mais como necessidades urbanas (LAMBERTS et al., 2010) a produção de edificações de baixo consumo energético tornou-se um objetivo para o setor da construção civil e uma relevante área de desenvolvimento técnico-científico (DODOO; GUSTAVSSON; SATHRE, 2011; THORMARK, 2002). Projetos arquitetônicos bioclimáticos que utilizem estratégias passivas para condicionar termicamente os ambientes internos das edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; OLGYAY, 2008), assim como sistemas construtivos com baixa energia incorporada e alto potencial de reciclagem (THORMARK, 2006), têm a capacidade de reduzir o consumo de energia, a emissão de gases do efeito estufa e a produção de resíduos ao longo do ciclo de vida das edificações.

Neste cenário, a terra destaca-se como material de construção com potencial para reduzir o consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono no setor da construção civil. A terra é composta de argila, areia e silte, com o possível acréscimo de fibras vegetais com o objetivo de melhorar a resistência mecânica e reduzir a retração da argila (MINKE, 2009; NEVES; FARIA, 2011). Este material construtivo apresenta condutividade térmica média e, a partir de certa espessura de material, alta capacidade térmica (DETHIER; HOUBEN; GUILLAUD, 1989; MINKE, 2009; SOUDANI et al., 2017). Dependendo das condições às quais o material está exposto, estas propriedades conferem à envoltória potencial de atenuar as

flutuações de temperatura externas e promove atraso térmico (SERRANO; DE GRACIA; CABEZA, 2016; SOUDANI et al., 2017; TAYLOR; LUTHER, 2004). Este fenômeno é conhecido como inércia térmica e apresenta potencial para diminuir o desconforto térmico, tanto por calor quanto por frio, em ambientes internos. Este potencial depende de variáveis como contexto climático, morfologia da edificação, comportamento dos usuários, trocas de ar, calor e umidade através da envoltória, incidência de radiação solar e geração de calor dentro dos ambientes.

O fato de ser um material poroso dota os elementos construtivos em terra da capacidade de absorver umidade em forma de vapor d'água até atingir equilíbrio (CAGNON et al., 2014; FOUCHAL et al., 2015; HALL; CASEY, 2012; LIUZZI et al., 2013; SOUDANI et al., 2016). O comportamento higroscópico atenua situações de alta umidade relativa dentro dos cômodos. Este comportamento pode ser visto como vantagem uma vez que a alta umidade relativa diminui o potencial de resfriamento evaporativo da transpiração (suor), diminuindo a tolerância a altas temperaturas e também, combinada a temperaturas e substratos favoráveis, promove a proliferação de fungos nas superfícies dos ambientes (RAMOS; DE FREITAS, 2012; SEDLBAUER, 2002). Arundel et al. (1986) discorrem sobre os efeitos que a alta umidade relativa do ar pode acarretar para a saúde humana.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento higrotérmico de ambientes internos com vedações verticais em adobe em uma edificação residencial no clima de Florianópolis (SC).

Os objetivos específicos são:

- a) Analisar o comportamento higrotérmico do ar em oito ambientes internos de uma residência com vedação vertical em adobe nos períodos frio, ameno e quente, com ocupação e sem ocupação;
- b) Verificar a resposta da temperatura interna do ar a aplicação da estratégia de ventilação noturna no verão;
- c) Analisar o comportamento das superfícies internas e externas de dois cômodos no verão.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1 - INTRODUÇÃO aborda-se brevemente o contexto atual do setor da construção civil em relação ao consumo de energia e às emissões de dióxido de carbono, apresentando a terra como um material com potencial de diminuir estes impactos. Um breve histórico da construção com terra, seu uso na arquitetura contemporânea, principais técnicas, vantagens e desvantagens são comentados, assim como indicações do potencial do bom desempenho da terra como material da envoltória em diferentes climas. Ao final, é apresentado o problema de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 - REVISÃO DE LITERATURA refere-se a uma revisão do conceito de arquitetura bioclimática e suas implicações em projetos arquitetônicos. Para aprofundar o estudo no clima subtropical úmido traçou-se o perfil climático de Florianópolis (SC) e foram elencadas estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas pela carta bioclimática de Givoni (1992) adaptada e resultados de estudos anteriores sobre desempenho térmico de edificações residenciais naturalmente ventiladas na região. Estudos anteriores sobre a alta massa térmica e sobre o desempenho higrotérmico da terra como elemento da envoltória foram abordados.

No capítulo 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS consta uma descrição dos métodos utilizados para atender aos objetivos específicos desta pesquisa. Foram realizadas as seguintes atividades: a) caracterização da residência analisada e do padrão de ocupação dos usuários, b) coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar de 8 ambientes internos e do ambiente externo da residência de 02 de junho de 2018 a 02 de março de 2019, c) coleta de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar de dois cômodos semelhantes (Q3 e Q4), modificando a operação das aberturas de 1 cômodo ao longo de 4 dias, permitindo apenas a ventilação noturna, d) coleta de dados de temperatura superficial (paredes internas, parede externa, piso) e situação de venezianas e portas (abertas ou fechadas).

O capítulo 4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBSERVADOS foi dividido em quatro subcapítulos. O primeiro subcapítulo compreende uma caracterização da envoltória da residência analisada, o segundo o perfil de ocupação dos usuários, o terceiro aborda uma apresentação do clima de Florianópolis no período das medições e o quarto e último subcapítulo apresenta a distribuição horária dos registros de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa de oito ambientes internos analisados em três períodos: período frio (09/06 a 22/06/2018), período ameno (10/10 a 29/10/2018) e período quente (20/12/2018 a 08/01/2019).

Também no quarto subcapítulo apresenta-se o comportamento térmico de dois ambientes (Q3 e Q4) ao longo de quatro dias (06/02 a 11/02/2019), verificando o impacto da ventilação noturna na temperatura interna de um cômodo, assim como o comportamento térmico das superfícies internas e externas destes cômodos.

No capítulo 5 – TRATAMENTO DOS DADOS, constam cálculos de parâmetros relacionados a inércia térmica, a partir dos dados coletados, para cada ambiente e cada período medido. São apresentados então a amplitude térmica diária, amortecimento térmico diário, atraso térmico diário, percentual de conforto e desconforto térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas, obtido a partir da carta bioclimática de Givoni e a influência de horas anteriores. Também são apresentados parâmetros para avaliação do aproveitamento da ventilação noturna, com base nos dados obtidos ao controlar a operação de aberturas de dois ambientes (Q3 e Q4) e avaliada a variação das temperaturas das superfícies internas e externas destes cômodos.

No capítulo CONCLUSÕES constam as principais observações sobre o comportamento higrotérmico das paredes de adobe no clima subtropical úmido, as limitações encontradas na realização desta pesquisa e sugestões para futuros trabalhos.

Ao final deste trabalho constam as referências bibliográficas consultadas ao longo do processo de pesquisa, os apêndices e os anexos. Dentre o conteúdo apresentado nos apêndices encontram-se os procedimentos realizados para calibrar os sensores de temperatura e umidade HOBO dataloggers, o levantamento dos dados de propriedades térmicas e radiantes dos materiais das vedações verticais da residência e o estudo de sombreamento das aberturas dos ambientes monitorados. Foram anexados a este documento a entrevista e os questionários aplicados aos usuários, dados que serviram como base para traçar o perfil dos residentes da unidade habitacional analisada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo tem por objetivo apresentar estudos anteriores que contribuíram para o desenvolvimento dos seguintes campos de conhecimento: Arquitetura bioclimática, estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas para Florianópolis (SC), alta massa térmica como estratégia bioclimática, uso da terra como material de construção e desempenho higrotérmico de materiais à base de terra. Nas pesquisas realizadas in loco os climas locais estão descritos de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger.

2.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A criação de condições ambientais adequadas ao desenvolvimento das atividades do ser humano é uma questão presente desde suas origens. Ao construir abrigo os seres humanos buscam proteger-se das intempéries e criar atmosfera favorável a suas atividades (OLGYAY, 2008). Ao longo da história, a arte de construir esteve relacionada ao clima local, desde a forma dos edifícios até a escolha dos materiais e sistemas construtivos (GONZÁLEZ, 2004). Deste processo surge a arquitetura vernacular, cujo adjetivo faz analogia à arquitetura enquanto linguagem de uma comunidade (OLIVER, 1927), evidenciando a importância do clima e da arquitetura na cultura de um povo.

O termo “arquitetura bioclimática” foi cunhado pelos irmãos Olgyay na década de 1960, ao aplicarem os conhecimentos do conforto térmico humano à arquitetura, estabelecendo uma relação entre climatologia, biologia e tecnologia (OLGYAY, 2008). Para González (2004) a arquitetura bioclimática atual pode ser definida como uma arquitetura vernacular desenvolvida, englobando neste conceito o uso de materiais de construção locais, atóxicos, de baixo impacto ambiental, o uso de energias e recursos naturais renováveis, a gestão energética eficiente, atendimento aos requisitos de conforto dos usuários e demais critérios que visem a sustentabilidade do processo de construção.

Para compreender quais características de uma arquitetura são adequadas para uma região climática é necessário estudar o contexto climático e relacioná-lo às condições de conforto térmico (OLGYAY, 2008; WATSON; LABS, 1983). O contexto climático anual de uma região é analisado através de dados climáticos. Estes dados consistem em padrões anuais de fatores climáticos que influenciam no comportamento higrotérmico das edificações, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação solar (direta, indireta e global).

Cada edificação encontra-se inserida em um contexto específico de topografia e entorno que influencia nas condições de temperatura, umidade e iluminação, configurando um microclima.

O comportamento higrotérmico de ambientes construídos é ótimo quando possibilita o máximo de horas em conforto térmico aos seus usuários com gasto mínimo de energia para condicionamento térmico dos ambientes internos. Além de ser influenciado por fatores climáticos locais, este comportamento é resultante de uma série de condições: morfologia da edificação; fluxo de ar nos ambientes internos (ventilação e infiltração); trocas de calor através da envoltória; padrão de ocupação dos usuários (operação das esquadrias, acionamento de sistemas artificiais de iluminação e condicionamento) e ao calor gerado internamente por pessoas e equipamentos (LAMBERTS et al., 2010).

São considerados como envoltória os elementos do edifício que participam nas trocas de ar, umidade e energia térmica entre os ambientes interiores e o exterior (FLORENSA; ROURA, 1995; GONZÁLEZ, 2004; OLGAYAY, 2008; WATSON; LABS, 1983). Os materiais de construção utilizados na envoltória são fatores importantes para o controle passivo das condições higrotérmicas de uma edificação (WATSON; LABS, 1983) e devem ter como objetivos: a) evitar perdas de calor nos períodos de desconforto por frio e b) evitar ganhos excessivos ou acúmulo de calor nos períodos de desconforto por calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

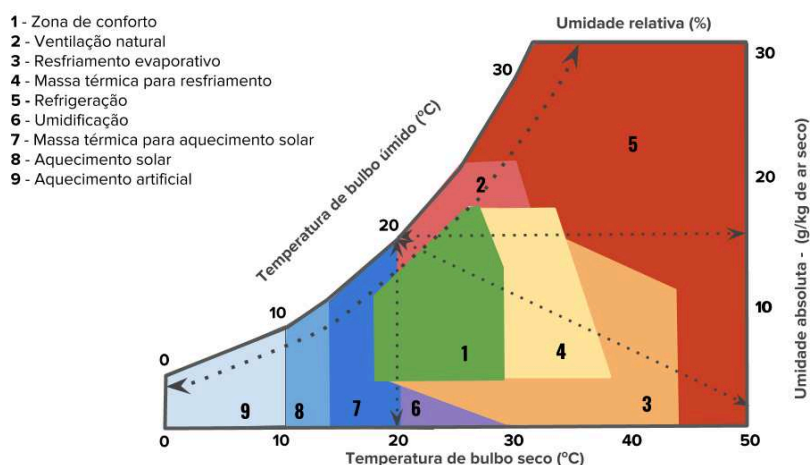
O estado de conforto térmico está relacionado às trocas de calor e umidade do corpo humano com o ambiente higrotérmico e a taxa com que estas trocas ocorrem dependem da temperatura do ar, da temperatura radiante, da umidade relativa, da velocidade do ar, das vestimentas e da atividade metabólica. A sensação de conforto térmico depende também de questões fisiológicas e subjetivas. De acordo com a norma ASHRAE 55 (2017) conforto térmico é “estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

Os irmãos Olgyay foram os primeiros a propor uma carta bioclimática, em 1973. Esta carta foi desenvolvida para correlacionar dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar com as condições necessárias para o conforto térmico humano (OLGYAY, 2008) e, a partir desta correlação, propor estratégias bioclimáticas para o ambiente construído. A zona de conforto térmico é definida como faixa de condições de temperatura e umidade relativa do ar em que a maioria das pessoas provavelmente relataria conforto térmico, dados determinados níveis de atividade metabólica, vestimentas e velocidade do ar (GIVONI, 1992).

Ao analisar diferentes metodologias de elaboração de cartas bioclimáticas, Bogo et al. (1994) concluíram que a elaborada por Givoni (1992), com base em uma carta psicométrica, é mais adequada ao contexto brasileiro, por ser voltada para países quentes e em desenvolvimento, considerando a aclimação das pessoas e adotando limites maiores de velocidade do ar para temperaturas mais altas. Algumas alterações foram propostas utilizando como referência a pesquisa de Gonzalez et al. (1986) para adaptar esta metodologia ao Brasil. Estas alterações encontram-se detalhadas no trabalho de Bogo et al. (1994).

Ilustrada na Figura 1, a carta bioclimática de Givoni adaptada especifica diretrizes de projeto arquitetônico que visam maximizar as condições de conforto higrotérmico interno. As estratégias passivas referem-se ao fluxo de ar nos ambientes (ventilação), ao controle da transferência de calor através da envoltória (sombreamento, aquecimento solar passivo e alta massa térmica), ao resfriamento através da evaporação (resfriamento evaporativo) e a umidificação dos ambientes. A carta também indica para quais situações de temperatura e umidade do ar o condicionamento artificial para aquecimento e para resfriamento será necessário.

Figura 1 - Carta bioclimática adaptada ao Brasil



Fonte: Adaptado de BOGO et al. (1994)

Outro método de definir uma zona de conforto térmico, mais especificamente de definir limites superiores e inferiores de temperatura operativa que conformam um ambiente térmico aceitável, é o método adaptativo (ASHRAE, 2017). Este método é aplicável apenas em ambientes naturalmente ventilados, sem a presença de equipamentos de condicionamento de ar, onde os usuários podem controlar a operação das aberturas e dispositivos de sombreamento, onde o metabolismo dos usuários varia de 1 a 1,3 met e suas vestimentas variam entre 0,5 e 1

clo e quando a temperatura externa média predominante (T_{extmp}) é maior que 10 °C e menor que 33,5 °C. Neste método, as temperaturas operativas aceitáveis nos ambientes internos são determinadas aplicando as Equações 1 e 2:

$$L_{sup} 80\% = 0,31 * T_{extmp} + 21,5 \quad (1)$$

$$L_{inf} 80\% = 0,31 * T_{extmp} + 14,5 \quad (2)$$

Onde:

$L_{sup} 80\%$ = Limite superior de temperatura operativa para 80% de aceitabilidade (°C)

$L_{inf} 80\%$ = Limite inferior de temperatura operativa para 80% de aceitabilidade (°C)

T_{extmp} = Temperatura externa média predominante

A temperatura operativa pode ser calculada de forma aproximada, sendo a média entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar, quando os ocupantes estão com baixas taxas metabólicas (entre 1 e 1,3 met), não estão sob radiação solar direta e não estão expostos a velocidades do ar maiores que 0,1 m/s. A temperatura externa média predominante (T_{extmp}) é determinada pela média aritmética simples das temperaturas médias diárias de ao menos sete e, ao máximo, 30 dias anteriores ao dia em questão. Estes dados devem ser da estação climática mais próxima ou de um arquivo climático TMY (Typical Meteorological Year) (ASHRAE, 2017).

A análise das condições climáticas de cada local e sua relação com uma zona de conforto térmico orientam a composição de um projeto arquitetônico bioclimático, que deve levar em consideração a função de cada edificação e o padrão de ocupação dos usuários. A seguir contextualiza-se o clima de Florianópolis (SC) e indica-se as estratégias recomendadas para este clima pela carta bioclimática de Givoni (1992) adaptada ao Brasil.

2.1.1 Arquitetura bioclimática no clima de Florianópolis (SC)

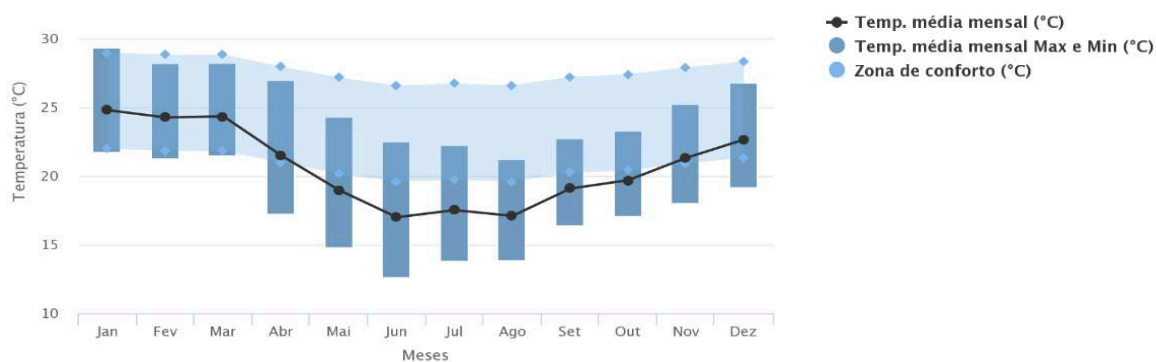
Florianópolis encontra-se no litoral de Santa Catarina (SC), na latitude 27°35'49" sul e longitude 48°32'58" oeste. Sua altitude é em torno de 15 m acima do nível do mar e parte do seu território está localizado em uma ilha. Para compreender quais características construtivas são recomendadas para o clima subtropical úmido de Florianópolis serão descritas e analisadas as condições meteorológicas da cidade, os resultados apresentados ao plotar os dados de

temperatura e umidade na carta bioclimática de Givoni (1992) adaptada ao Brasil e as recomendações encontradas em normativas brasileiras que abordam desempenho térmico.

2.1.1.1 Condições climáticas de Florianópolis

Classificado como Cfa, o clima de Florianópolis é considerado temperado ou subtropical úmido, com grande amplitude térmica anual, estações de inverno e verão bem definidas, precipitação significativa ao longo do ano e verão quente (ALVARES et al., 2013). De abril a dezembro ocorrem temperaturas abaixo da zona de conforto, indicando maior porcentagem de horas em desconforto por frio (Figura 2).

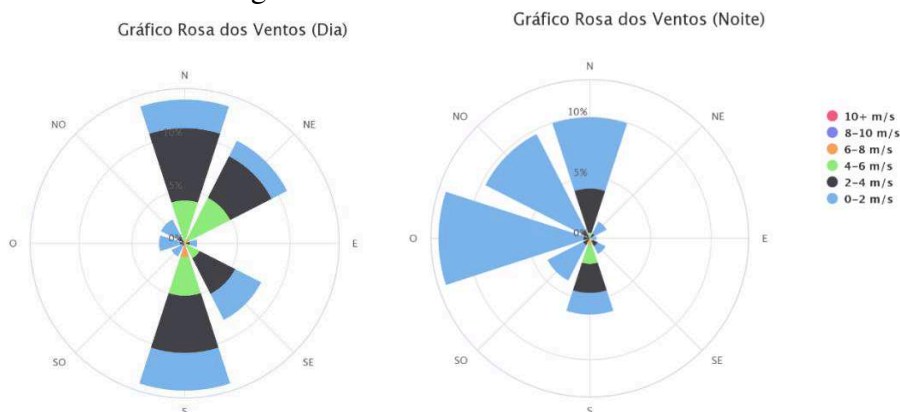
Figura 2 – Distribuição de temperaturas mensais



Fonte: PROJETEEEE, 2018

A temperatura média anual é de 20,5 °C, sendo as temperaturas mais altas registradas em janeiro, com mínima de 21,7 °C, máxima de 29,3 °C e média mensal de 24,8 °C. As temperaturas mais baixas ocorrem em junho, com mínima de 12,5 °C, máxima de 22,5 °C e média mensal de 17 °C (PROJETEEEE, 2018). A Figura 2 indica a incidência dos ventos.

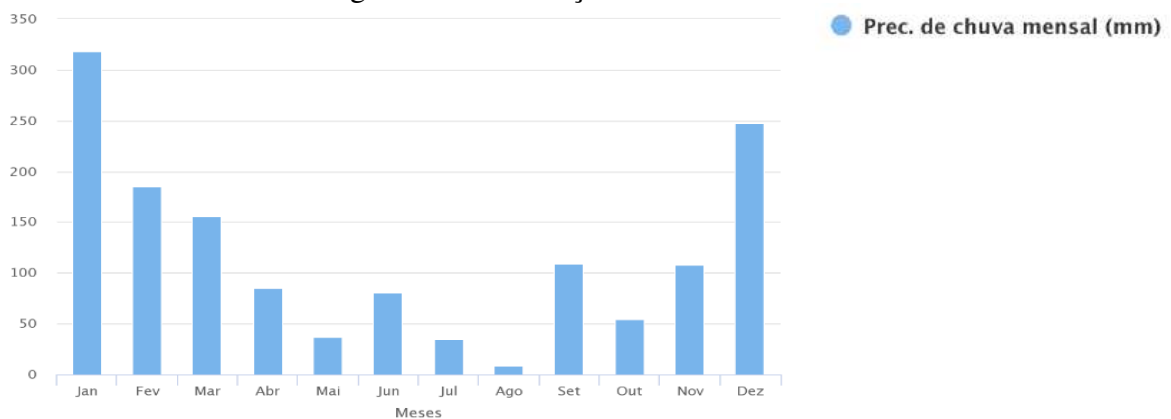
Figura 3 – Gráfico Rosa dos Ventos



Fonte: PROJETEEEE, 2018

A região é influenciada predominantemente pela Massa Tropical Atlântica (MTA), quente e úmida, responsável pelos ventos norte e nordeste (Figura 3). Também é influenciada pelas massas de ar Intertropical e Polar Atlântica (MPA), esta última responsável pelos ventos sul e sudeste e pela entrada frequente de frentes frias. Durante o dia a predominância são dos ventos do quadrante norte, seguidos pelos ventos sul, nordeste e sudeste. Os ventos mais velozes sopram do quadrante sul, com velocidades entre 6 e 8 m/s. Durante a noite a velocidade dos ventos são menores, e a predominância é do vento oeste, seguido pelo norte e noroeste. O ritmo de chuvas da Ilha é resultado do encontro das massas MTA (quente e úmida) e MPA (fria e seca) (FREYESLEBEN, 1979). Entre os meses de abril e agosto e no mês de outubro ocorrem as menores taxas de pluviosidade (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição mensal de chuvas



Fonte: PROJETEEEE, 2018

Mesmo as taxas de pluviosidade variando ao longo do ano, o clima apresenta umidade relativa predominantemente alta, com média de 80%, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Distribuição mensal da umidade relativa do ar

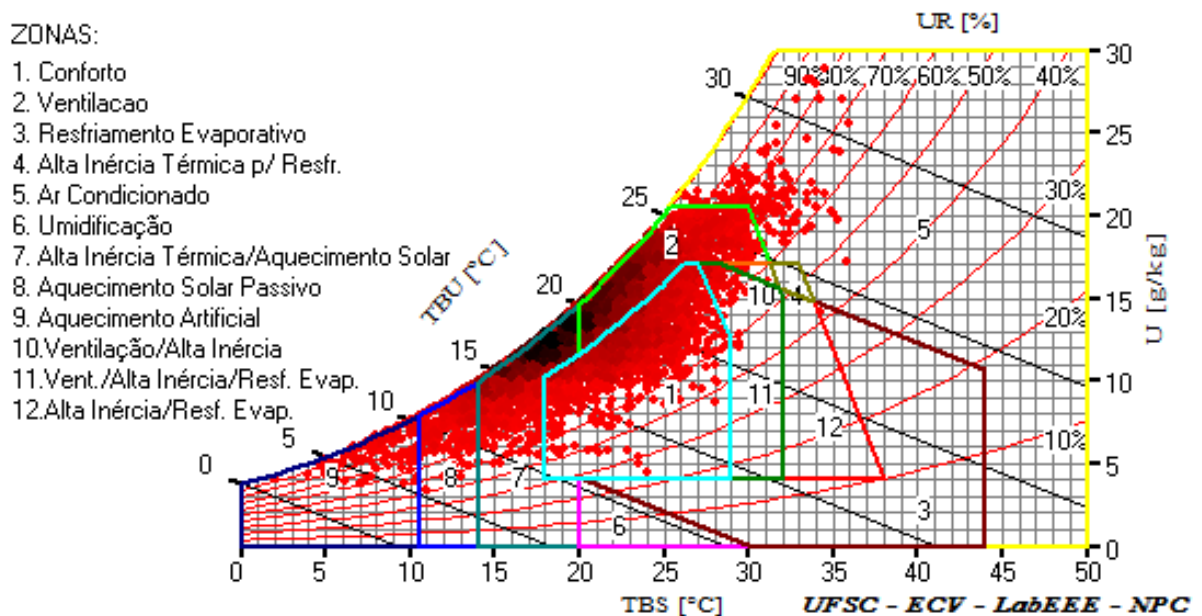


Fonte: PROJETEEEE, 2018

2.1.1.2 Estratégias de condicionamento térmico recomendadas para Florianópolis (SC)

Ao plotar os dados climáticos de Florianópolis (Figura 6) na carta bioclimática, as estratégias de condicionamento térmico recomendadas ao local são identificadas, bem como a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia atende a situações de desconforto. Para esta análise foi utilizado o programa Analysis Bio (LABEEE, 2009), que apresenta a carta bioclimática de Givoni (1992) adaptada ao Brasil com o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) de Florianópolis (LABEEE, 2005).

Figura 6 - Carta Bioclimática de Florianópolis/SC



Fonte: LABEEE (2009)

Ao longo do ano, Florianópolis apresenta 21% das horas em conforto térmico e 79% em desconforto, sendo 41% desconforto por frio e 38% por calor. Tendo em vista este contexto, os projetos arquitetônicos devem responder de maneira satisfatória a condições opostas, de desconforto por frio e de desconforto por calor, em geral sob alta umidade relativa (CARTANA, 2005; GOULART, 1993, 2004; PAPST, 1999). As estratégias de condicionamento térmico indicadas pela carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) para amenizar o desconforto térmico estão indicadas na Tabela 1. Uma estratégia significativa (35% das horas) é a alta massa térmica, principalmente nos períodos de desconforto por frio.

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento térmico para Florianópolis/SC

<i>Desconforto por calor</i>	<i>Estratégia</i>	<i>Horas (%)</i>	<i>Desconforto por frio</i>	<i>Estratégia</i>	<i>Horas (%)</i>
	Sombreamento	56,7		Aquecimento solar passivo	3,84
	Ventilação	35,5		Aquecimento artificial	1,53
	Alta massa térmica para resfriamento	0,88		Alta massa térmica para aquecimento solar	35,00
	Resfriamento Evaporativo	0,89			
	Condicionamento artificial	1,72			

Fonte: Analysis Bio (LABEEE, 2009)

Florianópolis encontra-se na Zona Bioclimática 3, com as seguintes recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2008): aberturas médias (15 e 25% da área de piso); sombreamento nas aberturas de forma a permitir o sol do inverno; vedações externas (paredes e coberturas) com baixa massa térmica e refletoras a radiação solar (baixa absorvância), isolamento térmico nas coberturas e paredes internas com alta massa térmica. No verão a NBR 15220 recomenda ventilação cruzada e, no inverno, aquecimento solar passivo. A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos mínimos de desempenho térmico para a ZB 3, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos de Desempenho térmico NBR 15575 (ABNT, 2013) para ZB 3

<i>Vedações externas</i>	<i>Absortância (α)</i>	<i>Transmitância térmica (U) [W/m².K]</i>	<i>Capacidade Térmica (C) [(kJ/m².K)]</i>
<i>Paredes</i>	$\leq 0,6$	$\leq 3,7$	≥ 130
	$> 0,6$	$\leq 2,5$	≥ 130
<i>Cobertura</i>	$\leq 0,6$	$\leq 2,3$	-
	$> 0,6$	$\leq 1,5$	-
<i>Aberturas médias</i>	$15\% < Aab/Apiso < 25\%$		
<i>Área mínima para ventilação</i>	$\geq 7\%$ Apiso		
<i>Sombreamento das aberturas</i>	Permitir o sol durante o inverno		

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

** As aberturas devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: Adaptado da NBR 15575 (ABNT, 2013)

Em relação a alta massa térmica na envoltória, a carta bioclimática recomenda seu uso em Florianópolis para aquecimento (35%) e resfriamento (0,88%). A NBR 15220 (ABNT, 2008) e a NBR 15575 (ABNT, 2013) são mais específicas e recomendam o uso de alta massa apenas nas paredes internas, com isolamento nas coberturas, paredes externas leves e refletoras e aberturas que permitam a entrada de sol no inverno. De acordo com Goulart (2004) o comportamento térmico de edificações com alta massa térmica é um fenômeno complexo e a aplicação desta de alta massa na envoltória não pode ser compreendida de maneira isolada.

2.2 ALTA MASSA TÉRMICA COMO ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA

A massa térmica de um edifício determina sua capacidade de armazenar energia térmica, como calor sensível ou latente (REILLY; KINNANE, 2017). Esta capacidade, em geral, promove atraso e amortecimento das oscilações térmicas dos ambientes interiores em comparação à flutuação térmica dos ambientes externos, ao absorver e transmitir calor lentamente (BALARAS, 1996). Dependendo das condições a que os ambientes internos estão expostos, a alta massa pode contribuir para aquecer ou resfriar os ambientes internos.

A estratégia de alta massa térmica para aquecimento está relacionada a incidência da radiação solar nos componentes construtivos de alta massa, que se aquecem lentamente e transferem calor para os ambientes internos, com atraso térmico. Para maior eficiência, os elementos de alta massa térmica podem ser revestidos externamente com cores escuras (alta absorvância), o que aumenta a capacidade de absorver calor proveniente da radiação solar.

Quando utilizada para promover resfriamento, a alta massa térmica está associada ao controle solar (sombreamento da envoltória) e à ventilação noturna (trocas de calor por convecção da envoltória com o ar durante a noite), resfriando o ar interno e também a estrutura da edificação, contribuindo com o amortecimento térmico das temperaturas mais altas que ocorrem ao longo do dia. A ventilação noturna é influenciada pelo comportamento do usuário, que pode desejar manter as janelas fechadas por segurança, por conforto acústico (evitar ruídos a noite), e pela incidência de ventos noturnos. Em Florianópolis, conforme visto anteriormente na Figura 3, os ventos noturnos possuem direção e frequência distinta dos ventos diurnos, além de menor velocidade.

Ventiladores de teto também podem ser utilizados para aumentar o movimento do ar e, conseqüentemente, a transferência de calor por convecção (GOULART, 2004). Para maior eficiência, os elementos com alta massa térmica podem ser revestidos externamente com cores claras (alta refletância).

Balaras (1996) cita como fatores que influenciam no comportamento térmico de elementos com alta massa: propriedades térmicas dos materiais (condutividade térmica e calor específico), quantidade de massa (espessura e densidade), morfologia da edificação, exposição à irradiação solar, fluxo de ar e Goulart (2004) cita a influência do volume do ar interno a ser condicionado. Todos estes fatores citados concernem aos projetistas da edificação. Além destas questões a serem consideradas no momento do projeto, o padrão de ocupação do usuário também é um fator determinante no comportamento térmico de uma edificação com alta massa

térmica, sendo as aberturas um dos principais meios pelos quais os ocupantes do edifício controlam o ambiente interno (RIJAL et al., 2007).

Em uma edificação de alta massa térmica com mínima infiltração, sombreada e ventilando apenas à noite, é possível obter redução de temperatura de 45 a 55% (GIVONI, 1992). Shaviv, Yezioro e Capeluto (2001) verificaram a influência da massa térmica e da ventilação noturna na temperatura máxima interna no verão para diferentes locais no clima quente e seco de Israel, concluindo que a temperatura interna em edificações com alta massa térmica depende diretamente da amplitude térmica diária do local.

Cheng, Ng e Givoni (2005) investigaram o efeito da cor do envelope e da massa térmica nas temperaturas internas em clima quente e úmido em células-teste estabelecidas na Universidade de Hong Kong, revelando que o uso de cores claras e massa térmica amorteceu o balanço diurno das temperaturas do ar interior, confirmando o efeito de amortecimento da massa térmica. Além da capacidade de amortecimento, o aumento da massa térmica também atrasou em 4 horas a ocorrência de picos de temperatura (atraso térmico). Foi visto também que as temperaturas internas nas células-teste com maior massa térmica, ficaram menos dependentes da radiação solar do que as da célula-teste com envoltória leve. O resultado sugeriu que a adição de massa térmica reduziu a sensibilidade da cor da superfície. Cheng, Ng e Givoni, (2005) comentam que a aplicação da massa térmica pode ser benéfica, porém o resultado final, em grande medida, depende da circunstância, como o modo de operação e do padrão de ocupação. Os autores sugerem que os projetistas devem antever os possíveis usos de seus edifícios e considerar as circunstâncias ao projetar o envelope. De acordo com Goulart (2004) a combinação de estratégias de forma a otimizar o desempenho da edificação é mais eficiente do que apenas o aumento de massa térmica da envoltória.

2.2.1 Parâmetros relacionados a inércia térmica

Em uma análise estática, a condutividade térmica (k) de um material é sua propriedade mais relevante (REILLY; KINNANE, 2017), sendo expressa pela resistência térmica (R), ao considerar a espessura do material, e pela transmitância térmica (U), ao considerar também a resistência térmica superficial do material (R_{si} e R_{se}). A resistência térmica do fechamento é inversamente proporcional a quantidade de calor transmitido (RIVERO, 1985).

Em um regime variável, a capacidade térmica (CT) torna-se um parâmetro fundamental, pois materiais com mesma resistência térmica e diferentes capacidades térmicas

se comportam de maneiras desiguais quando há alterações contínuas nas temperaturas de um sistema (RIVERO, 1985). A capacidade térmica é um parâmetro proporcional à quantidade de material presente no corpo e informa a quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade de temperatura uma área de material com determinada espessura. Os métodos de cálculo da resistência térmica (R), da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (CT) constam na NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

2.2.1.1 Difusividade e efusividade térmica

A difusividade térmica e a efusividade térmica são parâmetros comumente utilizados para quantificar a massa térmica de um material de construção (SOUDANI et al., 2017). Lavigne (1994) caracteriza a difusão de temperatura dentro de um material, nomeado difusividade, e a efusão de energia térmica em um material, nomeado efusividade. A difusividade térmica é uma relação entre propriedades térmicas que avalia a capacidade de transmitir uma variação de temperatura, sendo derivações das relações de calor específico, condutividade térmica e densidade do material, desconsiderando a espessura (Equação 3).

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (3)$$

Onde:

α = Difusividade térmica (m²/s)

λ = Condutividade térmica (W/m²K)

ρ = Densidade (kg/m³)

c = Calor específico (J/kg.K)

De acordo com Lavigne (1994) a efusividade térmica exprime a capacidade de um material de absorver ou restituir energia térmica (Equação 4). O corpo com maior efusividade varia menos a temperatura, devido a maior capacidade de absorver ou fornecer calor.

$$ef = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (4)$$

Onde:

ef = Efusividade térmica (Ws^{0.5}/m²K)

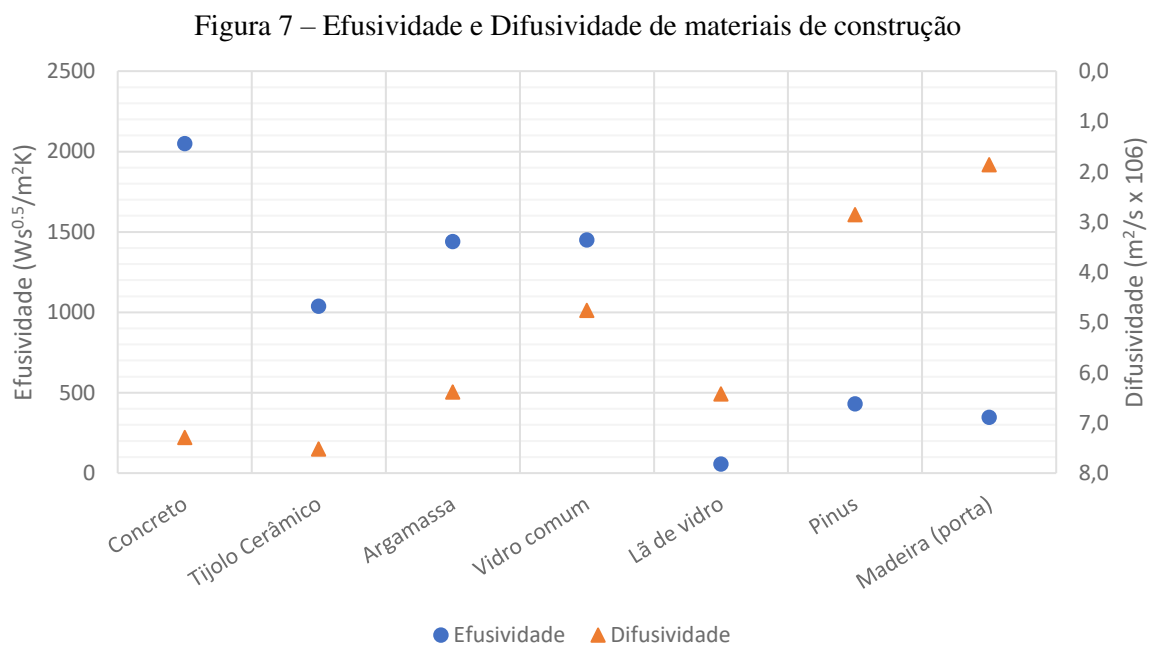
λ = Condutividade térmica (W/m²K)

ρ = Densidade (kg/m³)

c = Calor específico (J/kg.K)

Em seu trabalho, Papst (1999) calculou a efusividade térmica média dos ambientes internos ao realizar uma média ponderada das áreas de superfícies internas dos ambientes pela efusividade térmica do material de cada superfície. Cada ambiente, por apresentar uma configuração diferente, apresentou diferenças em sua efusividade média. Quanto maior a efusividade média, mais facilmente o cômodo absorverá o calor interno.

Na Figura 77 consta uma representação gráfica de valores de efusividade e difusividade presentes em diferentes materiais de construção comumente utilizados. O eixo de valores de difusividade foi invertido, para facilitar a identificação de materiais com equilíbrio entre valores de efusividade e difusividade.



Fonte: Adaptado de Soudani et al. (2016)

Conforme visto na Figura 77, o concreto possui alta efusividade, indicador de que este material absorve e restitui energia térmica com facilidade, diferente da lã de vidro, que devido a sua baixa efusividade, é bom isolante térmico, não absorvendo ou liberando facilmente o calor. Em termos de difusividade térmica, materiais como concreto, tijolo cerâmico, argamassa e lã de vidro apresentam alta difusividade, não sendo indicados para armazenar calor, pois transmitem facilmente variações de temperatura. Um material com características de absorver e liberar calor com facilidade (alta efusividade) e que não transmita facilmente sua variação de temperatura (baixa difusividade), é indicado para compor um sistema construtivo com alta inércia térmica por ser capaz de absorver e armazenar energia térmica.

Reilly e Kinnane (2017) contestam avaliar a massa térmica de um material apenas através de sua difusividade e efusividade térmicas, pois estas propriedades consideram apenas as características do material da primeira camada da parede e não consideram sua espessura. Por exemplo, considerando duas paredes com espessuras distintas (15 cm e 30 cm), se ambas forem revestidas com o mesmo reboco, apresentarão o mesmo valor de difusividade e efusividade, referentes apenas a esta primeira camada de material (reboco). Os parâmetros de efusividade e difusividade fornecem informações importantes sobre o comportamento térmico de cada material, porém não são suficientes para caracterizar a massa térmica presente em um sistema construtivo com espessura significativa e como este sistema se comporta quando sujeito a variações de temperatura.

2.2.1.2 Atraso térmico e coeficiente de amortecimento

Atraso térmico informa o tempo decorrido entre uma alteração térmica na superfície ou no meio imediato de um fechamento e sua manifestação na superfície oposta, sendo medido em unidades de tempo. Em regime térmico variável e senoidal com período de 24 horas, o cálculo do atraso térmico (φ) em uma placa homogênea não porosa com espessura “e” depende da capacidade térmica (CT) e da resistência térmica de superfície a superfície do componente (Rt), conforme mostra a Equação 5, que consta na NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt \cdot CT} \quad (5)$$

Onde:

φ = atraso térmico (h)

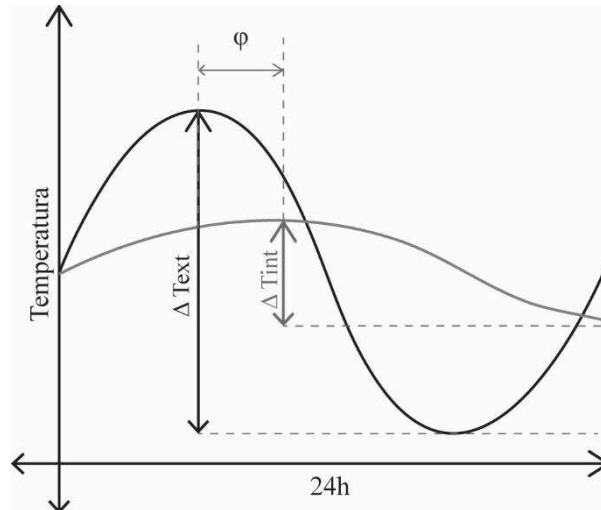
Rt = resistência térmica de superfície a superfície do componente (KmW⁻¹)

CT = capacidade térmica (kJ/m²K)

Quando a análise térmica considera condição de trocas de calor transiente, que representa o contexto real dos ambientes construídos, fatores como o atraso térmico e a capacidade de amortecimento variam conforme as condições de temperatura externa, raramente senoidais, e conforme a variação de fatores influentes no comportamento térmico de um ambiente. Os valores podem ser calculados diariamente através da diferença das amplitudes térmicas internas e externas, para a capacidade de amortecimento, e da diferença entre os

horários de pico de temperaturas, para o atraso térmico (Figura 8). A unidade de medida da amplitude térmica é Kelvin (K).

Figura 8 – Atraso térmico e amortecimento



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Ao analisar o comportamento térmico de um ambiente interno de uma edificação, o atraso térmico pode ser calculado, para cada dia, de acordo com a Equação 6.

$$\varphi = h(T_{\max \text{ int}}) - h(T_{\max \text{ ext}}) \quad (6)$$

Onde:

φ = atraso térmico (h)

$hT_{\max \text{ int}}$ = hora em que ocorreu a temperatura máxima interna (°C)

$hT_{\max \text{ ext}}$ = hora em que ocorreu a temperatura máxima externa (°C)

O conceito de capacidade de amortecimento, expressa pelo coeficiente de amortecimento (μ) (RIVERO, 1985), contempla a atenuação térmica em um regime estacionário (periódico) e representa a redução da amplitude térmica da superfície interna em relação à do ambiente externo (Equação 7). Quanto menor for o valor resultante, maior será a capacidade de amortecimento.

$$\mu = \frac{T_{\max \text{ int}} - T_{\min \text{ int}}}{T_{\max \text{ ext}} - T_{\min \text{ ext}}} = \frac{\Delta T_{\text{int}}}{\Delta T_{\text{ext}}} \quad (7)$$

Onde:

μ = coeficiente de amortecimento

$T_{\max \text{ int}}$ = Temperatura máxima interna (°C)

$T_{\min \text{ int.}}$ = Temperatura mínima interna (°C)

$T_{\max \text{ ext.}}$ = Temperatura máxima externa (°C)

$T_{\min \text{ ext.}}$ = Temperatura mínima externa (°C)

A capacidade de amortecimento é proporcional ao calor específico, a densidade de massa aparente e a espessura do fechamento e inversamente proporcional a condutividade térmica (RIVERO, 1985). Ambientes cuja envoltória possuam alta massa térmica em geral apresentam maior atraso térmico e maior capacidade de amortecimento do que ambientes com menor massa térmica.

2.2.1.3 Influência da temperatura externa e da radiação solar de horas anteriores na temperatura interna de ambientes

Papst (2004) desenvolveu um método simplificado para estimar a temperatura interna de ambientes a partir das temperaturas internas, externas e da radiação solar, medidas em um curto período. O método consiste em identificar o número de horas anteriores de dados de temperatura externa e de radiação solar cuja média móvel simples apresenta a mais forte correlação com os dados de temperatura interna. A média móvel pode ser calculada através da seguinte equação:

$$P1(mm) = \frac{P1+P2+(\dots)+Pn}{n} ; P2(mm) = \frac{P2+(\dots)+P(n+1)}{n} ; (\dots) \quad (8)$$

Onde:

$P1(mm)$ = Primeiro número da sequência da média móvel

$P1$ = Primeiro número da sequência original

A partir da sequência de dados resultante, realiza-se análise de regressão multivariada, estabelecendo uma equação em que as variáveis independentes são as médias móveis de horas anteriores de radiação solar e temperatura externa. Esta equação é chamada de “assinatura térmica” do ambiente, pois representa o comportamento térmico de cada ambiente, considerando suas características construtivas, o padrão de ocupação e as variações climáticas externas.

As médias móveis “suavizam” os picos de uma sequência de dados, comportamento similar a influência que a alta massa térmica na envoltória exerce na temperatura de ambientes

internos em relação a temperatura externa. Dentre os ambientes medidos por Papst (2004), o que possuía maior massa térmica apresentou melhor correlação entre a temperatura interna com a média aritmética de até 54 horas anteriores de temperatura externa. Os ambientes que apresentavam menor massa térmica chegaram a apresentar melhor correlação com até 5 horas anteriores de dados de temperatura externa. O mesmo efeito foi registrado em relação a radiação solar, sendo que o ambiente com maior massa térmica apresentou melhor correlação com a média móvel de 144 horas anteriores, e o ambiente com menor massa térmica apresentou melhor correlação com 58 horas anteriores de dados horários de radiação solar.

Observou-se que não apenas a massa térmica influencia na quantidade de horas anteriores de temperatura externa das quais os ambientes internos sofrem influência, pois nos períodos quentes a ventilação ocasionada pela ocupação tende a diminuir o número de horas anteriores que apresentam influência na temperatura interna. Nos períodos com desconforto por frio, as residências tendem a ficar mais fechadas e, nestes períodos, a quantidade de horas anteriores que influenciam no comportamento térmico dos ambientes internos pode aumentar.

2.2.2 Recomendações para o uso da alta massa térmica em Florianópolis (SC)

Papst (1999) realizou medições de temperatura do ar em três edificações residenciais em Florianópolis ao longo de 9 meses, com sensores HOBO dataloggers. Os dados foram analisados através de gráficos de distribuição de temperatura, amplitude térmica, amortecimento térmico, atraso térmico e pela carta bioclimática de Givoni. Segundo a análise dos resultados, o emprego da estratégia de massa térmica promoveu aquecimento nos períodos frios e resfriamento nos períodos quentes, quando utilizada de forma adequada. Papst (1999) realiza recomendações para o uso da inércia térmica neste clima, destacadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Recomendações para o uso da alta massa térmica no clima de Florianópolis/SC

<i>Alta massa térmica para resfriamento</i>	<i>Isolamento térmico nas aberturas e coberturas</i>
	A envoltória deve ser sombreada nos períodos com desconforto por calor.
	Ventilar apenas quando a temperatura externa foi menor que a interna
<i>Alta massa térmica para aquecimento</i>	Nos dormitórios são indicados materiais leves e ampla ventilação noturna
	Isolamento térmico nas aberturas e coberturas
	Fechamentos de maior massa térmica e amplas aberturas para receber radiação solar nos períodos frios

Fonte: adaptado de Papst (1999)

Goulart (2004) estudou a influência de variáveis que influenciam na massa térmica como estratégia para resfriamento e aquecimento, no clima subtropical úmido com verão quente de Florianópolis (SC). Durante o verão foram realizadas medições em campo em quatro residências com diferentes níveis de massa térmica e, posteriormente, foram realizadas simulações computacionais. Através da simulação foi possível variar parâmetros e analisar a influência de diferentes níveis de massa térmica da envoltória, do potencial de ventilação noturna, da área de superfície exposta, do tamanho da janela e do sombreamento no comportamento térmico das edificações. Os resultados mostraram que quando as temperaturas externas atingem valores extremos (acima de 29° C) as paredes com alta massa térmica proporcionam melhores condições internas e redução de horas de superaquecimento em cerca de 50% é possível. Esta situação ocorre especialmente quando o ganho solar é evitado e a ventilação noturna aplicada. Os resultados do estudo foram transformados em diretrizes de projeto, listados no Quadro 2.

Quadro 2 – Diretrizes de projeto e orientações para edificações com alta massa térmica

<i>Cobertura</i>	Sistema de cobertura com alta massa térmica; Em lajes de concreto, aplicar barreira radiante em vez de isolamento; Teto de madeira deve ser associado a barreira radiante ou isolamento.
<i>Área de abertura x sombreamento</i>	Sombreamento é mais eficaz que redução do tamanho da janela, para resfriamento; Evitar área de janela >20% da área de piso, pois o ganho solar é maior e difícil de sombrear; Veneziana é mais eficiente que brise, reduzindo horas sobreaquecidas em ±30%, enquanto brises, ±13%.
<i>Massa térmica x área de abertura</i>	Quanto maior a área de exposição da massa térmica, mais importante torna-se a ventilação noturna; Sombreamento é a 2° estratégia mais importante, 1° a partir da proporção 25 m ² massa/m ² abertura; Ao combinar estratégias, ampliar a área de abertura não reduz o desempenho significativamente; O aumento da relação área de abertura/piso promove superaquecimento, devido ao ganho solar; Com área de abertura > 20% da área de piso, sombreamento se torna a estratégia mais importante; Para ambientes com grandes aberturas, sombreamento adequado no verão é indispensável.
<i>Ventilação Noturna</i>	Quanto maior o ganho de calor, maior o efeito de resfriamento da ventilação noturna; Paredes com maior inércia térmica proporcionam maior resposta à ventilação noturna; Ventilação noturna é eficaz na atenuação térmica, reduções de até 5 °C podem ser obtidas; Quando a área de abertura > 30% área de piso, somente ventilação noturna pode não ser suficiente; Quanto maior amplitude térmica externa, maior a atenuação térmica que a massa térmica promove;

<i>Ventilação Diurna</i>	<p>Com o ambiente protegido de ganhos solares, a ventilação diurna não interfere no desempenho;</p> <p>Com ganho solar expressivo (área abertura > 30% área piso), ventilação diurna deve ser evitada;</p> <p>Com sombreamento e barreira radiante na cobertura efeito negativo da ventilação diurna diminui;</p> <p>Se mais de 5h de ventilação diurna é permitida, o desempenho térmico do edifício pode reduzir;</p> <p>Recomenda-se que a ventilação diurna seja mantida ao mínimo.</p>
<i>Exposição das superfícies</i>	<p>A área de superfície exposta parece apresentar maior influência quando há ganho solar expressivo;</p> <p>Quando há combinação de estratégias, há menor influência da área de superfície exposta;</p> <p>Adicionar carpetes parece que piora o desempenho e deve ser evitado;</p> <p>O desempenho é melhor quando todas as superfícies internas são expostas a trocas de calor ou no caso de revestimento com material isolante. Se há ganho de calor interno expressivo, isolamento é contraindicado;</p> <p>Em períodos frios, ganho solar deve ser admitido;</p> <p>Se há acabamentos leves, nos períodos quentes o sombreamento é a estratégia mais importante.</p>

Fonte: adaptado de Goulart (2004)

Outro estudo que abordou o uso da massa térmica como estratégia bioclimática no clima de Florianópolis (SC) foi o Projeto Casa Eficiente, que, visando demonstrar o potencial das estratégias de condicionamento térmico passivo incorporadas ao projeto arquitetônico, levou à construção de uma residência unifamiliar experimental (LAMBERTS et al., 2010). Um dos estudos conduzidos neste projeto foi a análise do efeito da ventilação noturna na temperatura interna de dois dormitórios, no verão. A escolha foi por ventilação mecânica, sendo utilizados equipamentos que insuflam o ar externo dentro dos ambientes, podendo ventilar mantendo as janelas fechadas. Foi estabelecido um caso-base (janelas fechadas dia e noite) e foram realizados experimentos variando a operação das aberturas e a ventilação mecânica. Os dados utilizados foram a partir do 3º dia de cada sequência, garantindo uma situação de equilíbrio nas condições térmicas das superfícies internas.

A primeira variação (experimento 1) adotada foi de manter as aberturas fechadas ao longo do dia e com ventilação ativa durante a noite. No experimento 2 os ambientes analisados foram expostos à ventilação e insolação pela manhã e ao longo do dia, e durante a noite foram ventilados mecanicamente. O experimento 3 manteve a ventilação e insolação diurna e suprimiu a ventilação noturna. Para a análise foram considerados cinco parâmetros: amortecimento térmico (temperatura máxima e mínima), atraso térmico, redução das temperaturas internas no período de ventilação noturna (entre 20h e 8h) (Equação 9), redução da temperaturas superficiais internas (Equação 10) e percentual de aproveitamento do resfriamento noturno (PA) (Equação 11), percentual este que permite comparar proporcionalmente o decréscimo da temperatura no intervalo com ventilação noturna.

$$\Delta T_{ar} (i) = T_{ar} (21h) - T_{ar} (7h) \quad (9)$$

Onde:

$\Delta T_{ar} (i)$ é a diferença da temperatura do ar nos ambientes internos

$T_{ar} (21h)$ é a temperatura do ar registrada às 21h

$T_{ar} (7h)$ é a temperatura do ar registrada às 7h do dia seguinte

$$\Delta T_{sup} (i) = T_{sup} (21h) - T_{sup} (7h) \quad (10)$$

Onde:

$\Delta T_{sup} (i)$ é a diferença da temperatura das superfícies internas (paredes e teto)

$T_{sup} (21h)$ é a temperatura superficial registrada às 21h

$T_{sup} (7h)$ é a temperatura superficial registrada às 7h do dia seguinte

$$PA (T_{ar}) = \Delta T_{ar} (i) / \Delta T_{ar} (e) \quad (11)$$

Onde:

$PA (T_{ar})$ é o percentual de aproveitamento do resfriamento noturno;

$\Delta T_{ar} (i)$ é definida pela Equação 9;

$\Delta T_{ar} (e)$ é a redução da temperatura do ar no ambiente externo entre 21h e 7h do dia seguinte, correspondente à diferença entre o valor registrado às 21h e o valor mínimo registrado neste intervalo.

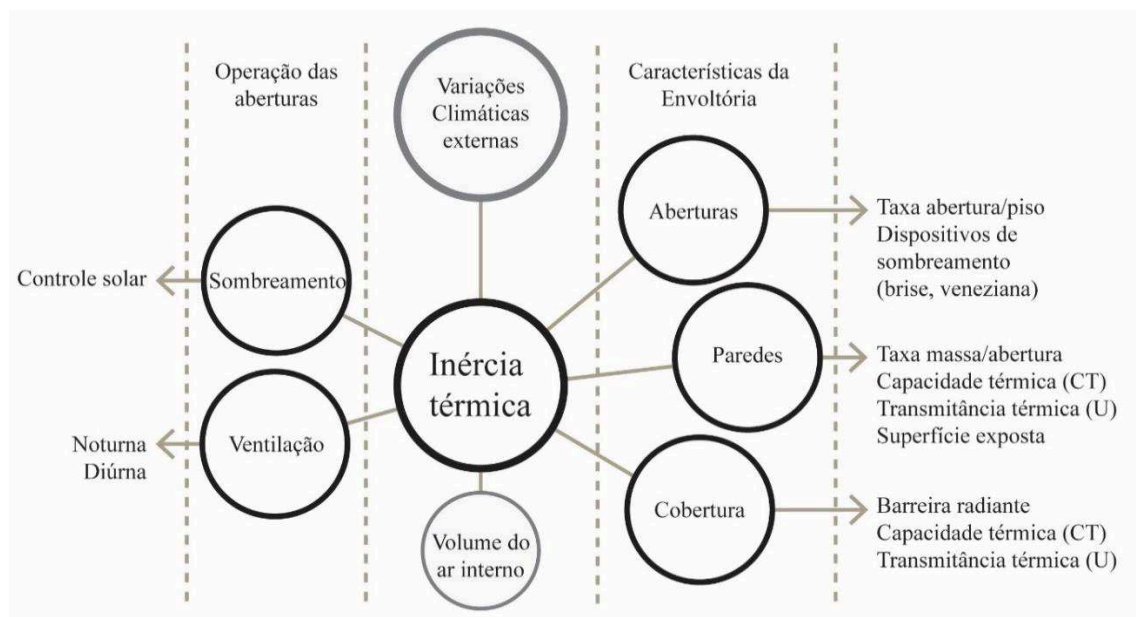
O estudo indica que a ventilação mecânica noturna reduziu a temperatura do ar durante a noite e, nos períodos estudados, manteve as temperaturas máximas internas abaixo do limite superior considerado para a zona de conforto (29 °C). A admissão de ventilação e insolação ao longo do dia afetou o desempenho da ventilação mecânica noturna, porém a inadmissão de ventilação e radiação solar nos momentos mais quentes do dia (entre 11h e 15h) apresentou menor impacto na eficiência da ventilação mecânica noturna. Os autores concluem que combinar a alta massa térmica com sombreamento e ventilação em períodos adequados é indicado para promover um ambiente térmico confortável ao longo do ano, minimizando a dependência de sistemas artificiais de condicionamento térmico (LAMBERTS et al., 2010).

Pereira e Ghisi (2011) conduziram um estudo sobre a influência das propriedades térmicas da envoltória no desempenho térmico de residências ocupadas e naturalmente ventiladas no clima de Florianópolis (SC), utilizando em seu método a simulação computacional com o programa Energy Plus. Foram realizadas variações nos materiais da

envoltória, nos padrões de ocupação e ventilação. A temperatura do ar por hora e a umidade relativa do ar foram os dados de saída para as zonas térmicas de cada modelo. Os dados horários resultantes de temperatura e umidade relativa do ar foram inseridos no programa Analysis Bio, obtendo-se as horas de desconforto para cada caso. Ao correlacionar as horas de desconforto com as propriedades térmicas da envoltória, os autores concluíram que o número de horas em desconforto foi menor em residências com maior capacidade térmica e com valores maiores de atraso térmico.

A Figura 9 busca ilustrar as variáveis citadas na literatura que influenciam na inércia térmica apresentada por uma edificação. A variação das condições climáticas externas influencia no comportamento térmico dos ambientes internos, sendo que a envoltória interfere nesta influência através de sua morfologia, separando em variações climáticas externas, nas características da envoltória (local de decisão do arquiteto) e na forma como os usuários irão operar as aberturas (controle dos usuários).

Figura 9 - Variáveis que influenciam no desempenho da alta massa térmica



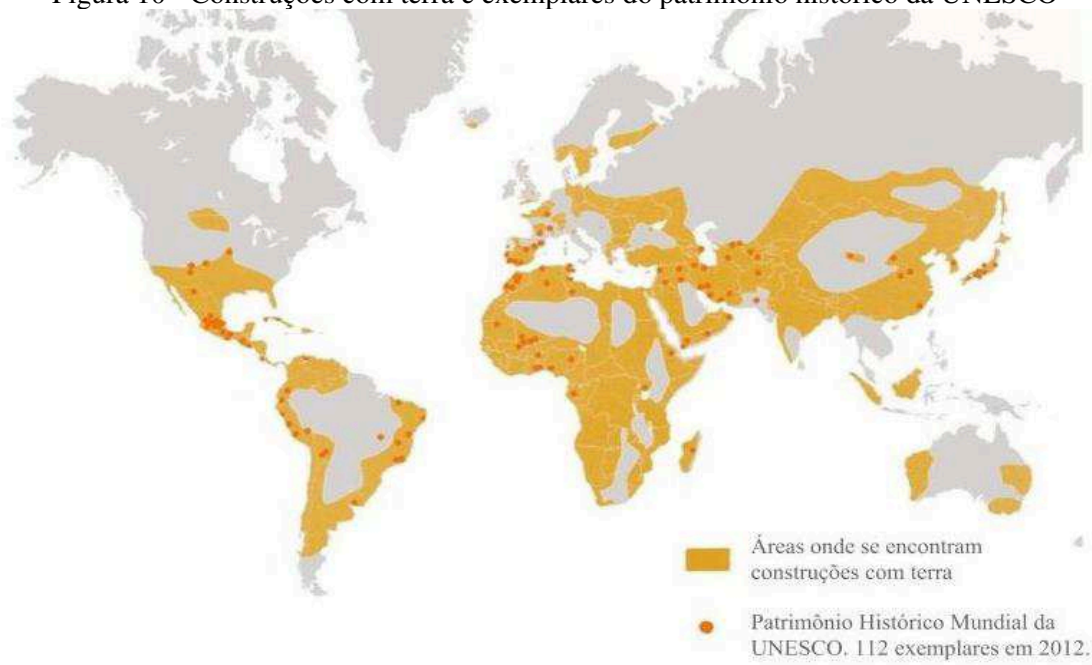
Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Neste contexto, vedações verticais que apresentem alta capacidade térmica como material de construção apresentam potencial de redução das horas de desconforto térmico, desde que respeitando a combinação de estratégias necessárias para otimizar a alta massa térmica nas edificações.

2.3 TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Recurso utilizado há mais de 9.000 anos, se estima que um terço da população mundial viva ou trabalhe em edificações de terra (DETHIER; HOUBEN; GUILLAUD, 1989; MINKE, 2009). Neste trabalho o termo “terra” corresponde ao solo apropriado para construção que não foi queimado e o termo “solo” é utilizado quando se envolvem caracterizações (NEVES; FARIA, 2011). É um recurso abundante e presente em todos os continentes, em meios urbanos e rurais, sendo que 112 edificações em terra estão registradas como patrimônio histórico mundial pela UNESCO, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10 - Construções com terra e exemplares do patrimônio histórico da UNESCO



Fonte: DOROTHÉE (2018), adaptado de CRATerre / ENSAG

Das mais de vinte técnicas de construção com terra, as mais comuns são a taipa de pilão (terra compactada) e o adobe (DETHIER; HOUBEN; GUILLAUD, 1989). Adobe é uma palavra espanhola para tijolos de terra secos ao sol, originária dos termos Tub ou Attob (árabe) e Thobe (egípcio) (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2012; PONS; SHANK; LÓPEZ, 2015). O adobe consiste em uma massa de terra estabilizada, podendo haver aditivos como fibras vegetais, misturada com água através de ação mecânica, moldada em forma de bloco e seca naturalmente (NEVES; FARIA, 2011), conforme ilustra a Figura 11. A literatura especializada diferencia os termos “adobe” e “tijolos de terra não cozidos” (*unfired earth bricks*), este último designando os tijolos de terra que passam por processo industrial de extrusão, semelhante aos

tijolos queimados, porém não passam pelo processo de queima (CAGNON et al., 2014; MCGREGOR et al., 2014; REMPEL; REMPEL, 2016).

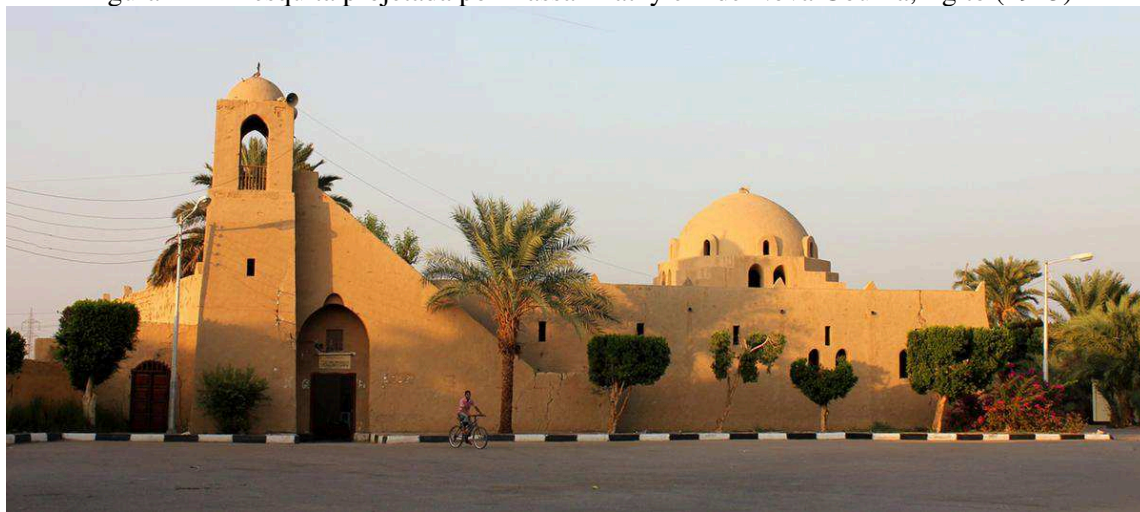
Figura 11 – Processo de forma (esq.), desforma (centro) e secagem natural dos adobes (dir.)



Fonte: Renato Gualberto Botelho (2018)

Com o surgimento de materiais de construção industrializados no século XIX houve desvalorização das técnicas de construção com terra. Apesar deste movimento, a terra permaneceu sendo utilizada por grande parte da população que não se insere no mercado formal de habitação (NEVES; FARIA, 2011). A partir da década de 1980 ocorreu um processo amplo de revalorização das técnicas em terra, por ser um material abundante, de baixo custo, baixo impacto ambiental e presente na cultura construtiva popular (FATHY, 1982). Hassan Fathy foi pioneiro neste processo, ao retomar o uso do adobe nas construções, as tornando mais acessíveis e adequadas aos habitantes do clima desértico e quente do Egito (Figura 12).

Figura 12 – Mesquita projetada por Hassan Fathy em de Nova Gourná, Egito (1945)



Fonte: World Monuments Fund (2010)

Em relação à arquitetura contemporânea, a terra tem sido utilizada em edificações de serviço, a exemplo do Centro de Ervas da Ricola (Figura 13), comerciais e residenciais, a exemplo da residência projetada por Àngel Castellarnau (Figura 14). Os projetos citados foram premiados pelo TERRA AWARD (2016), prêmio internacional para arquitetura em terra.

“Energia e sustentabilidade não são simplesmente tratadas como auxiliares técnicos; eles são incorporados na arquitetura e nos recursos essenciais do projeto como um todo. A terra como material que regula a umidade tem um efeito positivo e sustentável no uso de energia e no controle climático geral”.
(HERZOG; DE MEURON, 2014, tradução nossa)

Figura 13 – Centro de Ervas da Ricola. Laufen, Suíça (2014)



Fonte: HERZOG; DE MEURON (2014)

Na residência da Figura 14, as paredes em terra reduziram consideravelmente os impactos ambientais e as emissões de CO₂, ao dispensar transporte em grandes distâncias e queima em altas temperaturas. Comenta também que na residência foi aplicado, com bons resultados, o conceito de *low-tech* (construção de baixa tecnologia), otimizando o uso dos materiais ao utilizar máquinas simples e apropriáveis (CASTELLARNAU, 2012).

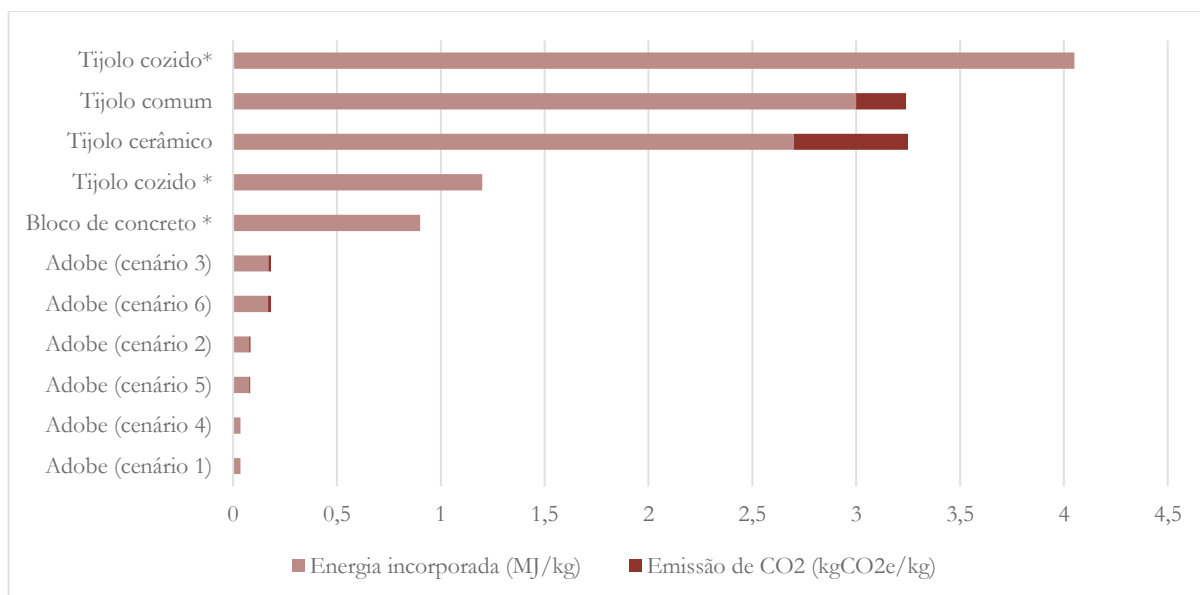
Figura 14 – Residência projetada por Àngel Castellarnau. Ayerbe, Espanha (2014)



Fonte: TERRA AWARD (2016)

Ao adotar materiais de construção locais, é possível economizar energia no processo construtivo e diminuir o impacto do transporte (MOREL et al., 2001). (CHRISTOFOROU et al., 2016) analisaram o ciclo de vida da produção de adobes em 6 diferentes cenários e concluíram que, em termos de energia incorporada e emissão de dióxido de carbono, a produção utilizando materiais disponíveis no local é a mais eficiente. Os resultados foram comparados com dados encontrados na literatura de outros materiais de construção, cujos processos diferem (por isso as diferenças nos valores), evidenciando o potencial dos adobes em reduzir o consumo de energia e as emissões de CO₂ (Figura 15).

Figura 15 - Energia incorporada e Emissão de CO₂



*sem informação sobre as emissões de CO₂.

Fonte: adaptado de CHRISTOFOROU et al.(2016)

Shukla, Tiwari e Sodha (2009) verificaram a energia incorporada de uma casa de adobe e encontraram um valor de 4,75 GJ/m², valor baixo comparado às construções convencionais, porém possui significativa parcela de energia incorporada recorrente (manutenção) de 12% da energia incorporada total. Em termos financeiros, Zami e Lee, (2010) observam que, sendo produção local, com recursos naturais e poucas necessidades de transporte, a construção com terra é rentável. No entanto, ressaltam a importância de entender o material e dominar suas desvantagens, que dependem da estabilização do solo e podem afetar a qualidade do adobe. O comportamento do componente construtivo em terra não é padronizado e varia de acordo com a quantidade de argilominerais, de minerais não argilosos, de fibras vegetais, de agentes estabilizantes, de ar e de umidade presentes em sua composição (DOS SANTOS, 2015).

Na presente pesquisa não serão realizadas análises de ciclo de vida de edificações ou relacionadas ao processo de construção de edificações em terra. No entanto, estas informações são relevantes para compreender como a terra é utilizada atualmente como material de construção civil e quais são suas principais vantagens e desvantagens, algumas das quais discriminadas no Quadro 3, com base nos estudos de Minke (2009).

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do uso da terra como material de construção

<i>Vantagens</i>
Possui potencial para alta massa térmica
Filtra a radiação eletromagnética
Regula a umidade dos ambientes devido a sua porosidade
Absorve contaminantes
Gera economia no material de construção e nos custos com transporte
Baixo consumo de energia e emissões de CO ₂ (CHRISTOFOROU et al., 2016)
É uma tecnologia apropriável por não exigir processos industrializados
Conserva a madeira e outros materiais orgânicos
Desvantagens
Falta de padronização
Retrai no processo de secagem
Por ser permeável, exige proteção da água em forma líquida em grandes quantidades (chuvas, capilaridade da umidade do solo).

Fonte: Adaptado de MINKE (2009)

A adoção da terra como material de construção é dificultada pelo desconhecimento das técnicas construtivas e pela falta de instruções normativas (MOREL et al., 2001). No entanto, justificada pelo seu baixo impacto ambiental e capacidade de regular as condições higrotérmicas de ambientes internos, há demanda crescente de construções em terra (DELINIÈRE et al., 2014). Alemanha (SIA, 1994), Austrália (HB 195, 2009), Peru (E.080, 2017) e Nova Zelândia (NZS 4298, 1998) possuem normas sobre construção com terra. O Brasil possui um projeto de norma para produção de adobes¹ em tramitação.

A construção de terra evolui junto com o avanço tecnológico e a industrialização, tendo um papel a desempenhar em termos de funcionalidade material em países desenvolvidos e em

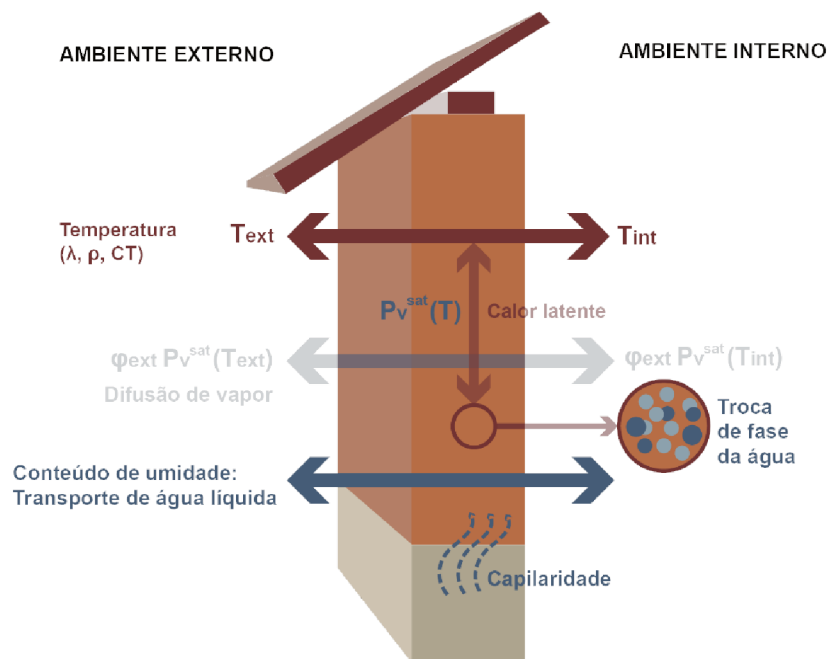
¹ Este Projeto de Norma (PN) foi elaborado pela Comissão de Estudo Construções com Terra (CE-002:123.009), do Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002) e encaminhado à ABNT em agosto/2016, para colocação em Consulta Nacional (CN). Até o momento (outubro/2018) este PN se encontra em tramitação interna na ABNT.

desenvolvimento. O uso deste material também está associado a uma nova moralidade social em relação as mudanças climáticas (HALL; LINDSAY; KRAYENHOFF, 2012).

2.4 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DA TERRA

A transferência de umidade e de energia térmica através de sistemas construtivos em terra é complexa e dinâmica. Através da envoltória ocorrem trocas térmicas por condução, por radiação, por convecção (natural e/ou forçada) e, além disso, a microestrutura da terra permite que ocorram trocas hígricas com o ambiente, através dos fenômenos de condensação/evaporação e de absorção/adsorção de moléculas de água na superfície das paredes. Estas variações no conteúdo de água do material podem alterar significativamente a condutividade térmica e a capacidade térmica do material (SOUDANI et al., 2016). Ilustra-se, na Figura 16, a transferência de umidade e energia térmica em um sistema construtivo a base de terra.

Figura 16 - Transferências de calor e água em uma parede de terra



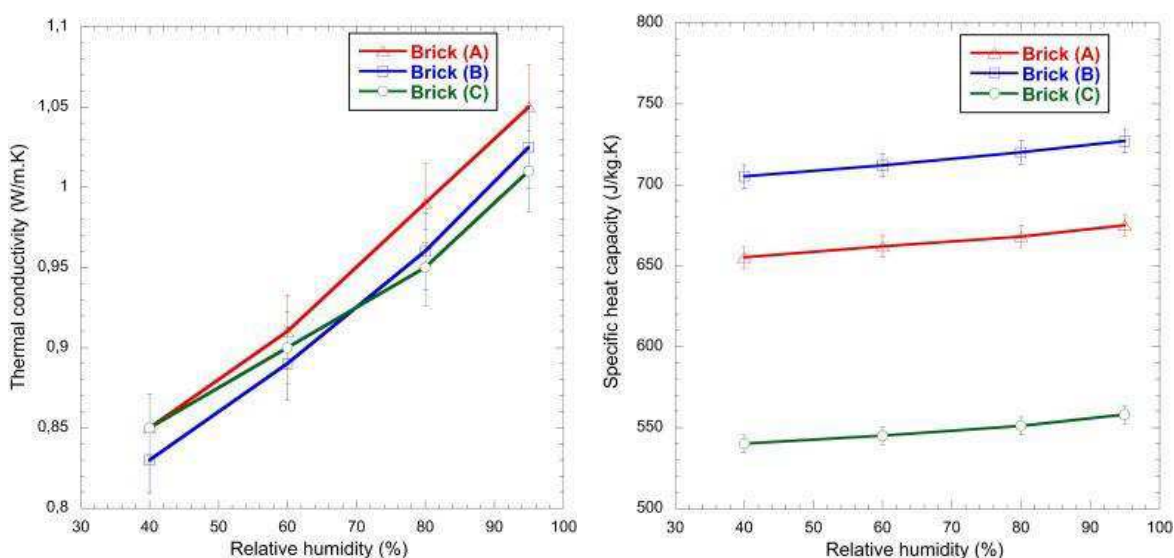
Fonte: adaptado de Soudani et al. (2016)

O símbolo ϕ indica umidade relativa, T indica temperatura e P_{vsat} é a pressão de vapor de equilíbrio. As paredes estão sujeitas a fortes gradientes de migração de calor e vapor d'água a diferentes temperaturas. Quando as moléculas de água trocam de fase

(evaporação/condensação), ocorrem trocas de calor latente. O transporte de água líquida acontece pelo efeito de capilaridade, tendência que os líquidos apresentam de fluir através de corpos porosos causada pela tensão superficial, e na forma gasosa pela difusão de vapor.

Em relação ao comportamento térmico, este fenômeno interfere na condutividade térmica e na densidade de massa aparente do sistema construtivo. Logo, a resistência térmica, a capacidade térmica, a difusividade e a efusividade do sistema construtivo que apresenta comportamento higroscópico variam conforme o conteúdo de umidade presente nos materiais. A Figura 1717 mostra a condutividade térmica e o calor específico de três tijolos com solos distintos, obtidos ao variar a umidade relativa do ambiente em 40%, 60%, 80% e 95 (EL FGAIER et al., 2016).

Figura 17 - Condutividade térmica (esq.), calor específico de tijolos (dir.) em relação a variação da umidade relativa



Fonte: EL FGAIER et al. (2016b)

A condutividade térmica (λ) dos tijolos foi determinada com base no método de medição do fluxo de calor, que consiste em medir simultaneamente o fluxo de calor e temperatura em ambas as faces de uma amostra, rodeada por isolante de modo a limitar as perdas de calor lateral e assegurar fluxo unidirecional na área de medição central. Os autores ressaltaram que, no caso do material poroso, as tensões térmicas do sistema podem induzir a transferência de massa durante o ensaio (EL FGAIER et al., 2016b).

Em relação ao comportamento higroscópico, Cagnon et al. (2014), Mcgregor et al. (2014), El Fgaier et al. (2016) estudaram a capacidade de absorção de vapor d'água de tijolos

de terra não cozidos e, como resultado, observaram baixa resistência a difusão de vapor d'água e alto comportamento higroscópico. Demais trabalhos realizados em laboratório obtiveram resultados semelhantes (EL FGAIER et al., 2015; LIUZZI et al., 2013; MCGREGOR et al., 2016). Os materiais com comportamento higroscópico absorvem e liberam vapor d'água até que condições de equilíbrio sejam atingidas, gerando inércia higroscópica do ambiente construído (RAMOS; DE FREITAS, 2012), fenômeno que amortece os picos de umidade do ar interno das edificações.

Cagnon et al. (2014) realizaram ensaios de absorção e adsorção pelo método das soluções salinas saturadas, evidenciando a rápida absorção de umidade pelos tijolos, sendo que pequenas amostras de 6x4x2 cm levaram de 3 a 4 dias para estabilizar a cada acréscimo na umidade relativa (33%, 50%, 76%, 97%). El Fgaier et al. (2016), pesquisando a capacidade de absorção de tijolos de terra, observaram o fenômeno de histerese, que indica maior facilidade de absorver do que liberar umidade. Foi visto que esta vantagem, no entanto, causa decréscimo na resistência à compressão e na resistência térmica dos tijolos de terra não cozidos.

Mcgregor et al. (2014) realizaram ensaios higrícos para 114 amostras de tijolos de terra comprimidos e rebocos e utilizaram como parâmetro de análise o *Moisture Buffering Value* (MVB), que indica a quantidade de água transportada através de um material por área de superfície durante um período, quando está sujeito a variações na umidade relativa do ar (RODE et al., 2005). O MVB das amostras variou entre 1,13 e 3,73 g/(m².%UR), sendo bastante influenciado pela difusão de vapor d'água através do material e pelo tipo de argila.

Foi visto que a mineralogia e granulometria dos solos tem mais influência na regulação da umidade do que aditivos ou diferentes densidades e que as amostras foram classificadas com MVB bom ou excelente, segundo os critérios estabelecidos por Rode et al. (2005). As propriedades higrotérmicas dos componentes construtivos em terra dependem também da técnica de manufatura (MCGREGOR et al., 2014) e da orientação das plaquetas de argila (perpendicular ou paralela ao fluxo de calor e vapor d'água) (MAILLARD; AUBERT, 2014).

Em geral, fenômenos higroscópicos são desconsiderados em análises de desempenho térmico, o que pode resultar em superestimação do desconforto por calor em climas quentes e úmidos (QIN et al., 2011). Estudos que abordam transferência de calor através da envoltória costumam reduzir as variáveis, verificando os resultados experimentalmente (testes e medições) e de forma analítica, através dos princípios das trocas térmicas (ÇENGEL, 2012).

SOUDANI et al. (2016) avaliaram o impacto das simplificações para materiais de edifícios através de modelo de simulação acoplado de transferência de calor e massa e

concluíram que, em estudos envolvendo materiais construtivos a base de terra crua, devido a sua alta porosidade, é necessário levar em conta o impacto do fluxo de água no gradiente térmico, devido as trocas de calor em mudança de estado (calor latente).

2.4.1 Medições em campo

Uma vez que o comportamento higroscópico influencia no desempenho térmico das edificações, os resultados de medições em campo envolvendo objetos de estudo construídos em terra crua são relevantes para indicar como os sistemas construtivos com terra se comportam higrotérmicamente em contextos reais.

Taylor e Luther (2004) estudaram o comportamento térmico de uma sala de uma edificação de escritórios, orientada a sudeste, cujas paredes são de taipa de pilão (30 cm). O estudo foi conduzido em New South Wales (Austrália), onde o verão é seco e quente e o inverno é temperado e úmido (Cfa). As medições foram realizadas no período do verão e a sala estudada apresenta sistema de ventilação noturna controlado por automação (abre quando a temperatura externa está 2 °C menor que a temperatura externa), e ventilador. O fluxo de calor associado às paredes, piso, teto, janelas foram medidos através de dois fluxímetros e a temperatura da parede foi medida com termistores, assim como a temperatura do ar interna e externa do ambiente. Foram analisados quatro dias de medições, três com céu claro seguidos de um dia com céu encoberto. A partir dos dados obtidos, foram plotados gráficos de distribuição de temperatura e de fluxo de calor, e calculada a transferência de calor associada a cada superfície.

A análise dos resultados indicou que as paredes externas transmitiam comparativamente pouco calor ao escritório e as paredes internas absorveram calor durante esse período, sendo a janela a principal fonte de calor para a sala no período das 9h às 17h. Os autores comentam que a radiação solar difusa transmitida pela janela e a infiltração são fatores importantes na carga térmica do verão, que o sistema poderia ser otimizado ao promover mais ventilação noturna e que a capacidade térmica das paredes de terra é uma boa estratégia de condicionamento térmico passivo em períodos quentes, mais do que se esperaria analisando apenas sua resistência térmica.

Assim como Taylor e Luther (2004), Serrano, De Gracia e Cabeza (2016) estudaram o comportamento térmico de edificações com paredes em taipa de pilão, no período de verão. O estudo foi conduzido na cidade de Puigverd de Lleida (Espanha), em clima semelhante ao estudo anterior: clima Csa (temperado úmido com verão seco e quente). Diferindo do estudo

anterior, o objetivo do estudo foi comparar o comportamento térmico de cinco cubículos experimentais de 2,4×2,4×2,4 m, com distintos sistemas construtivos tradicionais na região. Dois dos cubículos foram construídos em taipa de pilão com 29 cm de espessura, sendo que a um destes cubículos foi acrescida uma camada de madeira (6 cm) e reboco de terra e palha (2 cm), cobertura de telhado verde. Os três cubículos restantes foram construídos com estrutura de concreto e vedações verticais de gesso, tijolos (7 cm), câmara de ar (14 cm), tijolos ocos (14 cm) e reboco de cimento (parede convencional de referência), totalizando 37 cm de parede, sendo que a um cubículo foi adicionada uma camada de poliestireno extrudado (3 cm) e a outro uma camada de poliuretano em forma de espuma (3 cm).

As medições foram realizadas em condições de flutuação livre (*free floating*) e temperatura controlada com set points de 18, 21 e 24 °C, utilizando os sensores de temperatura em diversos pontos dentro e na superfície das paredes e sensor de umidade do ar na parte central do ambiente. Dentre os dados coletados foram selecionados períodos significativos para a análise, considerando dias nublados e dias ensolarados. Foi calculado o coeficiente de amortecimento (μ), o atraso térmico, as temperaturas médias, mínimas e máximas e as amplitudes térmicas diárias registradas em cada cubículo, assim como o fluxo de calor nas paredes orientadas a sul. Os resultados mostraram que a parede de taipa de pilão sem isolamento apresentou desempenho considerado pior do que a parede convencional de referência, ressaltando que menor espessura (29 cm) penaliza o desempenho térmico da terra. As paredes de taipa com isolamento em madeira, mesmo com maior transmitância térmica e menor espessura, atingiram resultados similares aos sistemas de construção convencionais na região mediterrânea, apresentando maior atraso térmico. Esta pesquisa desconsiderou as variáveis de troca de calor através de aberturas e a ventilação (diurna e noturna), fatores que se mostraram bastante influentes nos resultados apresentados por Taylor e Luther (2004).

Dentre pesquisas em edificações residenciais, Martín, Mazarrón e Cañas (2010) realizaram em Navapalos, no norte da Espanha (Cfb – clima temperado úmido com verão temperado) uma comparação entre o comportamento térmico de três casas, uma pré-fabricada, com paredes de madeira (5 cm) e duas tradicionais, sendo uma com paredes de adobe (40 cm) e outra em pedra (50 cm). Nenhuma das casas possui equipamento para resfriamento e apenas a casa pré-fabricada de madeira contava com dois aquecedores pequenos para o inverno. A casa pré-fabricada estava ocupada e as casas tradicionais estavam desocupadas. Os dados de temperatura e umidade relativa internas e de temperatura e umidade relativa externa e de umidade foram coletados no período de verão (12 dias) e no inverno (38 dias), com 3 sensores

HOBO datalogger locados nos ambientes internos de cada residência, contemplando os dois pavimentos e as ambientes localizados ao norte e ao leste, e um HOBO datalogger no ambiente externo. Para cada período de medições, os valores médios, mínimos e máximos, a amplitude diária de temperatura, sendo comparados com os dados externos e entre cada residência. Também foi realizada análise da função de distribuição acumulada (FDA), que permitiu compreender a distribuição de cada temperatura registrada dentro de uma faixa de temperaturas, e gráficos relacionando a diferença de temperatura interna e externa com a temperatura externa ($T_{ext.}(T_{int}-T_{ext})$). A faixa de temperatura de conforto adotada como parâmetro neste trabalho foi de 18 ± 2 °C para o inverno e de 24 ± 2 °C para o verão. As umidades relativas do ar interno de cada residência e do ar externo foram comparadas, sendo a faixa de conforto estabelecida foi entre 30% e 70%.

Foi verificado que no verão as residências com paredes em pedra e adobes apresentaram melhor desempenho do que a residência em madeira. Mesmo a residência em madeira possuindo dois aquecedores, os valores de temperatura apresentaram-se abaixo do parâmetro de conforto térmico no inverno. Foi comentado pelos autores que, no caso da instalação de sistemas de aquecimento nas casas, as casas tradicionais consumiriam menos energia do que a residência pré-fabricada em madeira. Vale ressaltar que a interferência dos usuários na casa de adobe e de pedra não foi considerada nesta coleta de dados, sendo um fator que poderia influenciar nos resultados.

Soudani et al. (2017) monitoraram uma residência em uso com paredes de taipa de pilão de 50 cm a partir de medições realizadas por mais de dois anos em Rhône-Alpes, na França, onde o clima é caracterizado como Cfb (temperado úmido com verão temperado). A residência apresenta como recurso de aquecimento artificial no inverno uma lareira e não possui dispositivo de resfriamento. A instrumentação para as medições consistiu na instalação de sensores de temperatura e umidade relativa e um sensor TDR (para medir o conteúdo de umidade) dentro das paredes (10 cm da superfície externa) Sul e Oeste. Nos ambientes internos avaliados foram distribuídos 7 sensores de temperatura e umidade relativa na cozinha, na sala, no banheiro e em todos os 4 quartos da casa. No ambiente externo foi locado um sensor de temperatura e umidade. Os dados de irradiação solar foram obtidos da estação climática completa mais próxima (110 km), que foi comparada com os dados de uma estação climática não profissional à 8 km da residência, não sendo encontradas grandes diferenças.

Soudani et al. (2017) estimaram os fluxos de calor através da parede, compararam as temperaturas internas, as externas e a irradiação solar através de médias mensais ao longo de

todo o período de medições. O balanço térmico das paredes foi avaliado na situação de verão (junho a setembro) e de inverno (dezembro a março) no hemisfério norte, separando períodos para análise de acordo com as condições climáticas de irradiação solar direta (“*sunny weather*”) e coberta por nuvens (“*cloudy weather*”), pois foram verificadas diferenças significativas. Foi estudado o atraso térmico para cada estação: primavera, verão, outono, inverno e para diferentes orientações de paredes (sul e oeste), verificando diferenças no atraso térmico. As análises foram conduzidas com foco nas propriedades térmicas e não analisaram parâmetros higroscópicos, no entanto os autores reconhecem que as propriedades higroscópicas da terra influenciam no desempenho térmico da parede, comparando a efusividade e a difusividade de terra úmida (com conteúdo de umidade de 10%) e terra seca, encontrando valores distintos. Com os resultados os autores verificaram que o a residência apresenta bom desempenho no verão e no inverno, com baixa necessidade de cargas térmicas adicionais. A influência da orientação solar e da incidência de irradiação no comportamento térmico das paredes e da residência foi verificada.

2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA

Estudos abordados na revisão de literatura validaram a alta massa térmica como estratégia efetiva para redução das horas em desconforto por calor em edificações residenciais ocupadas e naturalmente ventiladas no clima subtropical úmido de Florianópolis (SC), quando aplicada de forma adequada pelos projetistas e operada de forma eficiente pelos usuários (GOULART, 2004; LAMBERTS et al., 2010; PAPST, 1999; PEREIRA; GHISI, 2011).

Foi visto que a estratégia de alta massa térmica para aquecimento ou resfriamento não pode ser compreendida de maneira isolada, pois depende da área de exposição das superfícies de alta massa, dos ganhos de calor (solar e internos), da ventilação, das estratégias de controle solar, do sistema construtivo da cobertura, da capacidade térmica das paredes, da operação das aberturas (vidro/venezianas), do padrão de ocupação (noturno/diurno/ambos) e da variação das condições térmicas externas (GOULART, 2004).

A revisão de literatura indicou quais são os principais parâmetros envolvidos no fenômeno da inércia térmica, destacando-se: a) a difusividade e a efusividade térmica dos materiais utilizados na envoltória, propriedades que independem da espessura dos materiais, b) a capacidade térmica do sistema construtivo da envoltória, propriedade que considera a massa térmica presente na edificação, c) o atraso térmico, a amplitude térmica e o coeficiente de amortecimento, parâmetros que variam diariamente, revelando o comportamento térmico do ar

interno de um ambiente em resposta a todas as variáveis as quais este ambiente construído está sujeito e d) a influência da temperatura externa e da radiação solar de horas anteriores na temperatura interna dos ambientes, indicador de tendência de comportamento dos ambientes internos em resposta a estímulos externos de temperatura e radiação solar.

Estudos sobre o uso da terra como material de construção da envoltória, em técnicas como taipa de pilão, tijolos de terra não cozidos e adobes evidenciaram que, além de possuir alta capacidade térmica, a terra é porosa e permeável à água no estado de vapor e pode atuar regulando a umidade presente nos ambientes internos. Esta propriedade evita a proliferação de fungos na superfície das paredes, uma vez que a terra absorve rapidamente a umidade (EL FGAIER et al., 2016; HALL; DJERBIB, 2004; MCGREGOR et al., 2016).

Foi indicado que a estratégia de alta massa para resfriamento deve ser combinada com a ventilação noturna no verão, para maior eficiência, e que radiação difusa do céu transmitida pela janela e a infiltração de ar são fatores importantes na carga térmica. A alta capacidade térmica das paredes de terra mostrou-se estratégia favorável em períodos quentes, mais do que se esperaria analisando apenas a resistência térmica do material (TAYLOR; LUTHER, 2004).

A condição porosa dos componentes construtivos em terra permite que o conteúdo de umidade varie de acordo com a pressão de vapor interna e externa e, conseqüentemente, influencie nas propriedades térmicas do material. Por esta razão, a condutividade térmica não pode ser considerada propriedade intrínseca da terra, e sim relativa à umidade (SOUDANI et al., 2016). Os adobes apresentam alta efusividade térmica e alto comportamento higroscópico, o que resulta em alta inércia higroscópica (CAGNON et al., 2014).

Em geral, as pesquisas com medições *in loco* recorreram a equipamentos com aquisição de sinal para medir temperatura e umidade. Os ambientes foram caracterizados em relação à envoltória, a orientação solar e ao seu uso. No tratamento de dados, em geral, são realizadas médias mensais e estabelecido o comportamento anual. Para analisar de maneira mais aprofundada são selecionados períodos significativos de alguns dias para analisar atraso térmico, diferenças de amplitude térmica interna e externa (atenuação térmica). Poucos trabalhos com medições *in loco* abordam a influência da variação do conteúdo de umidade das paredes no comportamento térmico da edificação, fato justificado pela dificuldade de determinar as propriedades higrotérmicas de materiais porosos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos propostos para atender aos objetivos específicos foram divididos em três principais etapas, elencadas abaixo:

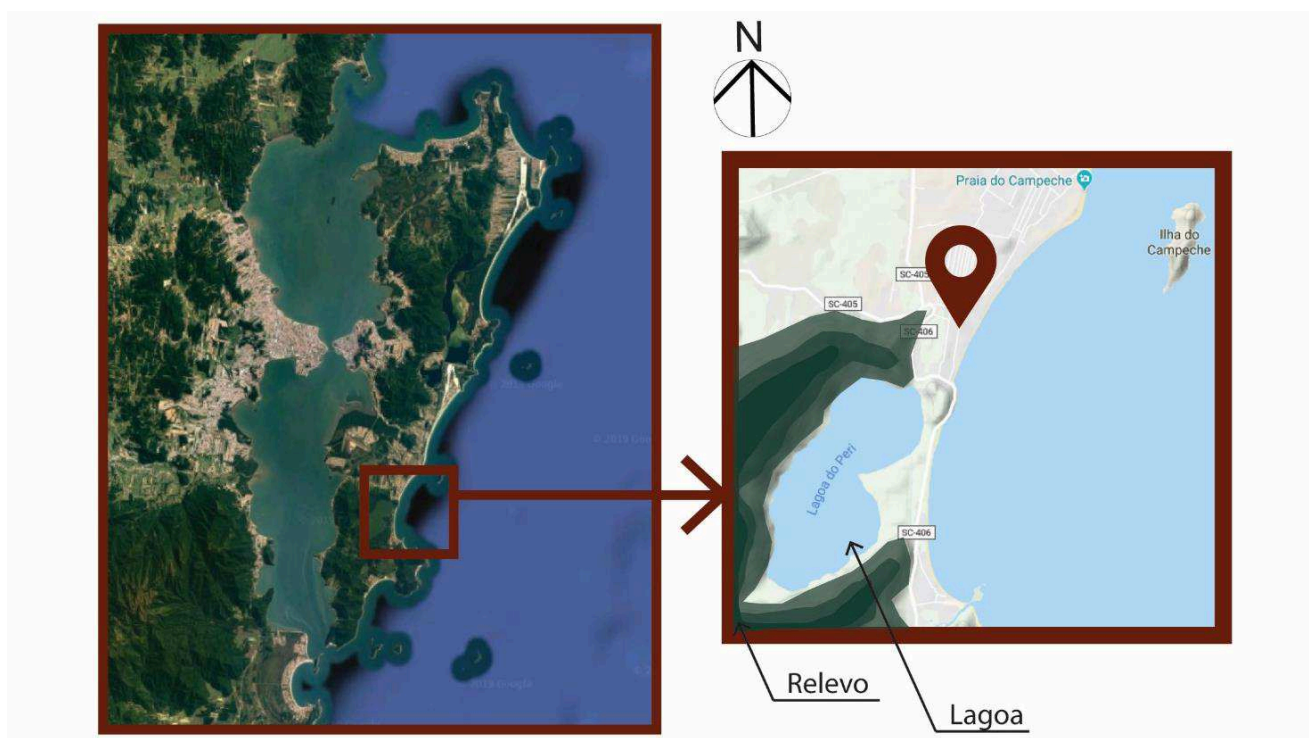
- 1 Caracterizar a residência e o padrão de ocupação:
 - a. Detalhamento do sistema construtivo e da tipologia dos ambientes monitorados;
 - b. Descrição do perfil dos usuários e dos períodos de ocupação da residência.
- 2 Monitorar o comportamento higrotérmico do ar nos ambientes internos:
 - a. Medir dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar de oito ambientes internos e do ambiente externo da residência ao longo de 9 meses (02/06/2018 a 02/03/2019), com períodos ocupados e desocupados;
 - b. Obter dados de radiação global, temperatura do ar e umidade relativa do ar fornecidos pela estação climática mais próxima (Labsolar);
 - c. Medir o comportamento higrotérmico do ar interno de dois cômodos semelhantes (quarto 3 e quarto 4), no período quente ao variar a operação das janelas – 1 cômodo com ventilação noturna e outro sem ventilação noturna – ao longo de 4 dias (06/02 a 11/02/2019).
- 3 Comportamento térmico das superfícies:
 - a. Medir as temperaturas superficiais das paredes internas e externas dos cômodos Q3 e Q4 durante o verão (do dia 10/01 a 11/02/2019).

3.1 RESIDÊNCIA E PADRÃO DE OCUPAÇÃO

Os objetos de estudo desta pesquisa são oito ambientes internos com vedações verticais em adobe de uma residência unifamiliar situada no bairro Morro das Pedras (Figura 18), no sudeste da Ilha de Santa Catarina, próximo ao mar. A porção habitada do bairro é majoritariamente plana e poucos metros acima do nível do mar, com edificações unifamiliares de até três pavimentos. A região não é densamente arborizada. Circundando o bairro existem elevações que podem interferir na forma que os ventos sul e oeste incidem na residência.

A residência foi projetada visando uma construção de baixo impacto ambiental, com aproveitamento da iluminação natural e uso de estratégias bioclimáticas de alta massa térmica e ventilação natural. É ocupada predominantemente por duas pessoas adultas e os padrões de ocupação da residência variaram durante o período de coleta de dados: de 02/06 a 14/12/2018 a casa foi ocupada nos finais de semana e feriados e de 15/12/2018 a 02/03/2019 houve ocupação contínua.

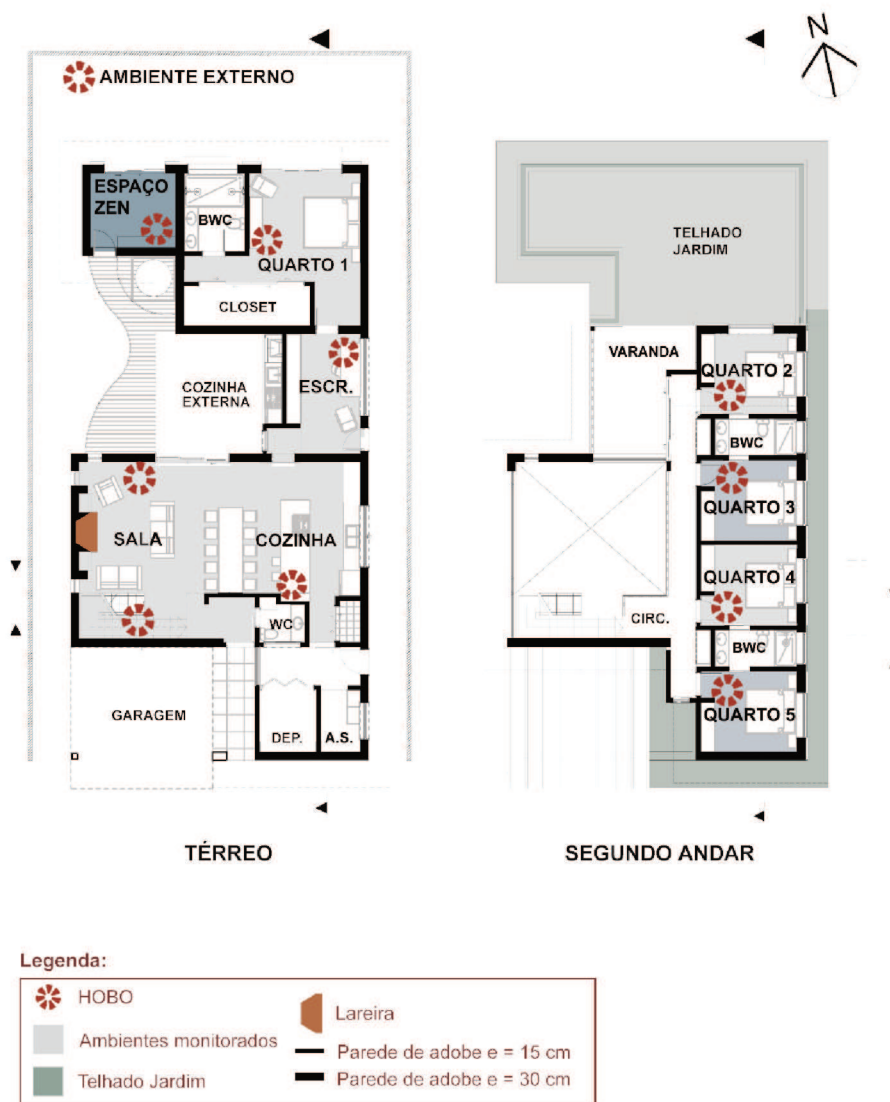
Figura 18 - Mapa de Florianópolis com indicação do local da residência analisada



Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS (2018)

O sistema estrutural da residência é de vigas, pilares e lajes de concreto armado e todo o sistema de vedação é composto de adobes (paredes de 30 e 15 cm) e telhado jardim. Construída em 2017 com área útil de 224 m². Seus ambientes estão dispostos ao longo do eixo norte-sul, acompanhando o terreno. A residência possui sala integrada com cozinha, quatro quartos, uma suíte, escritório, despensa, depósito, uma área de serviço, cozinha externa e espaço zen. Na Figura 19 é possível observar a distribuição dos cômodos, a espessura de cada parede, os equipamentos artificiais de aquecimento e refrigeração, os ambientes monitorados e a localização dos sensores de temperatura e umidade HOBO dataloggers. A fachada considerada norte da residência encontra-se com uma inclinação de 15° em relação ao norte geográfico.

Figura 19 – Planta dos pavimentos térreo e superior



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico da residência (2017)

Como sistema de aquecimento a casa possui lareira, localizada na sala e, para resfriamento, um equipamento de ar condicionado no Quarto 1 (instalado em janeiro de 2019). As paredes norte e sul da sala são revestidas em pedra na parte exterior. A residência possui cobertura e beirais ajardinados entre pisos, o que auxilia no sombreamento do pavimento térreo e na proteção das paredes frente às intempéries (ver Figura 20).

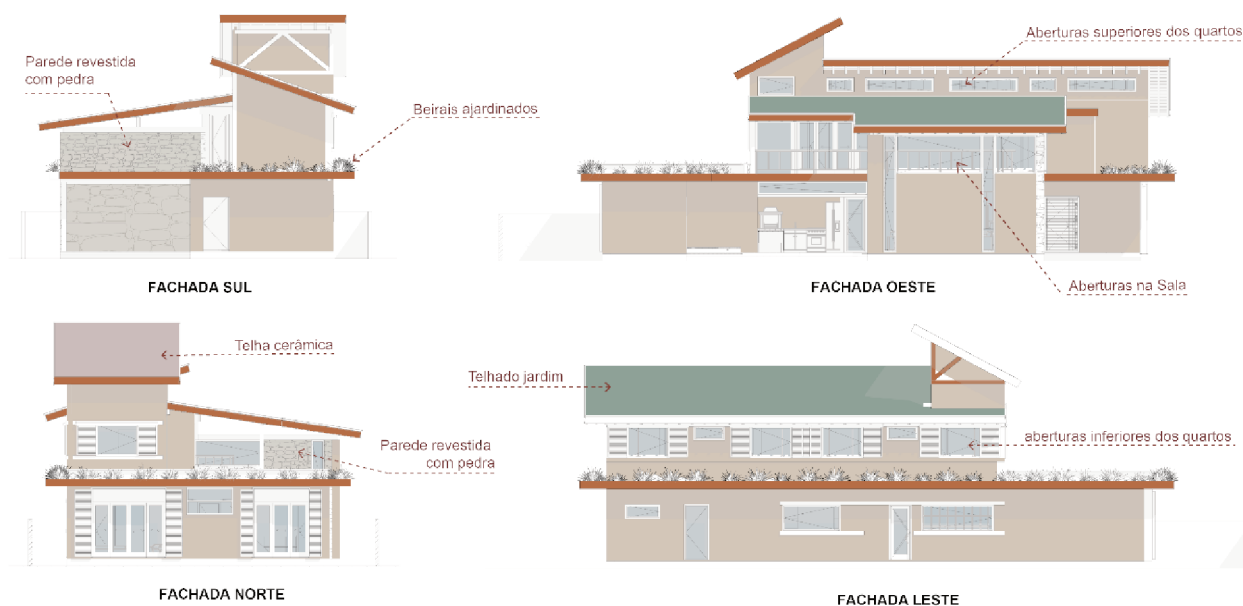
Figura 20 - Residência analisada



Fonte: Acervo pessoal da autora (2019)

A porta-janela do quarto 1 possui folhas de correr de vidro, tela e venezianas. As janelas do escritório e da cozinha possuem tela e folha de vidro de correr, sem venezianas. A sala de estar possui pé-direito duplo e grandes aberturas envidraçadas a oeste, norte e sul, parte das aberturas são de vidro fixo, parte são passíveis de abrir (basculantes) e apenas as do pavimento inferior possuem tela, nenhuma possui dispositivo de sombreamento (cortinas, venezianas). A área de serviço possui uma abertura com ventilação permanente. Os quartos superiores possuem aberturas nas fachadas oeste e leste (ver Figura 21) para fins de ventilação cruzada, sendo que apenas aberturas voltadas a leste possuem folhas de correr de vidro, tela e venezianas.

Figura 21 - Fachadas



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico da residência (2017)

Modificações foram realizadas após a construção da residência, para adequar a edificação às necessidades dos usuários. Na segunda semana de medição foram instaladas tiras de feltro nas aberturas, para minimizar a infiltração de ar. A porta entre a área de serviço e a cozinha foi instalada após o início das medições e, a partir deste momento, todas as aberturas nos ambientes de permanência prolongada tornaram-se passíveis de serem fechadas nos períodos frios. No início do período quente foi instalado um toldo na varanda externa, sombreando parcialmente a fachada oeste. Um equipamento de ar condicionado foi instalado no Quarto 1, no dia 29 de janeiro de 2019 e entre janeiro e março, a construção de uma residência no terreno vizinho começou a sombrear a fachada leste da residência analisada.

3.1.1 Propriedades termofísicas da envoltória

A Tabela 3 apresenta caracterização dos cômodos analisados nesta pesquisa. Como não possuem nenhuma divisória física entre ambientes, a sala e a cozinha foram considerados um ambiente único. A área de abertura (Aab) corresponde a área total da abertura (portas e janelas), a área de iluminação (Ailum) considera a área de vidro das aberturas e a área efetiva de ventilação (Avent) considera a área de ventilação máxima permitida por uma janela. As áreas de iluminação sem dispositivos de sombreamento (Ailum sem veneziana) foram registradas separadamente.

Tabela 3 – Propriedades da envoltória da residência monitorada

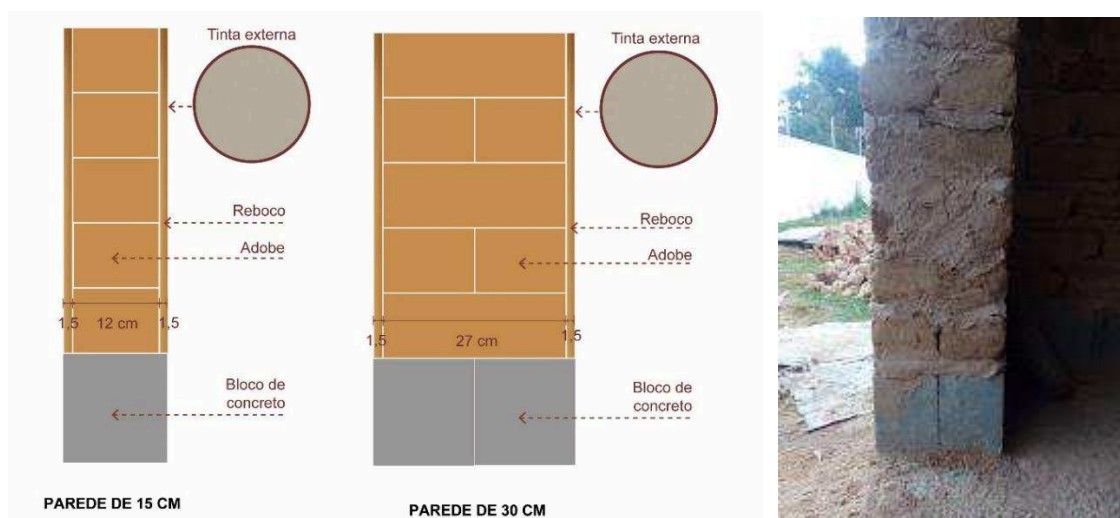
Propriedades da Envoltória		1 ANDAR			2 ANDAR			
		Q1	Sala/cozinha	Escritório	Q2	Q3	Q4	Q5
Piso			solo			laje		
Cobertura		laje	telhado jardim / laje	laje	laje	telhado jardim		
Área de piso (A _{piso}) (m ²)		19,35	57,60	11,68	9,60	9,60	9,60	9,60
Pé direito médio (m)		2,73	3,70	2,85	2,49	3,36	3,36	3,36
Volume de ar interno (m ³)		52,83	213,00	33,29	23,90	32,26	32,26	32,26
Massa (m ²)		70,75	220,54	57,52	39,06	52,85	52,85	53,11
Área de paredes externas (A _{parext}) (m ²)	N	3,07	19,03	2,00	6,55	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	29,28	0,00	0,00	0,00	0,00	11,63
	L	14,47	11,02	8,28	2,86	5,81	5,81	5,86
	O	2,46	16,58	12,00	3,56	2,92	2,92	6,80
	Total	19,99	75,92	22,27	12,97	8,72	8,72	24,29
Área de Abertura (A _{ab}) (m ²)	N	7,58	12,37	0,00	1,92	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	0,00	2,20	4,15	1,92	1,92	1,92	1,92
	O	0,00	11,92	0,00	0,00	1,30	1,30	1,30
	Total	7,58	30,61	4,15	3,84	3,22	3,22	3,22
Área de iluminação (A _{ilum}) (m ²)	N	4,82	9,84	0,00	1,42	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	0,00	1,60	2,96	1,42	1,42	1,42	1,42
	O	0,00	10,80	0,00	0,00	0,91	0,91	0,91
	Total	4,82	25,78	2,96	2,84	2,33	2,33	2,33
Área de iluminação sem veneziana (m ²)	N	0,00	9,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	0,00	1,60	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00
	O	0,00	10,80	0,00	0,00	0,91	0,91	0,91
	Total	0,00	25,78	2,96	0,00	0,91	0,91	0,91
Área efetiva de ventilação (A _{vent}) (m ²)	N	3,00	3,02	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00
	S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	L	0,00	0,95	2,83	0,83	0,83	0,83	0,83
	O	0,00	1,00	0,00	0,00	0,91	0,91	0,91
	Total	3,00	4,97	2,83	1,66	1,74	1,74	1,74

Fonte: Elaborado pela autora

Para compreensão de quais horários ao longo do ano a radiação solar incide através da abertura de cada cômodo, foi realizando um estudo de sombreamento através do programa Sun Tool (MARSH, 2002), sendo cada abertura configurada conforme consta no projeto arquitetônico da residência. As imagens resultantes deste estudo são comentadas no item 4.1 e encontram-se no Apêndice D deste documento.

As paredes da edificação são de adobe, com espessuras variando entre 30 e 15 cm (ver Figura 22), revestidas com reboco de cal, areia e terra (1,5 cm) e uma tinta natural à base de cal para pintura, terra, cola cascorez e pigmentos minerais. Os blocos de concreto na base das paredes atendem as orientações para este sistema construtivo de evitar o contato com água líquida, tanto proveniente do solo, por capilaridade, quanto incidindo nas paredes devido a intempéries (chuvas e ventos).

Figura 22 - Detalhamento das paredes de adobe (esq.) e processo de construção (dir.)



Fonte: Detalhe elaborado pela autora (esq.) e fotografia do acervo pessoal da autora (dir.) (2019)

Através da revisão de literatura foi possível concluir que os componentes construtivos à base de terra não são padronizados, podendo variar significativamente suas propriedades térmicas de acordo com suas propriedades higroscópicas, sua composição granulométrica, mineralógica e modo de produção. Devido a esta questão, os valores de condutividade térmica e densidade fornecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2008) para materiais semelhantes não foram utilizados como referência nesta pesquisa.

Para caracterizar os adobes utilizados nas vedações verticais da residência analisada foi conduzido um ensaio para classificação granulométrica e mineralógica dos adobes. Foram realizados ensaios para determinar a condutividade térmica do material pelo método da placa quente protegida, submetendo a amostra a diferentes condições de umidade relativa do ar. O modo como este ensaio foi conduzido e os resultados podem ser conferidos com maior detalhe no Apêndice B deste documento. Também foram realizados ensaios caracterizando a absorvância, a refletância e a transmissividade da tinta utilizada na superfície externa da parede, cujo método e resultado encontra-se no Apêndice C.

Dentre os resultados encontrados para as propriedades térmicas dos componentes da envoltória (Tabela 910) os valores de condutividade térmica e densidade utilizados como referência foram os obtidos após 241 dias de sujeição das amostras a umidade relativa ambiente (4ª medição). O valor de calor específico não foi medido em laboratório, sendo utilizado como referência o material “tijolos e telhas de barro”, na faixa de densidade de 1300-1600 kg/m³, da tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

Tabela 4 - Propriedades térmicas dos adobes da envoltória

Propriedades	Unidade	Paredes	
		15 cm	30 cm
Absortância (α)	-	0,33*	
Condutividade térmica (λ)	W/m.K	0,57**	
Densidade (ρ)	kg/m ³	1347,5	
Calor específico (c)	kJ/kg.K	0,92	
Capacidade térmica (C)	kJ/m ² .K	215,16	388,71
Transmitância térmica (U)	W/(m ² .K)	2,36	1,49

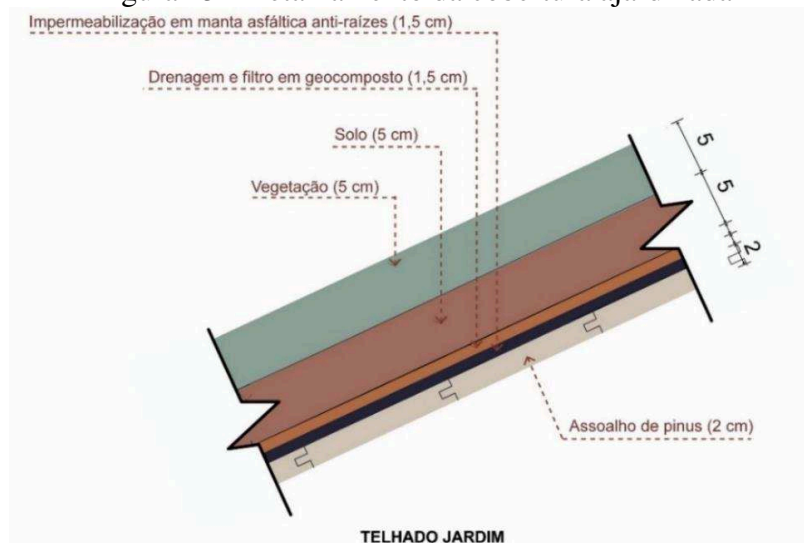
*Método de aferição consta no Apêndice C.

** Método de aferição consta no Apêndice B.

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Dentre os ambientes monitorados, a cobertura da sala e dos quartos Q3, Q4 e Q5 é ajardinada, seu detalhamento descrito na Figura 23. A cobertura dos demais ambientes não possui contato com o ambiente externo. As propriedades térmicas do telhado jardim não foram medidas em laboratório e não possuem referência de valores na NBR 15220 (ABNT, 2008), sendo necessário tomar como referência valores de outros estudos (Tabela 5).

Figura 23 - Detalhamento da cobertura ajardinada



Fonte: Adaptado do detalhamento construtivo da Residência (2017)

Tabela 5 - Propriedades térmicas da cobertura

<i>Propriedades térmicas equivalentes</i>	<i>Unidade</i>	<i>Cobertura</i>
		Telhado jardim
<i>Espessura</i>	m	0,15
<i>Absortância (α)</i>	-	0,55 ²
<i>Transmitância térmica (U)</i>	W/(m ² .K)	1,35 ³

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

3.1.2 Padrão de ocupação dos usuários

A residência analisada possui dois principais moradores adultos, com a presença ocasional dos filhos. Ao longo do período de medições desta pesquisa, a edificação foi ocupada com distintos padrões, podendo ser separada em dois períodos principais no referente a ocupação, conforme visto no Quadro 4.

Quadro 4 – Padrões de ocupação ao longo do período monitorado

Período	Padrão de ocupação
02/06 a 13/12/2018	finais de semana (final da tarde de sexta a final da tarde de domingo) e feriados. Sextas-feiras a casa foi operada e ocupada pela faxineira, das 08h00 às 17h00.
14/12/2018 a 02/03/2019	Toda a semana, com a presença da faxineira duas vezes por semana, nas segundas e nas sextas-feiras.

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Uma pesquisa de doutorado em curso intitulada “Fatores socioculturais e a percepção de conforto térmico em edificações residenciais”, conduzida pela doutoranda Greici Ramos pretende abordar o impacto de fatores socioculturais na percepção do conforto térmico e nos hábitos dos usuários em edificações residenciais e nos hábitos dos usuários em relação à sua adaptação relacionada ao conforto térmico e a edificação. No âmbito da pesquisa de RAMOS (2019) uma entrevista foi conduzida no dia 01/06/2018 com os moradores da residência a fim de analisar os hábitos do usuário em relação a adaptação (Anexo A) e foi aplicado questionário com os usuários da residência analisada (Anexo B). No momento da entrevista a obra havia terminado recentemente e os moradores estavam ocupando a residência apenas nos últimos sete finais de semana, no período frio, ainda não haviam ocupado plenamente a residência no verão. O questionário foi preenchido em março de 2019, momento no qual os moradores já haviam residido na casa no período frio, no período ameno e no período quente.

² Valor de α utilizado por FILHO (2010)

³ Valor de U obtido no trabalho de LIZ (2016).

3.2 MEDIÇÕES EM CAMPO

As medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar dos ambientes internos da residência foram realizadas ao longo de 9 meses, do dia 02 de junho de 2018 a 02 de março de 2019. As medições de temperatura superficial dos dois cômodos Q3 e Q4 foram realizadas do dia de 10 de janeiro a 11 de fevereiro de 2019. As variações climáticas externas foram caracterizadas ao longo do período de medição, com base nos valores horários de temperatura do ar, de umidade relativa do ar e de radiação solar global.

Durante o período do verão, de 10/01/2019 a 11/02/2019 foram realizadas medições nas superfícies internas e externas de dois cômodos e, no período de 06/02 a 11/02 a operação das janelas destes dois cômodos foi controlada, a fim de verificar o potencial de resfriamento promovido pela ventilação noturna nos cômodos.

3.2.1 Variações climáticas externas

Os dados utilizados para caracterizar o clima durante o período das medições foram obtidos no ambiente externo a residência, através de HOBOS dataloggers, cuja especificação consta na Tabela 6 e cuja localização consta na Figura 19 como “ambiente externo”. Estes equipamentos registraram valores de temperatura e umidade relativa do ar ao longo do período monitorado. Além dos dados coletados in loco, dados de temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade e direção dos ventos foram obtidas na estação Laboratório de Energia Solar (LEPTEN/LABSOLAR, 2018), da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, que se encontra a 15 km da residência analisada. Vale ressaltar que, devido à distância, os dados coletados pela estação podem não ser representativos do microclima do local da residência. No entanto, esta é a estação climática completa mais próxima. Estas informações foram utilizadas para: a) identificar entradas de frentes frias (através de quedas bruscas de temperatura), dias ensolarados e dias nublados (através da intensidade de radiação solar) e períodos chuvosos/úmidos (através da variação na umidade absoluta); e b) comparar com os dados de temperatura e umidade relativa do ar obtidos nas medições em campo.


3.2.2 Comportamento higrotérmico do ar nos ambientes internos

O monitoramento da residência consistiu em coletar, a cada 15 minutos, dados de temperatura e umidade relativa do ar em 8 ambientes internos de permanência prolongada (quartos, sala e cozinha), 1 ambiente de trabalho (escritório) e do ambiente externo à residência. A localização dos HOBOS está representada na Figura 19. Estas medições foram realizadas ao longo de 9 meses, do dia 02 de junho de 2018 a 02 de março de 2019. Para a análise dos dados foram realizadas médias horárias ao final de cada hora. O valor registrado para as 15h, por exemplo, consiste na média dos valores coletados as 14h15, 14h30, 14h45 e 15h.

Os sensores de temperatura e umidade foram locados em estantes, sobre armários e, nos quartos superiores, sobre o marco das portas. Esta localização significa que as temperaturas e umidades registradas não são necessariamente as mesmas que seriam registradas na altura e posição nos cômodos que os usuários circulam. Cuidados foram tomados para posicionamento dos sensores em superfícies de madeira e o mais próximo possível dos locais de circulação.

Para as medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram utilizados 11 equipamentos eletrônicos de aquisição de sinais do tipo HOBOS® U12 Temp/RH/Light External Data Logger da marca Onset Computer Corporation, de dimensões 5x3x2 cm. Na Tabela 6 estão descritas as especificações técnicas do equipamento. O HOBOS Data Logger situado na parte externa da edificação foi colocado dentro de uma caixa de madeira coberta, com furos em suas laterais e pintada de branco.

Tabela 6 - Especificações do HOBOS U12 Temp/RH/Light/External Data Logger

<i>Sensor</i>	<i>Especificações</i>	<i>Temperatura do ar</i>	<i>Umidade Relativa</i>
	Faixa de operação	-20 °C a 70 °C	10 a 90%
	Precisão	± 0,35 °C na faixa de 0 °C a 50 °C	10 a 90%
	Resolução	0,03 °C à 25 °C	0,03%.

Fonte: ONSET COMPUTER CORPORATION (2014)

Para calcular os valores de umidade absoluta à partir dos registros de umidade relativa foi utilizada a Equação 12 (SILVEIRA, 2018).

$$UA = UR \times 13.3 \times \frac{e^{\frac{17,62 \times T}{T+243,12}}}{T+273.16} \quad (12)$$

Onde:

UA = Umidade absoluta (g/m^3)

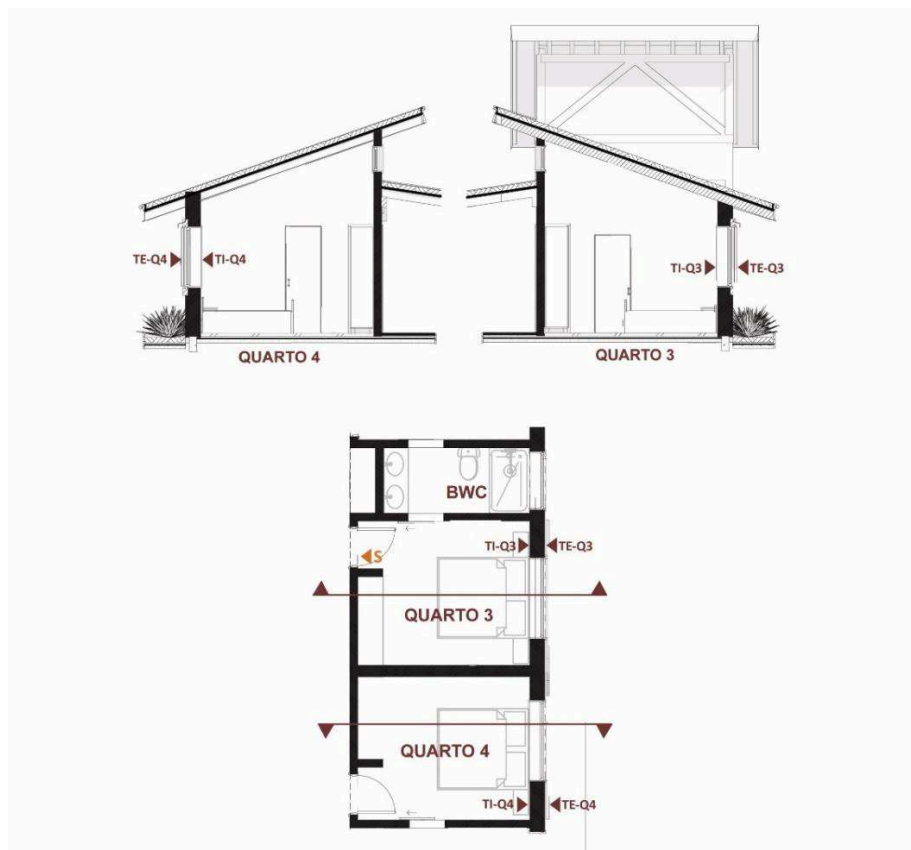
UR = Umidade relativa (%)

T = Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)

3.2.3 Período controlado com ventilação noturna

A coleta de dados foi realizada no período de verão, de 10 de janeiro a 11 de fevereiro de 2019, em dois quartos da residência que se encontravam desocupados: Quarto 3 (Q3) e quarto 4 (Q4). A orientação da fachada externa dos dois quartos é predominantemente leste ($5,8 \text{ m}^2$), com uma área de $2,9 \text{ m}^2$ voltada a oeste. As duas paredes externas possuem aberturas, sendo que a abertura voltada a leste é de correr, possui folhas de vidro e de tela e veneziana. A abertura voltada a oeste situa-se acima da porta de entrada aos quartos, não possui dispositivo de sombreamento e é basculante. Cada quarto possui uma porta de entrada, que dá acesso ao corredor, e uma porta que dá acesso ao banheiro (ver Figura 20). A localização dos sensores encontra-se detalhada na Figura 24.

Figura 24 – Localização dos sensores nos Quartos 3 e 4



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico da residência (2017)

Cada termopar foi coberto com uma fita isolante, buscando diminuir a influência de radiação na medição. As variações de temperatura do ar foram registradas por termopares e a umidade relativa foi registrada por sensores de umidade relativa do ar, a cada 10 minutos. Na Tabela 7 constam as especificações dos termistores e sensores de umidade relativa do ar utilizados. Para a análise dos dados foram realizadas médias horárias.

Tabela 7 – Especificações dos sensores de temperatura e umidade relativa

Nomenclatura	Sensor	Marca	Modelo	Faixa de Medição	Incerteza
TSI-Q3 TSI-Q4 TI-Q3 TI-Q3	Temperatura e Umidade relativa Interno	Sensu	TUR_i	Temp: -20 a 95 °C UR: 5 a 98%	Temp: 0,2 °C UR: 2%
TSE-Q3 TSE-Q4	Temperatura e Umidade relativa Externo	Sensu	TUR_e	Temp: -20 a 95 °C UR: 5 a 98%	Temp: 0,2 °C UR: 2%

Fonte: SENSU LTDA ME, 2019

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBSERVADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados observados, apresentando uma caracterização da envoltória e dos usuários, assim como os dados de temperatura e umidade relativa coletados in loco. Este material serve de base para a posterior análise e discussão dos resultados deste estudo de caso.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA

A caracterização da envoltória abarca sua morfologia, sua orientação solar e as propriedades higrotérmicas de seus sistemas construtivos de cobertura e de vedações verticais.

4.1.1 Morfologia da envoltória

A Tabela 89 apresenta as proporções de cada cômodo, calculadas com base nos dados apresentados na Tabela 3, de área de abertura (Aab) por área de piso (Apiso), de área efetiva de ventilação (Avent) por área de piso, de área de fachada por volume, de massa por abertura e também a efusividade média ponderada de cada cômodo.

Tabela 8 – Propriedades da envoltória da residência monitorada

Propriedades da Envoltória	1 ANDAR			2 ANDAR			
	Q1	Escritório	Sala/cozinha	Q2	Q3	Q4	Q5
Piso	solo			laje			
Cobertura	laje	laje	telhado jardim / laje	laje	telhado jardim		
Aab/Apiso (%)	25	25	45	30	24	24	24
Avent/Apiso (%)	16	24	9	17	18	18	18
Afachada/volume	0,52	0,79	0,50	0,80	0,37	0,37	0,85
Massa/abertura	14,68	19,43	8,55	13,76	22,68	22,68	22,79
Efusividade média (Ws ^{0,5} /m ² K)	726,2	752,4	826,1	752,0	511,3	511,3	546,1

Fonte: Elaborado pela autora

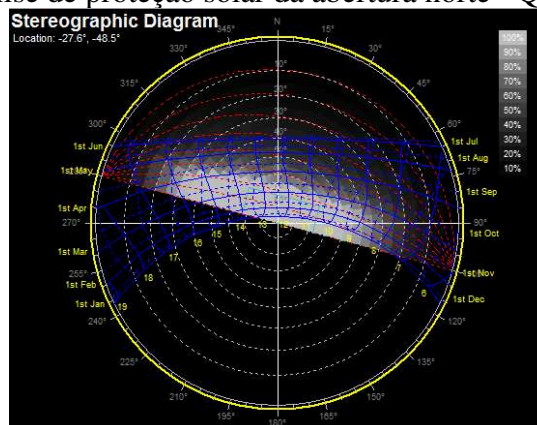
Para atender as recomendações de Goulart (2004) e da NBR 15220 (ABNT, 2008) abertura a proporção de Aab/Apiso deveria ser de 15 a 20%. Em relação a ventilação a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) indica Avent/Apiso de 7% para dormitórios e sala de estar. Goulart (2004) frisa a importância da ventilação noturna, principalmente em cômodos com alta massa térmica exposta a radiação solar, mas não apresenta porcentagem recomendada de Avent.

Quanto maior a área de exposição da massa térmica, mais importante torna-se a ventilação noturna e, a partir da proporção 25 m² de massa térmica/m² abertura o sombreamento se torna a estratégia mais importante.

O Quarto 1 conta com apenas uma abertura, voltada a norte, com veneziana. Sua área de abertura por área de piso consta como 25%, atendendo ao recomendado pela NBR 15220 (ABNT, 2008) para a ZB 3 (15% a 25% Aab/Apiso), porém ultrapassando o recomendado por Goulart (2004) (Aab/Apiso \geq 20%). A área efetiva de ventilação atende ao recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) (Avent/Apiso \geq 7%) pois sua Avent/Apiso é de 16%, porém como há abertura em apenas uma fachada, a ventilação cruzada ocorre de maneira mais efetiva apenas quando a porta do ambiente estiver aberta e quando houver outra abertura externa aberta para ventilação em ambientes adjacentes (escritório, sala/cozinha).

Para compreensão de quais horários a radiação solar incide através da abertura no Quarto 1, quando a veneziana estiver aberta, foi realizado o estudo de sombreamento (Figura 25) que mostra que nos meses de maio, junho, julho e agosto a radiação solar incide ao longo do dia no ambiente. Sombreamento começa a ocorrer no período da tarde de abril a setembro, havendo ainda incidência solar pela manhã. De outubro a março ocorre sombreamento parcial e total na maior parte do dia. Esta configuração atende as recomendações de sombreamento principalmente no período da tarde no verão.

Figura 25 – Análise de proteção solar da abertura norte - Quarto 1 e Quarto 2



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O escritório apresenta sua principal parede externa a leste, com duas aberturas (porta e janela), e, assim como o Quarto 1, apresenta 25% de Aab/Apiso e para que ocorra uma ventilação cruzada efetiva é necessário que a porta e uma abertura de outro ambiente (quarto, sala/cozinha) esteja aberta. O escritório possui uma maior Avent (24%) e atende aos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013) em relação a aberturas.

As aberturas do ambiente sala/cozinha encontram-se voltadas para as quatro orientações, sendo as maiores áreas de aberturas voltadas para norte (12,37 m²) e para oeste (11,92 m²). Este ambiente possui uma área de fachada por volume de ar interno similar ao escritório, no entanto é o ambiente que possui maior volume interno total, maior área de aberturas sem veneziana e a maior proporção de abertura por área de piso (45%).

Os quartos Q3, Q4 e Q5 possuem configuração similar, com fachadas ao leste, aberturas e áreas internas equivalentes e uma relação entre aberturas médias, de acordo com o disposto na NBR 15575 (ABNT, 2013). Os quartos do pavimento superior possuem uma ocupação ocasional e a maior diferença entre eles é que o Q2 fica logo abaixo da caixa d'água, não sendo coberto por telhado jardim como os demais quartos no pavimento (Q3, Q4 e Q5). Este mesmo cômodo (Q2) possui uma abertura a norte e não possui uma abertura superior a oeste, diferindo dos demais cômodos superiores. O cômodo Q5 possui uma fachada orientada a sul, sem aberturas, e é o ambiente que possui maior área de fachada por volume interno. Nestes dormitórios, a maior área de aberturas total é voltada a leste, no entanto a maior área de abertura sem venezianas encontra-se orientada a oeste.

Tendo em vista as características da envoltória da residência analisada e as recomendações encontradas na literatura e na normativa de desempenho térmico NBR 15575 (ABNT, 2013), o sombreamento aparece como importante estratégia para otimizar o desempenho térmico no verão, principalmente nos ambientes Sala/cozinha e nos Quartos Q3, Q4 e Q5, que possuem áreas de abertura sem dispositivos de sombreamento voltados para oeste. O fato de não haver dispositivos de sombreamento limita o controle da incidência de radiação solar pelos usuários e interfere no aquecimento solar passivo dos cômodos.

4.1.2 Vedações verticais

A Tabela 10 apresenta as propriedades térmicas das vedações verticais da residência. Tanto a parede de 30 cm quanto a de 15 cm atendem a recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013) para transmitância térmica e capacidade térmica na zona bioclimática 3. Isto mostra que o adobe (nestas espessuras) pode ser considerado como material de desempenho térmico satisfatório para projetos residenciais na ZB3, de acordo com os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013). Conforme esperado, em termos de capacidade térmica (CT) as paredes com 30 centímetros de espessura apresentaram maior capacidade térmica do que as de 15 – propriedade relevante para alta massa térmica.

Tabela 9 - Propriedades térmicas das paredes

Propriedades	Unidade	Paredes			
		15 cm	30 cm	NBR 15575	NBR 15220*
Absortância (α)	-	0,32		$\leq 0,6$	-
Condutividade térmica (λ)	W/m.K	0,57		-	-
Densidade (ρ)	kg/m ³	1347,5		-	-
Calor específico (c)	kJ/kg.K	0,92		-	-
Efusividade térmica (ef)	Ws ^{0,5} /m ² K	840,61			
Difusividade térmica (α)	m ² /s	4,60			
Capacidade térmica (C)	kJ/m ² .K	215,16	388,71	≥ 130	-
Transmitância térmica (U)	W/(m ² .K)	2,36	1,49	$\leq 3,7$	$\leq 3,6$
Atraso térmico (ϕ)	horas	7,0	11,7	-	$\leq 4,3$
Fator Solar (FS_0)	%	3,02	1,91	-	$\leq 4,0$

* Estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Fonte: Elaborado pela autora

O atraso térmico calculado de acordo com o método indicado na NBR 15220 (ABNT, 2008), aparece com atraso de 7 horas para as paredes de 15 cm e de 11,7 horas para as paredes de 30 cm. Ao comparar os valores encontrados de atraso térmico com o valor máximo estabelecido pela NBR 15220 (ABNT, 2008) de 4,3 horas, percebe-se que este material não seria considerado adequado pela norma enquanto sistema construtivo para habitações unifamiliares de interesse social, sendo recomendadas paredes leves e refletoras para a ZB 3.

O fator solar, razão da taxa de radiação solar transmitida através da parede pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa, foi calculado e está de acordo com o disposto pela NBR 15220 (ABNT, 2008) para esta zona bioclimática, sendo maior para a parede de 15 cm do que para a parede de 30 cm, conforme esperado.

4.1.2.1 Telhado jardim

A Tabela 11 apresenta as propriedades térmicas da cobertura. A cobertura atende as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013), que dispõe apenas sobre a transmitância térmica, porém não as recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2008) de ser uma cobertura leve e isolada, uma vez que seu atraso térmico consta como 9 horas e o recomendado pela norma é menor ou igual a 3,3 horas. Os valores de efusividade e difusividade do forro de pinus, que se encontra em contato com a superfície interna dos ambientes com cobertura ajardinada, foram calculados de acordo com a equação 1 e 2 e suas propriedades térmicas foram consultadas na NBR 15220 (ABNT, 2008).

Tabela 10 - Propriedades térmicas da cobertura

Propriedades térmicas equivalentes	Unidade	Cobertura		
		Telhado jardim	NBR 15575	NBR 15220 ¹
Espessura	m	0,15	-	-
Absortância (α)	-	0,55 ⁴	$\leq 0,6$	-
Transmitância térmica (U)	W/(m ² .K)	1,35 ⁵	$\leq 2,3$	$\leq 2,00$
Efusividade térmica (ef)	Ws ^{0,5} /m ² K	239,27		
Difusividade térmica (α)	m ² /s	0,04		

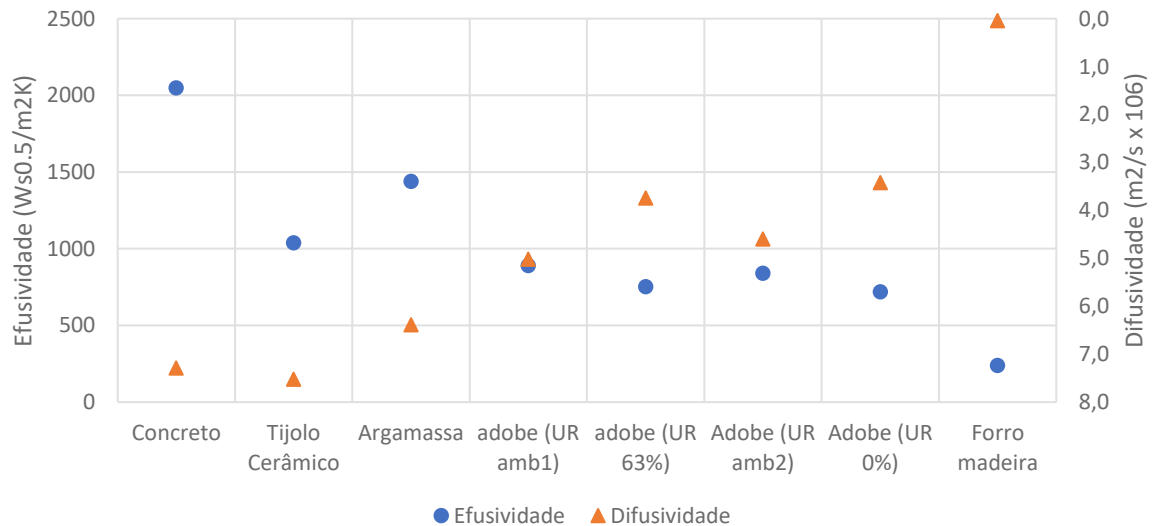
¹ Estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Fonte: elaborado pela autora (2019)

4.1.2.2 Difusividade e efusividade

Na Figura 26 estão distribuídos os valores de efusividade térmica e difusividade térmica das amostras de adobe medidas nesta pesquisa (APÊNDICE B). As informações sobre o restante dos materiais (concreto, tijolo cerâmico, argamassa e forro de madeira) foram obtidas na NBR 15220 (ABNT, 2008) e aplicados nas equações 1 e 2. Este gráfico, como o que consta na Figura 77, possui o eixo de valores de difusividade invertido para facilitar a análise.

Figura 26 - Difusividade e efusividade dos adobes em comparação a outros materiais utilizados como fechamento de vedações verticais



Fonte: elaborado pela autora (2019)

O forro de madeira é o material considerado para avaliar a efusividade e a difusividade do telhado jardim, uma vez que se trata de uma propriedade superficial. Como neste sistema

⁴ Valor de α utilizado por FILHO (2010)

⁵ Valor de U obtido no trabalho de LIZ (2016).

construtivo é o forro de madeira que possui contato com o ambiente interno, percebe-se que a efusividade deste material é uma das mais baixas apresentadas e a difusividade uma das mais altas, indicando que, do ponto de vista do ambiente interno, o sistema construtivo do telhado jardim transmite facilmente sua variação de temperatura e não possui facilidade de absorver e liberar calor.

O adobe, em comparação com os demais materiais analisados (concreto, tijolo, argamassa) possui boa relação efusividade/difusividade, indicado para paredes com alta massa térmica – facilidade de absorver e liberar calor (alta efusividade) e não transmite facilmente sua variação de temperatura (baixa difusividade). Os valores das 4 amostras (maiores informações sobre as amostras no APÊNDICE B) foram plotados no gráfico e, comparando as 4 situações, o adobe que apresentou maior densidade (por consequência, maior conteúdo de umidade), foi o que apresentou a melhor relação efusividade/difusividade. Esta informação indica que, mesmo a condutividade térmica dos adobes sendo maior quando a umidade relativa do ar esta alta, esta situação otimiza a performance do material em termos de armazenamento de calor. Ou seja, uma mesma parede de adobes em clima seco e em clima úmido se comportam de maneiras distintas. No clima seco este material tem a tendência de ser mais isolante (menor transmitância térmica), porém menos efusivo e mais difusivo do que em climas úmidos. Vale ressaltar, conforme citado na revisão de literatura, que a difusividade e a efusividade são propriedades superficiais, não estando relacionadas com a espessura dos materiais.

4.2 PERFIL DE OCUPAÇÃO DOS USUÁRIOS

Como resultado da realização de entrevista e da aplicação de questionário, busca-se traçar o perfil de ocupação dos usuários da residência, para posteriormente, no momento de análise, correlacionar com o comportamento higrotérmico dos ambientes internos.

A entrevista foi realizada em junho de 2018, antes da entrevistada passar o verão na residência.

4.2.1 Entrevista

Através da entrevista (Anexo A) foi possível constatar que ambos os moradores residem em Florianópolis a um número significativo de anos (uma a 50 e outro a 24 anos), indicando familiaridade com o clima local. A moradora entrevistada considera conforto um conceito complexo, mas que em relação a casa envolve a proximidade à natureza, aspectos térmicos e acústicos. Cita que esta residência é uma das mais confortáveis que já morou e que,

nos dias de verão que visitaram a residência (ainda em construção), mesmo com temperaturas altas eles estavam satisfeitos com o ambiente térmico interno da residência, relatando conforto. No entanto, notaram que na varanda externa e na sala eles experimentaram sensação de desconforto por calor e, de maneira estratégica, planejaram o plantio de árvores frondosas para sombrear a porção oeste da residência. Comentam que no local há bastante vento, pela proximidade com o mar.

A entrevistada comenta que não gosta de condicionamento artificial de ar. Em sua outra residência sente a necessidade de utilizar o equipamento no inverno, para aquecer o dormitório durante a noite, e no verão, para resfriar nos períodos de desconforto por calor, mesmo sendo um local com várias aberturas para ventilação. Nos locais de trabalho, os moradores relatam a presença de equipamentos de condicionamento de ar, utilizados no verão, e que dividem com outras pessoas.

A operação de janelas e venezianas visando conforto térmico é bastante ativa e sensível. Os moradores relatam uma dinâmica de que quanto mais calor sentem, mais janelas abrem, quanto mais frio sentem, mais janelas fecham. No quarto 1, foi relatado desconforto acústico por conta do ruído dos carros, fator influente ao abrir e fechar a porta-janela do quarto. Geralmente ao dormir fecham a porta-janela do quarto e abrem a do escritório, para ouvir o barulho do mar. Utilizam telas para evitar a entrada de insetos e permitir a ventilação. Em dias muito quentes não abrem a veneziana do quarto 1 (diminuindo a incidência de radiação solar no cômodo), a janela da varanda do pavimento superior fica aberta, variando a área de abertura para ventilação de acordo com a sensação de calor e, nos quartos superiores, abrem os vidros das janelas e deixam ventilando, sombreados pela veneziana (ventilação diurna).

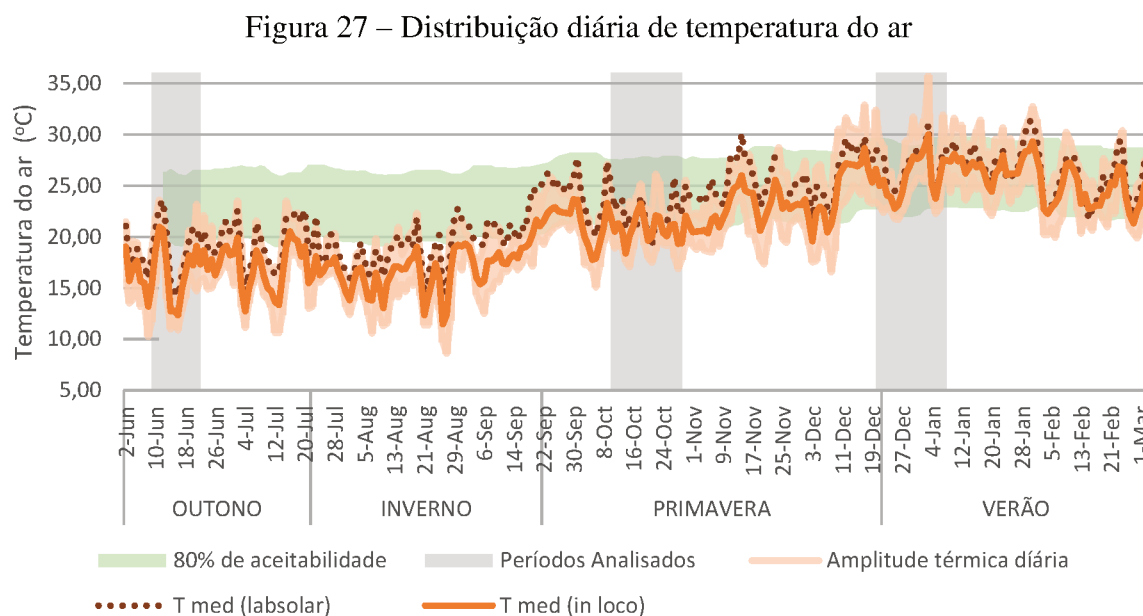
4.2.2 Questionário

Com as informações obtidas nos questionários foi possível observar que os moradores consideram a temperatura do ar aceitável algo importante para seu conforto e operam as janelas como estratégia para adequar a temperatura do ar interna. A necessidade de ventilação natural e de entrada de luz natural também são citadas como motivos para os usuários abrirem as janelas. Como fatores que os levam a fechar as janelas, está a sensação de desconforto por frio e a ocorrência de chuvas e ventos fortes, a busca de privacidade e a intenção de barrar ruídos externos e a entrada de insetos. A umidade ou a presença de mofo não foram citadas como um dos cinco fatores mais relevantes ou como algo que incomoda os moradores quando em casa.

Ligar o condicionamento de ar e acender a lareira são estratégias possíveis para condicionamento artificial do ambiente às suas necessidades, porém antes de optar por essa solução os usuários reportam o uso de outras estratégias de adequação, como trocar a roupa, ir para local mais agradável termicamente da casa ou tomar uma bebida gelada ou quente. Os usuários citaram preocupações com meio ambiente e com economia de energia.

4.3 REGISTRO DE CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS (2/06/2018 A 02/03/2019)

A temperatura do ar e a umidade relativa foram medidas ao longo do período de 02 de junho de 2018 a 02 março de 2019 no ambiente externo da residência analisada. Além destes dados, valores de temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar foram obtidos através da estação climática do Labsolar (UFSC). Na Figura 27 é possível observar a distribuição de temperaturas ao longo dos 9 meses de medições e, hachurado em cinza, constam as datas que foram analisadas em maior detalhe posteriormente (períodos frio, quente e ameno).



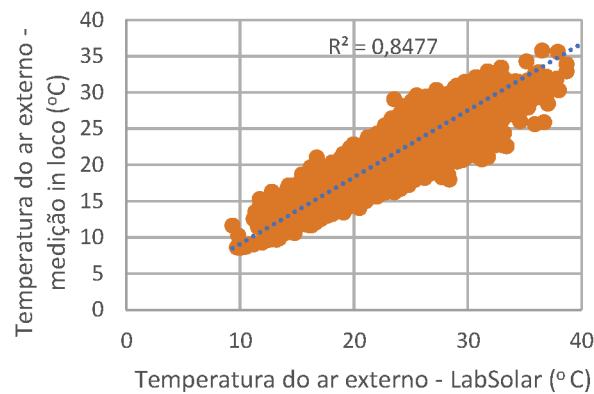
Fonte: Labsolar (UFSC) e medições in loco

Através do método adaptativo (ASHRAE, 2017) foi calculada a faixa de 80% de aceitabilidade de conforto e contrastada com as temperaturas externas. Percebe-se quedas bruscas de temperatura devido a frentes frias e ondas de calor. No período de verão as diferenças entre a Tmed medida no Labsolar e medida in loco diminuí.

A média de temperaturas diárias registradas na parte externa da residência foi de 20,5 °C, sendo a temperatura mais baixa anotada de 8,6 °C no dia 27/08/2018, às 05 horas e a

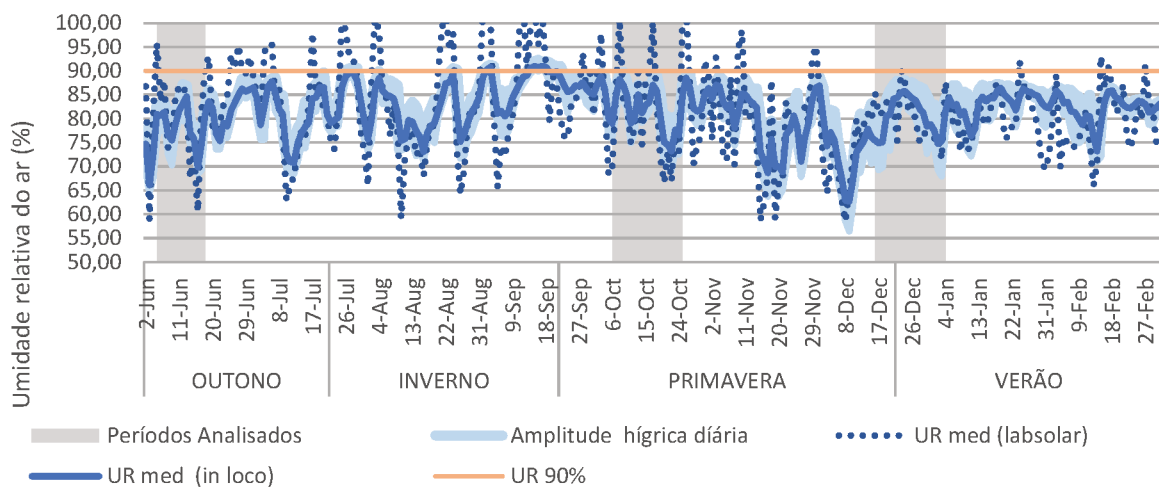
temperatura máxima de 35,8 °C, no dia 03/01/2019, às 14 horas. No dia 03/01 foi registrado 39,7 °C, sendo a maior temperatura registrada na cidade em 108 anos (PUCHALSKI, 2019). A amplitude térmica diária máxima registrada neste período foi de 9,5 K no dia 9/12/2018 e a mínima foi de 1 K no dia 25/07/2018. A média da amplitude térmica diária foi de 4,4 K. A temperatura média diária do Labsolar apresentou comportamento análogo a temperatura média diária medida na parte externa da residência, mas em geral mais alta, com desvio padrão de 4 °C da temperatura média in loco. A Figura 28 apresenta a correlação entre as temperaturas medidas nos dois locais, resultando em R^2 de 0,85, o que indica uma forte correlação positiva.

Figura 28 – Diagrama de dispersão entre temperaturas do ar medidas no Labsolar e in loco



A umidade relativa em Florianópolis no período das medições está representada na Figura 29.

Figura 29 – Distribuição diária de umidade relativa do ar e amplitude higríca

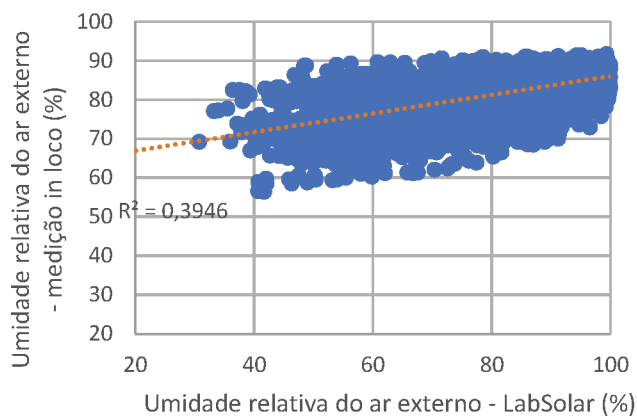


Fonte: Labsolar (UFSC) e medições in loco

A umidade relativa média diária registrada pelo Labsolar apresentou valores máximos e mínimos mais acentuados, resultando em amplitude maior do que registrado na parte externa

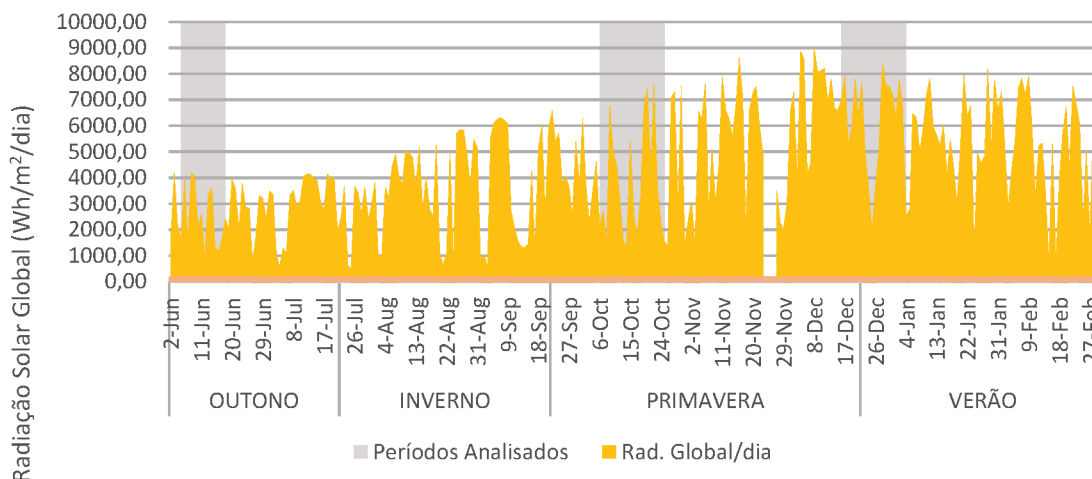
da residência. Percebe-se que os registros de umidade relativa do sensor localizado na parte externa da residência não ultrapassou os 90%, indicando uma limitação de coleta do sensor da residência para umidades relativas acima de 90%. Mesmo apresentando esta diferença, os dados de umidade relativa coletados in loco foram utilizados, por serem confiáveis até atingir a umidade relativa de 90% e por serem mais representativos da umidade relativa local. No período quente analisado (20/12 a 08/01/18), momento em que a umidade relativa alta poderia indicar um maior desconforto por calor, não houve ocorrências de $UR \geq 90\%$ registradas na estação climática do LabSolar. A Figura 30 apresenta a correlação entre as temperaturas medidas nos dois locais, resultando em R^2 de 0,39, considerada fraca.

Figura 30 - Diagrama de dispersão entre umidades relativas medidas no Labsolar e in loco



Os dados de radiação solar global (energia total que incidiu em plano horizontal de 1 m^2 ao longo de 1 dia) foram obtidos na estação climática do Labsolar e sua distribuição ao longo do período de medição está apresentada na Figura 31.

Figura 31 – Radiação Solar Diária

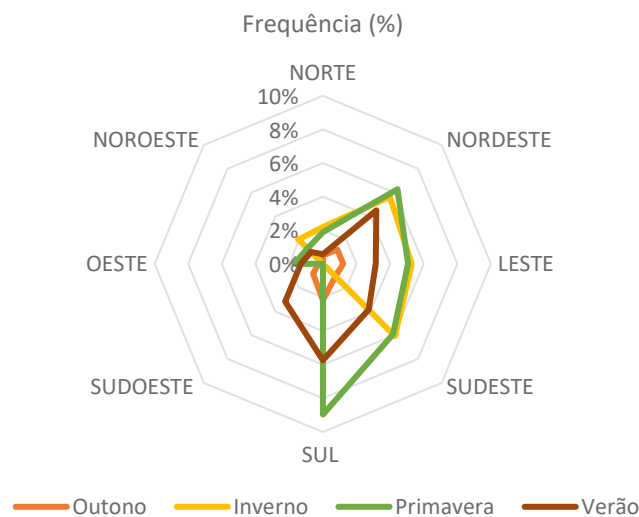


Fonte: Labsolar (UFSC)

Nos dias 24, 25 e 26 de novembro não houve registro de dados, por isso a radiação global aparece sem valores. A média de radiação ao longo dos 9 meses de medições foi de 4091 wh/m²/dia, sendo o valor mínimo de radiação total diária de 482 wh/m²/dia no dia 25/07/2018 e o valor máximo registrado de 8998 wh/m² no dia 08/12/2018. O período com maior incidência de radiação solar foi de 7 a 24/12/2018, e a menor incidência foi em junho e julho.

Os dados de frequência, velocidade e direção dos ventos foram obtidos na estação climática do Labsolar e sua distribuição ao longo do período de medição está apresentada na Figura 32.

Figura 32 - Gráfico Rosa dos Ventos



Fonte: Labsolar (UFSC)

No gráfico acima percebe-se que os ventos predominantes no período das medições foram sul, sudoeste, leste e nordeste, diferente do apresentado na Figura 3, onde o vento norte aparece com maior frequência. Ao separar a frequência dos ventos por estação do ano, percebe-se que o vento sul, apesar de ser o mais frequente, ocorreu predominantemente na primavera e no verão. No inverno predominaram os ventos do quadrante leste (nordeste, leste e sudeste). Conforme comentado anteriormente, os ventos incidentes na residência analisada podem ser distintos dos medidos no LabSolar, devido as diferenças do microclima.

4.4 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DOS AMBIENTES INTERNOS

Para simplificar a apresentação dos dados horários registrados ao longo dos 9 meses foram selecionados intervalos de tempo representativos do período frio (de 09/06 a 22/06/2018), do período ameno (10/10 a 29/10/2018) e do período quente (20/12 a 08/01/18). O critério de seleção dos períodos foi o registro de mudanças bruscas de temperatura (frentes frias ou ondas de calor) e de umidade relativa, de dias com temperaturas e umidades estáveis, dias com alta radiação solar global (ensolarados) e dias com radiação global mais baixa (nublados). Também buscou-se apresentar momentos em que a residência esteve ocupada e desocupada, com as ressalvas de que o período quente esteve ocupado continuamente e que, durante todos os períodos, os quartos superiores tiveram ocupação ocasional.

Para apresentar os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar coletados em oito ambientes internos, do ambiente externo da residência e dos dados de radiação solar obtidos no LabSolar para cada período selecionado, foram realizados gráficos de distribuição horária de temperaturas do ar, de umidade relativa do ar e de radiação global. A seguir, foram elaborados gráficos para apresentar a amplitude térmica diária, expressa em Kelvin (K), o coeficiente de amortecimento diário (μ) e o atraso térmico diário (ϕ), expresso em horas. Os dados de cada período selecionado foram plotados na carta bioclimática, para obter a porcentagem de horas em conforto e em desconforto por frio e por calor. Para observar o efeito da ventilação noturna, foi realizada comparação entre dois cômodos de configuração similar ao longo de 4 dias de medição, aplicando ventilação noturna em apenas um dos cômodos.

4.4.1 Distribuição horária de temperatura do ar e radiação solar global

A Figura 33, a Figura 35 e a Figura 37 apresentam a distribuição horária de temperatura de bulbo seco (TBS) medidos no ambiente externo e nos oito ambientes internos monitorados, assim como a radiação solar global medida no período. De acordo com o método adaptativo (ASHRAE, 2017) foi calculada a faixa de conforto adaptativo, com 80% de aceitabilidade, utilizando como referência a temperatura do ar média de 10 dias anteriores. A normativa da ASHRAE (2017) indica o uso da temperatura operativa, porém nesta pesquisa utilizou-se a temperatura do ar, obtendo resultados aproximados. Nestas figuras também constam as informações de que período os ambientes internos estiveram ocupados, principalmente os ambientes do primeiro pavimento – Quarto 1, Escritório, Cozinha e Sala.

Figura 33 – Temperatura do ar e radiação solar – Período frio (09 a 22/06/2018)

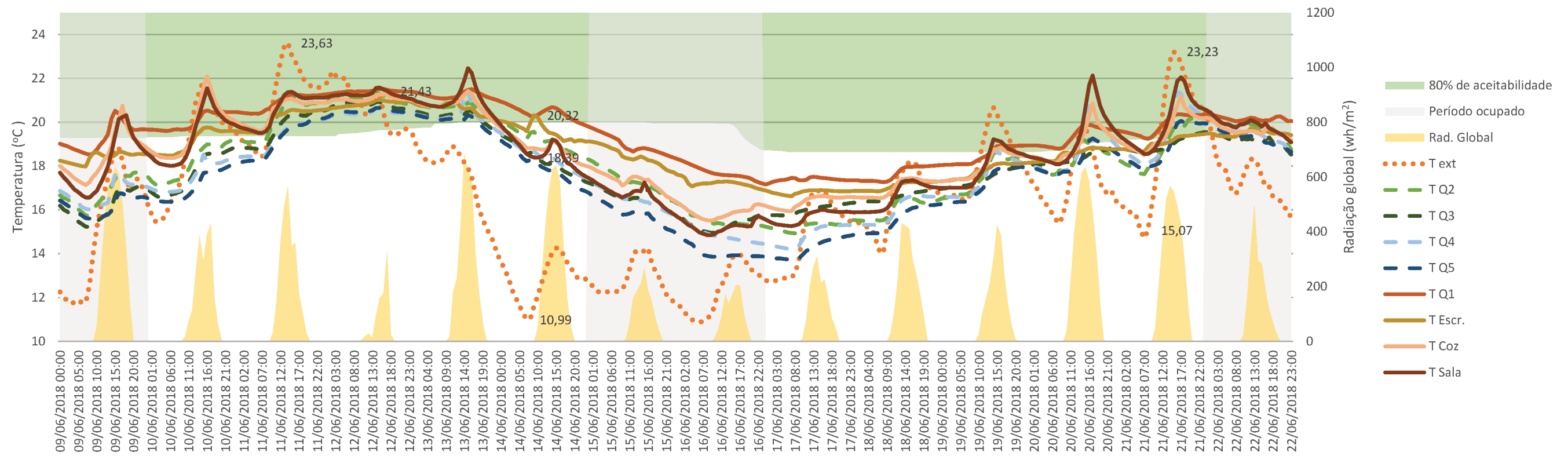


Figura 34 – Umidade relativa do ar e radiação solar - Período frio (09 a 22/06/2018)

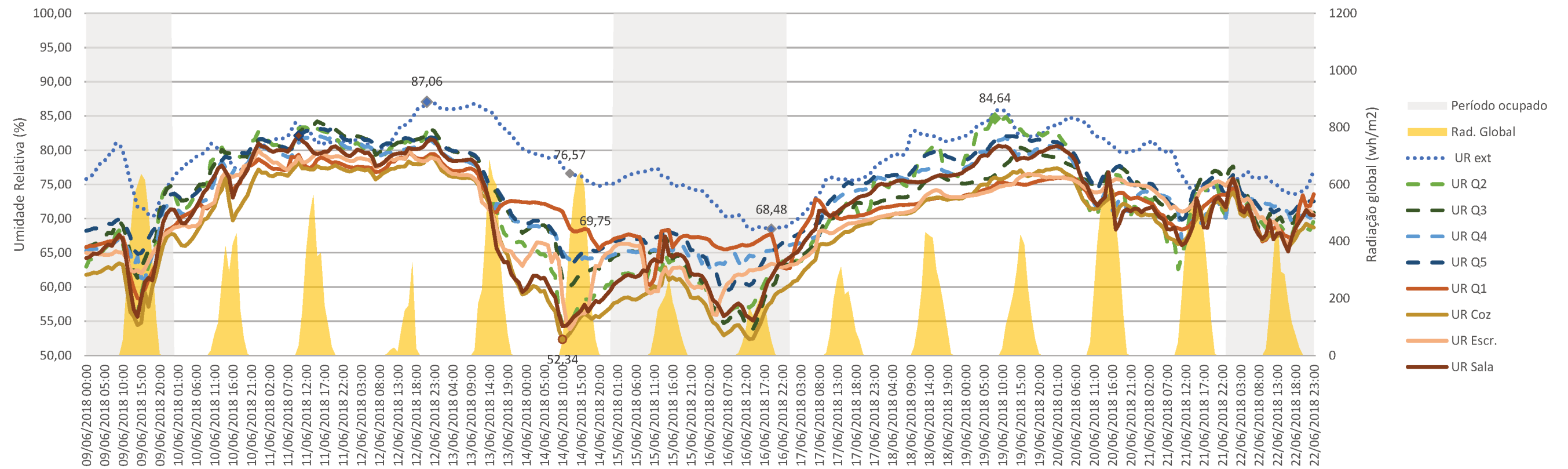


Figura 35 – Temperatura do ar e radiação solar - Período ameno (10 a 29/10/2018)

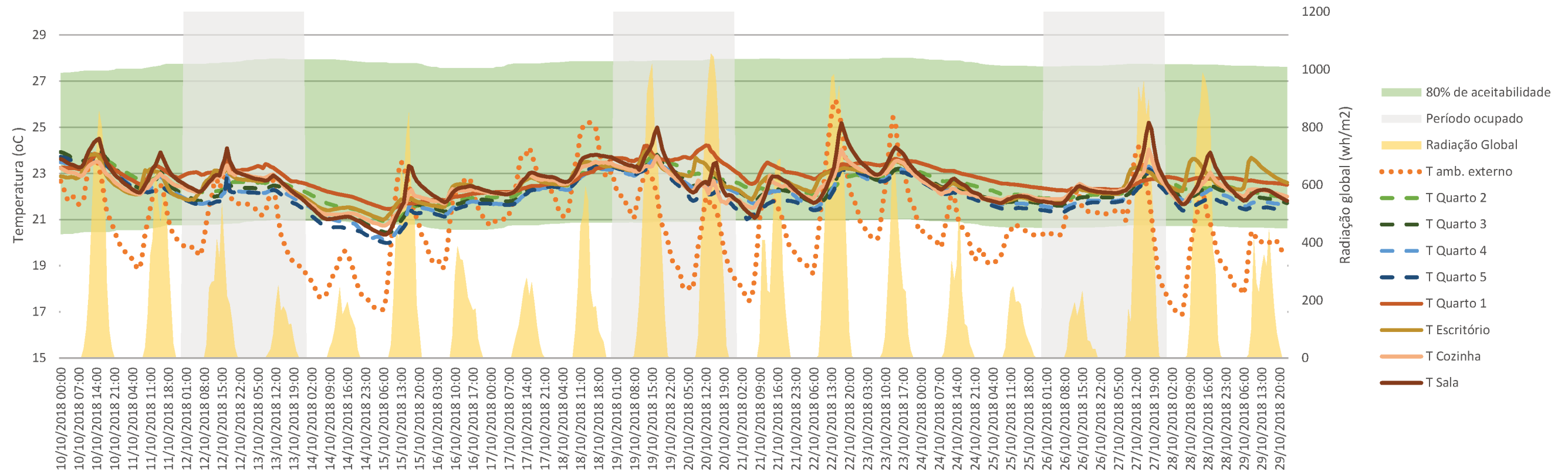


Figura 36 – Umidade relativa do ar e radiação solar – Período ameno (10 a 29/10/2018)

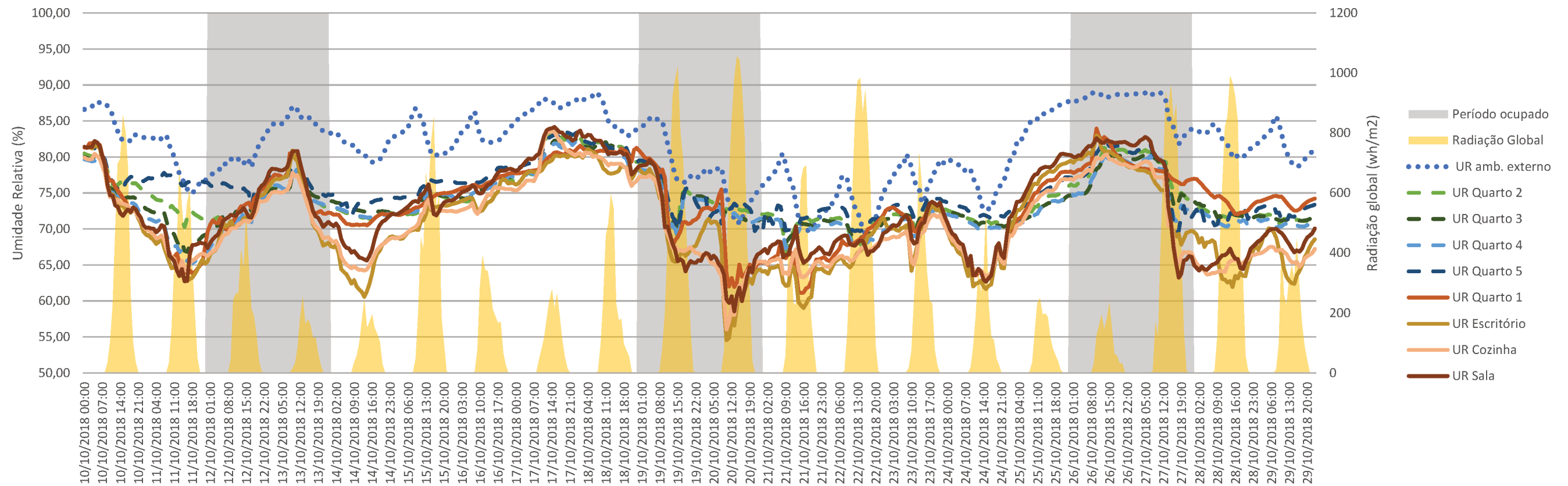


Figura 37 – Temperatura do ar e radiação solar – Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)

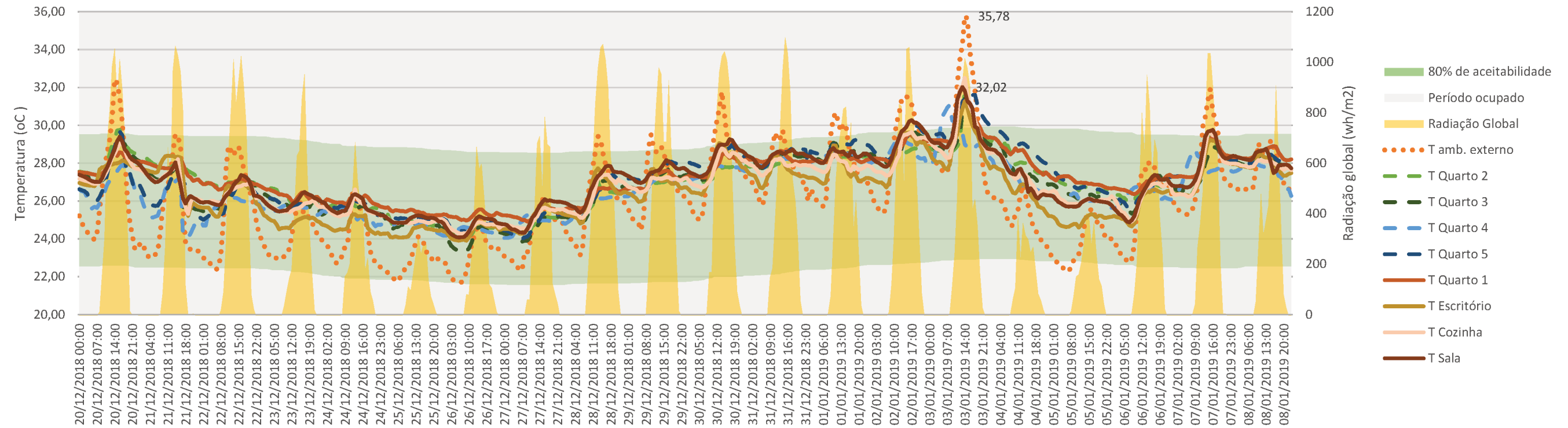
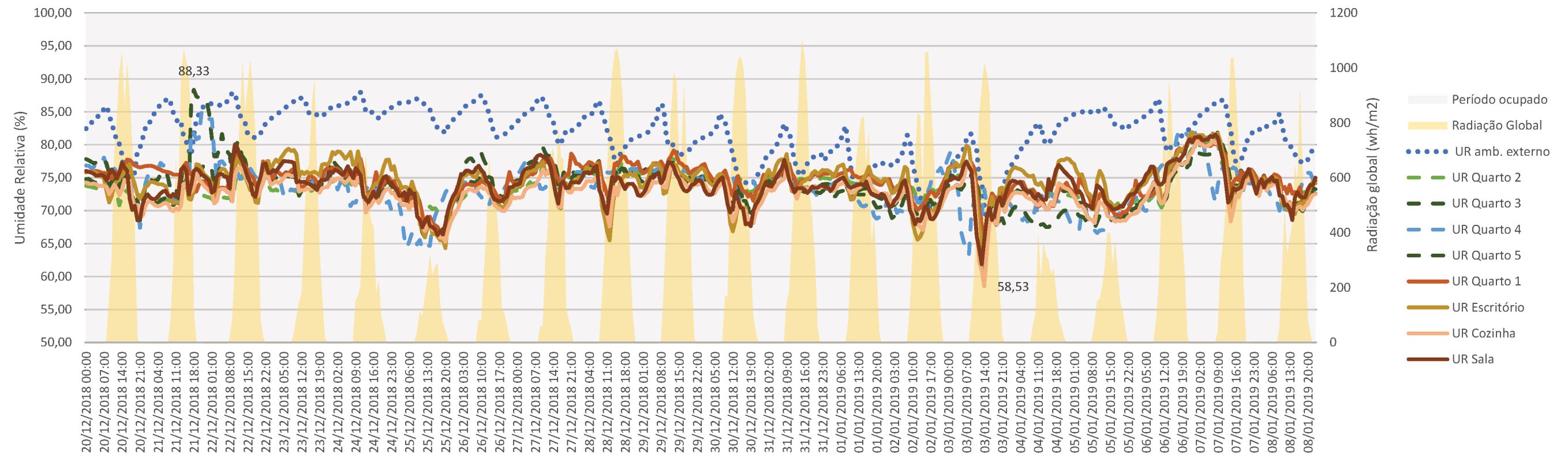


Figura 38 - Umidade relativa e radiação solar – Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



Através da visualização dos gráficos de distribuição de temperaturas pode-se inferir que as temperaturas internas apresentam amplitude térmica menor do que as temperaturas externas, pois a temperatura externa varia de forma mais acentuada ao longo dos dias do que as temperaturas internas, efeito que indica amortecimento térmico promovido pela envoltória. Também é possível notar que, ao longo dos três períodos analisados, as temperaturas internas se aproximam mais das temperaturas externas mais altas do que das temperaturas mais baixas, o que indica maior facilidade de amortecer as temperaturas externas mais baixas do que as mais altas – efeito desejado nos períodos com desconforto térmico por frio e indesejado nos períodos de desconforto térmico por calor.

Outro efeito que fica evidente na leitura dos gráficos é o atraso térmico, visualizado principalmente nos momentos em que a temperatura externa cai bruscamente (como entre os dias 11 e 14/06/2018, 17 e 20/10/2018 e 2 e 5/01/2019). Os ambientes térmicos internos respondem lentamente à queda de temperatura, resultado esperado devido à alta capacidade térmica das paredes e da cobertura. No período frio, este comportamento é acentuado, levando até 4 dias para os ambientes internos responderem a uma queda de temperatura de 9 °C no ambiente térmico externo. Dois dias após a queda brusca de temperatura houve um período ocupado pelos usuários que não alterou significativamente a tendência de atraso da residência. Como o período foi frio, provavelmente os usuários mantiveram as aberturas fechadas para ventilação e abertas para incidência de radiação solar interna.

Em relação a zona de 80% de aceitabilidade, percebe-se que o período frio (Figura 33) é o período em que os ambientes internos apresentam maior distância de uma temperatura indicada como aceitável, através do método adaptativo. No período ameno (Figura 35), por mais que a temperatura externa fique frequentemente abaixo da zona de aceitabilidade, as temperaturas internas mantêm-se predominantemente dentro da zona de conforto, mais próxima do limite inferior. No período quente (Figura 37) as temperaturas internas estão situadas dentro da faixa de aceitabilidade, porém ocorrem picos de temperatura que excedem o limite superior de aceitabilidade, indicando provável desconforto por calor.

O Quarto 1 destaca-se, ao longo dos três períodos, por ser um ambiente interno que se mantém com temperatura superior aos demais, mesmo possuindo apenas 1 abertura e possibilidade de controle solar pelos usuários (veneziana). Suas temperaturas internas são ultrapassadas apenas por picos de temperatura na sala e na cozinha. No período frio e ameno seu comportamento térmico é seguido de maneira próxima pelo ambiente adjacente, o

escritório. No final do período ameno percebe-se que o escritório já começa a responder a incidência de radiação solar de maneira similar a sala, com picos de aquecimento ao longo do dia. Já no período quente o escritório é o ambiente que se apresenta mais resfriado, apresentando perdas significativas de temperatura durante a noite, sendo o ambiente que mais se aproxima das temperaturas externas mais baixas (o que é o objetivo neste período). O fato de sua parede externa estar orientada a leste e, no verão, o sol nascente se localiza a sudeste, esta parede recebe pouca incidência solar ao longo do dia, fator que contribui com a redução de ganhos térmicos do cômodo.

4.4.2 Distribuição horária de umidade relativa do ar e radiação solar global

A Figura 34, a Figura 36 e a Figura 38 apresentam a distribuição horária de umidade relativa do ar medida no ambiente externo e nos oito ambientes internos monitorados, assim como a radiação global do período. Os ambientes do primeiro pavimento foram representados com uma linha contínua, os ambientes do segundo pavimento com uma linha tracejada e o ambiente externo com uma linha pontilhada. Nos três períodos selecionados (frio, ameno e quente) observa-se que a umidade relativa externa é predominantemente superior a umidade relativa dos ambientes internos da residência.

Na Figura 34, referente ao período frio, os ambientes sala, cozinha e escritório encontram-se entre os ambientes com umidade relativa mais baixa (médias de 70,7%, 68,2% e 70,5%, respectivamente), e os quartos apresentam umidade relativa mais alta (média entre os quartos de 72,7%). A média de umidade relativa externa foi de 78,6% neste período. O Quarto 1, dentre todos da residência, apresentou menor variação de umidade relativa diária (média de 6% e máxima de 10%). A amplitude diária de umidade relativa do Quarto 1 mostrou-se bastante próxima à amplitude diária externa, sendo que os demais ambientes apresentaram maior variação diária. A sala e a cozinha, por exemplo, apresentaram até 21% e 19%, respectivamente, de variação diária de umidade relativa no período frio.

Analisando os gráficos de umidade relativa e de temperatura (Figura 33) pode-se observar que entre os dias 13/06 e 16/06 houve queda brusca na temperatura e na umidade relativa externa, indicando a incidência de massa de ar fria e seca, característica do vento sul. O comportamento térmico da residência, conforme comentado anteriormente, apresentou amortecimento da queda de temperatura e, também devido as temperaturas internas mais

aquecidas, a umidade relativa interna mostrou-se significativamente menor do que a externa neste período (24%), uma vez que o ar interno esteve mais aquecido e, por consequência, pode conter maior quantidade de vapor d'água, diminuindo assim a umidade relativa interna. Nos demais dias do período frio analisado, a umidade relativa interna esteve mais próxima a externa, porém sempre abaixo.

No período ocupado (14 a 16/06) há aumento na umidade relativa interna, mesmo quando a umidade relativa externa segue com tendência a diminuir, possivelmente indicando acréscimo de umidade interna devido ao uso.

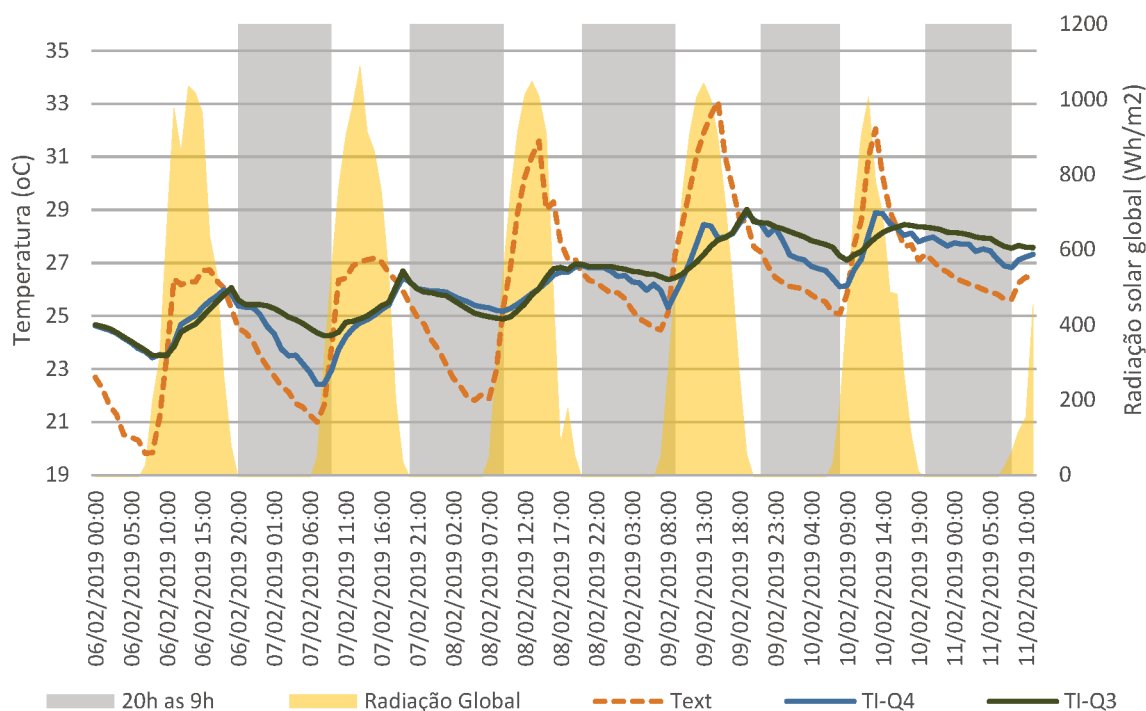
No período ameno (Figura 36) a diferença entre as temperaturas dos ambientes internos diminuiu em relação ao período frio, porém em termos de umidade relativa houve uma distinção clara entre os ambientes do primeiro andar (Quarto 1, sala, cozinha, escritório) e do segundo andar (Quartos 2 a 5). Os valores de UR registrados no segundo andar apresentam amplitude hídrica menor do que os ambientes do primeiro andar, em especial a sala, que apresenta a maior variação de umidade relativa. Assim como no período frio a umidade relativa externa segue predominantemente superior a umidade relativa dos ambientes internos.

No período quente (Figura 38), os valores de umidade relativa dos ambientes internos variam de forma semelhante, não havendo distinção notada entre andares no período ameno. Percebe-se que há tanto na umidade relativa externa quanto na umidade relativa interna houve variação máxima de 20% no dia 3/01, quando houve queda brusca na temperatura externa e queda também na umidade relativa, o que indica incidência de massa de ar fria e seca (ventos do quadrante sul). Os valores de umidade relativa, no restante do período, variaram entre 70 e 80% e a umidade relativa externa variou entre 75 e 85%.

4.4.3 Período controlado com ventilação noturna

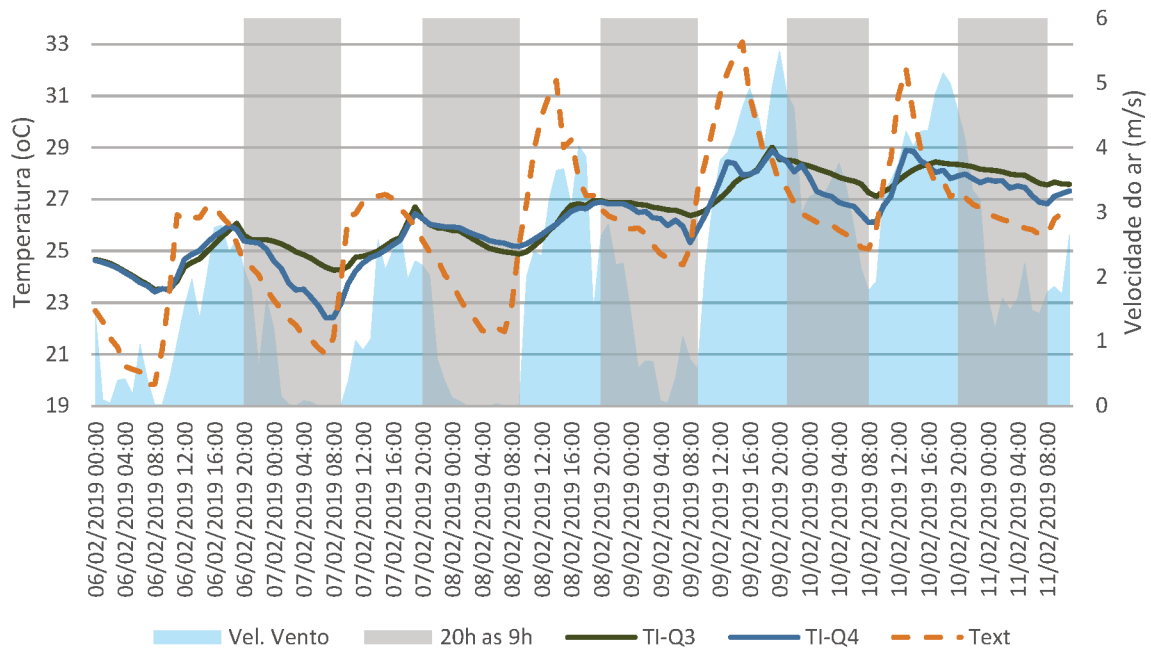
Conforme a metodologia descrita no item 3.2.3 foram registrados os valores de temperatura interna do quarto 3 e 4. A área hachurada em cinza claro indica o período das 20h às 9h, em que as janelas foram abertas para ventilar, na área não hachurada (branco) as janelas estão fechadas. O registro da velocidade do vento foi realizado no LabSolar (Figura 41).

Figura 39 - Período controlado com ventilação noturna – Temperatura do ar



Percebe-se que no período noturno houve redução na temperatura interna do quarto 4 em relação a temperatura interna registrada no quarto 3, salvo na noite do dia 8 para o dia 9. Ao longo do dia o Quarto 4 apresentou alguns picos mais altos de temperatura do que o quarto 3, devido provavelmente ao fato de que a sua cobertura não estava sendo sobreada pelo volume da caixa d'água. Mesmo apresentando alguns valores de temperatura interna mais alta, o que indica maior carga de calor incidente na estrutura do quarto 4 ao longo do dia, no período da noite foi possível resfriar em até 2 °C a temperatura interna do ar através da ventilação noturna. Na noite do dia 7 para o dia 8 percebe-se que houve mínima diferença entre as temperaturas dos dois quartos, ao verificar a velocidade do ar (Figura 40) percebe-se que foi uma noite com pouca movimentação do ar, possível explicação para o resultado.

Figura 40 - Período controlado com ventilação noturna – Velocidade do ar



Em relação à temperatura externa, percebe-se que ambos os quartos apresentam atenuação significativa de até 5,6 °C de diferença no momento do pico da temperatura externa (dia 9/02) e, com o uso da ventilação noturna no quarto 4, esta atenuação diminuiu para até 1,1 °C (dia 10/02). Este amortecimento “seletivo” apresenta grande benefício no período do verão, quando os cômodos apresentaram temperaturas internas de até 29 °C, já acima da temperatura de conforto.

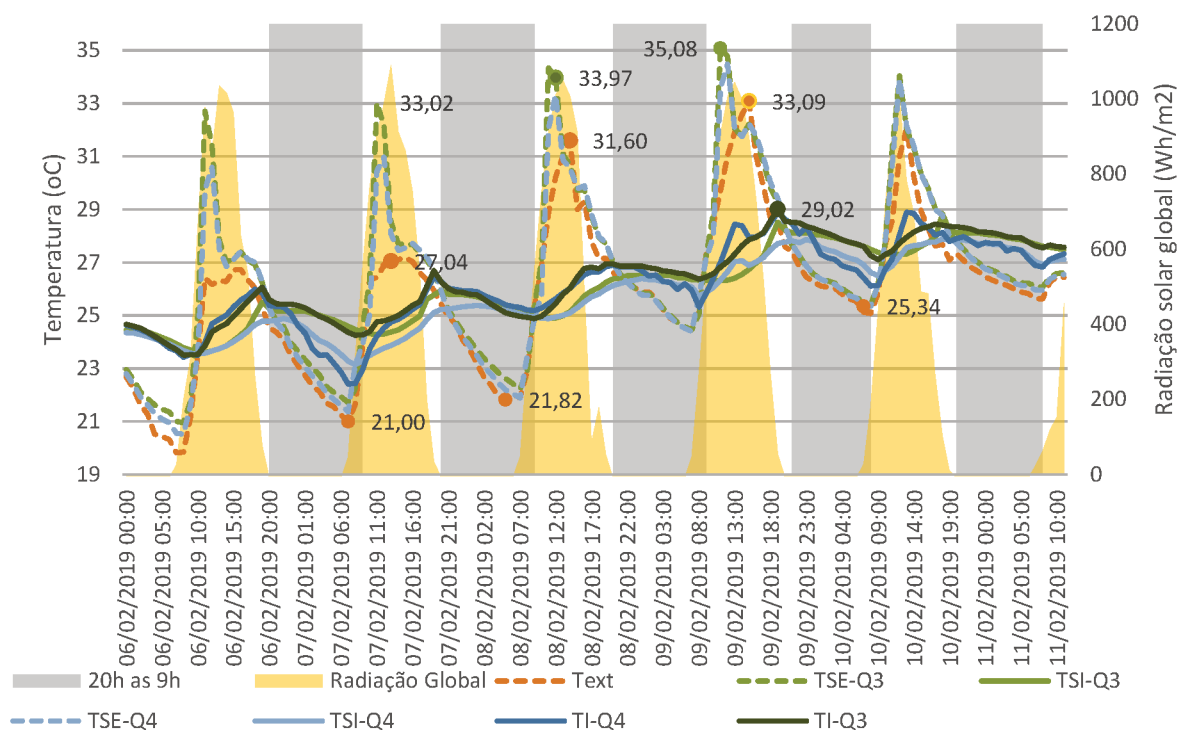
Em relação à radiação solar incidente, percebe-se que as temperaturas dos cômodos não aumentam de forma intensa de acordo com o aumento da radiação solar, assim como a temperatura externa, existindo amortecimento dos valores máximos e mínimos de temperatura. No entanto, ao longo dos dias em que ocorrem alta incidência de radiação solar (quando não há a incidência de frente fria), percebe-se que as temperaturas internas máximas aumentam gradualmente e em nenhum momento os cômodos internos apresentaram valores mais baixos que as mínimas externas.

A Figura 41 apresenta o comportamento das superfícies interna e externa das paredes externas dos cômodos Q3 e Q4. Percebe-se que as superfícies externas (TSE) apresentam, ao longo do dia, temperaturas mais altas do que as do ar externo (Text) respondendo proporcionalmente a incidência de radiação solar, apresentando pico de temperatura no período

da manhã, uma vez que a parede avaliada é voltada a leste. A temperatura superficial externa chegou a um pico de 35,08 °C no dia 9/02 e, no dia 7/02 superou em 6 °C a temperatura do ar externa.

Durante a noite, nos períodos com temperatura externa mais baixos, a temperatura superficial externa mantém-se equivalente ou ligeiramente superior a temperatura do ar externo. As superfícies internas da parede (TSI) apresentam valores com amortecimento térmico, estando bastante próximas a temperatura do ar interno e respondendo ao contexto de ventilação natural noturna com efetivo resfriamento da superfície interna.

Figura 41 - Período controlado com ventilação noturna – Temperatura das superfícies

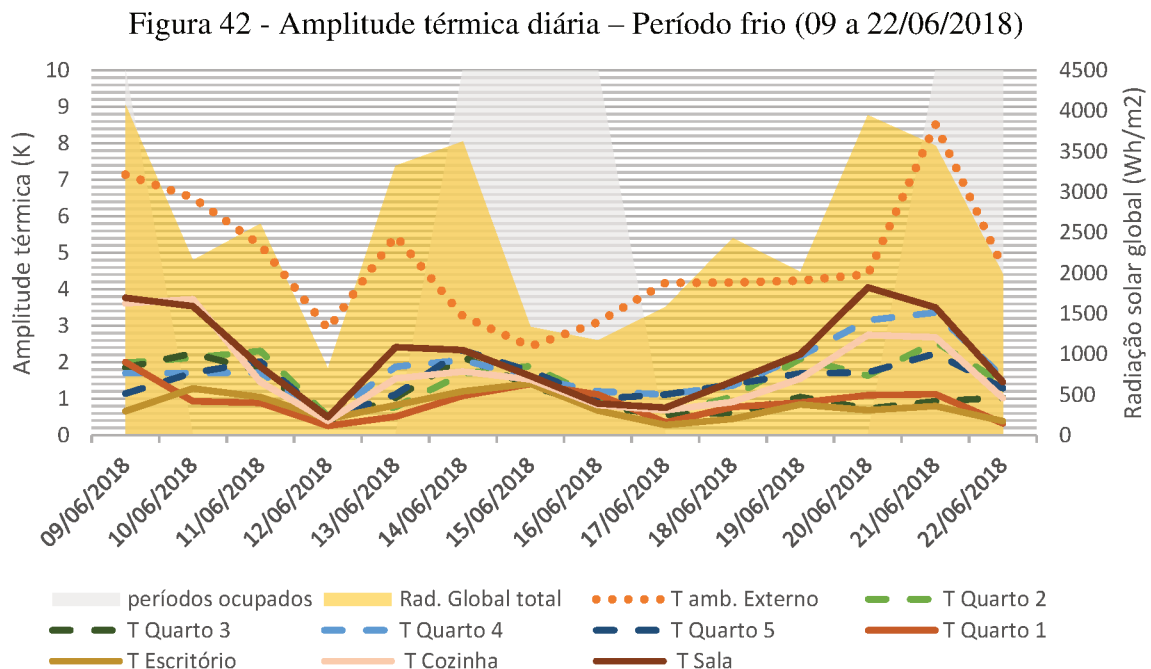


5 TRATAMENTO DE DADOS

Neste capítulo os resultados apresentados anteriormente foram analisados, através de indicadores relevantes ao fenômeno da inércia térmica, como a amplitude térmica diária, o coeficiente de amortecimento e o atraso térmico. Para avaliar o comportamento higrotérmico relacionado ao conforto, os dados obtidos de temperatura e umidade foram plotados na carta bioclimática e também foi calculada a influência no ambiente externo dos valores coletados em horas anteriores de umidade relativa, temperatura do ar e radiação solar, através da correlação com as médias móveis da sequência de dados de temperatura do ar e umidade relativa de cada ambiente.

5.1 AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA

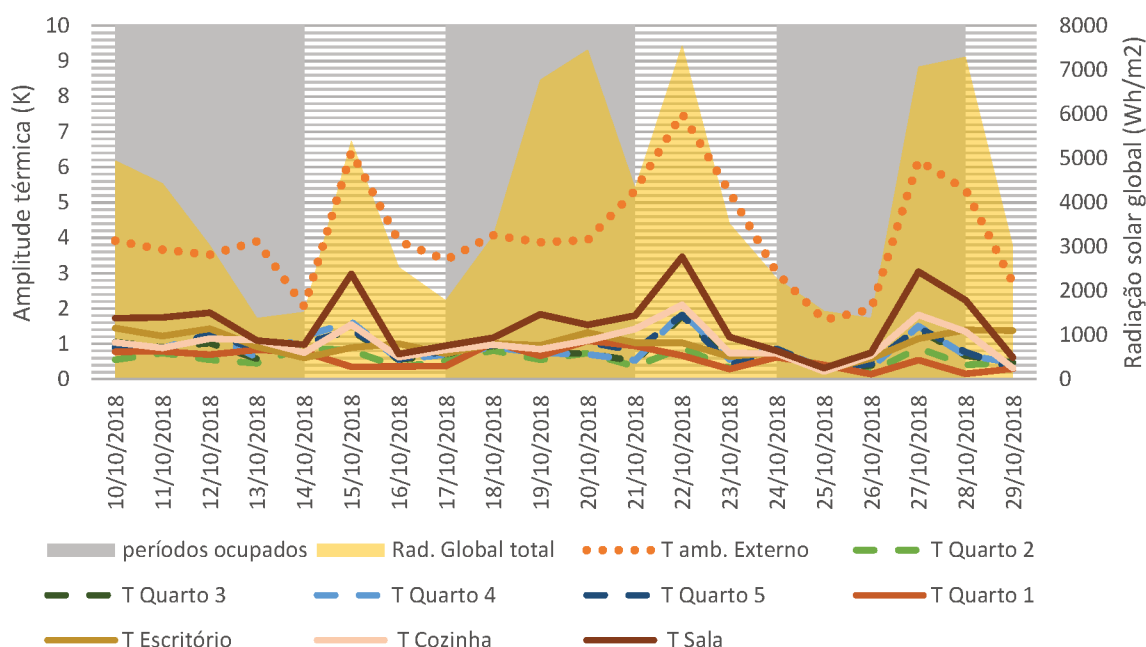
A Figura 42, a Figura 43 e a Figura 44 apresentam a amplitude térmica diária externa e de cada ambiente interno, assim como a radiação solar global total (em amarelo) e mostra também quais períodos foram ocupados (em cinza claro).



Na Figura 42, que representa a amplitude térmica do período frio, fica evidente que o ambiente externo possui amplitude térmica maior do que os ambientes internos, apresentando de 2,5 K até 8 K de diferença (dia 21/06), enquanto o ambiente com as maiores amplitudes

térmicas diárias, a sala, apresentou no máximo 4 K (20/06). O Quarto 1 e o escritório figuram como os ambientes com menor amplitude térmica diária, com amplitude máxima de 2 K, no dia 09/06. Percebe-se que, conforme o aumento da incidência de radiação solar, a amplitude térmica interna e externa tendem a ser mais elevadas. A Figura 43 representa a amplitude térmica diária no período ameno, onde as variações são semelhantes as registradas no período frio – a amplitude térmica externa varia entre 2 e 7,5 K, seus picos coincidindo com picos de radiação solar global em três momentos (dias 15, 22 e 27). Nos dias 19 e 20 houve pico de radiação solar global porém não houve pico de amplitude térmica externa, pois foram dias onde houve queda brusca de temperatura devido a incidência de frente fria (Figura 35).

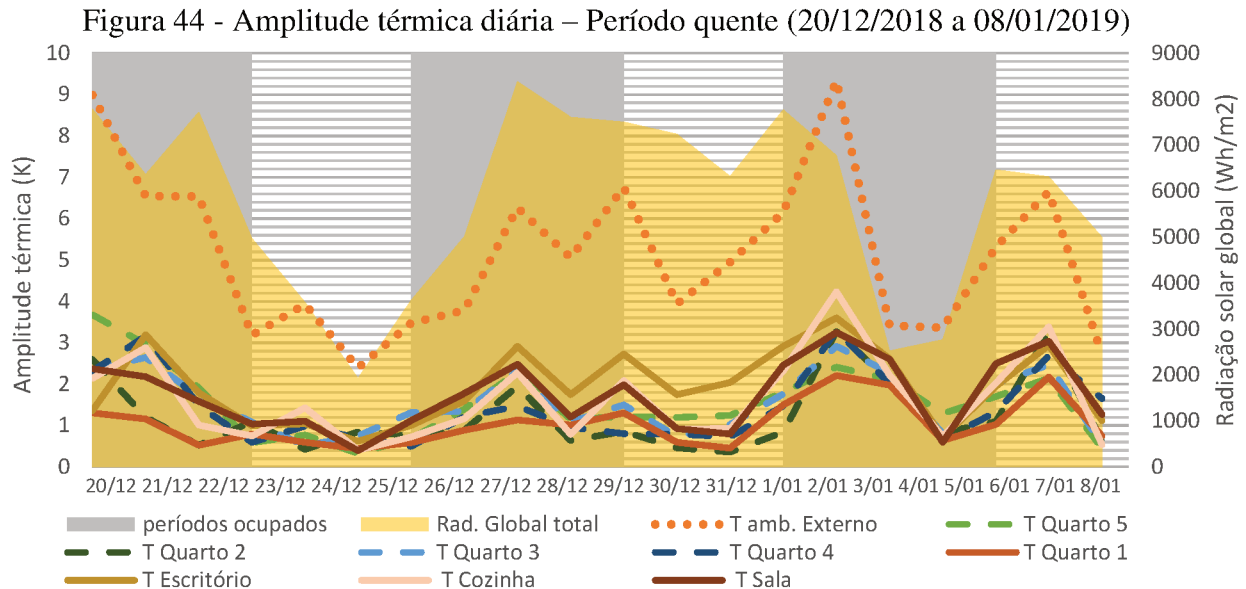
Figura 43 - Amplitude térmica diária - Período ameno (10 a 29/10/2018)



A sala permanece sendo o ambiente interno que apresenta maior amplitude térmica, variando entre 0,5 e 3,5 K. Os demais ambientes demonstram variação de temperatura semelhante, sendo que o Quarto 1 segue sendo o ambiente com menor amplitude térmica, com no máximo 1,5 K de variação. A Figura 44 representa a amplitude térmica diária do período quente, gráfico que difere dos outros dois anteriores pois a amplitude térmica externa variou mais intensamente, entre 2,5 e 9,5 K e há incidência significativamente maior de radiação solar neste período.

Neste período, o escritório apresenta os maiores valores de amplitude térmica dentre os ambientes internos. Como pode ser observado na Figura 37, neste caso a amplitude térmica

mais elevada no escritório é resultado de bom desempenho de resfriamento do ambiente à noite, no verão. Como, segundo os usuários, as aberturas ficaram predominantemente abertas quando há desconforto por calor, presume-se que o escritório apresentou a maior capacidade de aproveitamento da ventilação noturna para resfriamento.



5.2 AMORTECIMENTO TÉRMICO DIÁRIO

O coeficiente de amortecimento representa a redução da amplitude térmica da superfície interna em relação à do ambiente externo (Equação 7). Quanto menor for o valor resultante, maior será a capacidade de amortecimento.

A Figura 45 representa o coeficiente de amortecimento do período frio. Pode-se observar que a sala apresenta o menor amortecimento, sendo que o coeficiente chega a 0,9 no dia 20/06, dia em que há queda na temperatura externa e pico de radiação solar, aquecendo significativamente o ambiente interno, devido a sua quantidade de aberturas sem controle solar. Os ambientes escritório e Quarto 1 apresentaram o menor valor de coeficiente de amortecimento neste período, indicando a maior capacidade de amortecimento. Percebe-se uma relação entre a incidência de radiação solar e o coeficiente de amortecimento, uma vez que os maiores valores do coeficiente são registrados nos mesmos momentos em que há pico de radiação solar global, devido ao aquecimento solar passivo dos ambientes internos.

Quando o período esteve ocupado, o escritório e o Quarto 1 acompanharam estes picos, aumentando o coeficiente de amortecimento (menor capacidade de amortecer) e no período desocupado os mesmos ambientes apresentaram capacidade de amortecimento maior, uma vez que o coeficiente indicou valor mais baixo (chega a apresentar 0,10).

Figura 45 - Coeficiente de amortecimento diário – Período frio (09 a 22/06/2018)

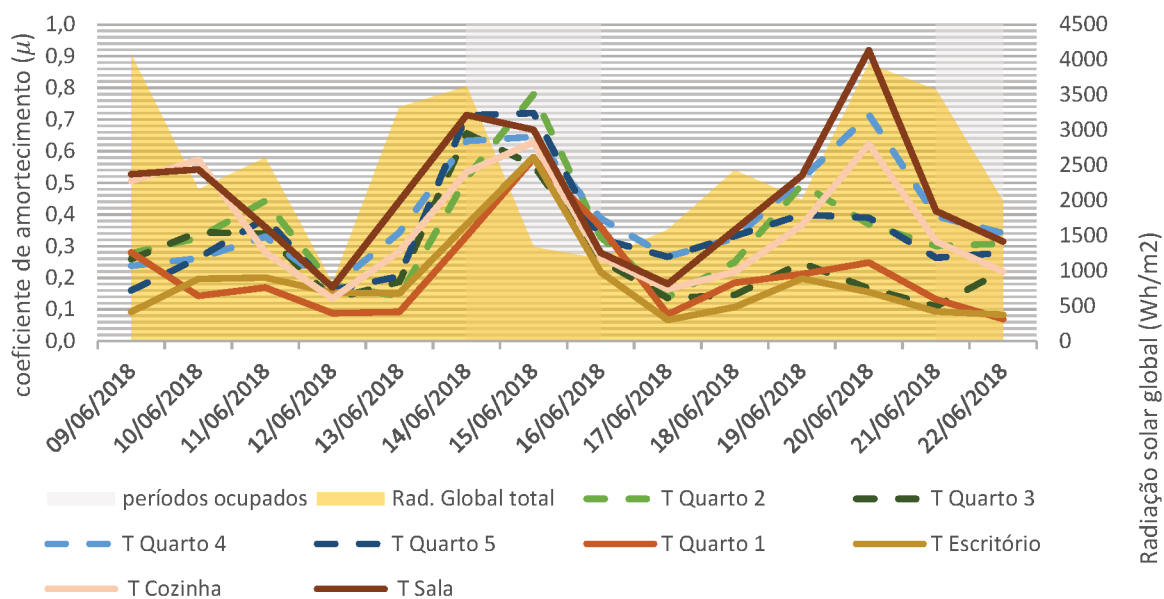
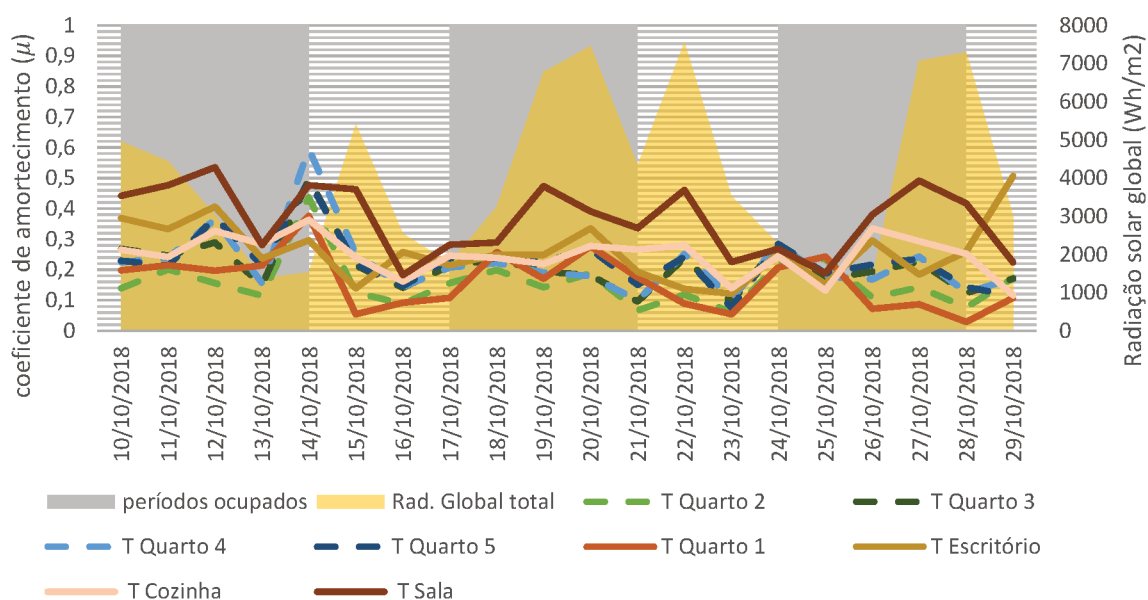


Figura 46 - Coeficiente de amortecimento diário (μ) - Período ameno (10 a 29/10/2018)

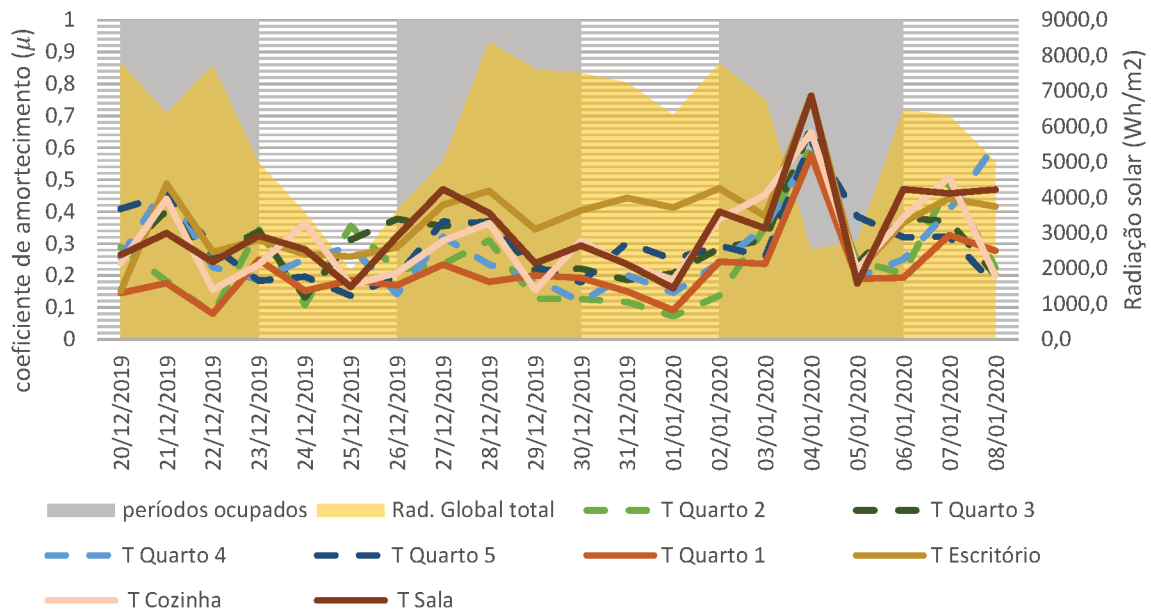


A Figura 46 representa o coeficiente de amortecimento do período ameno. A sala mantém o comportamento de menor capacidade de amortecimento, porém o coeficiente

máximo apresentado (0,55) é menor do que o registrado no período frio, que foi de 0,9. Os demais ambientes internos não apresentam distinção significativa em termos de amortecimento, como visto no período frio. Novamente percebe-se que o comportamento da sala responde de forma direta a incidência de radiação solar. No dia 13/10 houve queda significativa na temperatura externa (conferir na Figura 35) e os ambientes apresentaram variação de temperatura bem menor, o que explica a queda brusca no coeficiente de amortecimento, que indica maior capacidade de amortecer nestes contextos (frentes frias).

A Figura 47 apresenta os resultados de coeficiente de amortecimento no período quente. Assim como no período frio, a sala apresenta coeficiente de até 0,8, indicando menor capacidade de amortecer as temperaturas externas.

Figura 47 - Coeficiente de amortecimento (μ) - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



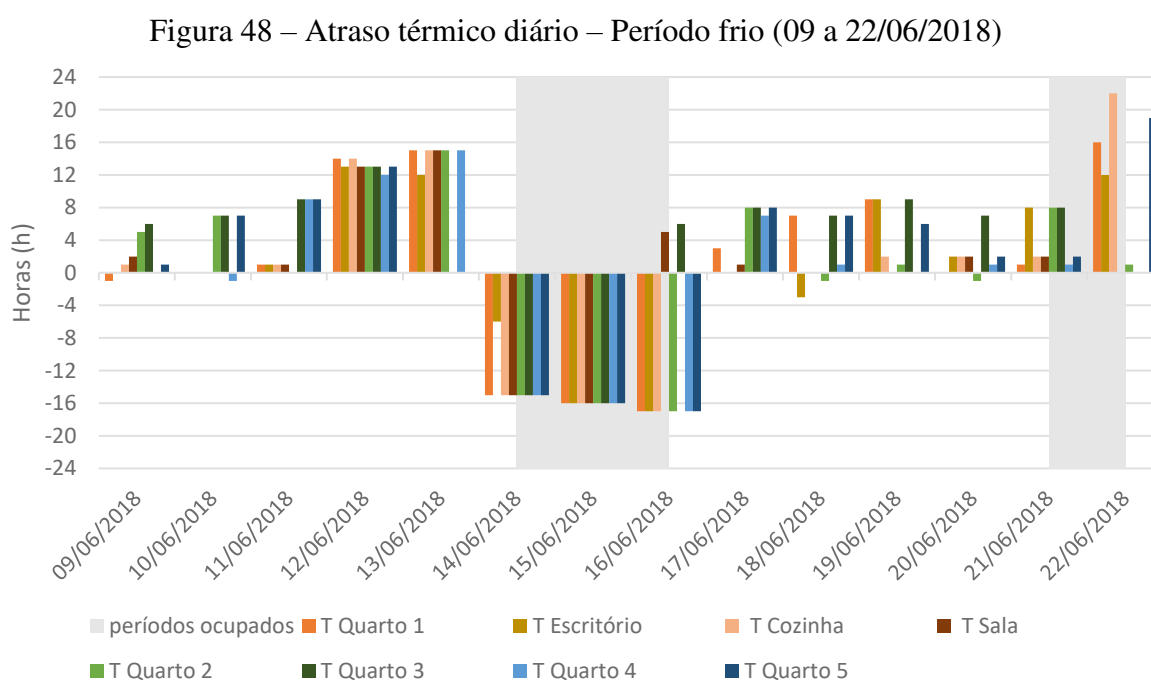
Um ambiente que se destaca pelo comportamento distinto dos demais períodos analisados é o escritório. Conforme comentado na análise de amplitude térmica e de distribuição de temperatura do período quente, este ambiente apresentou melhor resposta ao resfriamento noturno, indicando o aproveitamento do potencial da ventilação noturna para resfriamento no verão, o que é altamente desejável neste clima.

No dia 04/01 ficou evidente um pico do coeficiente de amortecimento, indicando que neste contexto a envoltória não apresentou desempenho ótimo em termos de amortecer as temperaturas externas. Neste momento, conforme pode-se observar na Figura 37, houve pico

de temperatura externa de 35,7 °C, enquanto internamente houve um pico de 32 °C. Houve resposta rápida ao aquecimento, sendo que no mesmo dia e aproximadamente no mesmo horário este pico de temperatura externa também foi registrado nos ambientes externos. Nos dias seguintes (05, 06 e 07/01), houve queda brusca de temperatura, e os ambientes internos tardaram em acompanhar o movimento de temperatura externa, momento em que o coeficiente de amortecimento baixa novamente, indicando maior capacidade de amortecer as temperaturas.

5.3 ATRASO TÉRMICO DIÁRIO

O atraso térmico indica a diferença entre a hora de pico de temperatura externa e a hora de pico de temperatura interna para cada cômodo mensurado (conforme indicado na Equação 6, pg. 38). A Figura 48 representa, para cada dia, o atraso térmico entre os cômodos internos e o ambiente externo no período frio.



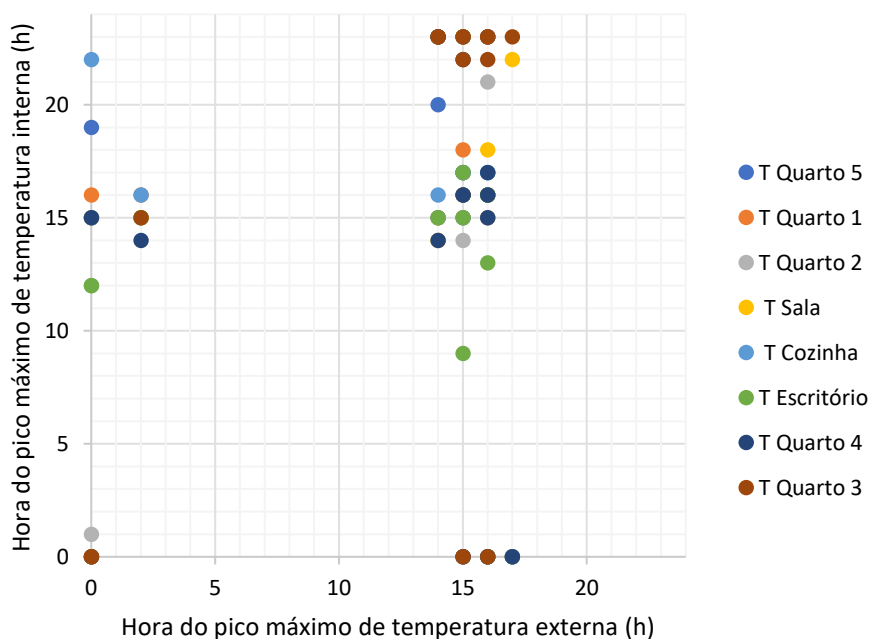
Os valores de horas negativas indicam que o pico de temperatura externo foi posterior ao pico de temperatura interno (exemplo: No dia 14/06 o pico de temperatura no Quarto 1 foi

as 00h00 da madrugada e o pico de temperatura externo foi as 15h, resultando em -15h de atraso térmico).

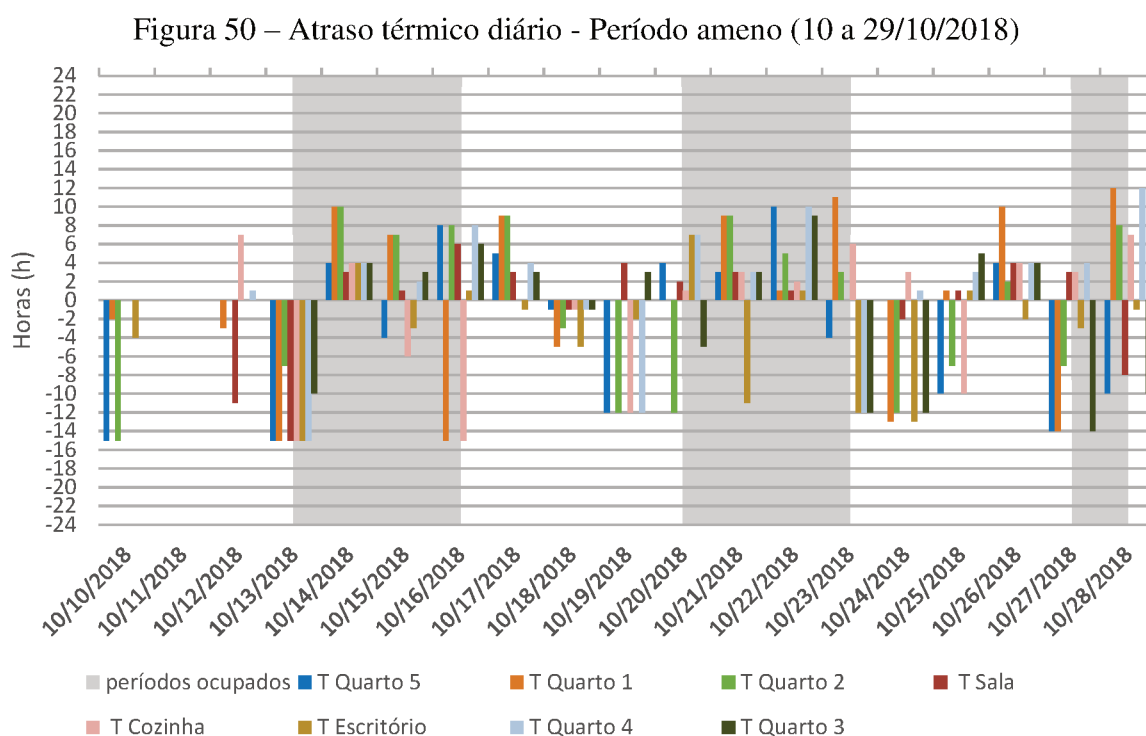
Entre os dias 12 e 16/06, com a entrada de frente fria, a diferença entre os picos de temperatura interna e externa foram entre 12 e 17 h. O registro mais alto de atraso térmico ocorreu na cozinha, no dia 22/06, as 22h. Nos dias em que a temperatura externa baixou de forma constante devido à frente-fria e o pico de temperatura externa foi na primeira hora do dia, registrada como meia-noite (00h00). Como internamente o pico de temperatura também estava baixando, de forma constante, ainda que menos intensamente que a temperatura externa, o pico de temperatura também se deu na primeira hora do dia (00h00), resultando, nestes casos, em atraso térmico de 0 horas.

A Figura 49 apresenta a correlação entre a hora de pico máximo externa e interna e, através deste gráfico, pode-se perceber que as horas de pico externa costumam ocorrer entre as 15 e as 17h, sendo que quando ocorrem frentes-frias a hora de pico máxima pode ser as 00h00. Contrastando com este comportamento, as horas de pico internas podem ocorrer em diversos horários, desde as 00h00, nas frentes frias, ou variando entre as 9h da manhã às 23h da noite. Este comportamento ocorre, principalmente, devido a orientação solar dos cômodos. Alguns pontos encontram-se sobrepostos.

Figura 49 - Correlação entre a hora de pico máximo externa e interna – Período frio

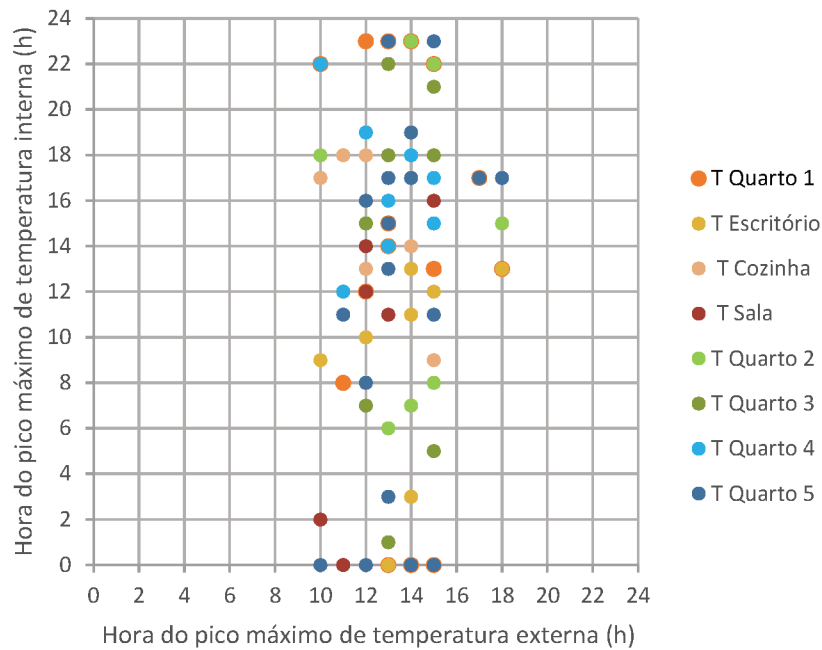


A Figura 50 apresenta o atraso térmico diário registrado no período ameno. Comparado ao período frio, o atraso térmico apresentou maior variação entre os cômodos, devido a uma menor amplitude térmica diária e, possivelmente, devido a operação das aberturas dos usuários. Percebe-se que nos períodos em cinza (com ocupação) há a predominância de atrasos térmicos negativos nos cômodos, o que indica que o pico de temperatura interno ocorreu antes do pico de temperatura externo. Devido em parte a orientação e a incidência solar dentro dos cômodos (venezianas abertas), esta diferença de horários de pico de temperatura ocorre.



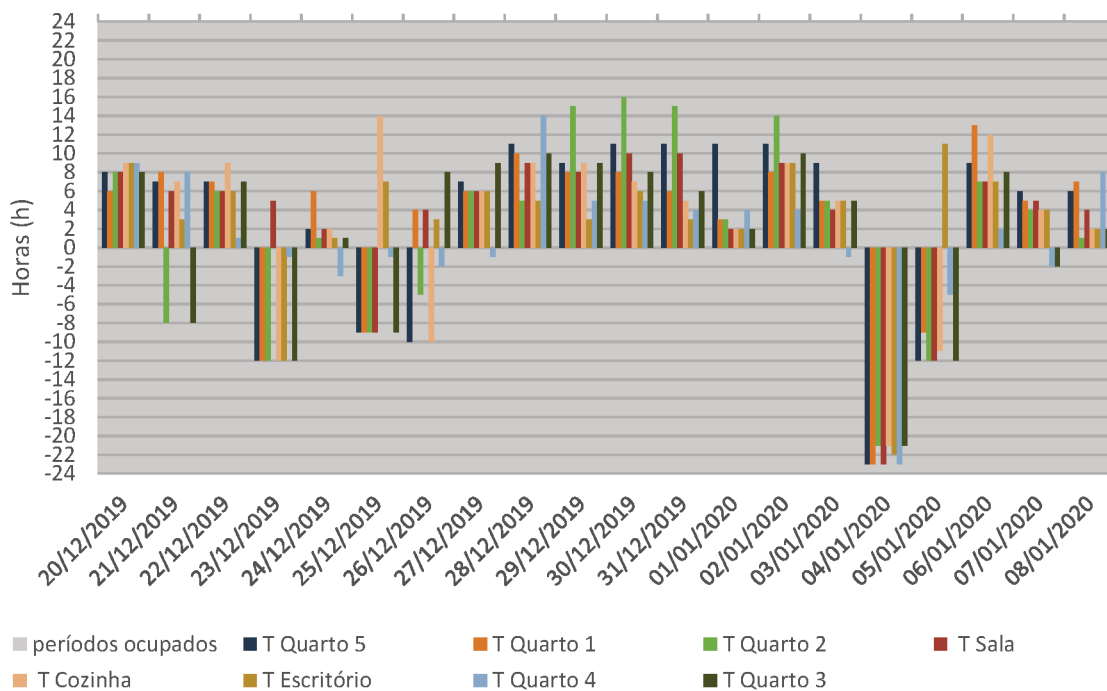
A Figura 51 apresenta com mais detalhe a variação entre os horários de pico de temperatura internos registrados, correlacionados com os picos de temperatura externos. Percebe-se que, internamente, os picos aconteceram em horários variados, como ao longo da madrugada, o que indica incidência de frente-fria, quanto em qualquer horário do dia e até mesmo a noite (23h). Enquanto isso, os picos de temperatura externos são registrados em horários menos variados, entre as 10h e as 17h. O atraso térmico máximo é de 12h, registrado no quarto 1 e no quarto 4.

Figura 51 - Correlação entre a hora de pico máxima externa e interna – Período ameno



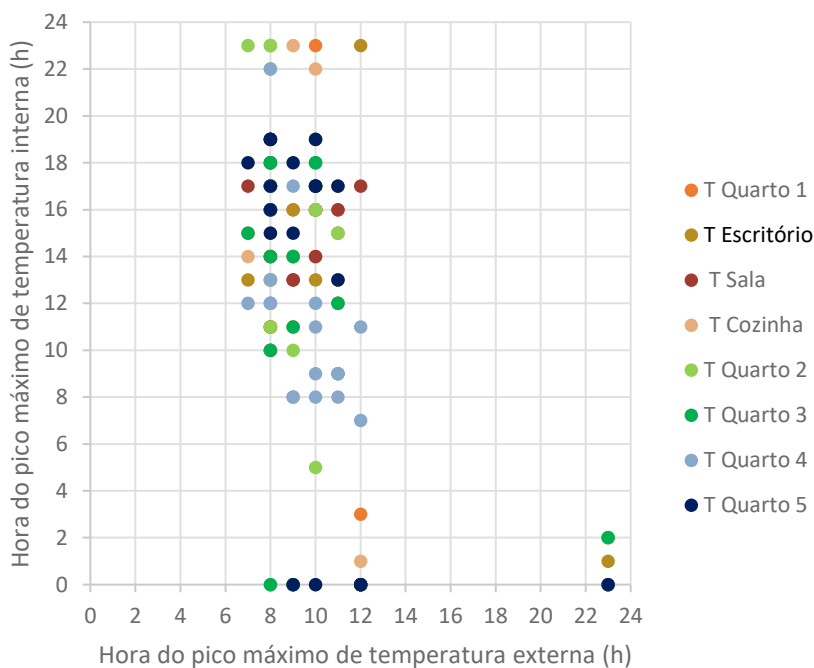
A Figura 52 apresenta o atraso térmico diário do período quente e, assim como no período frio, percebe-se maior regularidade entre os cômodos e o registro de atrasos térmicos negativos, no momento em que a temperatura externa e, conseqüentemente, a temperatura interna cai. O Quarto 2 chega a apresentar atraso térmico de até 16h (30/12).

Figura 52 – Atraso térmico diário - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



A Figura 53 apresenta comportamento semelhante aos outros dois períodos (frio e ameno), com os picos de temperatura interna ocorrendo desde a madrugada até o final do dia (00h a 23h). A diferença é que os picos de temperatura externa ocorreram mais cedo, das 8h às 12h e, salvo em um dia, que ocorreu as 23h.

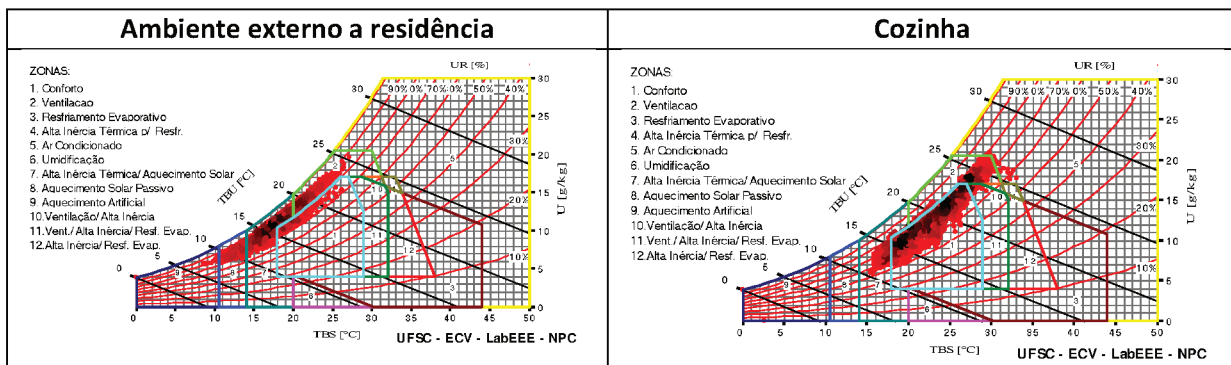
Figura 53 – Correlação entre a hora de pico máximo externa e interna – Período quente



5.4 CARTA BIOCLIMÁTICA

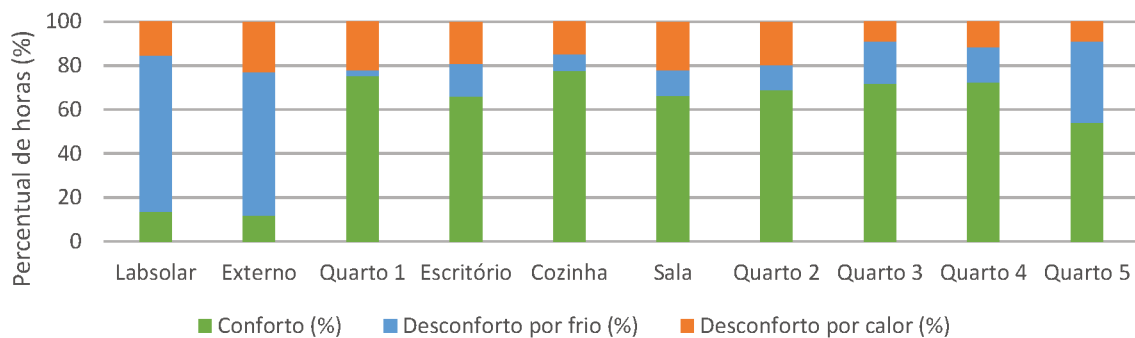
Os dados de umidade relativa e temperatura do ar da temperatura externa e dos oito ambientes monitorados foram plotados na carta bioclimática utilizando o programa Analysis Bio (LABEEE, 2009). Foram plotados os dados dos três períodos: frio (09 a 22/06/2018), ameno (10 a 29/10/2018) e quente (20/12/2018 a 08/01/2019), assim como os dados do período integral das medições (02/06/2018 a 02/03/2019). No APENDICE E, encontram-se os valores disponibilizados pelo relatório do programa Analysis Bio e as imagens da carta bioclimática para cada período e ambiente analisado.

Figura 54 – Dados de temperatura do ar e umidade relativa medidos de 02/06/2018 a 02/03/2019 plotados na carta bioclimática



A Figura 54 apresenta duas imagens da carta bioclimática, uma representando os dados de temperatura e umidade do ar do ambiente externo e outra da cozinha. Percebe-se a diferença de distribuição dos pontos no gráfico, sendo que os dados coletados na cozinha apresentam redução considerável em relação a umidade relativa e aumento na temperatura do ar. Ao diminuir a umidade relativa, muitos dos pontos tendem a entrar na zona de conforto. A cozinha foi o ambiente interno que apresentou a maior porcentagem de conforto térmico ao longo dos nove meses de medição desta pesquisa, conforme mostra a Figura 55.

Figura 55 - Percentual de conforto e desconforto térmico – (02/06/2018 a 02/03/2019)

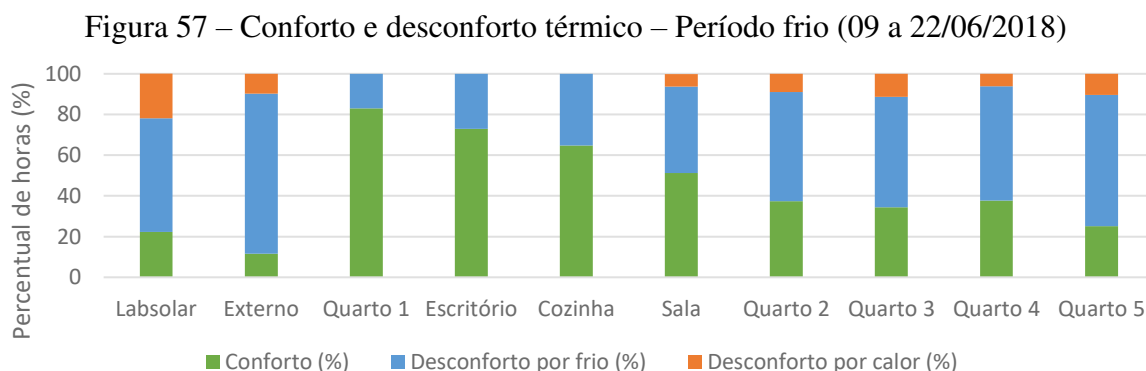


Percebe-se, na Figura 55, que o desconforto por frio predomina nos dados coletados ambiente externo consistindo em 65% das horas. O desconforto por calor no ambiente externo é significativo, de 23%. A diferença entre desconforto por calor entre os valores registrados no LabSolar e no ambiente externo pode acontecer em decorrência da alta umidade relativa registrada pelos equipamentos do LabSolar, contrastando com o observado no ambiente externo (conforme comentado no item 4.3).

A Figura 56 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas para otimizar o desempenho térmico da residência neste período. Para todos os ambientes é recomendado sombreamento da envoltória, principalmente para o Quarto 1 (80%) das horas, mas também para o quarto 5, que é voltado para sul, em 35% das horas. A ventilação também configura uma estratégia recomendada para todos os ambientes, assim como a massa térmica para aquecimento, principalmente no Quarto 5.

A Figura 57 apresenta o percentual de desconforto e conforto térmico no período frio para cada ambiente monitorado. Fica evidente o melhor desempenho do Quarto 1, com 83% das horas em conforto térmico, seguido pelo escritório (73%) e pela cozinha (64,7%). Estes três ambientes possuem a característica comum de serem ambientes cuja cobertura não possui contato com o ambiente externo. O único outro ambiente da residência que possui a mesma configuração em relação a cobertura é o Quarto 2, que apresentou desempenho significativamente pior, com 34% de desconforto por frio, mesmo possuindo fachadas com mesma orientação que o Quarto 1. Vale ressaltar que o Quarto 1 foi ocupado mais frequentemente que o Quarto 2.

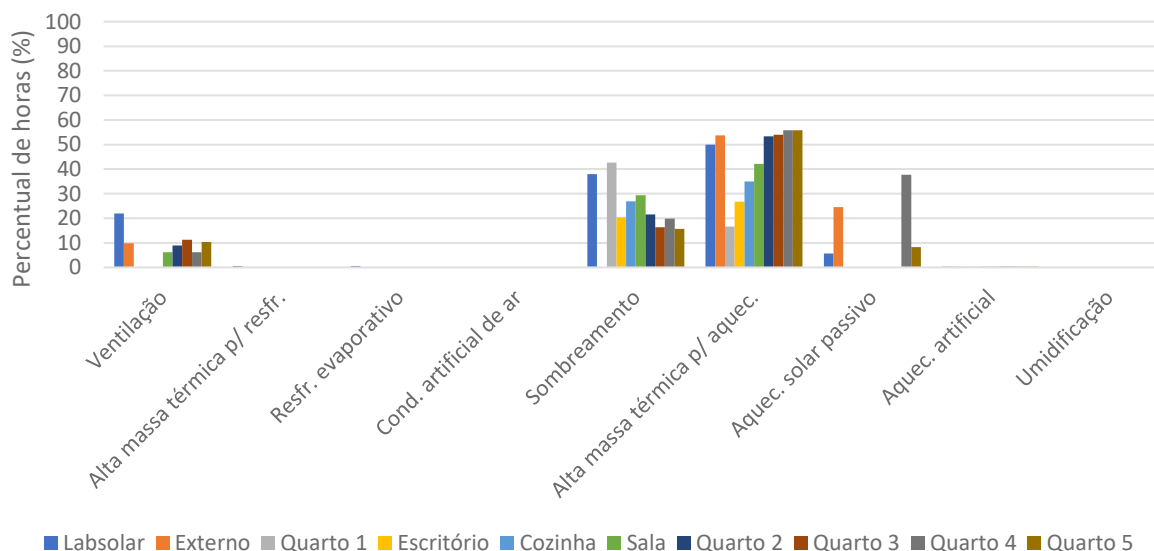
Períodos de desconforto por calor foram registrados no ambiente externo (9,7%), quartos superiores (entre 8 e 11%) e na sala (6,23%). Dentre os ambientes internos que apresentaram horas de desconforto por calor no período frio possuem aberturas para oeste, apenas o Quarto 2 não possui abertura para oeste. O Quarto 5 (ao sul) foi o ambiente interno que apresentou pior desempenho neste período, com apenas 25,2% de horas em conforto e 74,8% de horas em desconforto térmico, sendo 64,4% das horas em desconforto por frio.



A Figura 58 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas com base neste período. Nota-se que, mesmo os ambientes possuindo alta massa térmica, a recomendação é de

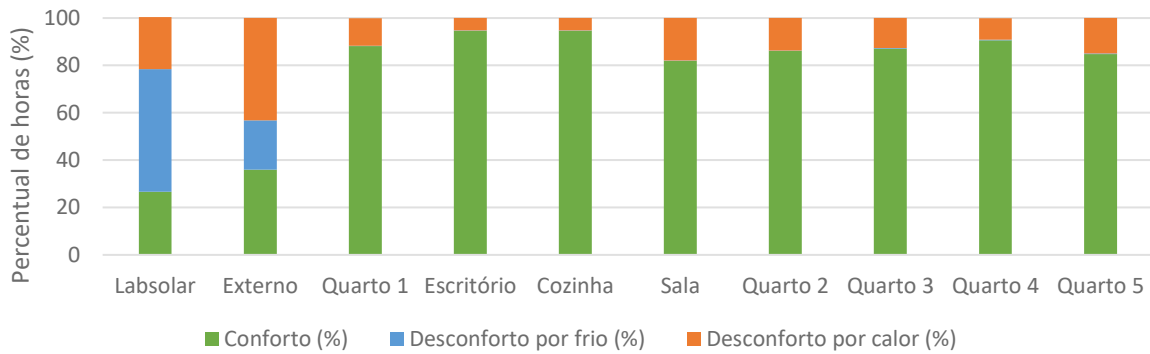
maior quantidade de massa para aquecimento (recebendo radiação solar). Nos períodos de desconforto por calor recomenda-se maior sombreamento da estrutura e ventilação.

Figura 58 – Estratégias recomendadas – Período frio (09 a 22/06/2018)



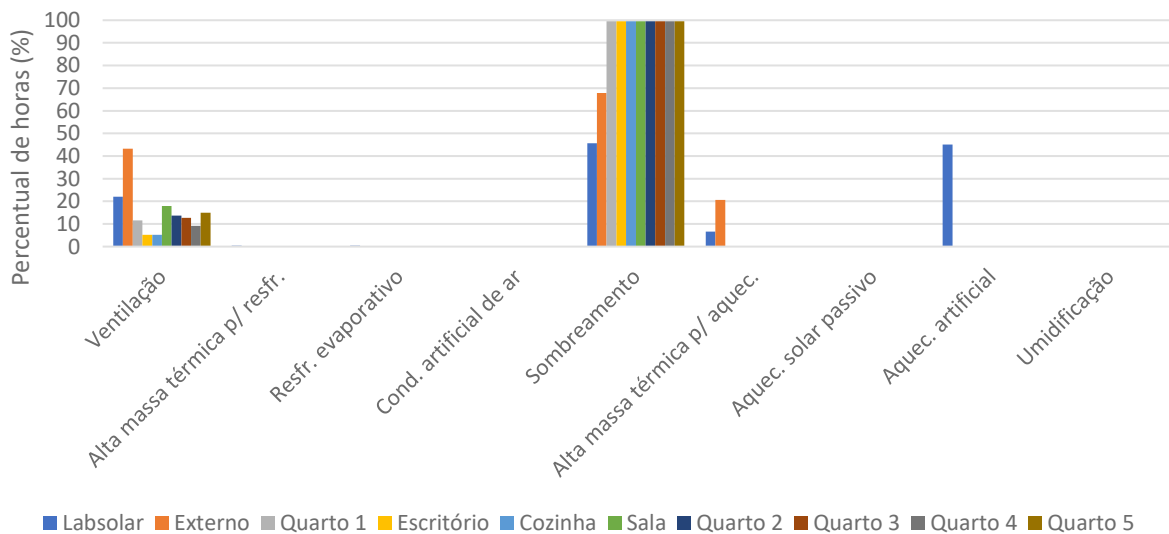
A Figura 59 apresenta os percentuais de conforto e desconforto térmico no período ameno. Pode-se notar que o escritório e a cozinha apresentaram o melhor desempenho neste período, sem apresentar desconforto por frio, o percentual de conforto apresentado pelos dois ambientes foi de 95%, sendo 5% das horas em desconforto por calor. O que há de comum nestes dois ambientes é sua orientação a leste, sendo sombreados do sol incidente do quadrante oeste, e sua cobertura não possui contato com o ambiente externo. O ambiente externo apresenta neste período horas significativas de desconforto por frio (20,8%) e por calor (43,2%). Este é o período com melhor desempenho da residência em termos de conforto térmico, pois todos os ambientes apresentam mais de 80% das horas em conforto térmico, não havendo desconforto significativo por frio, apenas por calor.

Figura 59 - Conforto e desconforto térmico – Período ameno (10 a 29/10/2018)



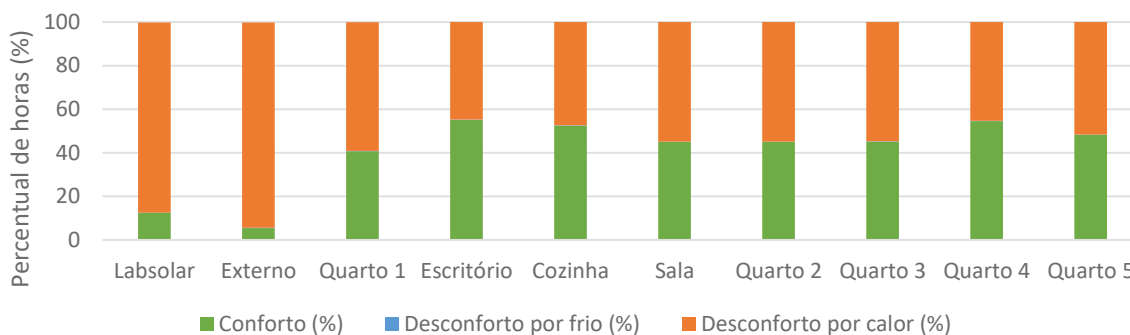
A Figura 60 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, indicando que, no período ameno, a estrutura deveria ser sombreada em todos os momentos e que deveria haver ventilação em aproximadamente 5% das horas no escritório e em até 20% na sala, para haver melhorias nas condições de conforto térmico dos ambientes.

Figura 60 - Estratégias recomendadas - Período ameno (10 a 29/10/2018)



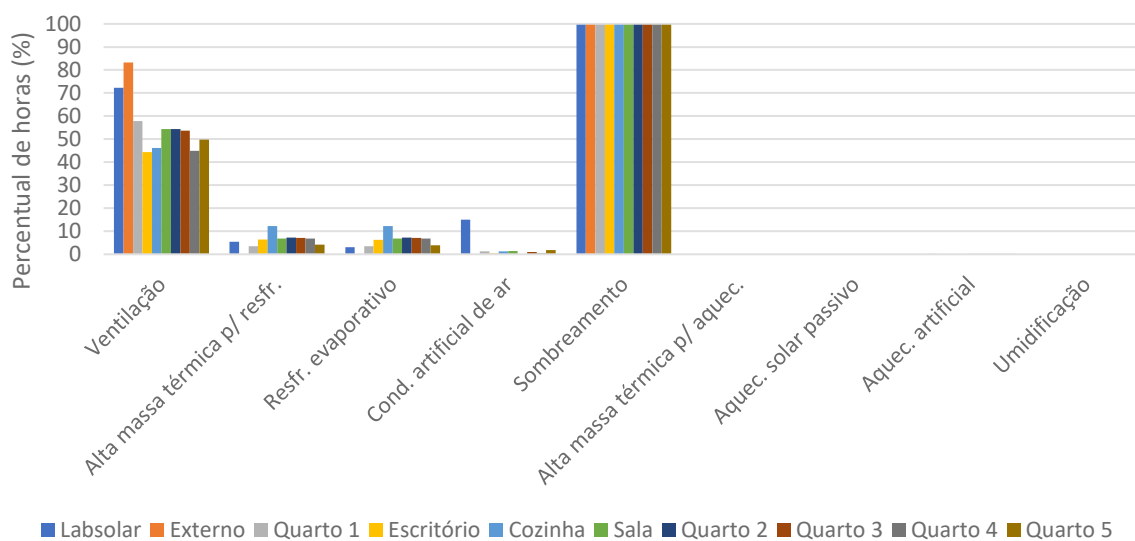
Conforme pode-se observar na Figura 61, o percentual de desconforto por calor no período quente é predominante, sendo de 95% no ambiente exterior, e varia entre 44% (escritório) e 59% (Quarto 1). Mesmo os ambientes internos com melhor desempenho (escritório e cozinha) apresentam apenas pouco mais da metade das horas analisadas em conforto, condição que apresenta melhoras em relação a temperatura externa, no entanto torna-se desconfortável para os usuários, justamente quando a residência é mais utilizada.

Figura 61 - Conforto e desconforto térmico - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



A Figura 62 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas ao analisar o período quente, indicando que deveria haver sombreamento em todos os momentos, assim como no período ameno. A ventilação aparece como uma estratégia bastante significativa, sendo recomendada em aproximadamente 60% das horas no quarto 1 e em pelo menos 40% das horas no escritório. A alta massa para resfriamento também aparece como recomendação neste momento, assim como o resfriamento evaporativo.

Figura 62 - Estratégias recomendadas - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



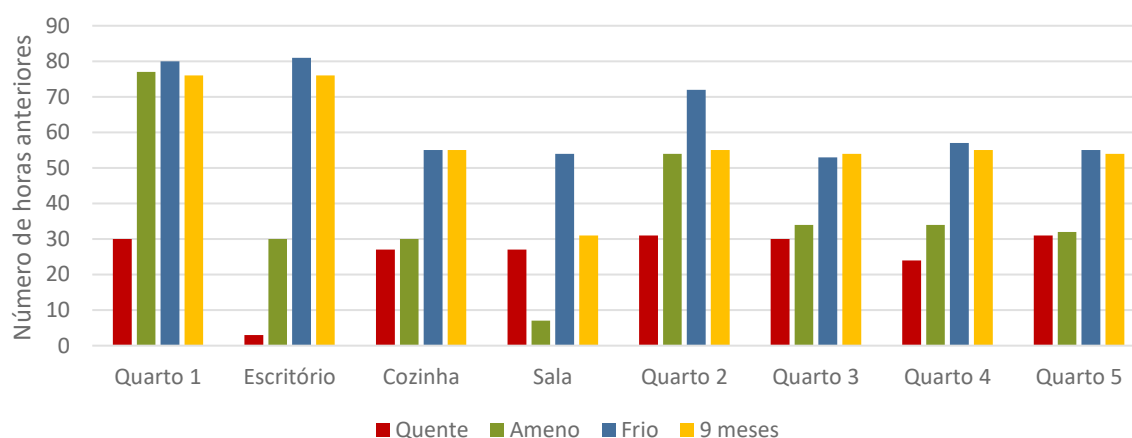
5.5 INFLUÊNCIA DE HORAS ANTERIORES

Os dados de temperatura interna e externa, umidade ambiente interna e externa e radiação solar utilizados para realizar a média móvel simples (conforme indicada na Equação 8) foram os referentes aos nove meses de medição, período frio, período ameno e período

quente. No APENDICE F encontram-se os correlogramas entre as médias móveis das variáveis externas (temperatura externa, radiação solar e umidade absoluta externa).

A Figura 63 apresenta o número de horas anteriores de temperatura externa cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária.

Figura 63 – Temperatura Externa - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária



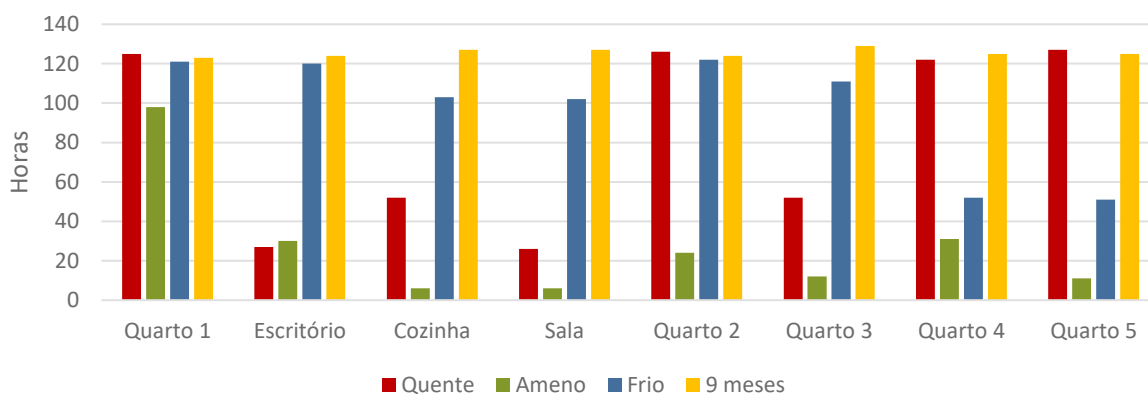
Fica evidente que, no período frio, a temperatura interna dos cômodos responde melhor a média de maior número de horas anteriores (entre 53h – Quarto 3 e 81 h - Escritório) do que no período quente, que registrou número de horas anteriores variando entre 3h (Escritório) e 71h (Quarto 2).

Cômodos como a sala, cozinha e quartos 3, 4 e 5 apresentaram diferença menor entre o número de horas influentes entre o período quente e o período frio (Sala – 27h, Cozinha – 28h, Q3 - 23h, Q4 – 33h, Q5 – 24h). A principal relação entre os cômodos que apresentaram menor diferença entre a influência da temperatura externa de horas anteriores é o contato da cobertura do ambiente com o exterior (telhado jardim), sendo que o Quarto 1, o Escritório e o Quarto 2 estão localizados sob outro cômodo (no caso o Quarto 2 está sob a caixa d'água). Também foram os cômodos que apresentaram maior desconforto por frio no período frio. A sala, conforme esperado, apresentou o menor número de horas anteriores influentes em relação a temperatura, pois também apresentou os maiores valores de amplitude térmica e o menor de amortecimento térmico e de atraso térmico.

Percebe-se diferença significativa entre períodos avaliados, sendo a maior diferença registrada no escritório, de 78 h (3h no período quente e 81h no período frio). Este cômodo

destacou-se nas avaliações de amplitude térmica e amortecimento térmico no período quente, pois foi o ambiente com maior aproveitamento da ventilação noturna para resfriamento, e também foi o ambiente que apresentou maior porcentagem de horas em conforto no período quente. Durante o período quente no clima de Florianópolis, uma menor quantidade de horas anteriores de temperatura externa influentes na temperatura interna demonstrou ser um ponto positivo, pois indica o potencial de aproveitamento da ventilação noturna para resfriamento. Também percebe-se, ao analisar a Figura 64, que a temperatura interna do escritório apresentou melhor correlação com número mais baixo de horas anteriores de radiação solar, indicando também que houve menor influência desta fonte de calor (sombreamento). Este fato é importante, pois demonstra a importância do sombreamento da estrutura no período quente, para melhores condições de conforto térmico.

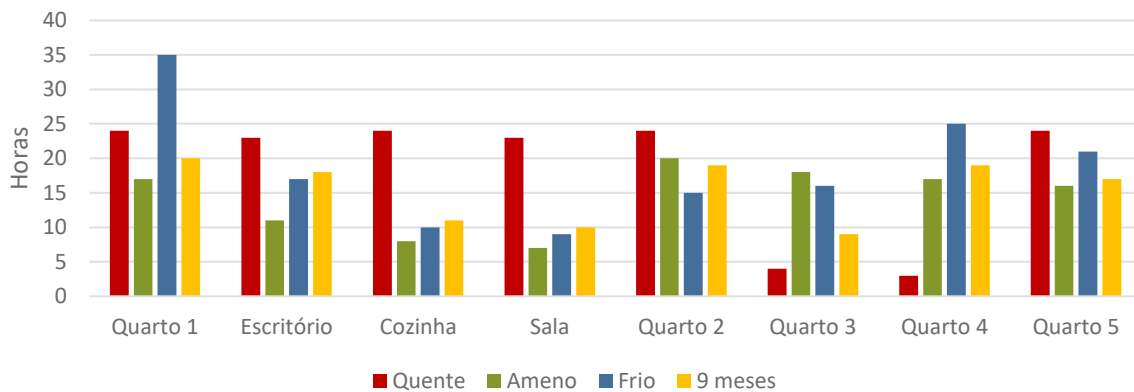
Figura 64 – Radiação Solar - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária



Percebe-se também a alta influência da radiação solar de horas anteriores na temperatura interna dos quartos 1, 2, 4 e 5, ao longo do período quente. No período ameno o número de horas de influência foi menor, em geral, sendo expressivo apenas no quarto 1 (98h). No período frio os quartos 4 e 5 apresentaram a menor quantidade de horas de influência de radiação solar na temperatura interna (52h e 51h, respectivamente). Ao longo dos 9 meses de medição, percebe-se alto número de horas anteriores influentes em todos os cômodos, variando entre 124 e 129 h. Os cômodos com fachada norte (quarto 1 e escritório) e os cômodos com cobertura voltada para o exterior (salvo o quarto 3, que possui a cobertura sombreada durante parte do dia, devido ao volume da caixa d'água acima do quarto 2) apresentaram alto número de horas anteriores de radiação solar influentes na temperatura interna.

A Figura 65 apresenta a influência de horas anteriores de umidade absoluta externa na umidade absoluta interna. Percebe-se que em todos os períodos e em todos os cômodos ocorre influência de horas anteriores também na umidade absoluta. A maior influência foi registrada no Quarto 1, no período frio, sendo de 35 horas anteriores e as menores foram registradas nos quartos 3 e 4, no período quente. Percebe-se que o Quarto 1, ao longo de todos os períodos, apresenta os maiores números de horas anteriores influentes. Cozinha e sala, salvo no período quente, apresentam valores mais baixos.

Figura 65 – Umidade Absoluta - Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a umidade absoluta interna horária



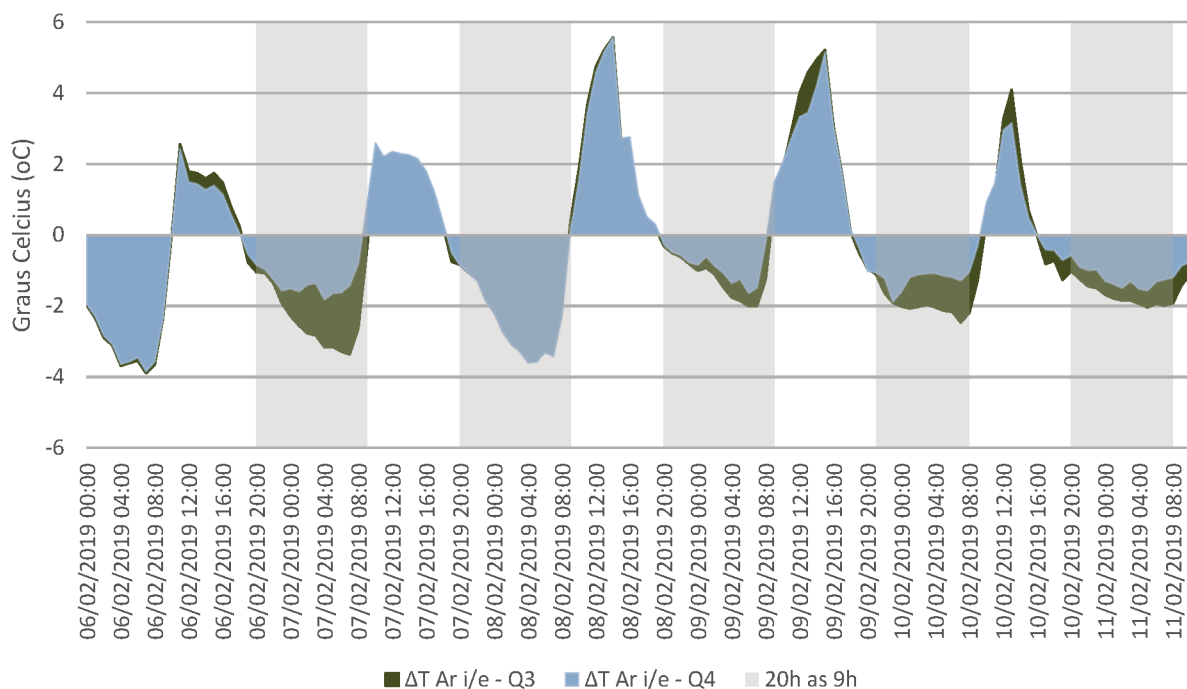
Em comparação com a o número de horas anteriores influentes na temperatura interna, tanto de temperatura externa quanto de radiação solar, a umidade apresenta valores menores, se tornando mais suscetível a variações na umidade de 5h anteriores a 35h. Para temperatura foram registradas influências de 3 a 81h e, para radiação solar, 6 a 127h anteriores.

5.6 PERÍODO CONTROLADO COM VENTILAÇÃO NOTURNA

A Figura 66 apresenta a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna dos cômodos Q4 e Q3 ($T_{ext} - T_{int}$), para cada hora, ao longo do período medido com ventilação noturna, indicado neste gráfico pelos períodos hachurados em cinza. A ventilação noturna foi aplicada somente no quarto 4 (Q4). Ambos os cômodos apresentam amortecimento em relação a temperatura externa. Nos momentos em que os valores do gráfico estão positivos, as temperaturas internas estão menores do que a temperatura externa e, nos momentos em que os valores estão negativos, as temperaturas internas estavam mais altas do que as temperaturas

externas. Percebe-se que o Q3, apresenta, nos momentos de temperatura máxima e mínima, valores mais extremos do que o Q4.

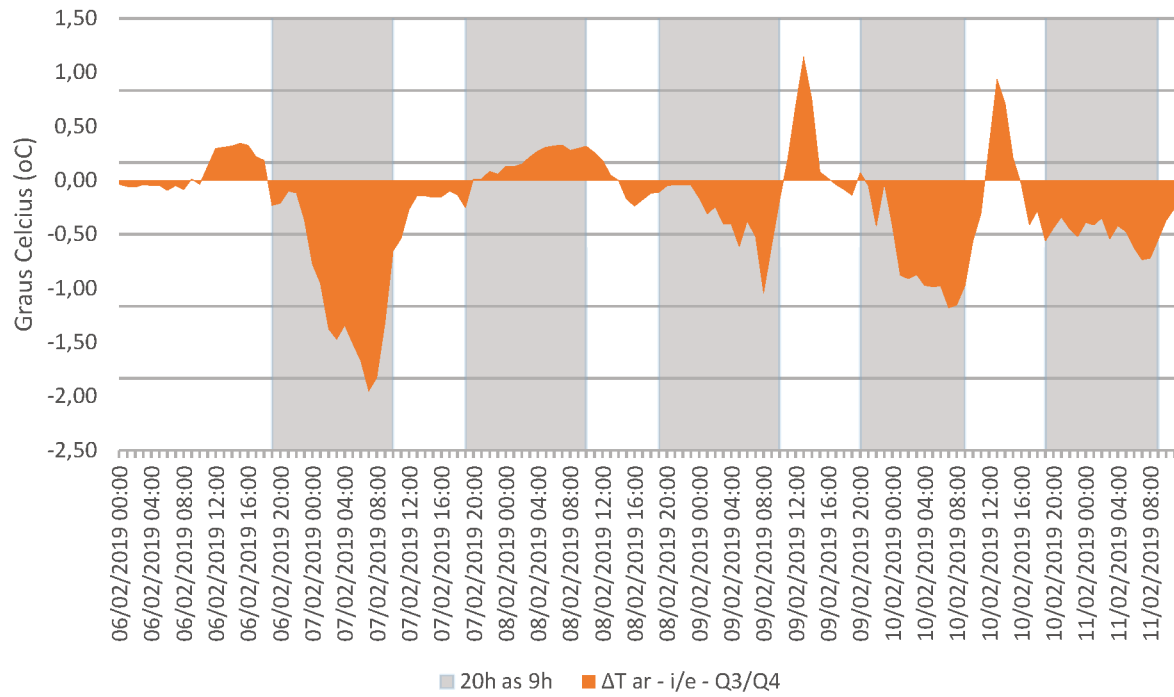
Figura 66 - Diferença entre temperatura interna e externa horária



Este comportamento indica que o Q3 apresentou menor amortecimento do que o Q4, principalmente durante a noite, nos períodos com ventilação noturna (salvo no dia 7 para 8, provavelmente devido a valores baixos de velocidade do ar externo), mesmo ao longo do dia apresentando amortecimento térmico ligeiramente menor do que o Q3. Quando a temperatura externa está muito alta, deseja-se que ocorra maior amortecimento térmico interno ao longo do dia e que, durante a noite, quando as temperaturas externas estão mais baixas, que o amortecimento térmico interno seja o menor possível.

A Figura 67 representa de forma mais clara esta diferença de amortecimento entre os dois cômodos ($Text - TintQ3 / Text - TintQ4$), indicando que o Q4 obteve até 2 °C de resfriamento em relação ao Q3, ao aproveitar a ventilação noturna.

Figura 67- Diferença do amortecimento térmico entre Q3 e Q4



6 CONCLUSÕES

As informações levantadas e analisadas neste trabalho visam contribuir para o entendimento de como as paredes de adobe, que possuem alta massa térmica e comportamento higroscópico, se comportam em clima subtropical úmido com verão quente como o de Florianópolis (SC) em uma residência e se, neste contexto, atuam para aumentar as horas em conforto higrotérmico nos ambientes internos ao longo do ano.

A primeira parte desta pesquisa consistiu em caracterizar o clima local, a residência e o padrão de ocupação. Como resultado encontrou-se que as medições de temperatura do ar externa in loco e no Labsolar foram análogas (variando com a mesma intensidade) porém as registradas no Labsolar foram, em geral, mais altas e que, no período de verão, as diferenças diminuíram. Já os registros de umidade relativa do ar média diária registrada pelo Labsolar apresentou valores máximos e mínimos significativamente mais acentuados, resultando em amplitude maior do que registrado in loco. O sensor utilizado para as medições in loco não registrou valores de umidade relativa acima de 90%. Para análise de umidade relativa com maior acurácia recomenda-se coletar os dados in loco, com um sensor específico para áreas externas e registre valores de umidade relativa até 100%.

Foi visto que, em comparação com os demais materiais analisados (concreto, tijolo, argamassa), o adobe possui boa relação efusividade/difusividade, indicado para paredes com alta massa térmica devido a sua facilidade de absorver e liberar calor (alta efusividade) e dificuldade de transmitir sua variação de temperatura (baixa difusividade).

Em relação ao padrão de ocupação, os moradores da residência analisada relatam que consideram a temperatura do ar aceitável algo importante para seu conforto e operam as janelas como estratégia para adequar a temperatura do ar interna: quanto mais calor sentem, mais janelas abrem, quanto mais frio sentem, mais janelas fecham. Este comportamento nos períodos frios condiz com o recomendado para edificações com alta inércia térmica, mantendo a edificação predominantemente fechada e aproveitando a irradiação solar (venezianas abertas) para aquecimento solar passivo. No entanto, no período quente, foi relatado o uso de ventilação de conforto ao longo do dia, o que prejudica a performance da estratégia de massa térmica, porém permite aos usuários uma redução da sensação de desconforto por calor momentânea, na medida que há movimento do ar pelos corpos dos usuários. Este movimento do ar ao longo do

dia, no verão, por vezes, supre uma expectativa do usuário em relação a seu ambiente construído.

A segunda parte desta pesquisa avaliou o comportamento higrotérmico de oito ambientes, considerando períodos ocupados e desocupados no período frio e no período ameno e momentos ocupados no período quente. O resultado destas medições mostrou que as temperaturas internas apresentam amortecimento térmico, mais acentuado para as temperaturas externas mais baixas do que para as mais altas – efeito desejado nos períodos com desconforto térmico por frio e indesejado nos períodos de desconforto térmico por calor. Outro efeito evidente nas medições foi o atraso térmico, sendo no período frio levou até 4 dias para os ambientes internos responderem a uma queda de temperatura de 9°C no ambiente térmico externo, melhorando o conforto térmico interno em relação às temperaturas externas. Uma característica da inércia térmica é que será necessário uma sequência de dias com temperaturas mais altas e incidência de radiação solar para reaquecer a casa.

Ao analisar os ambientes separadamente ao longo do período frio e ameno é possível distinguir três comportamentos: a) os ambientes que encontram-se mais aquecidos e que possuem variação de temperatura “suavizada”, sem frequentes picos de temperatura, a exemplo do Quarto 1 e do escritório, b) os ambientes cujas temperaturas, na maior parte do tempo, não são nem as mais altas nem as mais baixas registradas, no entanto respondem com maior intensidade e rapidez ao aumento de temperatura externa e da radiação solar, apresentando picos de aquecimento significativos, a exemplo da sala e da cozinha, e c) os ambientes que, na maior parte das horas, apresentam as temperaturas mais baixas, sem picos evidentes de aquecimento, como os quartos do pavimento superior.

No período quente a distinção de comportamentos térmicos não ocorre tão claramente. Os Quartos 4 e 5, por exemplo, destacam-se por, em um mesmo período, apresentar as temperaturas mais baixas e as temperaturas mais altas, apresentando menor amortecimento térmico que os demais cômodos. Como a cozinha e a sala são ambientes contíguos e possuem grande área envidraçada ($A_{ab}/A_{piso} = 45\%$) sem a possibilidade de controle solar pelo usuário, a relação direta entre o aumento da radiação solar e da temperatura externa e o aumento da temperatura interna dos ambientes é esperada, o que gera picos de temperatura interna. Como a área envidraçada não armazena o calor (baixa capacidade térmica) e possui alta transmitância térmica, estes cômodos também resfriam mais rapidamente do que outros com menor área de abertura por área de piso.

O Quarto 1 destaca-se por apresentar temperaturas superiores aos demais ambientes, sendo que suas temperaturas internas são ultrapassadas apenas por picos de temperatura na sala e na cozinha. A orientação das fachadas voltadas a norte e leste contribuiu para o aquecimento do ambiente, uma vez que durante boa parte do dia as fachadas externas do cômodo receberam radiação solar. Percebe-se que após uma sequência de dias com alta radiação solar, o cômodo atingia picos de temperatura e a estrutura não resfriava de maneira proporcional a temperatura externa, durante a noite. No período do verão, após as medições desta pesquisa terminarem, os usuários decidiram instalar um ar-condicionado no quarto 1, devido a sensação de intenso desconforto por calor, principalmente à noite.

O escritório foi o ambiente que apresentou a melhor resposta ao resfriamento noturno no período quente. A orientação leste contribuiu para que o ambiente pudesse ser resfriado mais facilmente ao longo da noite, no período quente, assim como sua localização junto ao solo (pavimento térreo) e cobertura sem contato direto com o ambiente externo.

Ao longo dos 9 meses de medição a Cozinha e o Quarto 1 se destacaram por apresentar as maiores porcentagens de horas em conforto térmico (77,6% e 75,3%, respectivamente), enquanto o quarto 5, o escritório e a sala apresentaram os maiores valores de horas em desconforto térmico (46%, 34,1% e 33,7%, respectivamente). Ao analisar nos períodos frio, ameno e quente, foi possível perceber que o Quarto 1 apresentou ótimo desempenho no período frio e ameno e que, no período quente, acusou 59% de horas em desconforto térmico, mais de metade das horas analisadas na carta bioclimática de Givoni. Estes dados corroboram com os relatos dos usuários, de que este cômodo apresentou superaquecimento no verão, momento em que a residência foi mais utilizada.

Ao avaliar o período quente, percebe-se que não há diferença expressiva entre os ambientes, sendo o percentual de desconforto por calor predominante (95% no ambiente exterior, 44% no escritório e 59% no Quarto 1). Mesmo os ambientes internos com melhor desempenho (escritório e cozinha) apresentam apenas pouco mais da metade das horas analisadas em conforto, condição que apresenta melhoras em relação a temperatura externa, no entanto, torna-se desconfortável para os usuários, justamente quando a residência é mais utilizada (férias de verão).

Este resultado indica que, no clima subtropical úmido, as paredes de tijolos de adobe com grandes espessuras (neste caso de 30 cm), que possuem alta inércia térmica, devem ser aplicadas em uma edificação que apresente um conjunto de fatores favorável a seu desempenho

ótimo: sombreamento no verão, potencial de ventilação noturna, operação dos usuários (manter aberturas fechadas ao longo do dia e abertas à noite, uso de insufladores para favorecer as trocas de ar). Os cômodos voltados à norte e à oeste tendem a sobreaquecer mais do que os voltados a leste e a sul, sendo que no período frio os cômodos a sul podem apresentar maior porcentagem de horas em desconforto por frio. A cobertura do ambiente é um fator que influencia, em geral aumentando a amplitude térmica interna. Por indicação dos dados plotados na carta bioclimática, todos os ambientes deveriam ter maior sombreamento da envoltória e ventilação nos períodos quentes e, no frio, estratégia de valor alto de massa térmica para aquecimento também foi recomendada.

Em relação a influência de horas anteriores percebe-se alto número de horas anteriores influentes em todos os cômodos, variando entre 124 e 129 h, ao longo dos 9 meses de medições. Esta pesquisa mostrou que, no período frio, a temperatura interna responde melhor a média de um número maior de horas anteriores, do que no período quente. Esta relação acontece pois no período frio a casa é mantida mais fechada e, também, há menor incidência de radiação solar. A sala, a cozinha e os quartos 3, 4 e 5 apresentaram menor diferença entre o número de horas entre período quente e frio, sendo cômodos que possuem cobertura voltada para o ambiente externo, o que permite troca de calor mais intensa entre ambiente interno e ambiente externo.

A alta influência da radiação solar de horas anteriores na temperatura interna dos quartos 1, 2, 4 e 5, ao longo do período quente, ficou evidente. No período ameno, o quarto 1 destacou-se por apresentar um número de horas anteriores influentes expressivo (98h), o que colabora com a compreensão de que este quarto, por ser voltado a norte, apresenta grande influência da radiação solar, apresentando bom desempenho em termos de aquecimento solar passivo.

Em relação a umidade ambiente também foi registrada, em todos os períodos e em todos os cômodos, uma influência de horas anteriores também na umidade absoluta. A maior influência foi registrada no Quarto 1, no período frio, sendo de 35 horas anteriores e as menores foram registradas nos quartos 3 e 4, no período quente.

A terceira parte desta pesquisa avaliou o comportamento térmico de dois dormitórios voltados a leste com operação das aberturas controlada. Como resultado desta pesquisa, percebeu-se resfriamento de até 2 °C da temperatura interna do ar através da ventilação noturna. Além das variáveis temperatura e da umidade interna e externa, foram coletadas as temperaturas

superficiais. A velocidade do ar externo, o horário de abertura e fechamento das aberturas, influencia no aproveitamento do potencial de ventilação noturna.

Portanto, o comportamento do usuário é influente na otimização da estratégia de alta massa térmica. Quando a alta massa térmica é utilizada em cômodos de permanência prolongada (quartos e sala) é provável que, em algum momento do período quente, os usuários sintam desconforto por calor de forma inaceitável e precisem recorrer a estratégias de condicionamento artificial. Neste caso, com a instalação de equipamentos refrigeradores do ar, a eficiência energética destes equipamentos tende a ser baixa, pois a grande quantidade de massa presente nas paredes e sua alta capacidade térmica não otimiza o condicionamento artificial de ar interno, uma vez que a estrutura não é isolada termicamente e perde calor para o ar interno, sobrecarregando o equipamento de ar condicionado e, conseqüentemente, gastando mais energia elétrica. Dentre possíveis soluções para evitar situações como esta seria: Permitir que estes cômodos consigam perder calor mais facilmente (paredes com baixa massa térmica, ventilação cruzada noturna efetiva, ventiladores) ou evitar os ganhos de calor nos períodos quentes (orientação solar dos cômodos, sombreamento das fachadas, dispositivos de proteção solar nas aberturas, isolamento térmico nas paredes externas, evitar ventilação nos momentos em que o ar externo estiver mais quente que o interno).

Outra observação que foi possível realizar ao longo deste trabalho é que a carta bioclimática é uma ferramenta útil no processo de projeto arquitetônico bioclimático, porém é necessário salientar alguns de seus limites de aplicabilidade. Fatores como o padrão de ocupação dos usuários, citados como determinante para o comportamento higrotérmico de uma edificação, não são levados em consideração na carta bioclimática. Estratégias como ventilação de conforto e ventilação noturna, importante para a otimização da massa térmica para resfriamento, são diretamente relacionadas à maneira como os usuários operam as aberturas.

Uma questão importante é que a carta bioclimática é sensível à amplitude térmica anual, porém não a amplitude térmica diária, pois os dados de temperatura e umidade são plotados sem discriminar o dia e a hora em que foram registrados. A massa térmica para resfriamento, por exemplo, é mais eficiente em um contexto climático com grande amplitude térmica diária e com ventilação noturna, pois permite que a estrutura resfrie durante a noite, período que, em geral, apresenta temperaturas mais frias que ao longo do dia.

As principais limitações desta pesquisa estão relacionadas a coleta dos dados. Como a edificação avaliada é uma residência com ocupação, as medições tiveram limitações devido a

disponibilidade dos usuários. Foi possível coletar apenas os dados de temperatura e umidade, visto que os sensores utilizados deveriam ser dataloggers e os mais discretos possíveis, para não interferir no cotidiano dos usuários. A locação dos sensores não foi exatamente no centro do ambiente, e sim em superfícies de móveis, buscando evitar a radiação solar (o que interferiu em alguns momentos das medições, que tiveram que ser descartados). A operação das aberturas e do modo de ocupação desta edificação não foi monitorado em detalhe. Não foi possível calcular a temperatura operativa, pois os dados de temperatura radiante média dos cômodos não foram coletados, limitação que influenciou nos resultados do método adaptativo.

6.1 SUGESTÕES DE TEMAS PARA FUTURAS PESQUISAS

- Comparar o comportamento higrotérmico de ambientes com envoltória de adobe com diferentes espessuras;
- Identificar a adequação dos limites de atraso térmico apresentados pela NBR 15220 às diferentes zonas bioclimáticas;
- Comparar resultados de simulação computacional com o algoritmo de HAMT (Heat and moisture transfer) e comparar com os resultados de medições in loco.
- Comparar o comportamento térmico dos ambientes com envoltória de alta massa térmica no verão com diferentes níveis de sombreamento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711 – 728, dez. 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 20 fev. 2018.
- ARUNDEL, A. V. et al. Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. **Environ Health Perspect**. v. 65, p. 351–361, mar. 1986. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1474709/>. Acesso em: 15 out. 2017.
- ASHRAE. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. 2017.
- ASTM C1549-09. **Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer**, 2014.
- ASTM E903-12. **Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres**, 2012.
- BALARAS, C. A. The role of thermal mass on the cooling load of buildings: An overview of computational methods. **Energy and Buildings**. v. 24, n. 1, p. 1-10. 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378778895009566>. Acesso em: 25 out. 2017.
- BOGO, A. J. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório de Pesquisa. Florianópolis, 1994. Disponível em: www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia. Acesso em: 25 out. 2017.
- CAGNON, H. et al. Hygrothermal properties of earth bricks. **Energy and Buildings**. v. 80, p. 208-217, set. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814004162>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- CARTANA, R. P. **Oportunidades e limitações para bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico**: estudo de caso em Florianópolis – SC. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- CASTELLARNAU, Á. Construcción de una vivienda con muros de tapial en ayerbe, huesca. Fase 1: estructura y cerramientos. Construcción con Tierra Pasado, presente y futuro.

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos. **Anais...** Valladolid: Universidad de Valladolid, 2012. Disponível em:
<https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/25in-castellarnau.pdf>.
 Acesso em 19 nov. 2017.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Nova York: McGraw-Hill, 2012.

CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**. v. 78, n. 4, p. 528-534, abr. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X04001100>. Acesso em: 13 fev. 2018.

CHRISTOFOROU, E. et al. Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. **Journal of Cleaner Production**. v. 112, n. 1, p. 443-452, jan. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012378>. Acesso em: 14 fev. 2018.

COMMITTEE, J. A. Z. T. **NZS 4297: Engineering design of earth buildings** [Building Code Compliance Documents B1 (VM1), B2 (AS1)]. New Zealand Standards, 1998.

DAL SOGLIO, C. R. et al. **Análise das propriedades radiativas de três tintas acrílicas e uma tinta natural aplicadas a três substratos**. ENTAC 2018 XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, PR, 2018.

DELINIÈRE, R. et al. Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. **Building and Environment**. v. 80, p. 11-17, out. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132314001486>. Acesso em: 16 fev. 2018.

DETHIER, J.; HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire**. Editions du Centre Pompidou. Paris, 2009.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective. **Energy and Buildings**. v. 43, n. 7, p. 1589-1597, jul. 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811000776>. Acesso em 16 jan. 2018.

DOROTHÉE, A. Recognition of a heritage in danger: rammed-earth architecture in Lyon city, France. **Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2018. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/143/1/012054>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DOS SANTOS, C. A. **Construção com terra no brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

E.080, N. **Diseño y construcción con tierra reforzada**. Lima, 2017.

EL FGAIER, F. et al. Thermal performance of unfired clay bricks used in construction in the north of France: Case study. **Case Studies in Construction Materials**. v. 3, p. 102-111, dez.

2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509515300097>. Acesso em: 15 jan. 2018.

EL FGAIER, F. et al. Effect of sorption capacity on thermo-mechanical properties of unfired clay bricks. **Journal of Building Engineering**. v. 6, p. 86-92, Jun. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710216300201>. Acesso em: 20 out. 2017.

EMBRAPA et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 1997.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro: 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/RelatórioSíntese2018-ab2017vff.pdf>. Acesso em: 20 set. 2017.

FATHY, H. **Construindo Com o Povo - Arquitetura para os Pobres**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1982.

FLORENSA, R. S. **Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

FLORENSA, R. S.; ROURA, C. H. **Arquitectura y Energia Natural**. Barcelona: UPC ed. Barcelona, 1995.

FOUCHAL, F. et al. Experimental evaluation of hydric performances of masonry walls made of earth bricks, geopolymer and wooden frame. **Building and Environment**. v. 87, p. 234-243, Maio, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315000517>. Acesso em: 15 jun. 2018.

FREYESLEBEN, L.M.C. **Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis**. Trabalho Técnico. Florianópolis, UFSC, 1979.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. v. 18, p. 11-23, 1992. Disponível em: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_6454.pdf. Acesso em: 23 jan. 2018.

GONZALEZ, E. et al. **Proyecto, clima y arquitectura**. v. 3. México: Gustavo Gili, 1986.

GONZÁLEZ, J. N. **Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible**. Madrid: Arquitectura y Tecnología, 2004.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

GOULART, S. V. G. **Thermal Inertia and Natural Ventilation: Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil**. [s.l.] Tese (Doutorado) - Architectural Association School of Architecture Graduate School, 2004.

HALL, M.; DJERBIB, Y. Moisture ingress in rammed earth: Part 1 - The effect of soil particle-size distribution on the rate of capillary suction. **Construction and Building Materials**. v. 18, n. 4, p. 269-280, mai. 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061803001387>. Acesso em: 27 fev. 2018.

HALL, M. R.; CASEY, S. Hygrothermal behaviour and occupant comfort in modern earth buildings. **Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications**. p. 17-40. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090263500022>. Acesso em: 18 mar. 2018.

HALL, M. R.; LINDSAY, R.; KRAYENHOFF, M. Overview of modern earth building. **Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications**, p. 3–16, jan. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090263500010>. Acesso em: 18 mar. 2018.

WALKER, P. HB 195. **The Australian earth building handbook**. Sydney: Standards Australia, 2009.

HERZOG, J.; DE MEURON, P. **Ricola Kräuterzentrum**. 2014. Disponível em: <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/351-375/369-ricola-kraeuterzentrum.html>. Acesso em 14 dez. 2017.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 151 p. Geneva, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso em: 15 jan. 2018.

ISO. **ISO 8301:1991. Thermal insulation: Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus**. 1991.

LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY**. 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 18 set. 2019.

LABEEE. **Analysis Bio**, versão 2.1.5. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/Labeee. v. 1, 123 p., 2010. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf. Acesso em: 19 nov. 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAVIGNE, P. **Architecture Climatique: Une Contribution au développement durable**. Tome 1: Bases Physiques. 1. ed. Chaudoreille: 1994.

LEPTEN/LABSOLAR. **Estações online - Projeto LTCLIMA**. 2019.

LIUZZI, S. et al. Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and

hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. **Building and Environment**. v. 61, p. 82-92, mar. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132312003289>. Acesso em: 24 mar. 2018.

MAILLARD, P.; AUBERT, J. E. Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on their hygrothermal properties. **Construction and Building Materials**. v. 63, p. 56-61, jul. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814003183>. Acesso em: 29 abr. 2018.

MARSH, A. **SUNTOOL v1.10** - Window Shading and Overshadowing. Perth (Australia): Square one research PTY LTD. 2002.

MARTÍN, S.; MAZARRÓN, F. R.; CAÑAS, I. Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 666-676, Maio 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061809003870>. Acesso em: 25 jan. 2018.

MCGREGOR, F. et al. The moisture buffering capacity of unfired clay masonry. **Building and Environment**, v. 82, p. 599-607, dez. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003199>. Acesso em 26 jan. 2018.

MCGREGOR, F. et al. A review on the buffering capacity of earth building materials. **Construction Materials**, v. 169, n. 5, p. 241-251, out. 2016. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/jcoma.15.00035>. Acesso em: 2 fev. 2018.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, dez. 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657/2013>. Acesso em 7 fev. 2018.

MINKE, G. **Building with Earth**. Mother Earth News, 2009.

MOREL, J. C. et al. Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. **Building and Environment**. v. 36, n. 10, p. 1119-1126, dez. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132300000548>. Acesso em 15 mar. 2018.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP / PROTERRA, 2011.

NZS 4298. NZS 4298 (1998): **Materials and workmanship for earth buildings**. New Zealand Technical Committee, 1998.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008. 216 p.

OLIVER, P. **Build to meet needs**: cultural issues in vernacular architecture. 1 ed. Oxford:

Architectural Press, 2006.

ONSET COMPUTER CORPORATION. **HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger**, 2014.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and Building Materials**. v. 29, p. 512-519, abr. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811006039>. Acesso em 25 jan. 2018.

PAPST, A. L. **Uso da Inércia Térmica no Clima Subtropical** – Estudo de Caso em Florianópolis – SC. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

PAPST, A. L. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391-3399, dez. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811003884>. Acesso em: 18 mar. 2018.

PONS, M. S.; SHANK, W.; LÓPEZ, L. F. **Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals**. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing, 2015.

PROJETEEE. **Projeteee** – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: 25 set. 2017.

PUCHALSKI, L. Janeiro de 2019 foi o mais quente já registrado em Florianópolis. In: **NSC TOTAL**. [s. l.], 1 fev. 2019. Disponível em: <https://www.nscotal.com.br/colunistas/puchalski/janeiro-de-2019-foi-o-mais-quente-ja-registrado-em-florianopolis>. Acesso em: 5 fev. 2019.

QIN, M. et al. Simulation of whole building coupled hygrothermal-airflow transfer in different climates. **Energy Conversion and Management**. v. 52, n. 2, p. 1470-1478, fev. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410004541>. Acesso em: 25 ago 2019.

RAMOS, G. **Fatores socioculturais e a percepção de conforto térmico em edificações residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. No prelo.

RAMOS, N. M. M.; DE FREITAS, V. P. The Evaluation of Hygroscopic Inertia and Its Importance to the Hygrothermal Performance of Buildings. In: Delgado J. (eds) **Heat and Mass Transfer in Porous Media**. Advanced Structured Materials, Berlin: Springer. v. 13, p. 25-45. out. 2011. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-21966-5_2#citeas. Acesso em: 4 fev. 2018.

REILLY, A.; KINNANE, O. The impact of thermal mass on building energy consumption. **Applied Energy**. v. 198, p. 108–121, 15 jul. 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261917304178>. Acesso em: 24 jan. 2018.

REMPEL, A. R.; REMPEL, A. W. Intrinsic evaporative cooling by hygroscopic earth materials. **Geosciences**, v. 6, n. 3, ago. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307553221_Intrinsic_Evaporative_Cooling_by_Hygroscopic_Earth_Materials. Acesso em: 17 mar. 2018.

RIJAL, H. B. et al. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. **Energy and Buildings**. v. 39, n. 7, p. 823-836, jul. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778807000400>. Acesso em 15 jan. 2018.

RIVERO, R. **Condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Lurazzato editores: ed. da Universidade da UFRGS, 1985.

RODE, C. et al. **Moisture Buffering of Building Materials**. Department of Civil Engineering Technical. University of Denmark. Denmark: 2005. Disponível em: http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:75984/datastreams/file_2415500/content. Acesso em: 27 mar. 2018.

SCAPIN, M. A. **Aplicação da difração e fluorescência de raios-X (WDXRF): ensaios de argilominerais**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SEDLBAUER, K. Prediction of mould growth by hygrothermal calculation. **Journal of Building Physics**. v. 25, n. 4, p. 321-336, abr. 2002. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0075424202025004093>. Acesso em 15 jan. 2018.

SERRANO, S.; DE GRACIA, A.; CABEZA, L. F. Adaptation of rammed earth to modern construction systems: Comparative study of thermal behavior under summer conditions. **Applied Energy**. v. 175, p. 180-1881, ago. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191630592X>. Acesso em 14 set. 2018.

SHAVIV, E.; YEZIORO, A.; CAPELUTO, I. G. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. **Renewable Energy**. v. 24, n. 3-4, p. 445-452, nov. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148101000271>. Acesso em 19 fev. 2018.

SHUKLA, A.; TIWARI, G. N.; SODHA, M. S. Embodied energy analysis of adobe house. **Renewable Energy**. v. 34, n. 3, p. 755-761, mar. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148108001729>. Acesso em: 25 mar 2018.

HUBER, ANNE-LOUISE. **Regeln zum Bauen mit Lehm**. In: SIA-Dokumentation. Zurich: 1994.

SILVEIRA, F. L. D. **Determinando a umidade absoluta do ar a partir da umidade**

relativa. Porto Alegre, out. 2018. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/328049550>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SOUDANI, L. et al. Assessment of the validity of some common assumptions in hygrothermal modeling of earth based materials. **Energy and Buildings**. v. 116, p. 498–511, mar. 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816300251>. Acesso em: 25 set. 2017.

SOUDANI, L. et al. Energy evaluation of rammed earth walls using long term in-situ measurements. **Solar Energy**. v. 141, jan. 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/310593500_Energy_evaluation_of_rammed_earth_walls_using_long_term_in-situ_measurements. Acesso em 25 set. 2017.

TAYLOR, P.; LUTHER, M. B. Evaluating rammed earth walls: A case study. **Solar Energy**, v. 76, n. 1–3, p. 79-84, mar. 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X03003062>. Acesso em: 28 set. 2018.

TERRA AWARD. **Prêmio internacional da arquitetura contemporânea em terra**. 2018.

Disponível em: <http://terra-award.org/>. Acesso em: 29 set. 2018.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**. v. 37, n. 4, p. 429-435, Abr. 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132301000336>. Acesso em 28 set. 2018.

THORMARK, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**. v. 41, n. 8, p. 1019–1026, ago. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305001605>.

Acesso em 28 set. 2018.

UNEP. **Buildings and Climate Change Status**. Summary for Decision Makers. Paris, 2009.

Disponível em: <file:///C:/Users/User1/Downloads/3657-12343-1-PB.pdf>. Acesso em 2 out. 2018.

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Design**: Energy-efficient building principles and practices. New York: McGraw-Hill, 1983.

ZAMI, M. S.; LEE, A. Economic benefits of contemporary earth construction in low-cost urban housing - State-of-the-art review. **Journal of Building Appraisal**. v. 5, n. 3, p. 259–271, jan. 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1057/jba.2009.32>. Acesso em 25 mar. 2018.

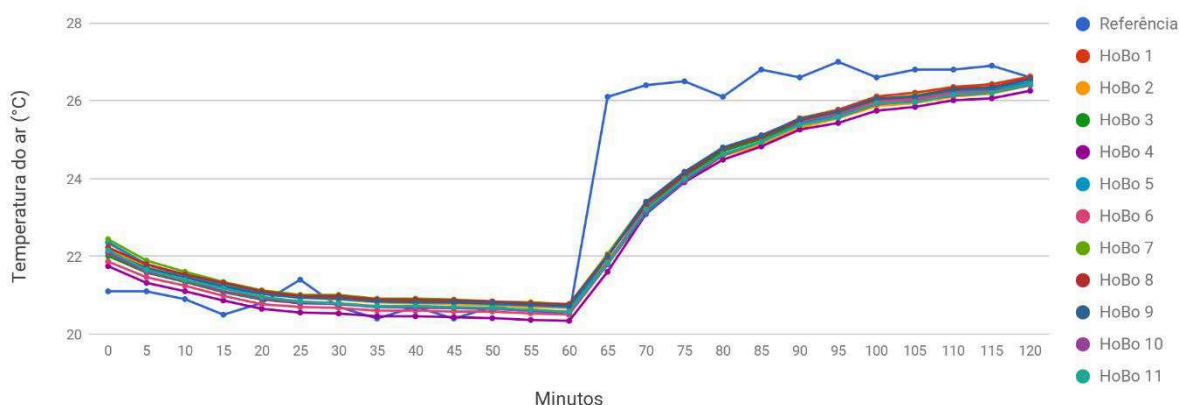
APÊNDICE A

Calibração dos HOBO dataloggers Temp/RH

Como referência para calibração dos Data Logger HOBO® foi utilizado um sensor de temperatura tipo termoresistor, com faixa de medição de 0 a 90 °C, resolução de 0,1 °C, incerteza de 0,2 °C, com intervalo de confiança de 95% e Sensor de Umidade Relativa tipo capacitivo, marca Honeywell, faixa de medição de 5 a 98 %, incerteza de 3 %.

Os 11 equipamentos foram calibrados em uma sala com ar condicionado instalado e com a possibilidade de abrir as janelas para ventilação natural, sendo posicionados em uma mesa de madeira. A calibração durou 2 horas, sendo que nos primeiros 60 minutos o ar condicionado estava ligado na temperatura de 20 °C, sendo desligado após o minuto 60 da medição. As Figura 68 e Figura 69 mostram o resultado desta calibração, para valores de temperatura e de umidade do ar, respectivamente.

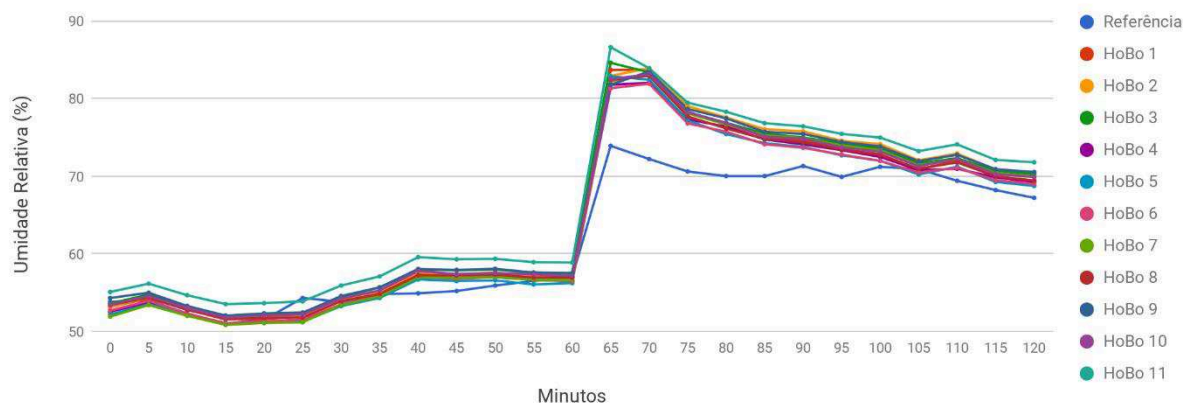
Figura 68 – Calibração de temperatura dos Data Loggers HOBO® Temp/RH



Fonte: Elaborado pela autora.

O registro de temperatura indicou que o equipamento de referência registrou mudanças bruscas na temperatura mais rapidamente (5 minutos) do que os HOBOS, que demoraram cerca de 60 minutos para registrar os mesmos valores apresentados pelo equipamento de referência. Este fato indica que mudanças bruscas de temperatura não são registradas de imediato pelos HOBOS e que há um atraso, que no caso da mudança de 20 °C para 26 °C foi de 60 minutos.

Figura 69 – Calibração de umidade relativa dos Data Loggers HOBO® Temp/RH



Fonte: elaborado pela autora

Os resultados da calibração mostraram uma distribuição de temperatura homogênea entre os Data Loggers HOBO®, sendo a curva entre eles muito similar. O equipamento de referência, no minuto 65, registrou valores de umidade relativa 14% abaixo dos registrados pelos HOBOS. Nestas condições, demorou 40 minutos para os dois equipamentos registrarem valores com diferenças de 5%, indicando que pode haver uma superestimação da umidade relativa destes equipamentos quando há mudanças bruscas no ambiente, fato que está relacionado à resposta da umidade. Pelo visto no gráfico, após 40 minutos esta diferença tende a diminuir. O HOBO número 11 apresentou diferenças de até 5% do equipamento de referência.

Tabela 11- Identificação do sensor utilizado em cada ambiente

Ambiente	Sensor utilizado no ambiente
Quarto 1	HOBO 9
Sala	HOBO e 7
Cozinha	HOBO 6
Escritório	HOBO 5
Quarto 2	HOBO 8
Quarto 3	HOBO 2
Quarto 4	HOBO 4
Quarto 5	HOBO 10
Externo	HOBO 11

APENDICE B

Propriedades termofísicas dos adobes

Os adobes coletados na obra foram desmanchados e refeitos, sendo submetidos a um processo de mistura com água, ação mecânica, moldagem por uma forma de madeira com dimensões de 10x30x30cm e secagem natural à sombra, atentando para o paralelismo e a homogeneidade das amostras. Após o processo de secagem as amostras apresentaram dimensões levemente menores do que as iniciais devido à retração da argila ao perder água através da evaporação. Os adobes utilizados na residência são compostos por solo e esterco de cavalo, misturados na proporção 1:0,25, respectivamente. A composição mineralógica, granulométrica e a presença de aditivos também influencia na condutividade térmica dos adobes.

Figura 70 – Amostra de adobe



O solo utilizado para confecção dos adobes foi coletado no canteiro de obras. A análise de granulometria foi realizada no Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais do Departamento de Engenharia Rural da UFSC. O objetivo da análise granulométrica é determinar a distribuição granulométrica do solo, porcentagem de peso que cada faixa de tamanho de grão representa na massa seca total da amostra. A distribuição foi determinada através da técnica de peneiramento e sedimentação (EMBRAPA et al., 1997). A caracterização mineralógica dos solos foi realizada no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) através de um difratograma de raios X. A difração de raios X é a técnica mais indicada para identificar e classificar por

argilominerais segundo sua disposição estrutural (fases cristalinas) e composição química, parâmetros fundamentais para a caracterização de solos, sedimentos e argilas (SCAPIN, 2003).

A condutividade térmica (λ) dos adobes foi aferida utilizando o dispositivo de placa quente protegida, de acordo com a © 8301 (ISO, 1991) no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Para a produção da amostra a ser medida, foram coletados no canteiro de obras adobes secos, do mesmo lote que os utilizados na envoltória da residência. As dimensões das amostras de adobes foram medidas e a massa foi determinada antes de cada medição e, com estas informações, foi calculada a densidade de massa aparente (ρ) (consta na tabela 14). A Tabela 1213 apresenta as características físicas das amostras de solo e de adobe.

Tabela 12 - Características das amostras

<i>Solo</i>			<i>Adobes</i>			
Características Granulares (%)		Características Mineralógicas		Dimensões (m)		Composição
Argila (<2 μm)	15,78	Minerais Argilosos	Caulinita	Comprimento	0,295	80% Solo
Silte (2-50 μm)	32,64	Outros	Quartzo	Largura	0,29	20% Esterco
Areia (50-2000 μm)	51,58		Mica	Altura	0,096	

A primeira medição da condutividade térmica (λ) dos adobes utilizando o dispositivo de placa quente protegida foi realizada com o adobe após 60 dias de secagem natural e à sombra, sujeito a umidade relativa do ambiente (UR_{amb1}). A segunda medição foi realizada 33 dias após a primeira, período em que o adobe ficou em um ambiente com umidade relativa controlada de 63% ($UR\ 63\%$), a terceira medição foi realizada logo após o adobe ficar em uma estufa a 80 °C por 14 dias ($UR\ 0\%$) e a quarta medição foi realizada 241 dias depois, com a amostra novamente sujeita a umidade relativa do ambiente (UR_{amb2}). Uma vez obtidos os dados de ρ , c e λ , a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C) foi calculada de acordo com o método indicado na NBR 15220-2 (ABNT, 2008) para as paredes de 30 e de 15 cm. O valor utilizado para o calor específico (c) foi determinado através da tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT, 2008), utilizando como referência o material “tijolos e telhas de barro”, na faixa de densidade de 1300-1600 kg/m^3 . A Tabela 1314 apresenta os valores de massa, densidade, condutividade térmica e calor específico obtidos para os adobes.

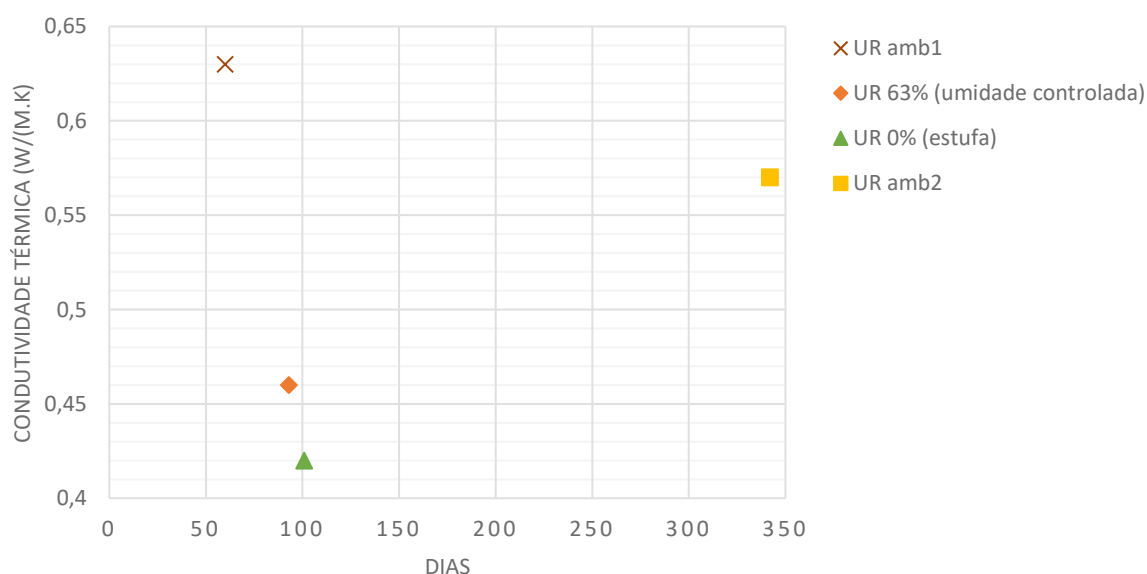
Tabela 13 - Propriedades termofísicas do adobe em relação a variação da umidade relativa

Propriedade	Un.	URamb ₁	UR 63%	UR 0%	URamb ²
Massa	kg	11,19	11,11	10,67	10,77
Densidade (ρ)	kg/m ³	1365,12	1335,36	1334,97	1347,48
Condutividade Térmica (λ)	W/(m.K)	0,63	0,46	0,42	0,57
Calor Específico (c)	kJ/kg.K	0,92	0,92	0,92	0,92
Difusividade	m ² x 10 ⁷	5,02	3,74	3,42	4,60
Efusividade	Ws ^{0,5} /m ² K	889,51	751,75	718,21	840,61

Fonte: elaborado pela autora (2019)

A faixa de resultados de condutividade térmica foi de 0,46 a 0,67 W/m.K, desconsiderando os valores obtidos após secagem em estufa. Com a variação da umidade relativa entre a primeira e a segunda medição o adobe apresentou uma diferença de condutividade térmica de 0,17 W/m.K e de densidade de 29,76 kg/m³, evidenciando que a umidade relativa do ar influencia significativamente no comportamento térmico dos adobes. Na Figura 71 é possível observar a variação da condutividade térmica das amostras em decorrência da variação da umidade relativa do ambiente.

Figura 71 - Condutividade térmica do adobe em relação a variação da umidade relativa



Fonte: elaborado pela autora

À medida que a amostra libera umidade sua condutividade térmica diminui, chegando a 0,42 W/m.K, logo após a secagem em estufa. Na quarta medição a amostra já apresenta uma

maior condutividade térmica (0,57 W/m.K) e maior densidade, o que indica que a amostra absorveu umidade. Este fenômeno indica que os sistemas construtivos constituídos por este material apresentam maior condutividade térmica em períodos com alta umidade relativa do ar do que em períodos secos.

A capacidade térmica (CT), transmitância térmica (U) e atraso térmico (φ) das paredes com 30 cm e com 15 cm foram calculados conforme as orientações da NBR 15220-2 (ABNT, 2008) e estão descritos na Tabela 1415.

Tabela 14 - Propriedades termofísicas do adobe em relação à variação da umidade relativa

<i>Propriedade</i>	<i>Un.</i>	<i>UR amb</i>		<i>UR 63%</i>		<i>UR 0%</i>		<i>UR amb²</i>	
<i>Espessura (e)</i>	cm	30cm	15cm	30cm	15cm	30cm	15cm	30cm	15cm
<i>Capacidade Térmica (C)</i>	kJ/m ² K	1,67	2,66	1,32	2,21	1,23	2,09	1,55	2,51
<i>Transmitância Térmica(U)</i>	W/m ² K	339,1	163,3	331,7	159,7	331,6	159,6	334,71	161,1
<i>Atraso térmico (φ)</i>	Horas	10,38	5,71	11,54	6,19	11,96	6,37	10,69	5,83

Fonte: elaborado pela autora

APENDICE C

Propriedades radiantes da tinta natural

Para a caracterização das propriedades radiantes da tinta natural foram realizados ensaios de emitância térmica e refletância solar, no Núcleo de Medição (NM) do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) no Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. A amostra de tinta natural (Figura 72) consiste em uma peça de reboco de cal e terra (1 areia:1 cal:0,5 terra) de 5x5 cm, coberta com três demãos da tinta natural. A tinta natural utilizada para cobrir a amostra de reboco foi coletada no canteiro de obra, sendo a mesma que foi utilizada para pintar as paredes externas da residência unifamiliar. Esta tinta é composta de cal para pintura com fixador, solo, pigmentos minerais (pó xadrez) e cola cascorez.

Figura 72 - Amostra de tinta natural camurça sobre reboco de cal e terra

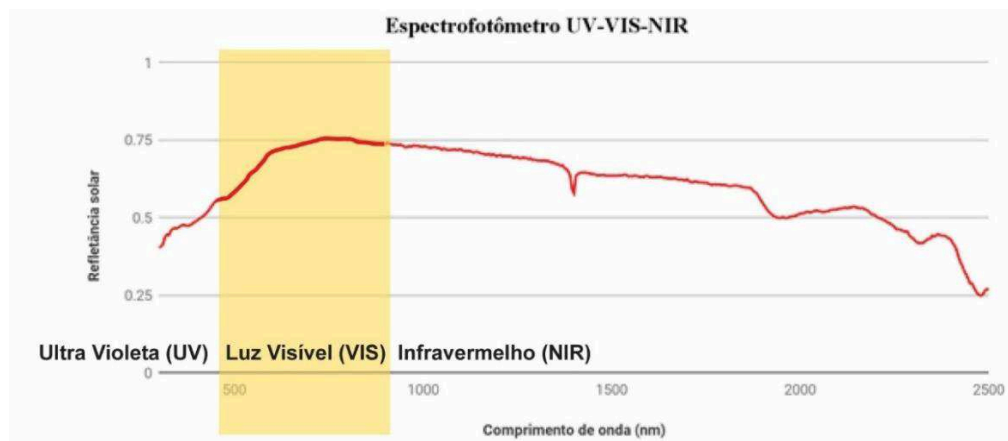


A amostra de tinta foi avaliada quanto a sua refletância por meio do refletômetro e do espectrofotômetro. O procedimento da norma ASTM C1549-09 (2014) indica o uso do refletômetro solar portátil para medições de refletância. Para este estudo, foi utilizado o modelo SSR-ER 6, da empresa *Devices and Services Company* (D&S). A refletância solar é calculada a partir de medidas em quatro comprimentos de onda: 380 nm, 500 nm, 650 nm e 1220 nm. Para a amostra de tinta obteve-se a média de 4 pontos medidos.

O espectrofotômetro com esfera integradora utilizado foi o modelo Lambda 1050, da empresa Perkin Elmer. De acordo com a norma ASTM E903-12 (2012), foram realizadas duas medições para a amostra de tinta, da qual se obteve a média. Os valores de refletância foram ajustados a um espectro solar padrão para o cálculo da refletância solar, obtendo os valores de refletância integrado em todos os comprimentos de onda (R_{fsol} - 300 a 2500 nm) e apenas para comprimentos de onda de luz visível (R_{fvis} - 380 a 780 nm). A absorptância foi calculada a partir

dos resultados de refletância. Obteve-se resultados para a refletância solar (RfSol) e para a refletância de luz visível (RfVis). A Figura 73 apresenta o resultado da refletância para diferentes comprimentos de onda do espectro solar. A partir desses dados obteve-se valores de 0,336 para a absortância no espectro de radiação solar e de 0,346 para absortância no espectro de luz visível.

Figura 73 - Refletância solar para diferentes comprimentos de onda



Fonte: DAL SOGLIO et al. (2018)

Para aferir a emitância da amostra de tinta natural sobre reboco de cal foi utilizado o emissômetro portátil de modelo AE1, fabricado pela empresa D&S. As medições foram realizadas conforme a norma ASTM C1371 (2015). Para cada amostra, o valor de emitância foi determinado a partir da média de 3 pontos distintos na amostra de tinta natural sobre reboco de cal, sendo de 90 segundos o intervalo entre medições. A Tabela 1516 apresenta os valores de refletância/absortância obtidos através do refletômetro para a tinta natural e o resultado da emitância térmica obtido pelo emissômetro para a amostra analisada. A tinta natural apresentou baixa refletância no espectro de ondas ultravioleta e comprimentos de onda abaixo de 1600 nm.

Tabela 15 - Valores de refletância/absortância obtidos através do Refletômetro.

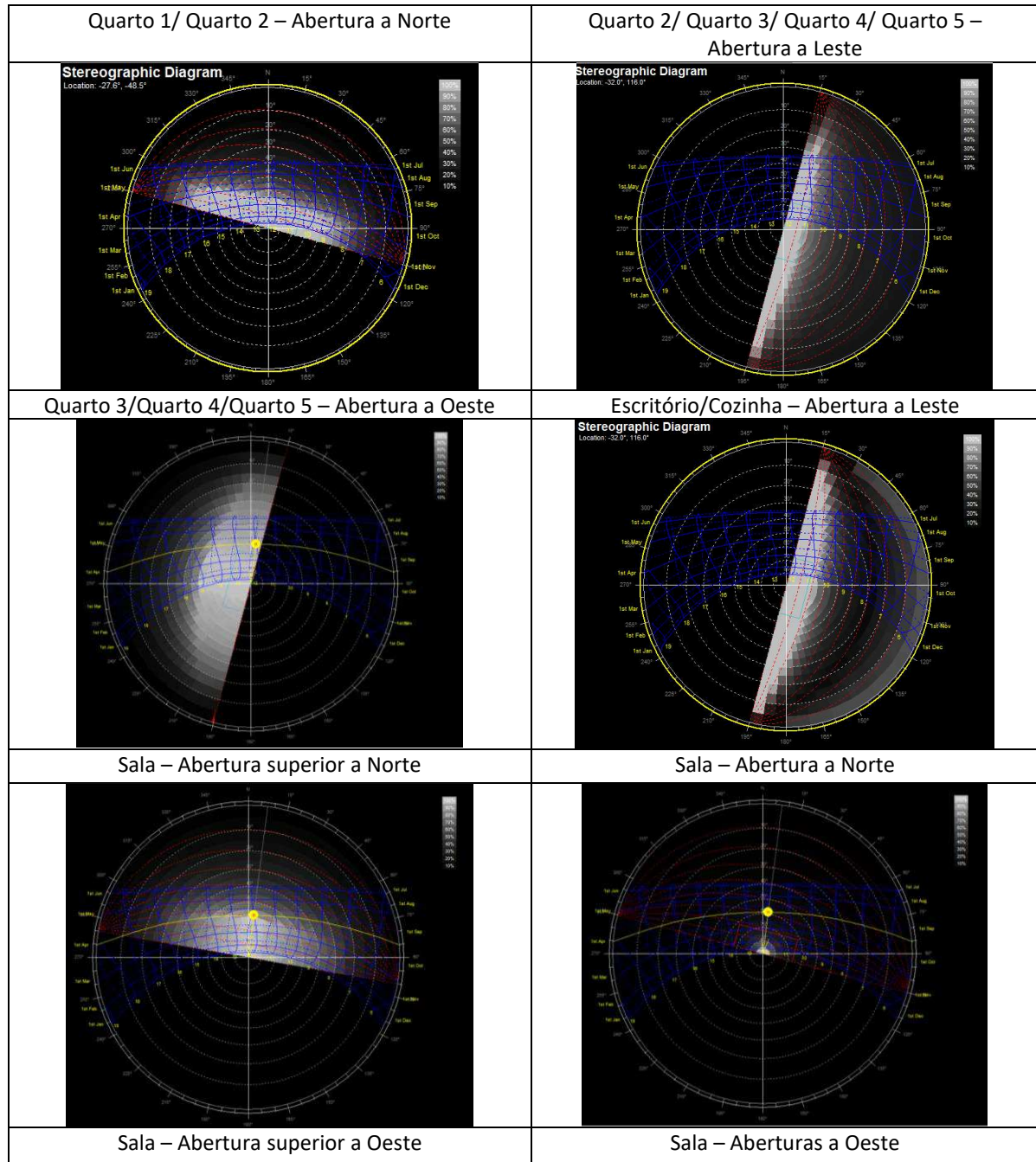
Material	Refletância	Absortância	Emitância térmica
Tinta Natural sobre Reboco de Cal	0,6773	0,3227	0,902

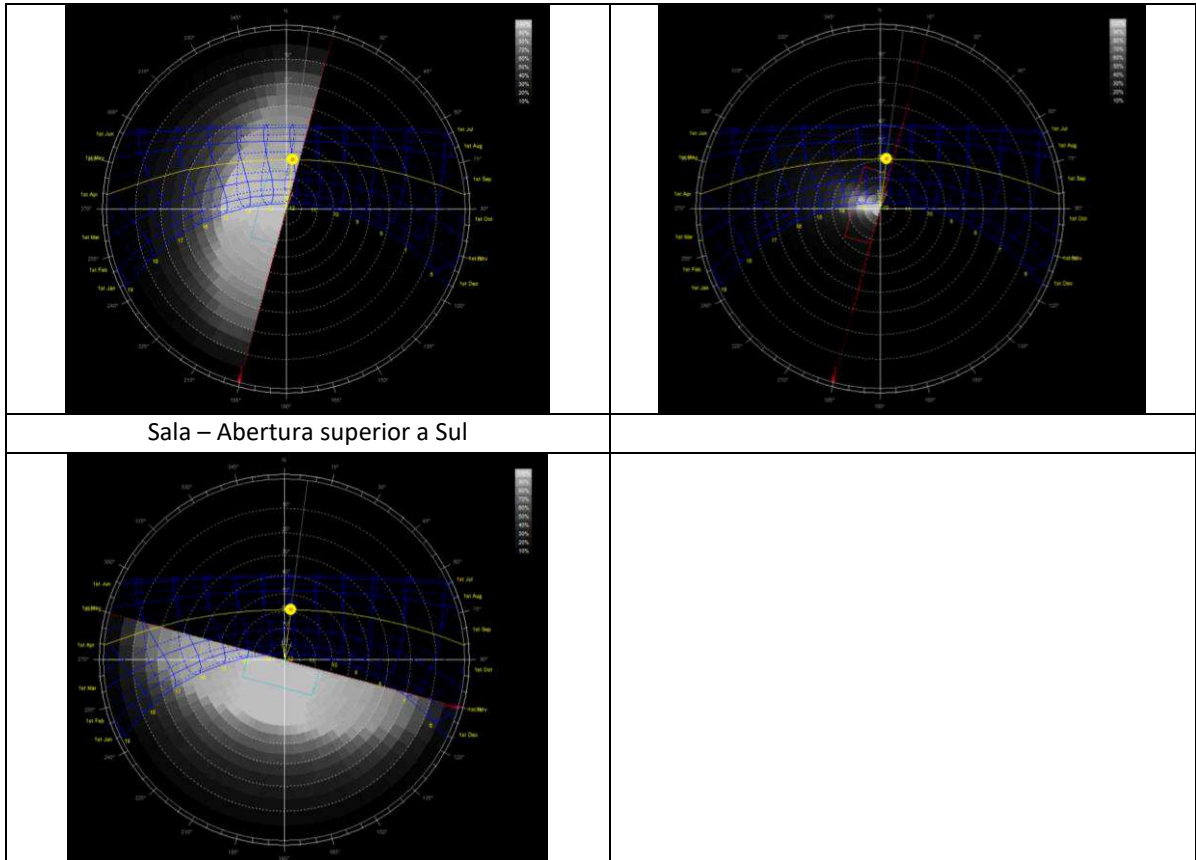
Os valores de absortância tiveram uma pequena diferença entre os diferentes métodos de medição. O valor obtido através do espectrofotômetro para ondas do espectro visível foi 4% maior do que o valor obtido através do refletômetro. A emitância obtida para o material estudado está de acordo com os valores encontrados na Norma 15220 (ABNT, 2008).

APÊNDICE D – Análise de proteção solar das aberturas

Para a realização deste estudo foi utilizado o programa Sun Tool (MARSH, 2002).

Figura 74 – Análise de proteção solar das aberturas da residência





APENDICE E

Resultados da carta bioclimática (Analysis Bio)

Tabela 16 - Resultados da carta bioclimática – 02/06/2018 a 02/03/2019

	Labsolar	Ext	Q1	Esqr.	Coz.	Sala	Q2	Q3	Q4	Q5
Conforto (%)	13,4	11,6	75,3	65,8	77,6	66,2	68,9	71,8	72,4	53,8
Desconforto (%)	86,6	88,4	24,7	34,1	22,4	33,7	31,0	28,2	27,6	46,2
Desconforto por frio (%)	71,1	65,4	2,6	15,0	7,6	11,5	11,3	19,2	16,0	37,2
Desconforto por calor (%)	15,5	22,9	22,1	19,1	14,9	22,2	19,7	9,1	11,7	9,0
Estratégias recomendadas (%)										
Ventilação	15,1	22,9	21,3	18,7	14,5	21,4	19,2	9,1	11,6	9,0
Alta massa térmica p/ resfr.	0,8	0,0	0,9	1,2	2,1	1,7	1,8	0,0	1,4	0,0
Resfr. evaporativo	0,7	0,0	0,9	1,2	2,1	1,7	1,8	0,0	1,4	0,0
Cond. artificial de ar	0,3	0,0	0,8	0,4	0,4	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0
Sombreamento	25,7	29,1	80,0	63,2	73,6	73,6	71,3	55,0	64,6	36,4
Alta massa térmica p/ aquec.	20,7	54,8	2,6	8,1	7,5	11,5	11,3	19,1	16,0	36,4
Aquec. solar passivo	2,1	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Aquec. artificial	48,3	0,5	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 17 - Dados plotados na carta bioclimática - 02/06/2018 a 02/03/2019

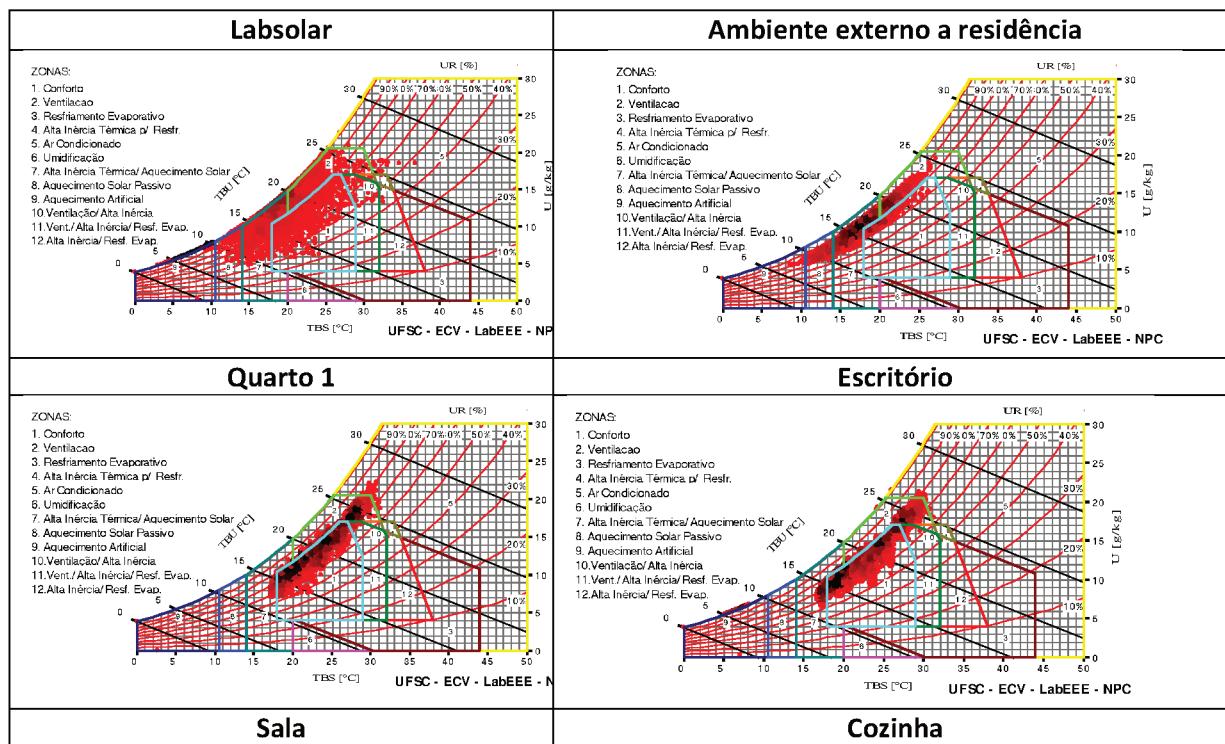
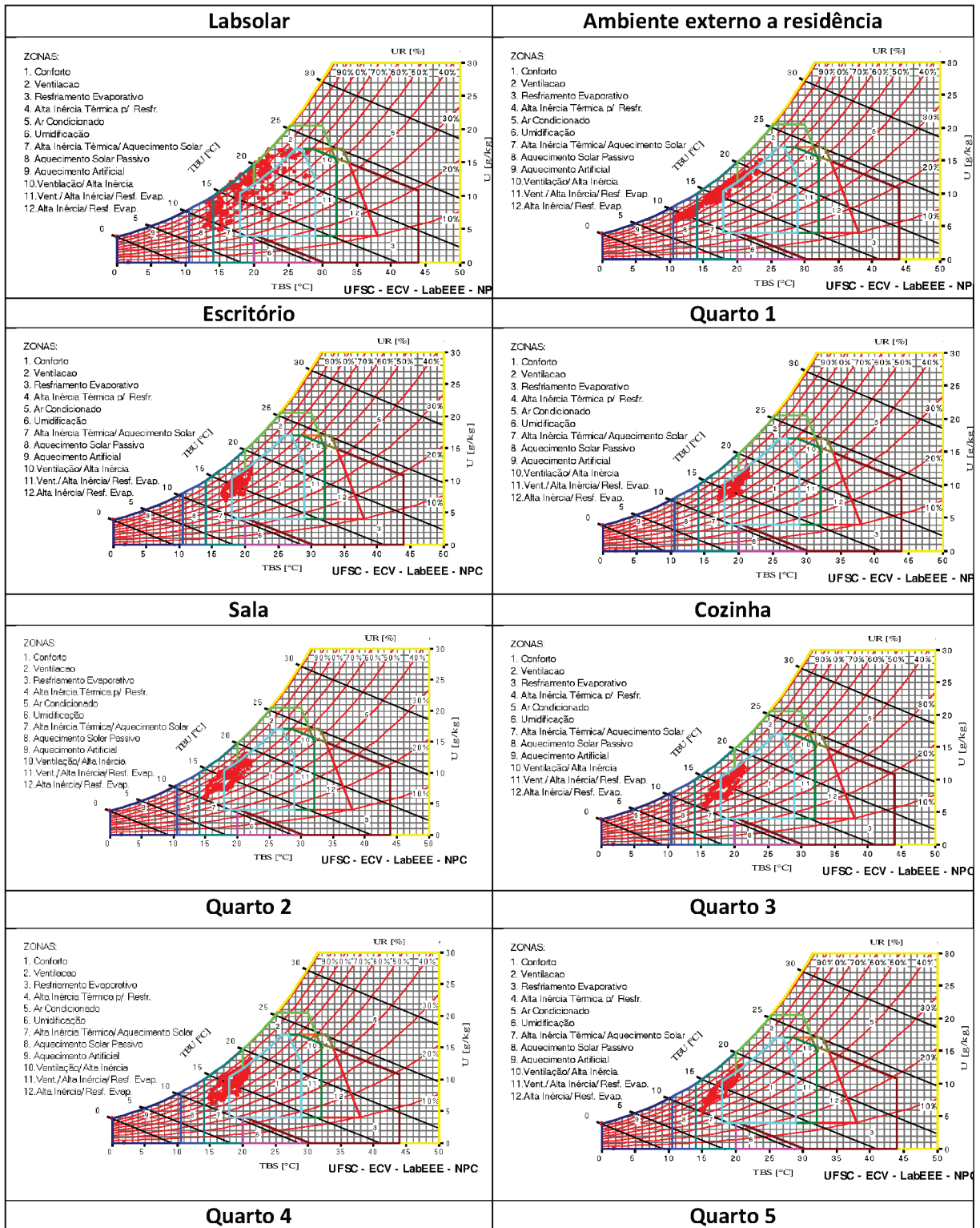


Tabela 19 - Dados plotados na carta bioclimática - Período frio (9 a 22/06/2018)



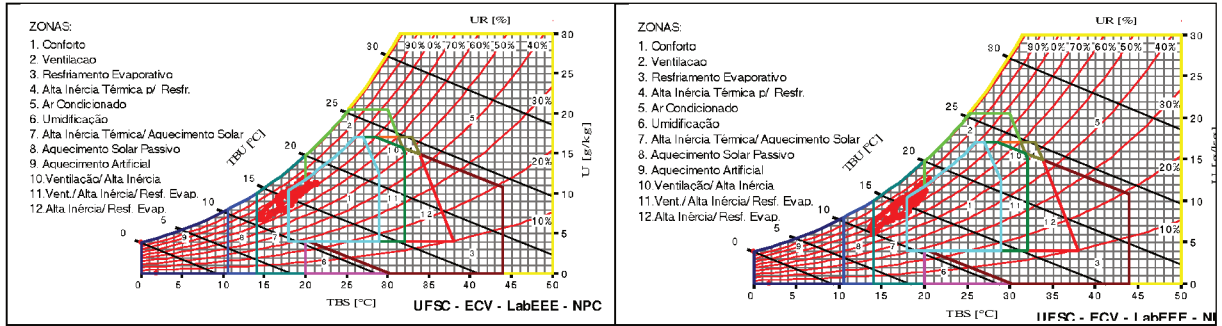
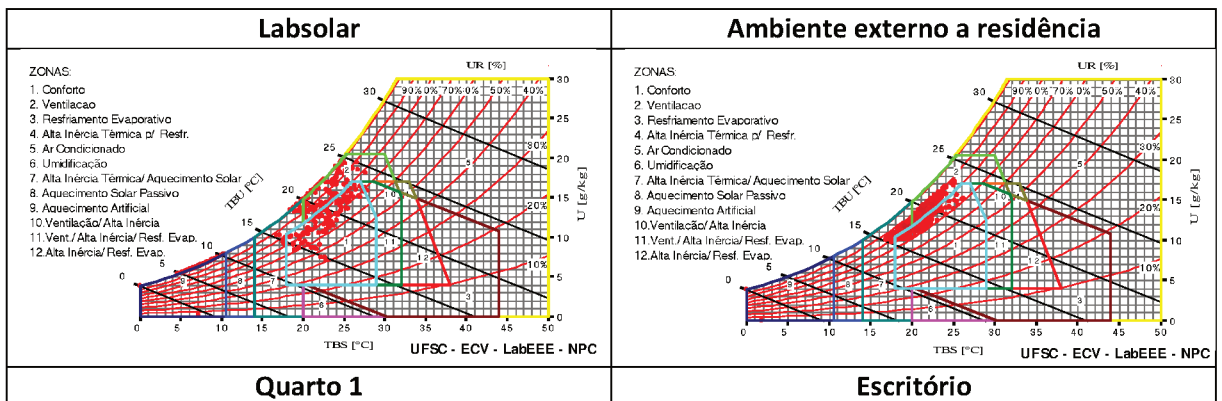


Tabela 20 - Resultados da carta bioclimática - Período ameno (10 a 29/10/2018)

	Labsolar	Ext	Q1	Escr.	Coz.	Sala	Q2	Q3	Q4	Q5
Conforto (%)	26,6	36	88,1	94,6	94,6	81,9	86,1	87,1	90,6	84,8
Desconforto (%)	73,8	64	11,9	5,41	5,41	18,1	13,9	12,9	9,3	15,2
Desconforto por frio (%)	51,8	20,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Desconforto por calor (%)	22	43,2	11,6	5,2	5,2	17,9	13,7	12,7	9,15	15
Estratégias recomendadas (%)										
Ventilação	22	43,2	11,6	5,2	5,2	17,9	13,7	12,7	9,15	15
Alta massa térmica p/ resfr.	0,416	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Resfr. evaporativo	0,416	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Cond. artificial de ar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Sombreamento	45,7	67,8	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
Alta massa térmica p/ aquec.	6,65	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aquec. solar passivo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Aquec. artificial	45,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Tabela 21 - Dados plotados na carta bioclimática - Período ameno (10 a 29/10/2018)



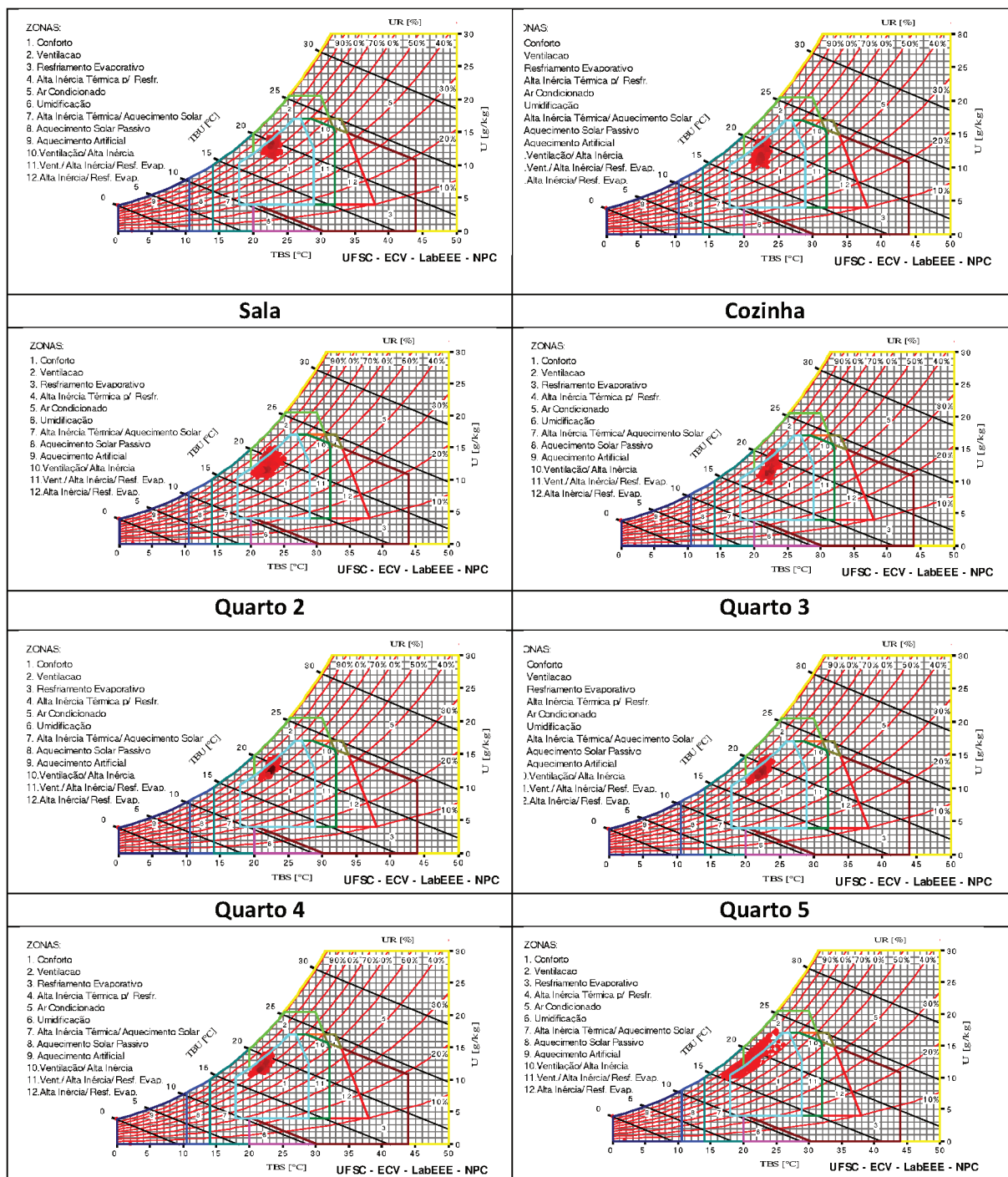
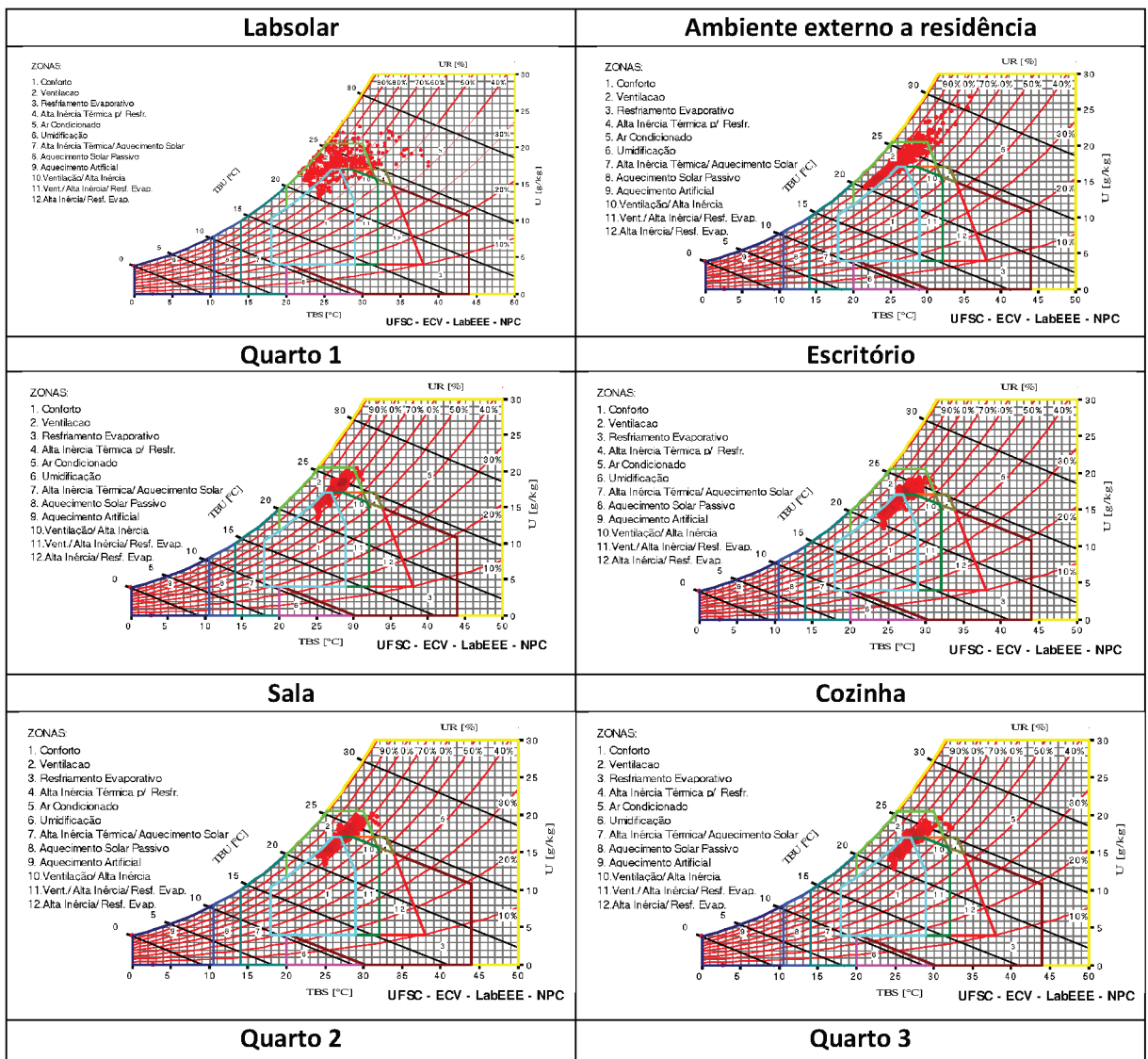


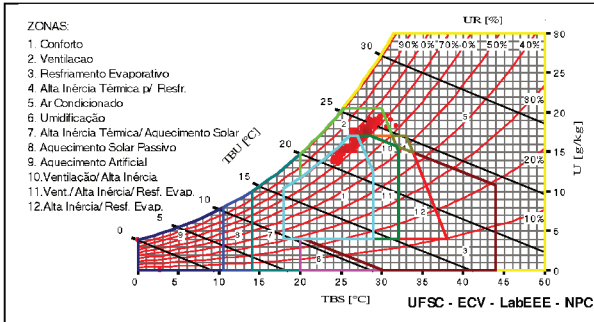
Tabela 22 - Resultados da carta bioclimática - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)

	LabSolar	Ext	Q1	Escr.	Coz.	Sala	Q2	Q3	Q4	Q5
Conforto (%)	12,3	5,41	40,7	55,1	52,4	44,9	44,9	45,1	54,5	48,2
Desconforto (%)	87,5	94,4	59,3	44,9	47,6	55,1	55,1	54,9	45,5	51,8
Desconforto por frio (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Desconforto por calor (%)	87,3	94,2	59	44,7	47,4	54,9	54,9	54,7	45,3	51,6
Estratégias recomendadas (%)										
Ventilação	72,3	83,2	57,8	44,3	46,2	54,3	54,3	53,6	44,9	49,7

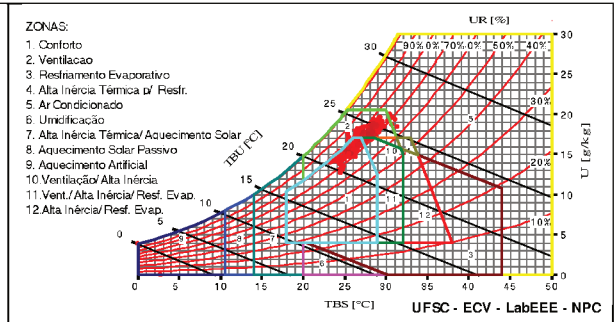
Alta massa térmica p/ resfr.	5,4	0,0	3,5	6,4	12,3	6,8	7,2	7,0	6,8	4,1
Resfr. evaporativo	3,1	0,0	3,5	6,2	12,3	6,8	7,2	7,0	6,8	3,9
Cond. artificial de ar	15	0,0	1,2	0,4	1,2	1,4	0,0	1,0	0,4	1,8
Sombreamento	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
Alta massa térmica p/ aquec.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aquec. solar passivo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aquec. artificial	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Tabela 23 - Carta bioclimática - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)

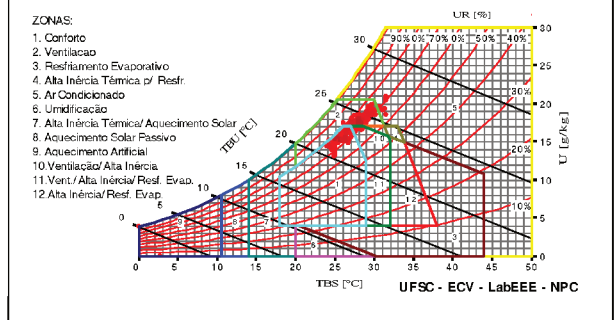
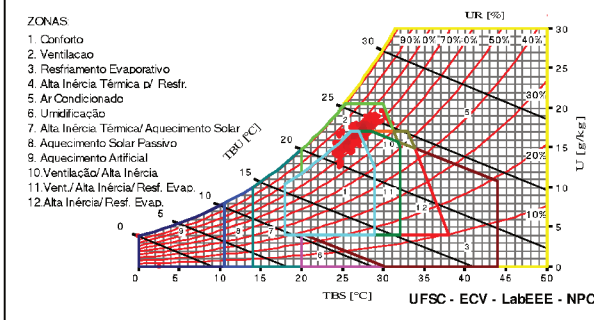




Quarto 4



Quarto 5



APENDICE F

Número de horas anteriores cuja média móvel simples obteve maior correlação com a temperatura interna horária

Tabela 24 – Período completo de medição (01/06/2018 a 02/03/2018)

	Temperatura externa		Radiação solar	Umidade Absoluta	
	Horas	DMP (°C)	Horas	Horas	DMP (°C)
Quarto 1	76	3,85	123	20	3,61
Escritório	76	3,88	124	18	3,68
Cozinha	55	3,88	127	11	3,59
Sala	31	4,03	127	10	3,67
Quarto 2	55	3,96	124	19	3,60
Quarto 3	54	3,95	129	9	3,52
Quarto 4	55	3,89	125	19	3,46
Quarto 5	54	4,15	125	17	3,65

Figura 75 - Correlograma - Text - (01/06/2018 a 02/03/2018)

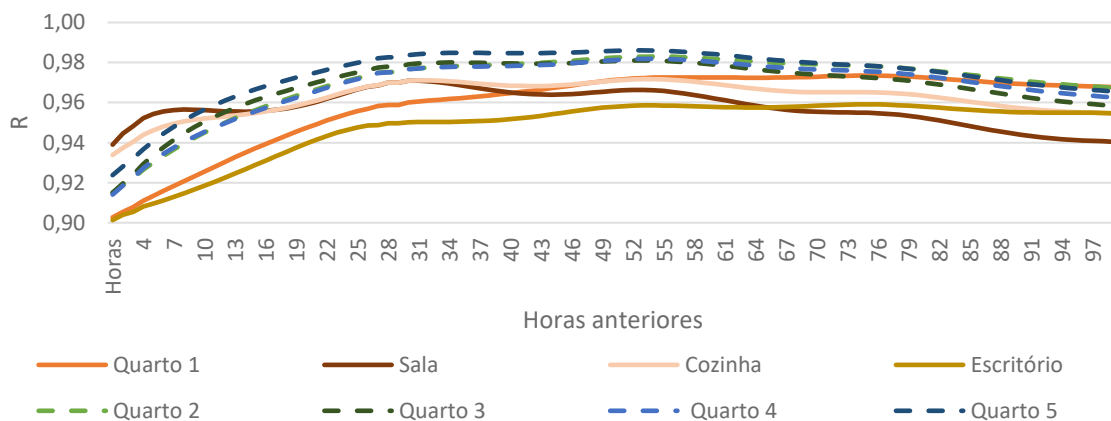


Figura 76 – Correlograma Radiação solar (01/06/2018 a 02/03/2018)

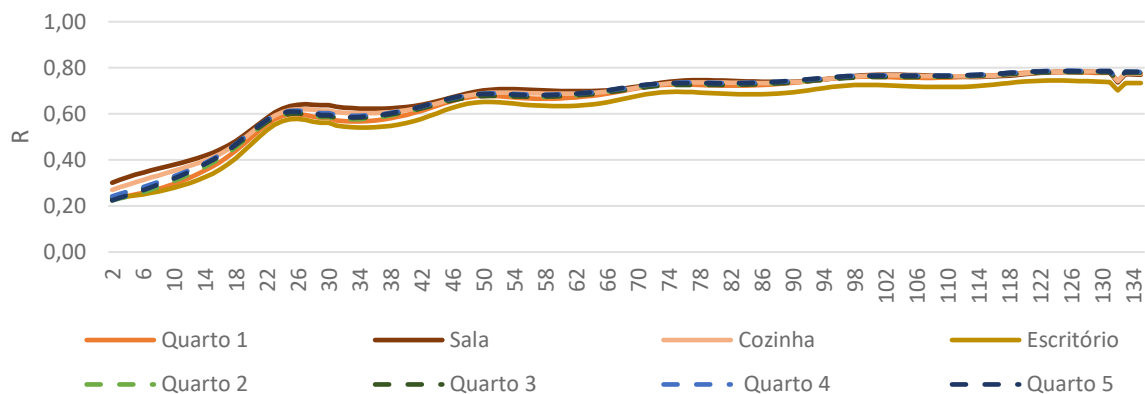


Figura 77 – Correlograma - Umidade absoluta (01/06/2018 a 02/03/2018).

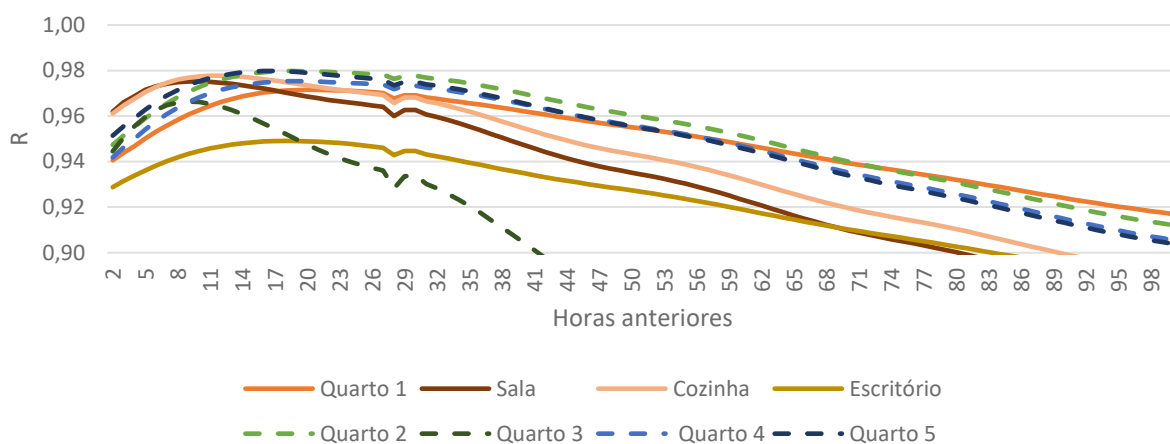


Tabela 25 - Período frio (09 a 22/06/2018)

	Temperatura Externa		Radiação Solar	Umidade Absoluta	
	Horas	DMP (°C)	Horas	Horas	DMP (°C)
Quarto 1	80	2,37	121	35	1,94
Escritório	81	2,17	120	17	2,01
Cozinha	55	2,42	103	10	2,24
Sala	54	2,56	102	9	2,30
Quarto 2	72	2,35	122	15	2,24
Quarto 3	53	2,32	111	16	2,19
Quarto 4	57	2,42	52	25	2,08
Quarto 5	55	2,45	51	21	2,17

Figura 78 – Correlograma Temperatura interna - Período frio (09 a 22/06/2018)

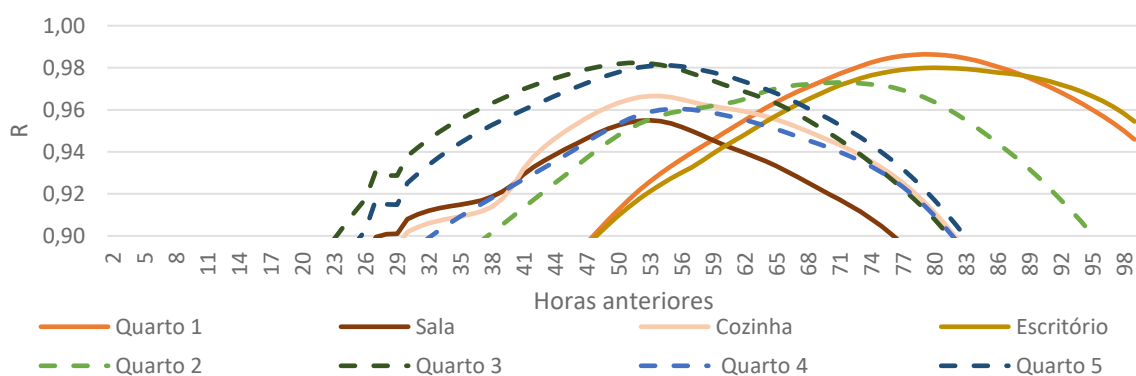


Figura 79 – Correlograma Radiação Solar - Período frio (09 a 22/06/2018)

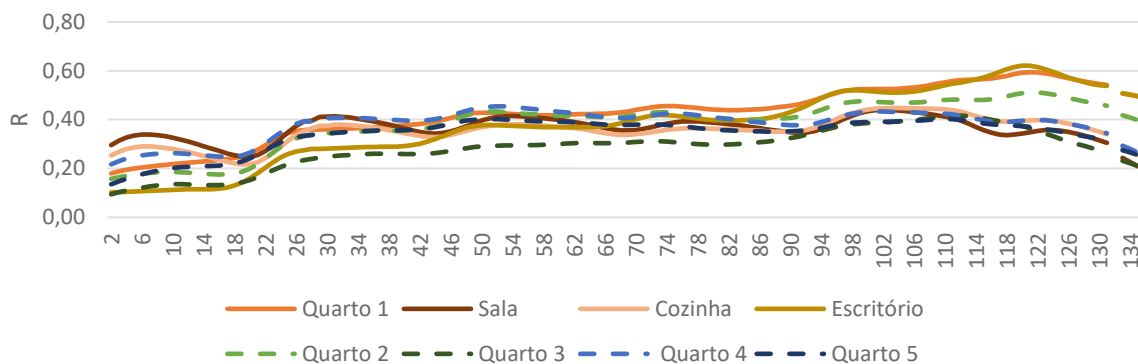


Figura 80 – Correlograma - Umidade Absoluta - Período frio (09 a 22/06/2018)

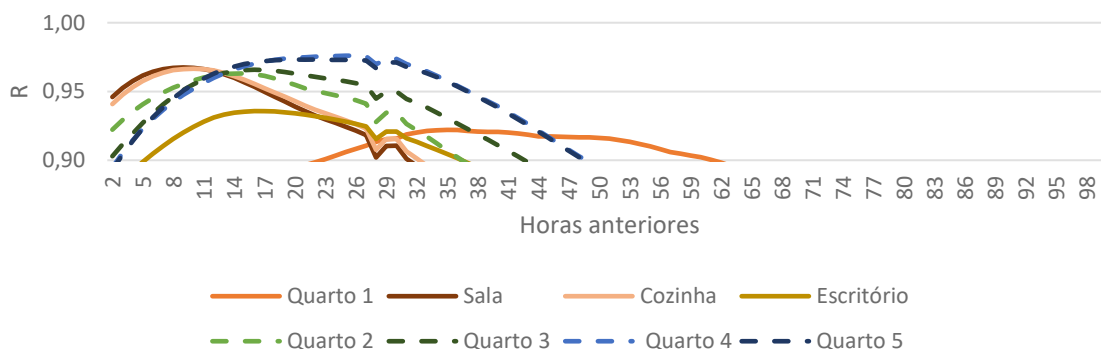


Tabela 26 - Período Ameno

Ambiente	Temperatura Externa		Radiação Solar		Umidade Absoluta	
	Horas	DMP (°C)	Horas	DMP (°C)	Horas	DMP (°C)
Quarto 1	77	1,14	98		17	1,30
Escritório	30	1,25	30		11	1,52
Cozinha	30	1,21	6		8	1,58
Sala	7	1,59	6		7	1,59
Quarto 2	54	1,06	24		20	1,22
Quarto 3	34	1,14	12		18	1,27
Quarto 4	34	1,11	31		17	1,30
Quarto 5	32	1,09	11		16	1,30

Figura 81 Correlograma - Período ameno

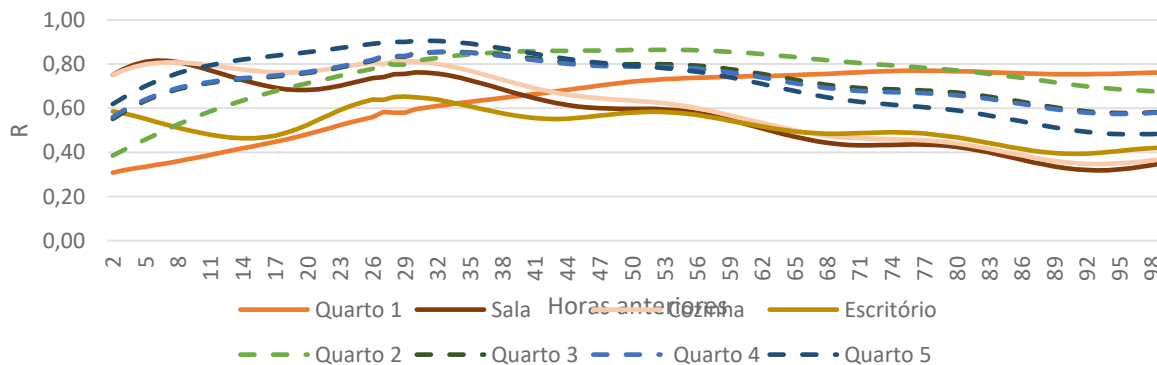


Figura 82 – Correlograma - Radiação solar - Período ameno

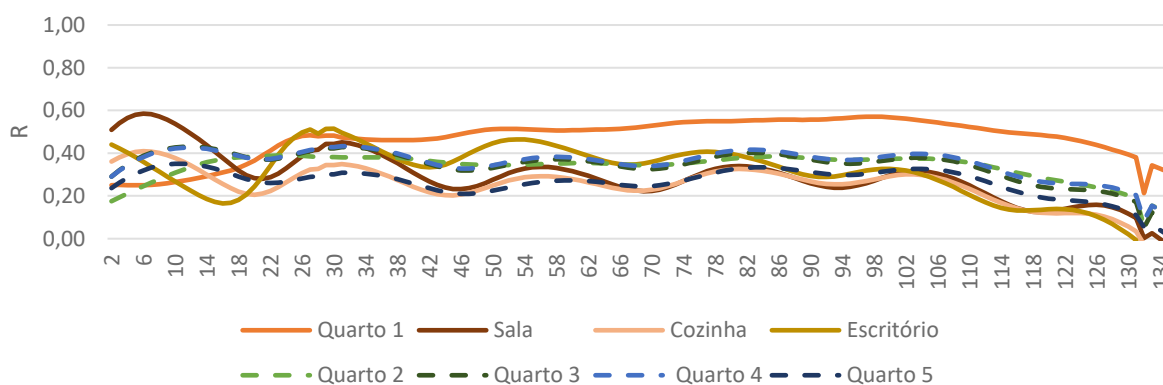


Figura 83 - Correlograma de umidade absoluta - Período ameno

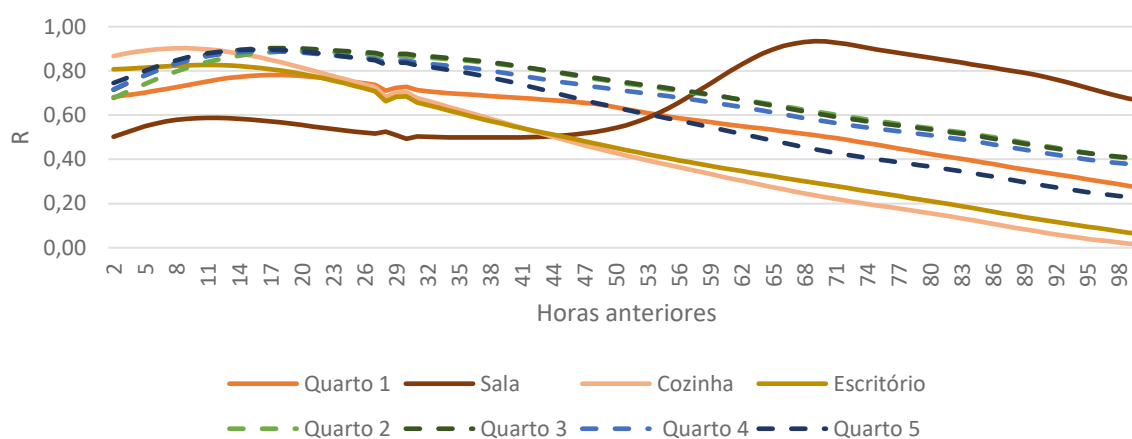


Tabela 27 - Período quente

Ambiente	Temperatura Externa		Radiação Solar	Umidade Absoluta	
	Horas	DMP (°C)	Horas	Horas	DMP (°C)
Quarto 1	30	1,79	125	24	1,54
Escritório	3	2,16	27	23	1,69
Cozinha	27	0,84	52	24	2,94
Sala	27	1,86	26	23	1,61
Quarto 2	31	1,78	126	24	1,61
Quarto 3	30	1,84	52	4	3,18
Quarto 4	24	1,77	122	3	3,29
Quarto 5	31	1,92	127	24	1,65

Figura 84 – Correlograma Temperatura externa - Período quente

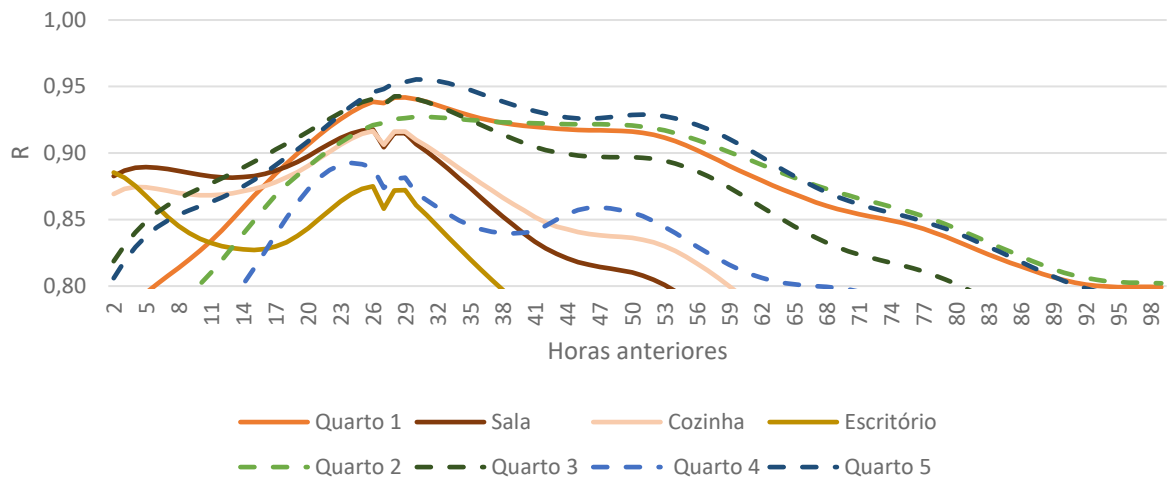


Figura 85 – Correlograma radiação solar - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)

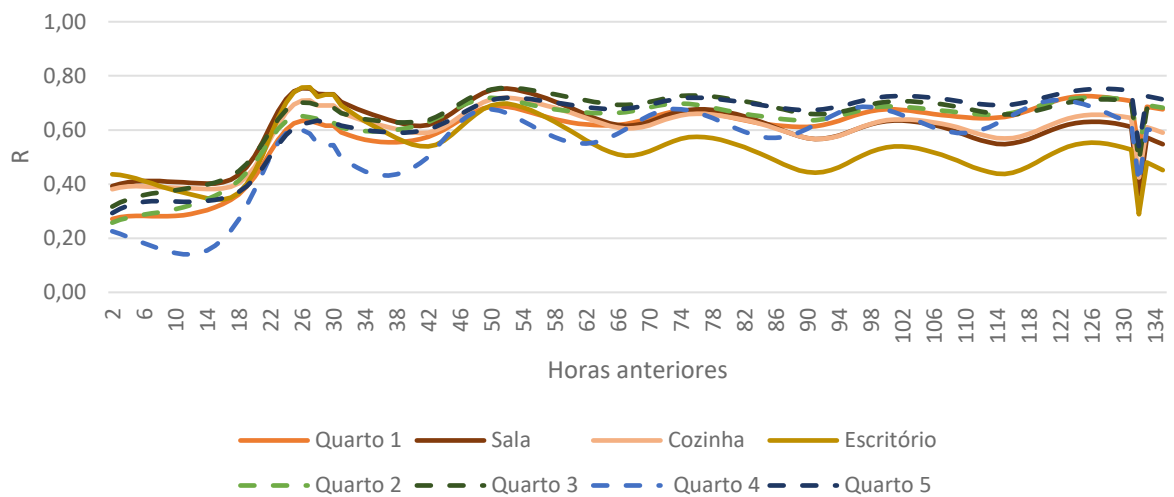
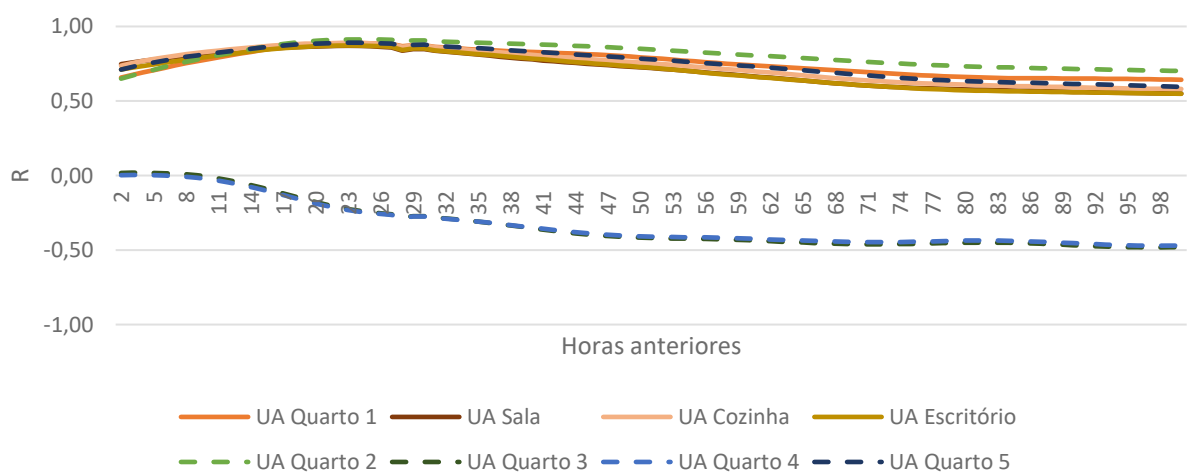


Figura 86 – Correlograma Umidade absoluta - Período quente (20/12/2018 a 08/01/2019)



ANEXO A – Entrevista

Trechos da entrevista realizada no dia 01/06/2018, pela Doutoranda Greici Ramos (2019), que possui como objeto de estudo a relação usuário-residência da edificação em questão. Sua pesquisa de doutorado está em curso e intitula-se “Fatores socioculturais e a percepção de conforto térmico em edificações residenciais”. A sigla “E” indica Entrevistadora e a sigla “Us.” indica usuária.

[...] **E:** O que é conforto para vocês? Em um sentido geral.

Us: Então conforto, para mim é difícil, é um conceito complexo na verdade. Mas o conforto de uma casa, para mim, ela tem vários aspectos interessantes. Esse espaço próximo, na beira da praia, agora ainda não tem jardim quase, mas assim, bem pertinho da natureza, a natureza traz um conforto gigantesco. A coisa térmica também é um conforto gigantesco. O silêncio é um conforto. São facetas de um conforto.

E: Como é esta casa em relação a conforto?

Us: Então, o que eu conheço de casa. Eu já tive muitas casas [...] essa casa definitivamente é a mais confortável que eu já tive [...] então, a gente teve no verão várias vezes aqui [...] do que a gente viu, pegou 35, 38 (°C). Quente. Ali (varanda externa) é quente. Nós vamos agora botar duas árvores do outro lado, frondosas, para fazer sombra. Ali fora. Mas aqui é, parece que tem ar condicionado. Aquele ar condicionado no máximo daquele limite maravilhoso [...]

E: Em relação a janelas, cortinas, vocês têm alguma rotina?

Us: Então a gente descobriu, a gente até brincou outro dia, que aqui a gente consegue ficar muito, muito confortável. Quanto mais quente, mais janelinha a gente abre. Quanto mais frio, mais janelinha a gente fecha. Então a gente já pegou 35 (°C) [...] em um dia mais frio foi semana passada acho que foi uns 11, 12 (°C), de madrugada. [...] às vezes está sentido frio e a gente vê que janela está aberta. E se está quente, deixa a tela. Começa a esfriar a gente tira tela e põe vidro. É assim, uma coisa muito delicada. Ah, está ainda um pouquinho frio, fecha uma, ainda está, fecha outra. A gente até brincou que a gente agora precisava automatizar a abertura de janela pela temperatura (risos). Mas é bem interessante que a gente está começando a ficar bem enjoado com isso. Um controle muito fino em relação a janela. E aqui tem bastante vento né, que tem o ventinho do mar [...]

E: Como é no final de semana, quando tu vens, da sala e dos quartos, o horário que vocês usam. como é que vocês abrem e fecham a janela, se tem alguma coisa mais de rotina mesmo?

Us: [...] (O quarto 1) Ele tem venezianas e tem um vidro de porta, então lá, para não ouvir o barulho de carro passando, a gente tem fechado lá e aberto essa janelinha do escritório, que aí vem o barulho do mar. [...] Então a gente normalmente tem dormido assim. Tem dia que tá muito quente pra gente abrir aquela veneziana. Ai durante o dia a gente sempre deixa aberta essa, e geralmente deixa aberta essa, só quando está muito frio. Durante o dia a gente deixa aberta essa. Essa aqui sempre fica aberta né, fechada com telinha, porque aqui tem mosca. [...], mas não deixa muita janela aberta. Aqui em cima tem outra varanda, então, geralmente a gente deixa ela aberta. Quanto mais calor, mais aberto a gente deixa. Quando está muito quente, a gente abre os quartos e deixa, porque lá em cima tem quatro quartos, a gente deixa as janelas todas na veneziana.

ANEXO B – Questionário

Questionário proposto por Greici Ramos (2019), cuja pesquisa de doutorado está em curso e intitula-se “Fatores socioculturais e a percepção de conforto térmico em edificações residenciais”. O questionário foi preenchido pelos usuários em março de 2019. O número 1 significa o fator mais importante para o usuário.

1 Quais são os fatores de maior importância em relação a sua casa?

Usuário 1	Usuário 2
1 Ter segurança	Permitir a entrada de sol
2 Evitar barulhos externos	Não entrar bichos (mosquitos, aranhas)
3 Não entrar bichos (mosquitos, aranhas)	Temperatura do ar
4 Temperatura do ar	Ventilação natural
5 Ventilação Natural	Evitar barulhos externos

2 Quais são os fatores que mais te incomodam quando você está em casa?

1 Barulhos externos	Temperatura do ar
2 Temperatura do ar	Bichos (mosquitos, aranhas)
3 Iluminação solar (ofuscamento)	Barulhos externos
4 Bichos (mosquitos, aranhas)	Poluição
5 Falta de privacidade	Falta de privacidade

3 Quais são os fatores que te influenciam no momento de abrir as janelas?

1 Ventilar	Temperatura do ar
2 Temperatura do ar	Ventilar
3 Entrada de sol	Entrada de luz natural
4 Conforto	Visão do exterior
5 Visão do exterior	Economia de energia

4 Quais são os fatores que te influenciam no momento de fechar as janelas?

1 Temperatura do ar	Excesso de luz (ofuscamento)
2 Barulhos externos	Ventos fortes
3 Excesso de luz (ofuscamento)	Bichos (mosquitos, aranhas)
4 Chuva	Barulhos externos
5 Ventos fortes	Privacidade

5 Quais são os fatores que te influenciam no momento de ligar o ar condicionado?

1 Temperatura do ar	Temperatura do ar
2 Barulhos externos	Barulhos externos
3 Bichos (mosquitos, aranhas)	Conforto
4 Conforto	-
5 Umidade do ar	-

5 Quais são os fatores que te influenciam no momento de desligar o ar condicionado?

- | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Temperatura do ar | Trocar o ar do ambiente |
| 2 | Economia de energia | Temperatura do ar |
| 3 | Ventilar | Economia de energia |
| 4 | Trocar o ar do ambiente | - |
| 5 | Preocupação ambiental | - |

7 Quais são as ações que você toma quando está com calor?

- | | | |
|---|---|---|
| 1 | Abrir as janelas ou portas para ventilar a casa | Abrir as janelas ou portas para ventilar a casa |
| 2 | Ligar o ventilador | Trocar a roupa |
| 3 | Tomar uma bebida gelada | Ir para um local mais fresco em casa |
| 4 | Ir para um local mais fresco na casa | Ligar o ventilador |
| 5 | Ligar o ar condicionado | Tomar uma bebida gelada |

8 Quais são as ações que você toma quando está com frio?

- | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Trocar a roupa | Fechar as janelas ou portas |
| 2 | Fechar as janelas ou portas | Trocar a roupa |
| 3 | Ir para um local mais quente em casa | Ir para um local mais quente em casa |
| 4 | Pegar um cobertor ou manta | Tomar uma bebida quente |
| 5 | Acender a lareira | Pegar um cobertor/manta |