



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

**RAPHAEL DE SOUSA SANTOS**

**ARQUITETURA E CLIMA LOCAL:  
RELAÇÕES ENTRE ORIENTAÇÃO SOLAR, TIPOS DE TEMPO E CONFORTO  
TÉRMICO EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS NA CIDADE DE PALMAS-TO.**

**PALMAS (TO)**

**2020**

RAPHAEL DE SOUSA SANTOS

ARQUITETURA E CLIMA LOCAL:  
RELAÇÕES ENTRE ORIENTAÇÃO SOLAR, TIPOS DE TEMPO E CONFORTO  
TÉRMICO EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS NA CIDADE DE PALMAS-TO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (CIAMB), da Universidade Federal do Tocantins (UFT), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente.

Área de Concentração: Natureza, cultura e sociedade

Orientador: Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza

PALMAS (TO)

2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- S237a Santos, Raphael de Sousa.  
Arquitetura e clima local: relações entre orientação solar, tipos de tempo e conforto térmico em edifícios habitacionais na cidade de Palmas-TO . / Raphael de Sousa Santos. – Palmas, TO, 2020.  
150 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências do Ambiente, 2020.  
Orientador: Lucas Barbosa e Souza
1. Arquitetura. 2. Clima. 3. Conforto térmico. 4. Eficiência energética. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

RAPHAEL DE SOUSA SANTOS

ARQUITETURA E CLIMA LOCAL:  
RELAÇÕES ENTRE ORIENTAÇÃO SOLAR, TIPOS DE TEMPO E  
CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS NA CIDADE DE  
PALMAS-TO.

Dissertação apresentada à UFT -  
Universidade Federal do Tocantins – Campus  
Universitário de Palmas, Programa de Pós-  
Graduação em Ciências do Ambiente  
(CIAMB), foi avaliada para a obtenção do  
título de Mestre em Ciências do Ambiente e  
aprovada em sua forma final pelo Orientador  
e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 25 / 09 / 2020

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza, Orientador, PPGGCIAMB-UFT

P/



---

Prof. Dr. Héber Rogério Gracio, Examinador, PPGGCIAMB-UFT

P/



---

Prof.(a) Dr.(a) Liliane Flávia Guimarães e Silva, Examinadora, IFTO

A minha família, Roberta e Miguel, pelo apoio e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa de mestrado só foi possível devido ao apoio de inúmeras pessoas, empresas e instituições. Durante o período de realização dessa dissertação, recebi ajudas e contribuições importantes dos que disponibilizaram o tempo deles para colaborar com a materialização desse trabalho. Sem eles, a realização desse estudo não seria possível. Sendo assim, seguem os meus sinceros agradecimentos, mesmo sabendo que talvez não consiga demonstrar minha gratidão nesse curto espaço. Agradeço...

Primeiramente a Deus, que me conduziu durante essa caminhada, me capacitando e me fortalecendo ao longo desses anos de mestrado com saúde e sabedoria para conciliar tudo.

Aos meus pais, Elza e Francisco, por me apoiarem sempre nessa busca pelo conhecimento.

À minha esposa Roberta, minha companheira, meu suporte e meu amor, pelo cuidado e toda ajuda e incentivo durante todo o mestrado e principalmente quando trocou suas noites de sono assumindo muitas vezes praticamente sozinha os cuidados do nosso filho Miguel, que chegou durante o mestrado, para que eu pudesse me dedicar com mais tranquilidade a essa pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza, pelo conhecimento transmitido, pela paciência, dedicação e atenção em suas orientações, que sempre foram extremamente enriquecedoras para esse trabalho. Sem ele e seu conhecimento abrangente não seria possível essa pesquisa chegar a esse ponto de contribuição para construção de conhecimento sobre o clima e arquitetura de Palmas. Sou extremamente grato por ter aceito o meu convite de ser meu orientador. Se eu já o admirava antes, mesmo sem o conhecer e apenas de ouvir falar, imagine agora depois de tudo que aprendi com você.

Ao meu amigo e sócio, Rayron Castro pelos *insights* sobre o tema dessa pesquisa, pelos questionamentos enriquecedores que sempre me faziam refletir e estudar mais. Pela paciência em ler e corrigir algumas vezes os meus textos. Por também ter segurado as pontas no trabalho enquanto eu me dedicava ao mestrado.

Os meus estagiários, Rodolpho Henrique e Thallison Renan, por ajudarem na coleta dos dados, mesmo quando tiveram que subir mais de uma vez por dia escadas

de mais de 15 andares de um dos prédios em análise para anotar os dados capturados pelos equipamentos.

Às empresas, construtoras e incorporadoras, e seus colaboradores, que permitiu que a pesquisa fosse realizada em seus prédios.

Aos meus vizinhos de apartamento, Anderson e Géssica, dona Maria do Livramento e Whitney e Gislene, por disponibilizaram seus apartamentos para estudo de caso.

Ao laboratório de conforto do curso de Arquitetura e Urbanismo da instituição Ceulp/Ulbra, na pessoa do professor Thyago Freitas e da professora Lorena Tork, pela disponibilidade de equipamentos de medição e coleta de dados.

Ao curso de Geografia da UFT de Porto Nacional pela disponibilidade e empréstimo de equipamentos.

À prof.<sup>a</sup> Dra. Liliane Flávia G. da Silva pela ajuda com software e geração de gráficos por meio dele. Também pela disponibilidade de material para a pesquisa.

Aos arquitetos que disponibilizaram seu tempo para falar sobre o tema e apresentar seu ponto de vista sobre a realidade de Palmas.

Ao grupo de docentes e colegas de turma do programa do PGCiamb/UFT.

*A arquitetura é a arte que determina a identidade do nosso tempo e melhora a vida das pessoas.*

*Santiago Calatrava*



## RESUMO

Esse estudo é uma contribuição científica interdisciplinar sobre a arquitetura e o clima na região central do Cerrado brasileiro na cidade de Palmas (TO). Foi idealizado para o conhecimento geral da população e de profissionais e acadêmicos com interesse na elaboração de projetos de edificações com melhor conforto ambiental e menor consumo energético. Ele aborda a influência da orientação solar e dos tipos de tempo atmosférico sobre o ganho térmico por radiação, a temperatura do ar e o conforto térmico no interior da edificação. Para obtenção dos dados foram analisadas duas tipologias de habitação vertical em condomínios residenciais de classe média, com diferentes tipos entre si de padrão de acabamento, número de pavimentos, sistemas construtivos e localização. As análises das edificações foram construídas com base nos dados da temperatura e da umidade do ar internas nas unidades habitacionais, imagens termográficas das fachadas, temperatura externa das fachadas, volume de nuvens no céu e massas de ar atuantes, simulações da insolação, sombreamento e ganho na carga térmica das fachadas dos edifícios, valores de radiação solar e conforto no interior dos apartamentos, considerando o *heat index*. Os resultados obtidos mostram que a fachada oeste não é sempre a com pior desempenho térmico, e que apartamentos voltados para essa orientação nem sempre terão o pior desempenho térmico. Foi possível verificar que o ganho térmico em todas as fachadas pode sofrer variações conforme a época do ano e os tipos de tempo atmosférico. No verão, o lado oeste não apresenta um comportamento constante quanto ao ganho térmico. No inverno, o oeste se destaca nos valores alcançados em sua temperatura, juntamente com a fachada norte, que recebe radiação solar desde o nascer até o pôr do sol. O material escolhido para o envoltório das fachadas da edificação pode influenciar e até potencializar o ganho térmico, como é o caso da cor ou do uso de vidros. As variações nos tipos de tempo, mais ou menos constantes no outono-inverno, porém muito variáveis na primavera-verão, demonstram que esse estudo não esgota o assunto e apontam para a necessidade de mais pesquisas. Conforme resultado obtido na entrevista com os arquitetos da cidade, o fator econômico e a visão mercantilista do mercado imobiliário são outras variáveis que complexificam esse equilíbrio entre a edificação, o conforto térmico e a eficiência energética.

**Palavras-chave:** Arquitetura. Clima. Conforto térmico. Eficiência Energética. Palmas (TO)

## ABSTRACT

This study is an interdisciplinary scientific contribution on architecture and climate in the central region of Brazilian Cerrado, in the city of Palmas (TO). It was knowledge designed for the general population, professionals and academics with an interest in the development of building projects with better environmental comfort and less energy consumption. It addresses the influence of solar orientation and types of atmospheric weather on the radiation thermal gain, air temperature and thermal comfort inside the building. To obtain the data, two types of vertical housing in middle class residential condominiums were analyzed with different types of finishing pattern, number of floors, construction systems and location. The analyzes of the buildings were built based on data of indoor temperature and air humidity in the housing units, thermographic images of the facades, external temperature of the facades, volume of clouds in the sky and active air masses, simulations of sunlight, shading and gain in the thermal load of the facades of the buildings, solar radiation values and comfort inside the apartments, considering the heat index. The results obtained show that the west facade is not always the one with the worst thermal performance, and that apartments facing this orientation will not always have the worst thermal performance. It was possible to verify that the thermal gain in all the facades can vary according to the time of the year and the types of atmospheric weather. In summer, the west side does not show a constant behavior regarding thermal gain. In winter, the west stands out in the values reached in its temperature, together with the north facade, which receives solar radiation from sunrise to sunset. The material chosen for the wrapping of the building's facades can influence and even enhance the thermal gain, as is the case with color or the use of glass. The variations in the types of weather, more or less constant in autumn-winter, but very variable in spring-summer, demonstrate that this study does not exhaust the subject and point to the need for more research. As a result obtained in the interview with the city's architects, the economic factor and the mercantilist view of the real estate market are other variables that complicate this balance between building, thermal comfort and energy efficiency.

**Keywords:** Architecture. Climate. Thermal comfort. Energy efficiency. Palmas (TO).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação da Altura do Sol .....	33
Figura 2 - Carta Solar .....	34
Figura 3 - Exemplo de um Diagrama de Ventos.....	38
Figura 4 - Carta Bioclimática Adotada para o Brasil .....	47
Figura 5 - Tabela de Sensação Térmica para Diferentes Temperaturas (°C) e Velocidades do Vento (m/s, km/h e nós) .....	49
Figura 6 - Índice de Calor para Diferentes Temperaturas (°C) e Umidades Relativas (%) .....	51
Figura 7 - Mapas do Brasil, Tocantins e Palmas .....	53
Figura 8 - Proposta de Ocupação Urbana Sequenciada de Palmas .....	55
Figura 9 - Número de Edifícios Construídos em Palmas Entre 1989 e 2015 .....	59
Figura 10 - Principais Edificações da Praça dos Girassóis. De Cima Para Baixo, Palácio Araguaia, Assembleia Legislativa, Tribunal de Justiça e Edifício-Modelo das Secretarias De Estado.....	61
Figura 11 - Exemplo de Alguns Edifícios Residenciais na Orla de Palmas. Da esquerda Para a Direita, Residenciais Graciosa, Excellence Tower, Le Premier. ....	64
Figura 12 - Exemplos de Alguns Prédios Não Residenciais Com Peles de Vidros e Voltados Para Oeste em Palmas. Da Esquerda Para a Direita, Sede da Federação das Indústrias do Tocantins (Fieto), Fórum de Palmas e Ministério Público. ....	64
Figura 13 - Dados das Temperaturas Médias Mensais Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas .....	66
Figura 14 - Dados da Umidade Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas .....	66
Figura 15 - Dados da Precipitação Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas .....	67
Figura 16 - Dados de Insolação e Nebulosidade Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas .....	67
Figura 17 - Carta Solar de Palmas Latitude -10° .....	68
Figura 18 - Dados da Intensidade Média dos Ventos Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas .....	68
Figura 19 - Rosa dos Ventos Para a Cidade de Palmas de 2005 a 2015 .....	69

Figura 20 - Síntese da Atuação dos Principais Sistemas Atmosféricos no Brasil ao Longo do (A) Verão e (B) Inverno .....	70
Figura 21 – Planta de situação dos edifícios em estudo.....	73
Figura 22 - Planta Baixa do Pavimento Tipo - Edifício 01 .....	74
Figura 23 - Fachadas Oeste e Sul do Edifício 01 .....	75
Figura 24 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício 02 .....	77
Figura 25 - Fachadas Leste e Norte do Edifício 02 .....	78
Figura 26 - Figura dos gráficos agrupados dos dados do INMET .....	91
Figura 27 - Gráfico de Temperatura e Umidade Internas no Edifício 01 .....	94
Figura 28 - Gráfico de Temperatura e Umidade Internas no Edifício 02 .....	96
Figura 29 - Imagens do Céu no Edifício 02 para Comparação de Nebulosidade.....	97
Figura 30 - Imagens Termográficas das Quatro Fachadas do Edifício 01 Durante a Manhã (9h) e Tarde (15h) do Dia 05 de Janeiro de 2019.....	99
Figura 31 - Imagens Termográficas das Quatro Fachadas do Edifício 02 Durante a Manhã (9h) e Tarde (15h) do Dia 12 de Janeiro de 2019.....	101
Figura 32 - Temperatura Externa nas Fachadas do Edifício 01 .....	103
Figura 33 - Temperatura Externa nas Fachadas do Edifício 02 .....	104
Figura 34 - Nebulosidade do Céu Entre os Períodos da Manhã e da Tarde para a Estação de Verão no Edifício 01 no dia 05 de Janeiro.....	105
Figura 35 - Nebulosidade do Céu Entre os Períodos da Manhã e da Tarde Para a Estação de Verão no Edifício 02 no dia 12 de Janeiro.....	105
Figura 36 - Percurso do sol e a movimentação da sombra para o Edifício 01 no dia 05 de janeiro.....	106
Figura 37 - Percurso do sol e a movimentação da sombra para o Edifício 02 no dia 12 de Janeiro.....	106
Figura 38 - Valor da Radiação Solar em Kw/h Durante Todo o Dia Sobre Fachadas das Quatro Principais Orientações Para o Edifício 01 no dia 05 de Janeiro e para o Edifício 02 no dia 12 de Janeiro .....	107
Figura 39 - Níveis de Sensação Térmica no Interior dos Apartamentos do Edifício 01 no dia 05 de janeiro e do Edifício 02 no dia 12 de janeiro de 2019 .....	109
Figura 40 - Síntese Sistemática dos Resultados.....	110
Figura 41 - Figura dos gráficos agrupados dos dados do INMET .....	112
Figura 42 - Temperatura e Umidade no Interior dos Apartamentos do Edifício 01 no Episódio de Inverno de 21 a 23 de junho de 2019 .....	115

Figura 43 - Temperatura e Umidade no Interior dos Apartamentos do Edifício 02 de 17 a 19 de julho de 2019.....	117
Figura 44 - Cobertura do Céu e Nebulosidade Típica no Inverno de 17 a 19 de junho nos períodos de manhã e tarde no Edifício 02.....	118
Figura 45 - Imagens Termográficas das quatro Fachadas do Edifício 01 no dia 23 de junho Durante a Manhã, às 9 Horas, e Tarde às 15 Horas.....	120
Figura 46 - Imagens termográficas das quatro fachadas do Edifício 02 Durante a Manhã, às 9 Horas, e Tarde às 15 Horas do Dia 18 de Julho de 2019.....	122
Figura 47 - Imagens Termográficas das Quatros Fachadas do Edifício 02 no Período da Noite (21h) no Dia 18 de Julho de 2019.....	124
Figura 48 - Temperatura Externa de Superfície das Fachadas no Episódio de Inverno de 21 a 23 de Junho de 2019 no Edifício 01 .....	125
Figura 49 - Temperatura Externa de Superfície das Fachadas no Episódio de Inverno de 17 a 19 de Julho no Edifício 02 .....	126
Figura 50 - Imagens de satélite com a cobertura de nuvens sobre a região de Palmas no dia 23 de junho de 2019 pela Manhã às 10h e Tarde às 15h.....	127
Figura 51 - Imagens de Satélite Com a Cobertura de Nuvens Sobre a Região de Palmas no dia 18 de Julho de 2019 Pela Manhã às 10h e Tarde às 15h .....	128
Figura 52 - Simulação de Sombreamento das Fachadas do Edifício 01 no Inverno. Vista Superior da Edificação no dia 23 de junho. ....	128
Figura 53 - Simulação de Sombreamento das Fachadas do Residencial Edifício 02, no dia 18 de julho .....	129
Figura 54 - Gráfico da Simulação de Ganho Térmico por Radiação das Principais Fachadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) de Latitude -10° nos Dias 23 de Junho e 18 de Julho.....	130
Figura 55 - Gráficos de Temperatura, Umidade e Conforto Térmico no Interior dos Apartamentos em Estudo nos Dias 23 de Junho e 18 de Julho de 2019 .....	132

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LI	linhas de instabilidade
MEA	Massa Equatorial Atlântica
MEC	Massa Equatorial Continental
MTA	Massa Tropical Atlântica
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWE	National Weather Service
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 TEORIA SOBRE A ARQUITETURA E O CLIMA .....</b>	<b>20</b>
2.1 Arquitetura Sustentável.....	22
2.1.1 Arquitetura Bioclimática.....	23
2.1.2 Conforto Ambiental e Eficiência Energética .....	25
2.2 Tempo, Clima e Seus Principais Aspectos para a Arquitetura.....	27
2.2.1 Temperatura.....	30
2.2.2 Radiação Solar.....	32
2.2.3 Umidade do Ar .....	35
2.2.4 Ventos .....	37
2.2.5 Chuvas.....	39
2.3 Aspectos Humanos e o Conforto Térmico .....	40
2.3.1 Organismo Humano.....	40
2.3.2 Reação ao Frio e Calor .....	42
2.3.3 Sensação de Conforto Térmico.....	43
2.3.4 Sensação Térmica e Índices de Calor.....	45
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>53</b>
3.1 A Cidade de Palmas .....	53
3.1.1 O Crescimento da Cidade e a Verticalização .....	56
3.1.2 A Arquitetura Local .....	60
3.1.3 O Clima Local.....	65
<b>4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS .....</b>	<b>71</b>
4.1 Delimitação do Campo Amostral.....	72

4.1.1 Edifício 1 .....	73
4.1.2 Edifício 2 .....	75
4.2 Instrumentos, Equipamentos e Coleta de Dados .....	79
4.2.1 Temperatura e Umidade do Ar Internas nas Unidades Habitacionais .....	81
4.2.2 Imagens Termográficas das Fachadas .....	82
4.2.3 Temperatura Externa das Fachadas .....	83
4.2.4 Volume de Nuvens no Céu e Massas de Ar Atuantes .....	83
4.3 Análises Computacionais.....	84
4.3.1 Simulação de Insolação e Sombreamento.....	85
4.4 Radiação Solar nas Fachadas .....	85
4.5 Cálculos de Índice de Conforto .....	86
4.5.1 <i>Heat Index</i> .....	86
4.6 Entrevistas .....	88
4.6.1 Arquitetos Locais .....	88
<b>5 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
5.1 Análises do Episódio de Verão .....	90
5.2 Temperatura e Umidade Internas nas Unidades Habitacionais .....	93
5.3 Imagens Termográficas das Fachadas.....	98
5.4 Temperatura Externa das Fachadas.....	103
5.5 Volume de Nuvens no Céu .....	104
5.6 Simulação de Insolação e Sombreamento .....	106
5.7 Radiação Solar nas Fachadas .....	107
5.8 Cálculos de Índice de Conforto .....	109
5.9 Análises do Episódio de Inverno.....	111
5.10 Temperatura e Umidade Internas nas Unidades Habitacionais .....	114
5.11 Imagens Termográficas das Fachadas.....	119
5.12 Temperatura Externa das Fachadas.....	124



5.13 Volume de Nuvens no Céu.....	126
5.14 Simulação de Insolação e Sombreamento .....	128
5.15 Radiação Solar nas Fachadas.....	129
5.16 Cálculos de Índice de Conforto.....	131
<b>6 O TEMA VISTO DE OUTRO ÂNGULO: O QUE DIZEM OS ARQUITETOS LOCAIS</b> .....	<b>134</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>138</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta a influência da orientação solar em edifícios residenciais na cidade de Palmas - TO. As medições e resultados apresentados buscaram demonstrar como a orientação solar, em sua relação com outras variáveis, pode influenciar nos ganhos térmicos nas fachadas das edificações. Com as emergentes e justas preocupações com o meio ambiente em praticamente todas as áreas científicas, o cenário dos altos níveis de consumo de energia em edificações exige estudos dessa natureza que sejam subsídios técnicos para escolhas que reduzam a demanda de tal consumo.

O interesse por esse tema surgiu do cruzamento de alguns dados comprovados e outros frutos de observação empírica. Quanto aos dados empíricos, originaram-se ao observar a cidade e ver que muitas de suas edificações foram projetadas e construídas fora do contexto climático de temperaturas altas durante o ano todo. Embora Palmas tenha sido concebida pretensamente sob conceitos ecológicos e humanistas (TEIXEIRA, 2009), seguindo conceitos de sustentabilidade, de bioclimatismo, e já tenha recebido o título de “Capital Ecológica”, Paz (2009) revelou que desde a sua criação pouco foi feito para fazer jus a esses ideais. Constata-se que suas construções não otimizam os recursos naturais nem minimizam o gasto com energia elétrica, pois apresentam vidros sem projeções nas fachadas e outros enganos construtivos, especialmente quanto à utilização de técnicas simples da arquitetura bioclimática, como a melhor escolha quanto à orientação solar das edificações.

Rodrigues (2016) comprovou que entre 2011 e 2015 houve um acréscimo de 424 edifícios na cidade. Essa presença expressiva de unidades habitacionais com diversos pavimentos tem implicações diretas em termos de impactos ambientais e de consumo energético. Muitas vezes esses edifícios são residências pouco eficientes, que consomem índices elevados de energia elétrica para climatização ou que não minimizam o desconforto térmico causado pelos extremos do clima local, com temperaturas máximas que podem ultrapassar os 40°C, com umidade abaixo do 20% nos dias mais quentes e secos do ano, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

Considerando que não se pode negligenciar essas particularidades e que projetos arquitetônicos que aliem conforto térmico e eficiência energética são fundamentais e urgentes, surgiu o questionamento se haviam estudos disponíveis com medições locais para embasar as decisões dos arquitetos com dados sobre as implicações energéticas e de desempenho térmico, se optassem por locar a sua edificação com a menor fachada voltada para oeste ou leste, por exemplo. As publicações encontradas que tratam sobre o clima de Palmas e suas influências, em sua maioria, falam sobre espaços urbanos ou abertos, como é o caso das pesquisas de Paz (2009), Freitas (2015), Silva e Souza (2016), Freitas e Souza (2016) e Gonçalves (2009). Poucos outros autores voltaram suas pesquisas para edificações, como é o caso Duailibe, Oliveira e Cardoso (2015), que analisaram a carta bioclimática; Freitas *et al.* (2010) que apresentaram diretrizes bioclimáticas e tecnologias para elaboração de projetos arquitetônicos e Barbosa e Lima (2010) que apresentaram recomendações para uma arquitetura bioclimática. Boa parte dessas pesquisas contêm recomendações baseadas em revisão de literatura e estão no âmbito acadêmico e nível de graduação.

Essas informações justificam uma das metodologias escolhidas para este estudo que é a medição em campo para obter dados reais sobre como a orientação solar influencia no ganho térmico e no conforto térmico em edificações verticais em Palmas.

A partir dessas premissas, foram delineados os seguintes objetivos para serem alcançados através deste trabalho:

### **Objetivo Geral**

- Avaliar a influência da orientação solar, em diferentes tipos de tempo, sobre o ganho térmico nas fachadas e o conforto térmico no interior de edificações, para assim dar subsídio na elaboração de projetos de arquitetura pensados para construções de edificações verticais que sejam ambientalmente confortáveis para a cidade de Palmas e que contribua para que sejam também energeticamente eficientes.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar os principais aspectos climáticos que influenciam no conforto térmico ambiental e que contribua para eficiência energética de edificações projetadas para Palmas.

- Analisar a influência da orientação solar sobre a radiação solar nas quatro principais fachadas em edificações verticais multifamiliares, uma das tipologias que mais cresceu em Palmas nos últimos anos.
- Medir o ganho temperatura nas fachadas e no interior de unidades habitacionais de edifícios verticais em Palmas e comparar qual sua influência em relação à orientação solar no conforto térmico.
- Debater com profissionais locais de arquitetura sobre como são pensados os edifícios habitacionais do ponto de vista do conforto térmico e da eficiência energética.

Para alcançar os objetivos propostos, partiu-se da análise dos fundamentos teóricos relacionadas ao tema para com isso ampliar o espectro de informações através de bibliografias e materiais encontrados em diferentes meios (CHEMIM, 2015). O estudo bibliográfico encontra-se no capítulo 2, teoria sobre a arquitetura e o clima, que explora, entre inúmeros outros temas, a arquitetura sustentável, o tempo e o clima, e seus principais aspectos para a arquitetura.

O capítulo 3 apresenta a área de estudo, a cidade de Palmas, seu plano urbanístico original, seu processo de ocupação, crescimento e a atual verticalização, além das características de sua arquitetura, por meio de registros fotográficos e de dados climáticos oficiais.

Em seguida, o capítulo 4 contém a metodologia e os procedimentos utilizados ao longo do estudo, para alcançar os dados necessários para as análises propostas. É nessa parte do trabalho que o campo amostral é explicado. Considerando-se o crescimento na arquitetura verticalizada em Palmas, especialmente daquela voltada para a habitação, foram escolhidos dois prédios de habitação multifamiliar de múltiplos pavimentos com características distintas para realizar as análises em duas diferentes realidades.

Seguindo ainda na sequência do capítulo 4, os instrumentos, equipamentos e coleta de dados são elucidados. Isso inclui os dados de temperatura e umidade do ar internas nas unidades habitacionais, imagens termográficas e temperatura externa das fachadas, volume de nuvens no céu, massas de ar atuantes, simulação de insolação e sombreamento, radiação solar nas fachadas e índice de conforto.

Os dados e os resultados obtidos nas verificações nos episódios de verão e de inverno nas edificações escolhidas para análise estão no capítulo 5.

O capítulo 6 traz os resultados das entrevistas e denomina-se “O tema visto de outro ângulo: o que dizem os arquitetos locais”, mostrando os limites impostos por diferentes circunstâncias e condicionantes no momento de arquitetar uma edificação em Palmas.

Por fim, no capítulo 7 estão as considerações finais que demonstram que se os aspectos climáticos locais fossem levados em consideração nas diretrizes projetuais, seria possível minimizar as consequências causadas pelos extremos do clima. Assim, a cidade poderia possuir edificações com maior conforto e menor consumo de energia, impactando menos o meio ambiente e possibilitando mais qualidade de vida aos seus moradores.

## 2 TEORIA SOBRE A ARQUITETURA E O CLIMA

É notório que o clima intervém na formação dos solos, nas formas dos relevos, no regime das águas superficiais e subterrâneas, na flora e na fauna, no ritmo das atividades agrícolas e até mesmo na própria distribuição do homem sobre a terra (TORRES; MACHADO, 2008), sendo um tema potencialmente interdisciplinar. Porém, recebe maior atenção por parte dos meteorologistas e climatologistas, sendo que na arquitetura se mostra imprescindível no desenvolvimento de edificações mais adequadas à preservação dos recursos naturais sem abrir mão do conforto.

Como a crise ambiental e as preocupações com a escassez dos recursos naturais no futuro são questões primordiais em nosso tempo, faz-se necessário repensar o modelo de consumo predominante hoje, incluindo como construímos e ocupamos nossas edificações. Logo, torna-se necessário haver um relativo equilíbrio entre o meio ambiente e os espaços que habitamos de forma que um atenda às necessidades do outro sem impactos que ultrapassem os limites da qualidade ambiental e as condições de habitabilidade da edificação. De acordo com Lemos (2005), no panorama de impactos ambientais, a indústria da construção civil aparece como responsável pela extração de uma parcela significativa dos recursos naturais e como uma geradora potencial de poluição da atmosfera e de resíduos sólidos.

De acordo com Gonçalves e Duarte (2006), após a revolução industrial, a preocupação com os aspectos climáticos em edificações fora deixada em segundo plano para se ocupar mais com a aplicação de novos materiais, novas tecnologias construtivas e sua influência na parte estética e funcional dos edifícios. A partir desse momento, gradativamente passaram a existir equipamentos mecânicos capazes de controlar os extremos do clima como frio, calor, vento, umidade e iluminação no interior de qualquer edificação, ainda que isso implicasse em crescente consumo de energia.

Embora a arquitetura moderna não deva levar o crédito pela responsabilidade no afastamento dos preceitos climáticos nas novas edificações, uma vanguarda arquitetônica conhecida por *international styles* e seus edifícios envidraçados se difundiu após o período moderno, revolucionando o modo como a arquitetura era apresentada em boa parte do mundo (BENEVOLO, 2014a).

A industrialização acelerada e as inovações técnicas com o concreto armado, o aço e o vidro mudaram a paisagem das cidades inicialmente no clima temperado da Europa, mas logo se difundiram por todo o mundo, seguindo as tendências de alguns arquitetos como Walter Gropius, Mies Van der Rohe e Le Corbusier (BENEVOLO, 2014a).

Sem grandes preocupações com o meio ambiente e o crescente aumento dos edifícios envidraçados, o consumo energético aumentou drasticamente para atender aos inúmeros equipamentos de aclimação desse novo estilo de edificação. Como o custo da energia ou do petróleo não era tão elevado, e como ainda não existia uma consciência generalizada sobre os problemas ambientais gerados pelo uso de tais equipamentos, não tinham com o que se preocupar.

Tais avanços tecnológicos pós revolução industrial pode ter levado o homem a pensar que estava livre das limitações impostas pela natureza, principalmente pelas implicações climáticas, ao menos nos espaços construídos.

Esse era o cenário até a crise da década de 1970, quando ocorreu aumento exponencial e irreversível no preço da energia e do petróleo, forçando a todos uma reavaliação sobre suas práticas no consumo energético. Como medidas paliativas, a sociedade então se viu forçada imediatamente a desligar suas lâmpadas e a ajustar seus termostatos. Porém, medidas mais duradouras se fizeram necessárias (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Em 1972, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida por Conferência de Estocolmo, grandes chefes de estado se reuniram para tratar as questões relacionadas à degradação do meio ambiente. Tal conferência constitui-se um marco divisor nas tentativas de melhorar a relação entre sociedade e a natureza.

Foi quando a arquitetura começou a retornar aos primórdios da arquitetura vernacular por meio da qual o homem utilizava soluções construtivas baseadas em fontes de energia naturais (sol, vento e chuva), novos materiais construtivos ou alternativos, levando em conta o conforto térmico e o consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Com a passar do tempo, após a crise energética, outros acordos ambientais foram firmados pelo mundo na Eco-92 ou Rio-92, na Rio+10, em 2002, e na Rio+20 em 2012. Algumas correntes arquitetônicas começaram então a reincorporar o clima

como princípio básico para elaboração de novas edificações, surgindo novos conceitos no universo dos projetos de arquitetura. Seguem nos títulos a seguir alguns exemplos.

## **2.1 Arquitetura Sustentável**

A sustentabilidade na arquitetura não é muito diferente dos conceitos de sustentabilidade expressos nas demais áreas do conhecimento, embora seja um tema essencialmente interdisciplinar, abrange aspectos sociais, econômicos e ambientais. Segundo Lemos (2005), algo é considerado sustentável, no sentido comum, quando responde às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de prover suas próprias necessidades. Porém, no domínio da construção de edificações, este tema traduz-se predominantemente na procura da relação equilibrada entre conforto habitacional e desempenho ambiental (MOURÃO; PEDRO, 2014).

Por volta das décadas de 1980 e 1990, as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura internacional de forma incisiva, trazendo novos paradigmas sobre as edificações futuras. Primeiramente, o tema chegou com maior ênfase nas questões ambientais da edificação isolada em decorrência da crise de 1970, mas logo após evoluiu para todos os processos dentro do ciclo de vida de uma edificação, já que os impactos ao meio ambiente não se restringiam apenas a um ou dois processos desse ciclo, indo desde os impactos gerados pelos processos de industrialização dos materiais, até o consumo dos sistemas prediais pós-ocupação. Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a maior parcela do consumo energético em edifícios está destinada à parte de climatização e iluminação dos seus ambientes.

O tema da sustentabilidade vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e conta com iniciativas e exemplos nas mais diversas condições urbanas, climáticas e ambientais. Aos poucos, foi renascendo uma arquitetura preocupada com sua integração com o meio ambiente, visando a edificações centradas sobre o conforto ambiental do ser humano e sua repercussão no ambiente em suas diferentes escalas.

Corbella e Yannas (2009) definem que arquitetura sustentável é criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído



e no seu entorno. Devem integrar as características da vida e do clima local, consumindo a menor quantidade de energia possível com o conforto ambiental para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações.

Uma das opções para tal equilíbrio é aproveitar os recursos naturais renováveis como, por exemplo, a luz do sol, os ventos e a água da chuva já que técnicas que melhor aproveitam os aspectos climáticos eram utilizadas desde os primórdios da humanidade em edificações que se adaptam de forma confortável ao clima, sem grandes consumos de energia e sem grandes impactos ao meio ambiente como o uso do adobe, a taipa, a palha de palmeiras para cobertura e outros materiais comuns nessa na região central do Brasil.

Olhando para a história da arquitetura e das cidades, Gonçalves e Duarte (2006) relatam que foi por um relativo curto espaço de tempo que os preceitos climáticos e de eficiência energética não foram considerados como fator primordial para concepção de uma edificação.

Com os conceitos (apresentados nos próximos subitens) de arquitetura sustentável em evidência, a arquitetura bioclimática, o conforto ambiental e a eficiência energética ganharam mais importância no universo da arquitetura de um modo geral.

Conforme a visão de Corbella e Yannas (2009), a arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. Por isso, a arquitetura bioclimática ganhou tanto espaço dentro do conceito de sustentabilidade, devido à estreita relação entre o conforto ambiental e o consumo de energia, como relatam Gonçalves e Duarte (2006). De um modo semelhante, os aspectos do clima ganharam força na arquitetura sustentável por meio do bioclimatismo na arquitetura.

A seguir, serão apresentadas algumas ideias básicas sobre a arquitetura bioclimática para melhor entendimento do tema.

### 2.1.1 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura bioclimática consiste em criar edifícios levando em conta os aspectos climáticos e ambientais do local. Pretende, assim, otimizar o conforto

ambiental no interior do edifício (conforto térmico, luminoso, acústico etc.), utilizando apenas o design e os elementos arquitetônicos disponíveis (FERNANDES, 2009).

Para Romero (2000), a arquitetura bioclimática é o próprio ambiente construído que atua como mecanismo de controle das variáveis do meio a partir de seus envoltórios, seu entorno, e ainda por meio do aproveitamento dos elementos e fatores do clima, sem necessariamente ter a ajuda de mecanismos artificiais ou eletrônicos para tal controle.

Os primeiros relatos acerca desse resgate da integração da edificação com o meio começaram a aparecer por volta dos anos de 1960. Alguns autores citam em especial os irmãos Olgay, que apresentaram as bases teóricas da arquitetura bioclimática. Eles criaram a expressão projeto bioclimático, que era a aplicação de bioclimatologia aos projetos de arquitetura.

O processo de criação de uma edificação climaticamente equilibrada, para Olgay (1963), consiste em quatro etapas: climatologia - estudos dos dados climáticos locais (temperatura, umidade, radiação e ventos); biologia - avaliação biológica com base nas sensações humanas; tecnologia - soluções tecnológicas passivas capazes de otimizar ou de amenizar os aspectos do clima; arquitetura - produto resultante de todos estes diferentes elementos envolvidos, não hierarquizados, mas inter-relacionados.

Ainda, segundo a visão do autor, nenhum desses elementos pode ser deixado de lado ou receber importância desigual. O clima, o conforto do usuário, a técnica e o espaço construído deverão coexistir de uma forma harmônica na arquitetura bioclimática, em que todas as partes se relacionam e influenciam as demais partes em um todo equilibrado.

Dessa forma, é importante que a elaboração de um projeto de arquitetura bioclimática deva começar pela análise do clima local onde a edificação será construída. Para que tal edificação seja capaz de amenizar os extremos das condições do clima onde a mesma será inserida, aproveitam-se de uma maneira mais adequada os elementos favoráveis ao conforto humano e permite-se o uso racional dos recursos naturais e energéticos.

### 2.1.2 Conforto Ambiental e Eficiência Energética

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, seja ele térmico, acústico, visual ou luminoso, já que o homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse.

Uma das vertentes do conforto ambiental é apresentada por alguns autores<sup>1</sup> como conforto higrotérmico, porém referenciada em bibliografias mais recentes como conforto térmico. Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), o conforto térmico pode ser resumido como a condição da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o envolve (ASHRAE, 2013). Esse tema vem se difundindo atrelado ao um segundo tema, a eficiência energética.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Por exemplo, um edifício é mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições de conforto com menor consumo de energia.

Embora a eficiência energética por algum tempo fora tratada de forma não interdisciplinar e vinculada apenas à diminuição dos gastos com energia elétrica de forma isolada por engenheiros, hoje o tema abrange várias áreas do conhecimento. Na construção civil, além da utilização de recursos tecnológicos, a elaboração de projetos que incluam estudos sobre o comportamento energético de edifícios tem melhorado a eficiência na arquitetura.

Mesmo que o tema tenha ganhado força na atualidade, a eficiência energética e o conforto ambiental não são uma preocupação apenas do homem moderno. Já na arquitetura vernacular, o primeiro princípio utilizado para idealização de uma edificação geralmente era aproveitar as características desejáveis do clima, enquanto se evitavam as indesejáveis, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (1997).

---

<sup>1</sup> Existem inúmeras outras definições, mais simples ou complexas, para conforto térmico. Mais detalhes podem ser acessados por meio da tese de Silva (2018).

Hoje, esse mesmo conceito é reapresentado pela eficiência energética na arquitetura, sendo que a edificação tem como uma de suas funções oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano, sejam quais forem as condições climáticas externas. Mesmo que muitas vezes, esse conforto somente seja alcançado mediante a utilização de equipamentos mecânicos capazes de fazer tal controle.

Porém, a má orientação em relação ao sol ou o uso de materiais inadequados para o clima local onde a edificação está sendo inserida podem aumentar o desconforto térmico e o consumo de energia por esses equipamentos que fazem o controle térmico. Para Mascaró e Mascaró (1992), aproximadamente um terço ou mais da energia consumida em um edifício deve-se à má orientação em relação ao sol e a projetos inadequados do seu envoltório.

Para Fernandes (2009), o envoltório de uma edificação, entendido como os planos de fachadas e coberturas expostos, determina a carga térmica de utilização e instalação do sistema de ar condicionado, além de definir o ganho térmico no interior da edificação por meio da luz natural e da radiação solar direta, fundamentais para o conforto térmico e, conseqüentemente, para a eficiência energética.

Já o ato da intervenção humana na hora de construir e ocupar seus espaços internos e externos altera as condições microclimáticas e locais, as quais também dependem, em maior ou menor grau, da resposta térmica de suas edificações.

As principais variáveis climáticas que influenciam no conforto térmico, segundo Frota e Schiffer (2001), são a temperatura, a umidade, a velocidade do ar e a radiação solar incidente. Guardam estreitas relações com o regime de chuvas e nebulosidade, a vegetação, a permeabilidade do solo, as águas superficiais e subterrâneas, a topografia, entre outras características locais que podem ser alteradas pela presença humana.

Romero (2000) corrobora com o pensamento de Frota e Schiffer (2001), relatando também que o estudo do ambiente resulta na combinação dos fatores geomorfológicos e dos elementos como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o movimento das massas de ar e as precipitações.

O controle desses aspectos do clima para obtenção do conforto térmico em edificações pode ser facilmente alcançado através do uso de sistemas mecânicos, porém se a arquitetura não for pensada para amenizar os extremos do clima (calor ou

frio, alta ou baixa umidade, ventos ou calmaria), haverá um elevado consumo de energia elétrica ou de emissão de poluentes.

O uso desses sistemas mecânicos para alcançar o conforto na arquitetura deve ser minimizado por meio das estratégias passivas, mas em casos em que o conforto térmico só é obtido por meio de mecanismos ativos, a arquitetura e a engenharia devem trabalhar em busca da eficiência energética, trazendo benefícios para o meio ambiente e qualidade de vida para os usuários da forma menos onerosa possível.

O resgate dos princípios da arquitetura bioclimática, conforme apresentados anteriormente, alinha-se também de forma que as técnicas de aclimação do ambiente sem o uso da energia elétrica sejam a primeira opção, até que as mesmas se esgotem, para assim pensar nas técnicas ativas.

Dessa forma, é importante que haja uma integração interdisciplinar mais alinhada na construção de novas edificações, que se busque de uma forma mais constante a eficiência energética no ambiente construído. Nesse campo, a visão técnica e objetiva de redução dos gastos (tanto de construção, quando da manutenção da edificação, que muitas vezes é negligenciado pelas construtoras, mas o cenário vem mudando com a norma de desempenho), alinha-se à busca pelo conforto e bem-estar dos usuários, sem deixar de pensar na sustentabilidade e no uso racional dos recursos naturais para que possam atender às gerações futuras de um modo mais amplo.

## **2.2 Tempo, Clima e Seus Principais Aspectos para a Arquitetura**

Comumente encontramos o uso dos termos “tempo” e “clima” para designar um mesmo atributo atmosférico. Esses conceitos, porém, referem-se a condições diferentes do ambiente, e usá-los como sinônimos é um equívoco.

Para Sorre (1951), o tempo corresponde a uma combinação complexa na qual, dependendo do caso, um dos elementos atmosféricos desempenha uma predominância frente à percepção humana. Refere-se ao estado momentâneo das condições atmosféricas ou meteorológicas de algum lugar, em um determinado momento e está sujeito a variações que dependem da circulação do ar em escalas superiores (regional e zonal).

Na visão de Pédelaborde (1991), adepto da visão sorreana, o tempo é um conjunto de valores que, em um certo momento e em um determinado lugar, caracterizam o estado atmosférico.

Ainda segundo Sorre (1951), o termo tempo é comumente utilizado da seguinte forma: hoje está quente, frio, úmido, seco, chuvoso etc. Porém a temperatura, umidade, velocidade do ar e outros, só podem ser isolados por um artifício de análise. Portanto, entende-se que o tempo é a condição atual da atmosfera, que pode mudar em poucas horas e cuja denominação está atrelada à nossa percepção. E as alterações de temperatura, umidade relativa do ar, pluviosidade, por exemplo, são responsáveis pelo dinamismo das condições meteorológicas, portanto, do tempo.

Já quanto à definição de clima, pode-se mencionar o conceito do meteorologista austríaco e fundador da moderna meteorologia, Julius Ferdinand von Hann, apresentado por Sorre (1951), que diz que o clima é como o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera em cada lugar da terra. Sorre (1951) considerou a definição do meteorologista simples e cômoda, pois o mesmo leva em consideração a média para caracterizar os elementos do clima e o considera como um componente estático, sem mencionar o elemento tempo (duração dos fenômenos) já que o ritmo é um dos elementos essenciais ao clima.

Para Pédelaborde (1991), o clima é uma série de tipos de tempo que se sucedem de forma habitual em um determinado lugar, seguindo um padrão geral das condições meteorológicas que se alteram de acordo com as estações do ano. Mais uma vez, este autor segue a concepção sorreana ao substituir a média por uma ideia de sucessão.

Na perspectiva de Torres e Machado (2008), o clima é a generalização ou a integração das condições do tempo, ou seja, uma sequência cronológica em anos de dados climáticos.

Desta forma, quando alguém diz que “Palmas é uma capital muito quente e seca ou quente e úmida”, refere-se ao clima dessa cidade, desse local sobre o globo terrestre. Contudo, ao longo dos dias, Palmas pode apresentar uma variedade de tempos diferentes em questões de horas, daí a ideia de generalização anteriormente mencionada.

O clima em si recebe influência de alguns fatores climáticos fazendo com que a atmosfera apresente características distintas dependendo da localização sobre a terra.

Didaticamente, é importante apresentar a definição distinta existente entre os fatores e elementos do clima. Para Torres e Machado (2008), os elementos climáticos são um conjunto de variáveis que descrevem as condições meteorológicas de um determinado lugar e momento, sendo grandezas que representam o estado da atmosfera. São os principais: temperaturas, umidade do ar, velocidade e direção dos ventos, radiação solar e chuvas, além da pressão atmosférica.

Ainda segundo os autores, os elementos climáticos variam no tempo e no espaço e são influenciados pelos fatores, conhecidos também como geográficos, tais como latitude, altitude, continentalidade ou maritimidade e outros. Como é o caso da radiação solar, que vai variar dependendo da latitude, altitude e da época do ano. Se apenas a latitude influenciasse, o clima de todos os locais do mundo na mesma latitude seria igual, o que sabemos que não é verdade.

Deste modo, o tempo e o clima são caracterizados por variáveis meteorológicas que sofrem influências geográficas, embora na definição de clima a escala temporal seja mais longa e estável.

A arquitetura deve adequar as edificações ao clima de um determinado lugar, possibilitando ao usuário condições de conforto em diferentes tipos de tempo. E também cabe à arquitetura amenizar as sensações de desconforto impostas por climas mais rígidos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Mas para que a arquitetura possa proporcionar isso, deve-se compreender como os aspectos do clima se comportam e quais influenciam ou quais poderiam influenciar em uma edificação.

Segundo a visão de Lamberts, Dutra e Pereira (1997), antes dos primeiros traços da concepção do projeto de arquitetura de uma edificação, deve-se ter como premissa um estudo do clima local. Sendo que tal análise é tão importante quanto o programa de necessidades fornecido pelo cliente.

Conhecer a influência dos aspectos do clima em suas diversas escalas é fundamental para o desenvolvimento de um projeto confortável e eficiente, como

citado anteriormente. Como é o caso dos elementos climáticos do macroclima regional que, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), são as variáveis quantificadas em estações climatológicas.

Embora os aspectos geográficos, como o adensamento urbano, vegetação, cursos d'água e outros mais próximos do nível da edificação possam influenciar o mesoclima e o microclima, ainda segundo a visão do autor, o microclima é o mais fácil de ser alterado pelas diretrizes do projeto de arquitetura.

Para Fernandes (2009), o macroclima pode descrever as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitação, por estar relacionado à circulação atmosférica e às massas de ar ou sistemas atmosféricos atuantes sobre essa região. O conhecimento dessas variáveis é essencial para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, para edificações mais adequadas ao conforto dos seus ocupantes e mais eficientes em termos de consumo de energia.

Frota e Schiffer (2001) citam que dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, podem-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos, que são: temperatura, umidade relativa, radiação solar, nebulosidade do céu, predominância e direção dos ventos e chuvas.

Romero (2000) também sistematiza quais são os principais elementos climáticos a serem controlados em climas tropicais, sendo: temperatura, ventos, umidade, radiação e precipitação.

Deste modo, serão apresentados a seguir alguns conceitos sobre tais variáveis e como elas podem influenciar de forma positiva ou negativa no conforto e na eficiência energética em edificações.

### 2.2.1 Temperatura

A variação da temperatura sobre a Terra provavelmente deve ser a variável climática mais conhecida. Por estar ligada à quantidade de calor presente em uma determinada região ou ao estado térmico da atmosfera sobre essa região, por meio dela é possível definir a sensação de calor ou frio (embora a sensação de conforto pode ser diferente devido à variação dos ventos e da umidade do ar no local). A temperatura não se altera modificando apenas de uma região para a outra, mas



também sofre alterações no mesmo lugar com o decorrer do tempo cronológico e resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação solar de um local para o outro (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

O tratamento de dados climáticos pode oferecer valores de temperatura média, mínima e máxima mais prováveis para cada época do ano. E através desses dados pode-se obter as normais<sup>2</sup> climatológicas ou anos climáticos, podendo-se conhecer o comportamento da temperatura do ar de uma determinada região ao longo do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Tal variação climática sofre influência de diversos fatores, mas principalmente da altitude, latitude e dos efeitos da continentalidade ou da maritimidade, que exercem influência sobre a amplitude diária, mensal e anual da temperatura (ALMEIDA, 2016).

De uma forma didática, é possível entender como a temperatura é influenciada por alguns desses fatores, como é o caso da latitude exemplificada pelo autor a seguir:

De forma geral, a temperatura diminui em função do aumento da latitude, ou seja, a temperatura diminui à medida que se afasta do Equador, indo em direção aos Polos. Essa modificação na temperatura é basicamente decorrente de dois efeitos: a primeira causa está ligada à forma como se dá a incidência dos raios solares na superfície terrestre, que é “perpendicular” na faixa equatorial e de forma mais oblíqua em direção aos Polos. (ALMEIDA, 2016, p. 32)

Já a altitude, que é referenciada em relação ao nível do mar, é um dos fatores que exercem maior influência sobre a temperatura. Ao aumentar a altura, o ar está menos carregado de partículas sólidas e líquidas, e são justamente tais partículas que absorvem a radiação solar e a difunde, aumentando a temperatura do ar (ROMERO, 2000).

Dessa forma, quanto mais elevado for um ponto em relação ao nível do mar, menor será a temperatura. Devido à essa relação, quanto maior a altitude, menor é a concentração de gases e umidade, tornando o ar mais rarefeito, reduzindo a retenção de calor nas camadas mais elevadas da atmosfera. Também como os continentes e os oceanos irradiam calor para a atmosfera, quando maior for a altitude, menor será essa irradiação (PAZ, 2010).

---

<sup>2</sup> A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme (INMET, 2019).

O efeito da continentalidade proporciona amplitude térmicas maiores em as áreas mais afastadas da costa. O contrário da maritimidade, que atenua as diferenças térmicas nas temperaturas das regiões mais próximas da costa em função da umidade mais elevada (TORRES; MACHADO, 2008).

O conhecimento dessa variável para o arquiteto projetista é de suma importância, como relata Lamberts, Dutra e Pereira (1997), já que ele aponta que através dos dados da temperatura do ar é possível a identificação dos períodos de maior probabilidade de desconforto e onde é importante fazer intervenções no nível de projeto.

### 2.2.2 Radiação Solar

A radiação solar é um elemento de extrema importância no estudo da arquitetura bioclimática ou para qualquer edificação que visa ao conforto térmico e à eficiência energética. É possível evitar ou tomar como partido o calor da energia que vem do sol em uma edificação já que a radiação solar é a principal fonte de energia do planeta (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Em climas tropicais, a principal causa do desconforto térmico é o ganho de calor dado pela absorção da energia solar que atinge as superfícies dos ambientes construídos. Assim, um dos principais objetivos de uma edificação que tem como preceitos o conforto ambiental e a eficiência energética deve ser a proteção da radiação solar (CORBELLA; YANNES, 2009).

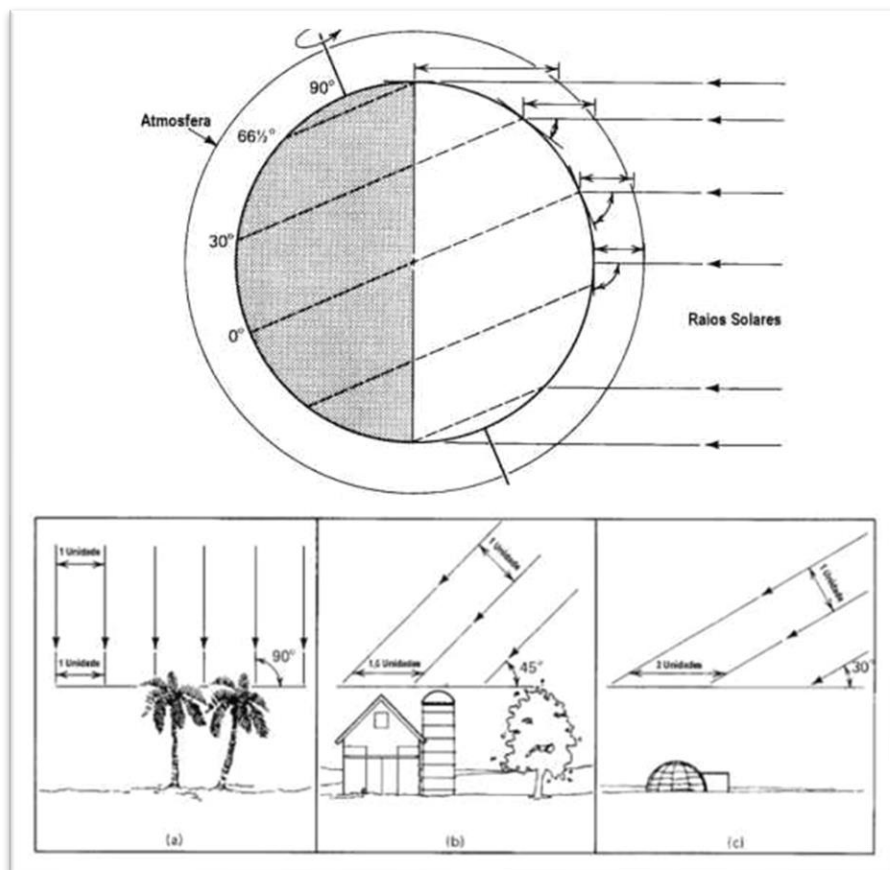
Para Frota e Schiffer (2001), a maior influência da radiação solar é a distribuição de temperatura na Terra, podendo a mesma sofrer variação conforme a época do ano e a latitude. Ela é responsável por elevar a temperatura das superfícies que a absorvem, aumentando imediatamente a temperatura do ar que está em contato com tais superfícies.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a radiação solar pode ser dividida em direta e difusa. Isso acontece porque, após sua penetração na atmosfera, a radiação começa a sofrer interferências em seu trajeto em direção a superfície da terra, e quanto maior a nebulosidade do céu e a presença de partículas sólidas em suspensão, a radiação direta será inversamente proporcional em determinada região.

A radiação solar direta é a principal fonte de ganho térmico em edificações e também responsável pela luz natural mais intensa.

A intensidade da radiação solar auferida sobre uma determinada região não dependem exclusivamente da duração da luz do dia, mas também da altura do sol. Como a Terra é curva, a altura do sol varia com a latitude e influencia a intensidade de radiação solar, como pode ser visto na Figura 1, que mostra a variação da altura do sol sobre diferentes faixas do globo (UFPR, 2019).

**Figura 1 - Variação da Altura do Sol**



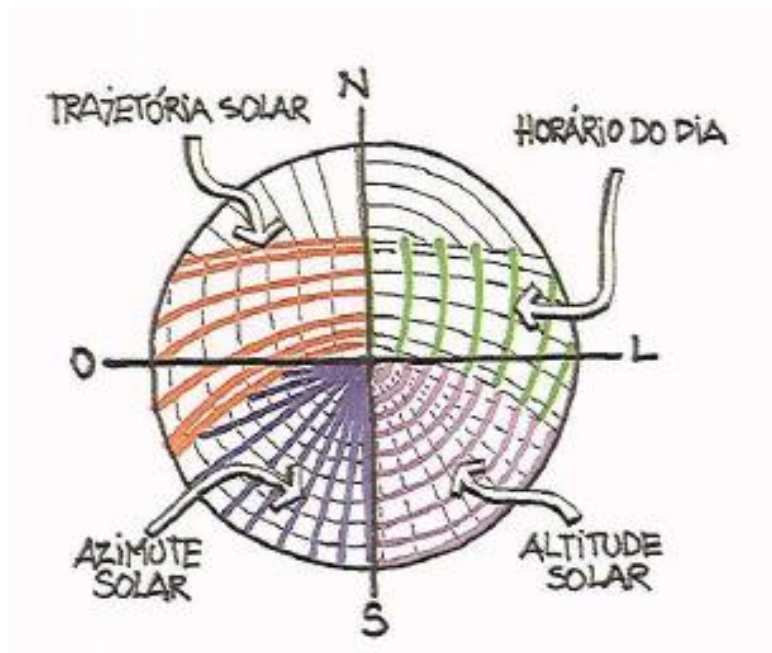
Fonte: UFPR (2019)

Como mostra a figura anterior, se a altura do sol é pequena, os raios que alcançam a Terra cursam uma distância maior na atmosfera, atravessando uma maior quantidade de gases e partículas sólidas que interagem com a radiação, contribuindo para o seu arrefecimento. Ao contrário, quanto maior for a altura solar, mais próximo

da perpendicular será a incidência da radiação sobre a superfície e, conseqüentemente, maior a energia absorvida e que será convertida em calor.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) relatam que a radiação solar é um dos elementos climáticos de comportamento mais conhecido. Com a ajuda de uma carta solar<sup>3</sup> e as informações de altitude e azimute do sol, como pode ser visto na figura 2, dá para saber como será a incidência do sol em determinado horário e período do ano. As informações da posição do sol na abóbada celeste podem ser definidas por meio dos ângulos de altitude solar e de azimute solar. Estes ângulos variariam de acordo com a hora do dia e dias do ano.

**Figura 2 - Carta Solar**



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997)

Mesmo com a carta solar e com informações quantificáveis, os autores citados relatam que a radiação solar pode variar rapidamente de um instante para o outro. Devido à variação da nebulosidade do céu. Para isso, são criados modelos padrões

---

<sup>3</sup> A carta solar é uma representação gráfica dos percursos aparentes do sol na abóbada celeste ao longo do dia em diferentes épocas do ano. Estes percursos são identificados através da transposição do azimute e da altitude solar sobre o plano (BRASIL, 2019).

que representam alguns tipos de céu, sendo basicamente o céu limpo, o parcialmente nublado e o nublado.

Frota e Schiffer (2001) também afirmam que a quantidade de radiação solar que atinge o solo depende da nebulosidade do céu. Assim, a quantidade de nuvens no céu pode formar uma barreira que impede a penetração de uma parte significativa da radiação solar direta.

O conhecimento desse elemento climático por parte do arquiteto é de fundamental importância para projetos de arquitetura, pois a quantidade de radiação solar recebida pelas edificações vai variar com relação à posição e orientação das mesmas. A escolha dos materiais utilizados em fachadas e revestimentos dos ambientes construídos também influenciam na absorção e reflexão da radiação solar. Alguns materiais que absorvem a radiação e armazenam o calor podem devolver esse calor para o ar, tanto para o interior quanto para o exterior das edificações.

### 2.2.3 Umidade do Ar

O conceito de umidade é algo que faz parte do senso comum. É normal ouvir falar que o tempo está úmido, até mesmo que a roupa ou outro objeto esteja úmido. A ideia de que coisas podem ter maior ou menor presença de água é natural. Assim, umidade é uma relação da quantidade de água presente em um determinado ambiente ou material.

A definição de umidade absoluta é o peso do vapor de água contido em uma unidade de volume de ar. Já a umidade relativa do ar é a relação da umidade absoluta com a capacidade máxima do ar para reter vapor de água em uma determinada temperatura e pressão. Então, a umidade relativa é uma porcentagem da umidade absoluta de saturação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A umidade do ar é resultante da evaporação da água contida nos rios, lagos, geleiras, mares e na terra, bem como da evapotranspiração da vegetação e animais. Como um dos elementos variáveis da atmosfera da terra, o vapor de água tem como atributo ser modificável, dependente das disponibilidades hídricas da região. Pode chegar a praticamente zero em regiões áridas, desérticas e nos extremos polares, mas pode chegar a até 4% em volume do ar atmosférico nas regiões tropicais quentes e úmidas (SOUZA; MIRANDA, 2013).

Conforme Torres e Machado (2008), o vapor de água cumpre um papel importante no balanço térmico da atmosfera. Como absorve parte da energia térmica da radiação solar, sua presença evita perdas mais substanciais desse calor em regiões mais úmidas. Um exemplo é a cobertura de nuvens que impede a propagação do calor que a terra irradia, mantendo as temperaturas da noite mais próximas da temperatura do dia. Diferente do que ocorre em regiões desérticas, com níveis de umidade beirando a zero, a perda de calor é rápida. A ausência de nuvens e a baixa umidade do ar fazem com que a superfície terrestre se resfrie rapidamente à noite, fazendo com que os dias sejam mais quentes e as noites frias, com maior amplitude térmica<sup>4</sup>.

Frota e Schiffer (2001) relatam também que a grande diferenciação que a umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto à amplitude da temperatura diária. Quando mais seco for o clima, mais marcantes serão suas temperaturas extremas - mínimas e máximas.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) corroboram, afirmando que em locais com baixa umidade do ar os dias tendem ser mais quentes e as noites mais frias. Já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser abrandadas, embora em locais com umidades elevadas ocorre maior sudorese, aumentando a sensação de desconforto térmico, pois a umidade do ar atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor.

A umidade pode ser modificada nas escalas mais próximas às edificações com a presença de água ou de vegetação. A presença de massa d'água nas proximidades pode umidificar o ar, podendo proporcionar um resfriamento em edificações, já a vegetação umedece o ar do seu entorno pela evapotranspiração.

É importante que o arquiteto tenha maior atenção neste elemento climático durante todo o ano, pois o mesmo, juntamente com a temperatura, são dois elementos que interferem diretamente no conforto térmico do usuário em ambientes construídos, como poderá ser visto no tópico: Aspectos Humanos e o Conforto Térmico. Desse modo, o arquiteto poderá se munir de dados suficientes sobre desses elementos

---

<sup>4</sup> Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas num determinado período de tempo (BRASIL, 2019).

climáticos para identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto e propor intervenções ainda na fase de projeto.

#### 2.2.4 Ventos

Os movimentos atmosféricos se processam em diferentes escalas de espaço e de tempo. O vento é nada mais do que tais movimentos em relação à superfície da terra, movimento este que pode ocorrer tanto no sentido horizontal, quanto no sentido vertical (AYOADE, 1996).

Em uma visão global, o fator fundamental das direções e propriedades dos ventos é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas. A diferença das pressões atmosféricas pode ser esclarecida, entre outros fatores, pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Torres e Machado (2008) explicam que com o aumento da temperatura, o ar é aquecido e se expande, ficando mais leve ele sobe, dando lugar a outro ar, em geral de características mais frias, que vem para ocupar o espaço então criado.

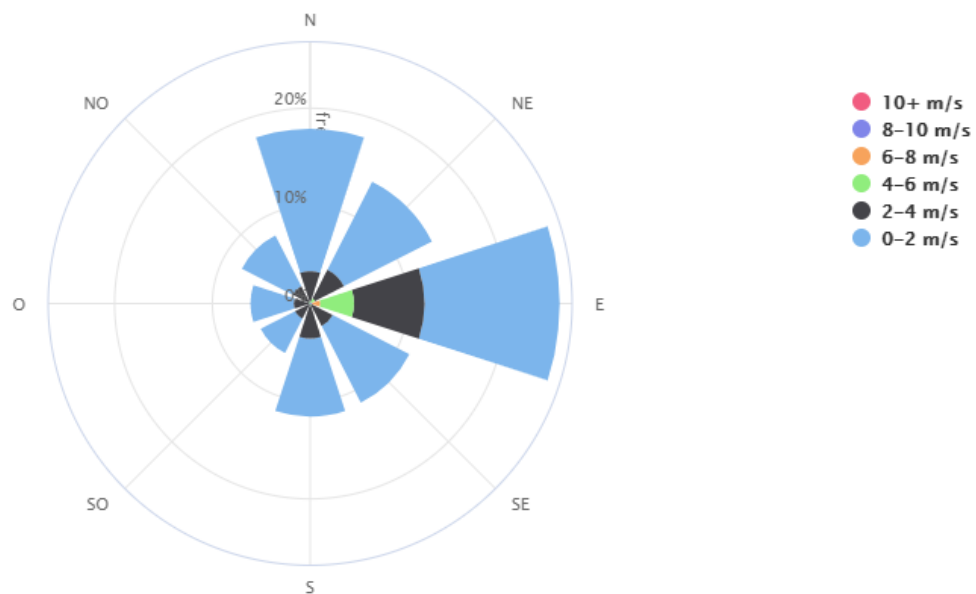
Para Souza e Miranda (2013), em uma macroescala, os gradientes de pressão são decorrência do aquecimento irregular do planeta. Devido à radiação solar ser mais intensa e mais absorvida na região equatorial do que nas regiões polares, há uma diferenciação primária da pressão atmosférica entre essas áreas. Tal diferença na disponibilidade de energia solar faz com que o ar adjacente a uma região aquecida se expanda à medida que a temperatura aumenta, enquanto em áreas mais resfriadas haja tendência do ar em se comprimir, o que eleva a pressão. Porém, existem também altas e baixas pressões influenciadas pelo efeito dinâmico da rotação da Terra, como a faixa de baixa pressão subpolar ocupada pelos sistemas frontais (formação de frentes frias) e as altas pressões subtropicais que formam anticiclones (AYOADE, 1996).

O vento é o único elemento climático aqui abordado que tem grandezas de direção e velocidade. A velocidade é uma grandeza vetorial, da qual se medem, normalmente, parâmetros da sua componente horizontal. Os parâmetros medidos são a velocidade, a direção e as rajadas. A direção do vento é medida sob a forma de

azimute (graus) ou rumo (pontos cardeais, colaterais e subcolaterais), apresentando a direção de onde o vento se origina. As direções fundamentais, representadas pelos pontos cardeais e colaterais, são: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW e calma, esta última para a ausência de qualquer movimento do ar (TORRES; MACHADO, 2008).

Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o arquiteto pode conhecer as probabilidades de ocorrência de vento para as principais orientações e sua velocidade através do diagrama do tipo rosa-dos-ventos, como mostra um exemplo na figura 3. Este instrumento pode auxiliar na elaboração de projetos arquitetônicos, orientando onde seria melhor instalar as aberturas, de forma a aproveitar os ventos mais frescos nos períodos com temperaturas mais elevadas, e evitar ventos fortes nos períodos mais frios durante o ano.

**Figura 3 - Exemplo de um Diagrama de Ventos**



Fonte: Brasil (2019)

Ainda segundo os autores, numa escala mais próxima da escala humana, as condições do vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações, diferenças de temperaturas causadas por diversos revestimentos do solo e outros anteparos naturais ou construídos pelo homem.

A ventilação natural em edificações, segundo a visão de Frota e Schiffer (2001), proporciona a renovação do ar em ambientes, sendo de grande importância para a



higiene em geral e para o conforto térmico no verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido. A renovação do ar em ambientes proporciona a dissipação de calor e a desconcentração de vapores, fumaça, poeiras, de poluentes e afins.

### 2.2.5 Chuvas

A precipitação é o resultado da condensação do vapor de água presente na atmosfera. Ela ocorre quando a força gravitacional supera a força que mantém as gotículas suspensas, assim atinge o solo sob a forma líquida (chuva, chuveiro ou garoa) ou sólida (granizo ou neve). Em meteorologia, o termo precipitação é usado para qualquer deposição de água em forma líquida ou sólida, derivada da atmosfera (AYOADE, 1996).

O cálculo da água precipitada é chamado de pluviometria (do latim *pluvia*, que significa chuva). É expressa em termos da espessura da camada d'água que se formaria sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, como 1 m<sup>2</sup>. O milímetro é utilizado como unidade padrão de medição, que corresponde à queda de um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Para Frota e Schiffer (2001), a precipitação em forma de chuva é um fenômeno natural que ocorre de forma sazonal e preferencialmente nos trópicos, se comparar com as áreas extratropicais.

As chuvas em si não possuem uma ligação direta com os índices de conforto térmico, embora haja uma estreita relação com a radiação solar, logo com a temperatura, e a umidade do ar, que são elementos utilizados para análise do conforto térmico humano.

Como em períodos sazonais a nebulosidade do céu normalmente é maior, reduz-se a radiação solar incidente, influenciando indiretamente a temperatura do ar e o aquecimento da atmosfera, porque a cobertura de nuvens pode refletir, difundir e mesmo absorver parte da radiação solar (TORRES; MACHADO, 2008).

Como os períodos chuvosos são geralmente sazonais ou se acentuam com a sazonalidade, o arquiteto precisa ter conhecimento desse elemento climático e suas influências, pois ele tem uma relação muito forte com outros dois elementos, que são a radiação solar e a umidade do ar.

Nos períodos chuvosos, a umidade do ar normalmente é maior se comparada com os períodos de estiagem, porque a condensação do vapor d'água, em forma de chuva, provém de massas de ar úmido em ascensão, esfriadas por contato com camadas de ar mais frias (FROTA; SCHIFFER, 2001). Essa umidade elevada, aliada a temperaturas mais altas, pode proporcionar uma sensação maior de desconforto, como apresentado no tópico de umidade do ar.

O conhecimento dessa variável climática por parte do arquiteto projetista não deve estar alinhado apenas ao aproveitamento e captação de águas pluviais, como ocorre muitas vezes em edificação com ideias sustentáveis. Desse modo, o arquiteto munido de tais informações poderá escolher melhor quais técnicas utilizar para atenuar a sensação de desconforto térmico em edificações projetadas e adaptadas para o clima local.

### **2.3 Aspectos Humanos e o Conforto Térmico**

Como apresentado anteriormente, existe uma diferença entre tempo e clima e seus aspectos, que variam de um local para o outro sobre a superfície da Terra. Embora existam diferenças climáticas sobre o planeta, o ser humano que habita os diferentes locais do globo é biologicamente parecido, pois é adaptável aos diferentes tipos de climas. Isso acontece por meio de mecanismos culturais, como o modo de se vestir, as arquiteturas das edificações, as tecnologias e, principalmente, mecanismos biológicos existentes no organismo humano.

Assim como é importante compreender os aspectos climáticos e suas características, também é fundamental o entendimento das variáveis humanas relevantes para o conforto térmico em ambientes construídos. É possível mencionar a existência de uma correlação importante entre as variáveis humanas e a sensação de conforto térmico, como será apresentado a seguir.

#### **2.3.1 Organismo Humano**

O ser humano é um animal homeotérmico. Ou seja, a temperatura interna do seu organismo tende a permanecer constante, independente das condições climáticas de onde o indivíduo está. Frota e Schiffer (2001) descrevem que essa temperatura é

por volta de 37°C, com alcances estreitos, entre 36,1 e 37,2°C, podendo ser 32°C o limite mínimo e 42°C o limite máximo para sobrevivência em estado de enfermidade.

O organismo dos seres homeotérmicos possui um processo conhecido como metabolismo, que com o uso do oxigênio promove a queima das calorias existentes nos alimentos, transformando-as em energia. Deste modo é gerado o calor interno do corpo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Para as autoras Frota e Schiffer (2001), boa parte do calor do corpo humano é gerado nesse processo de metabolismo, assim:

O organismo, através do metabolismo, adquire energia. Cerca de 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho. Então, termodinamicamente falando, a “máquina humana” tem um rendimento muito baixo. A parcela restante, cerca de 80%, se transforma em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Mas essa não é a única forma de troca térmica no organismo do ser humano. A temperatura fisiológica depende da intensidade do seu metabolismo, mas também das taxas de trocas de calor com o ambiente, e isso pode variar de um indivíduo para o outro, de acordo com a constituição física, massa corpórea, tipo de roupa, atividades mecânicas exercidas pelo corpo, dieta, fisiologia e até mesmo o grau de adaptação às condições meteorológicas predominantes. E para que haja um equilíbrio térmico, o calor metabólico produzido pelo corpo, juntamente com as trocas de calor por condução, evaporação, radiação e convecção, tende a se anular (BURIOL et al., 2015).

Podendo haver ganho ou perda de calor pelo ambiente, pode ocorrer também uma tendência em aumentar ou diminuir a temperatura interna. Caso a mesma ultrapasse os limites do corpo humano, pode-se levar a quadros de enfermidade ou até à morte se essa variação for superior aos extremos suportados pelo corpo, como apresentado (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Silva (2018) relata que o corpo humano possui um termostato natural, com nome de hipotálamo. Seu papel principal é manter a homeostase do organismo, ou seja, atuar no processo de regulação no qual o corpo mantém constante o seu equilíbrio.

Para que essa variação de temperatura não leve o corpo humano a estados críticos, um mecanismo natural chamado de termorregulação entra em ação. Esse

mecanismo tem a finalidade de manter a temperatura interna do corpo constante, e é ativado quando as condições de temperatura do ambiente ultrapassam certas faixas.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) apresentam alguns exemplos das reações que o corpo humano produz quando esse mecanismo é ativado. No frio, o objetivo é evitar perdas térmicas do corpo ou aumentar a produção interna de calor. Sendo assim, um dos mecanismos de termorregulação mais conhecido quando a temperatura do ambiente cai é o arrepio. Tal movimento muscular que provoca essa reação tem a função de aquecer a pele por atrito, além de aumentar sua rugosidade, de modo a evitar perdas de calor por convecção. Também promove o fechamento dos poros, a fim de evitar a perda de calor via evapotranspiração.

Já quando a temperatura do ambiente é mais elevada, os autores apresentam um outro mecanismo termorregulador muito importante, senão um dos mais importantes para a sensação de conforto térmico: o suor. Como os poros da pele estão sempre liberando suor, o mesmo vai sendo evaporado para o exterior. Esta evaporação fomenta a perda de calor do corpo, mas quando a temperatura da pele aumenta muito ou quando a umidade do ar está elevada, o suor não pode ser totalmente evaporado, ficando na superfície da pele, provocando uma sensação de desconforto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Embora a termorregulação seja um meio natural de controle da temperatura corporal do ser humano, Frota e Schiffer (2001) dizem que ela representa um esforço extra e, logo, uma perda de potencialidade de trabalho. Sendo que o organismo humano experimenta sensações de conforto quando perde temperatura do calor gerado pelo metabolismo compatível com a atividade exercida no momento.

### 2.3.2 Reação ao Frio e Calor

É importante conhecer as variáveis climáticas e como as mesmas atuam sobre a percepção térmica do ser humano. Para isso é necessário medir as variáveis do ambiente, mas também conhecer as reações humanas frente às ações dessas variáveis e expressar a relação entre causa e efeito.

Algumas dessas reações ocorrem quando a temperatura do ambiente esfria, proporcionando perdas de calor do corpo além do necessário para manter a sua

temperatura interna. O organismo reage por meio de seus mecanismos, buscando reduzir as perdas e aumentar as combustões internas. Assim, o corpo tenta aumentar a resistência térmica da pele por meio da vasoconstrição, do arrepios ou dos tremores (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Já quando a temperatura do ambiente é elevada, e as perdas de calor são inferiores às necessárias para a manutenção da temperatura interna constante do corpo, o organismo trabalha regulando as condições de troca de calor mais intensa entre o organismo e o ambiente, reduzindo as combustões internas. De tal modo, as perdas de calor para o ambiente podem ocorrer por meio da vasodilatação e do suor, como assim descrevem as autoras Frota e Schiffer (2001).

Segundo Mayer (1993), a sensação de frio pode ser sentida quando a temperatura da pele cai até um certo limite. Já a sensação de calor é sentida no interior do organismo, pois quando extrapolada uma certa temperatura, o cérebro faz com que receptores quentes reajam combinados com a transpiração.

O corpo humano também faz trocas térmicas de calor com o ambiente, dessa forma o calor pode ser dissipado por trocas térmicas secas (condução, convecção e radiação) ou trocas térmicas úmidas (evaporação). Como apresentado a seguir:

O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. Já o calor perdido para o ambiente através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudança de estado de agregação — o suor, líquido, passa para o estado gasoso, de vapor, através da evaporação. (FROTA; SCHIFFER, 2001)

Desse modo, o corpo humano possui duas formas de perda de calor para o ambiente, o calor sensível e o calor latente.

### 2.3.3 Sensação de Conforto Térmico

O tema sobre a sensação de conforto térmico humano também é um assunto potencialmente interdisciplinar já que é possível ser vinculado a diversas áreas do conhecimento como a medicina, a arquitetura, a psicologia, a engenharia, a climatologia, a geografia e outras. Já que o conceito de sensação tem vários significados, pode assumir tanto abordagens objetivas, quanto subjetivas.

Os caracteres psicossociais e fisiológicos influenciam diretamente na sensação de conforto térmico. E para alcançar um estado maior de conforto, o ser humano se veste com roupas mais adequadas às condições climáticas e atividade física exercida, se desloca de uma região para outra ou constrói locais para ocupar com condições térmicas mais favoráveis, de modo que o organismo possa gastar menor quantidade de energia para atingir níveis de conforto, como visto anteriormente.

Para Frota e Schiffer (2001), a condição de conforto térmico é fundamental para uma série de variáveis. Se o indivíduo está em condições de conforto, ele deve estar com vestes apropriadas para o clima local e sem problemas de saúde ou de aclimatação.

Essa sensação de conforto térmico pode ser definida como a condição na qual um indivíduo exprime satisfação com relação ao ambiente que ocupa. Tal definição é apresentada por diversos autores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997; FROTA; SCHIFFER, 2001; FERNANDES, 2009; SILVA, 2018), seguindo conceitos da ASHRAE (2004, p. 2) que considera o conforto térmico: “that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation<sup>5</sup>”.

A ASHRAE (2004) também expõe que existem grandes variações, fisiologicamente e psicologicamente, de pessoa para pessoa, e que é difícil satisfazer a todos em um mesmo espaço. As condições ambientais necessárias para o conforto não são iguais para todos, mas pode-se considerar que o ambiente está confortável quando apresenta condições térmicas em que pelo menos 80% a 90% dos ocupantes expressem satisfação com o ambiente térmico.

Dentro das variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico, podemos mencionar os elementos climáticos (temperatura, umidade do ar, radiação, ventos) apresentados anteriormente. Além das variáveis ambientais, a atividade física e a vestimenta também interagem na sensação de conforto do ser humano.

Quanto à atividade física, quão maior a sua intensidade, maior também será o calor gerado pelo organismo durante o processo metabólico. Conhecer bem as atividades que serão exercidas em uma edificação é um dado importantíssimo para o

---

<sup>5</sup> Aquela condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é aferida por avaliação subjetiva (Tradução nossa).

arquiteto projetista para que ele possa prever o nível de tais atividades a serem realizadas no local, e tomar partido das estratégias, ainda na fase de projeto, que melhor proporcionem sensações de conforto térmico para os ocupantes.

Já a vestimenta representa uma barreira física para as trocas térmicas por convecção. Ela pode reduzir o ganho térmico oriundo da radiação solar, reduzir também as perdas em condições de baixo teor de umidade e atuar no efeito de resfriamento do suor. Reduz ainda a sensibilidade da pele às alterações de temperatura e de velocidade do ar, mas sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A ASHRAE (2004) cita que existem seis fatores principais que devem ser abordados quando se definem condições para o conforto térmico humano e que existem vários outros secundários, que também podem afetar o conforto em algumas circunstâncias. Os fatores principais a serem considerados são: taxa metabólica, isolamento de roupas, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade e umidade do ar.

Como a sensação de conforto térmico não é igual para todos diante das mesmas condições ambientais, estudos geram informações necessárias para se definir condições em que uma porcentagem determinada dos ocupantes julgará um espaço termicamente confortável.

Silva (2018) expõe que o conforto térmico se refere ao estado subjetivo do indivíduo, mas que existe a sensação térmica e índices de calor, que é uma experiência dirigida a um mundo objetivo. Embora ambos podem ser avaliados por escalas, a percepção de conforto térmico e sensação térmica se correlacionam, como pode-se ver a seguir.

#### 2.3.4 Sensação Térmica e Índices de Calor

A sensação térmica pode ser considerada a forma como o corpo humano percebe ou sente a temperatura do ar, o que pode ser totalmente diferente da temperatura real mensurada nos termômetros. Esse conceito é apresentado por diversos autores, seguindo como premissa a definição apresentada pela American Society of Heating (2004, p. 3), que define a sensação térmica como “a conscious

feeling commonly graded into the categories cold, cool, slightly cool, neutral, slightly warm, warm, and hot; it requires subjective evaluation.<sup>6</sup>

Corbella e Yannas (2009) completam que esse sentimento depende de quanto rapidamente se retira o calor ou se entrega calor à pele mais que da temperatura do ar.

Entretanto surgiu a necessidade de se definir parâmetros e índices de conforto térmico para mensurar tal sensação. E assim, vários estudos foram realizados em busca de equacionar a satisfação humana frente às variáveis climáticas.

Atualmente, os modelos de previsão de sensação térmica existentes já ultrapassam as centenas de índices encontrados na bibliografia consultada. A quantidade continua aumentando à medida que novos elementos são englobados conforme a necessidade particular de cada pesquisa.

Como o conforto térmico não envolve apenas a variável fisiológica ou a variável ambiental, mas sim as duas, e ainda pode incorporar aspectos subjetivos ou pessoais, é muito difícil que indivíduos em um mesmo espaço e com as mesmas condições climáticas tenham todos a mesma satisfação de conforto térmico.

Logo, tais índices têm a finalidade de, segundo Givoni (1976), aferir a implicação combinada dos fatores ambientais sobre as respostas fisiológicas e sensoriais do ser humano e expressar qualquer combinação desses fatores em termos de um parâmetro único.

Boa parte dos índices, escalas, cartas e tabelas que expressam a sensação de conforto térmico utilizam os dados climáticos como temperatura do ar e umidade relativa, mas alguns outros índices mais complexos podem considerar tipos de vestimenta, metabolismo ou até dados subjetivos como a sensação ou percepção de cada indivíduo.

Alves (2011) apresenta a classificação dos índices baseados em diferentes tipos de aspectos de conforto térmico, sendo eles: os biofísicos - em que é considerada a troca de calor entre o corpo e o ambiente; os fisiológicos - oriundos da reação fisiológica proveniente da variação dos elementos climáticos; e os subjetivos - que são aqueles baseados na sensação ou na percepção de cada pessoa. O autor

---

<sup>6</sup> Um sentimento consciente comumente classificado nas categorias muito frio, frio, levemente frio, neutro, levemente quente, quente e muito quente; requer avaliação subjetiva (Tradução nossa).

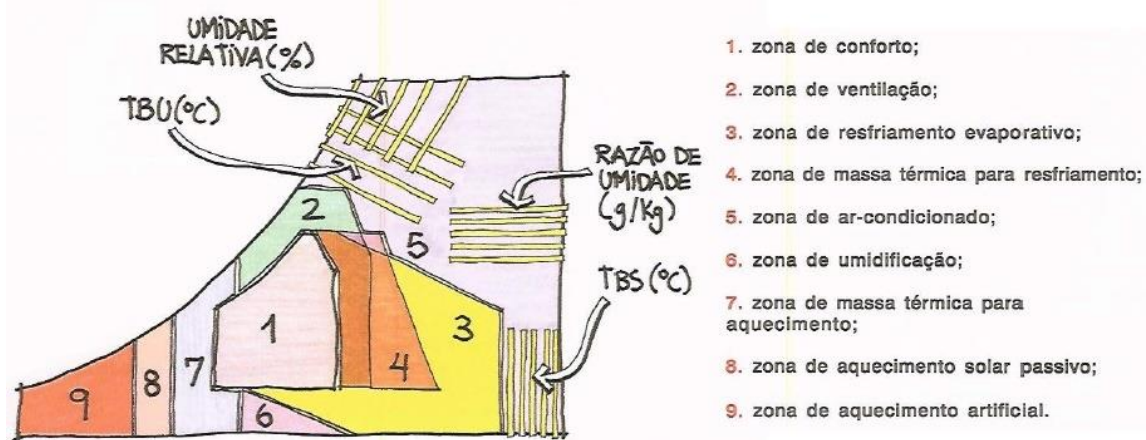


ainda fala sobre o estudo científico desses índices, separando-os em dois grupos. Os índices racionais são aqueles que avaliam as trocas de calor, sob condições laboratoriais. E os índices empíricos e estatísticos são aqueles realizados em campo e que relacionam estatisticamente a sensação térmica com as condições externas do ambiente.

Como exemplos de alguns desses métodos utilizados para mensuração do conforto térmico, podem-se citar os diagramas bioclimáticos. Dentre os mais conhecidos, a carta bioclimática de Olgay (2015) e a carta bioclimática de Givoni (1976), que servem de embasamento para o desenvolvimento de várias outras pesquisas e métodos relacionados ao tema. Inclusive no Brasil, a carta bioclimática de Givoni (1976) foi utilizada como referência para desenvolvimento da norma específica de desempenho térmico pela Associação Brasileira de Normas e Técnicas, a NBR 15.220 (2005).

O diagrama, conforme mostra a figura 4, é um esquema psicrométrico que relaciona temperatura do ar e umidade relativa do ar. Com base nessa relação, existe uma zona de conforto e sugestões de medidas corretivas para se atingir o conforto quando o objeto de estudo não estiver nessa zona. Dessa forma, é possível que com os valores dessas variáveis climáticas para os principais períodos do ano em uma determinada localização e a interpretação correta da carta, o arquiteto indique estratégias bioclimáticas para adequação de edificações ao clima local.

**Figura 4 - Carta Bioclimática Adotada para o Brasil**



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997)

A carta de Olgyay é predecessora da carta de Givoni, mas Givoni apresenta algumas correções quanto às limitações do diagrama idealizado por Olgyay. A carta de Givoni tem como fundamento as temperaturas internas do edifício com propostas estratégicas para uma arquitetura adequada ao clima, enquanto a carta de Olgyay aplica em seu diagrama apenas as condições externas. Além disso, Givoni (1976) desenvolveu adequações em sua carta para países quentes e em desenvolvimento.

Segundo as cartas de Olgyay (1963) e Givoni (1976), nas condições de conforto térmico delimitadas na zona 1, existe uma grande possibilidade de os indivíduos que ocupam um espaço interno se sentirem confortáveis. Sendo que tais diagramas apresentam que o organismo humano pode estar confortável em diferentes limites de umidade, algo que pode variar em entre 20% e 80%, e a temperatura variando entre 18°C e 29°C.

Portanto, nota-se que as variações no teor da umidade do ar, associadas às da temperatura, estabelecem o nível de conforto térmico ambiental. Com base no que os autores apresentaram, talvez a sensação de desconforto está mais associada à umidade do que à temperatura propriamente dita.

Tais diagramas ou cartas bioclimáticas levam em consideração apenas a temperatura e a umidade relativa do ar, embora outros índices considerem outras variáveis para determinar a sensação de conforto, como é o caso da tabela de sensação térmica apresentada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (2019). A figura 5 mostra o índice de sensação térmica de acordo com as condições do vento e da temperatura registradas pelos termômetros.

**Figura 5 - Tabela de Sensação Térmica para Diferentes Temperaturas (°C) e Velocidades do Vento (m/s, km/h e nós)**

		VENTO																												
m/seg	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
km/hora	7	11	14	18	22	25	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86	90	94	97	101	104	108	
nós	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	
Temp (°C)	TEMPERATURA CORRESPONDENTE																													
-6	-7	-11	-14	-16	-18	-20	-21	-23	-24	-25	-26	-26	-27	-28	-28	-28	-29	-29	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-29
-5	-6	-10	-13	-15	-17	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-25	-26	-27	-27	-27	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
-4	-5	-9	-11	-14	-16	-17	-19	-20	-21	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-25	-26	-26	-26	-26	-26	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-26	-26	-26
-3	-4	-8	-10	-13	-14	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-22	-23	-23	-24	-24	-24	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25
-2	-3	-6	-9	-11	-13	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-20	-21	-22	-22	-22	-22	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23
-1	-2	-5	-8	-10	-12	-13	-14	-16	-17	-18	-19	-19	-20	-20	-21	-21	-21	-21	-21	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-21
0	-1	-4	-7	-9	-10	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-17	-18	-18	-19	-19	-19	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
1	0	-3	-5	-7	-9	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-16	-16	-17	-17	-17	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-19	-19	-19	-19	-19	-18	-18
2	1	-2	-4	-6	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-15	-16	-16	-16	-16	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17
3	2	-1	-3	-5	-6	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13	-14	-14	-14	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
4	3	0	-2	-4	-5	-6	-8	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-12	-12	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-13
5	4	1	-1	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-10	-11	-11	-11	-11	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
6	5	3	1	-1	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-8	-8	-9	-9	-9	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-11	-10	-10	-10	-10	
7	6	4	2	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-8	-8	-8	-8	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
8	7	5	3	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
9	8	6	4	3	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5
10	9	7	5	4	3	2	1	0	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
11	10	8	7	5	4	6	2	2	1	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
12	11	9	8	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13	12	10	9	8	7	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	13	12	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
15	15	13	12	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
16	16	14	13	12	11	10	9	9	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
17	17	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
18	18	16	15	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
19	19	17	16	15	15	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
20	20	18	17	17	16	15	15	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Fonte: INMET (2019)

Esse índice é similar ao usado pelo *National Weather Service*<sup>7</sup> - NWE, uma das seis agências científicas que compõem a *National Oceanic and Atmospheric Administration*<sup>8</sup> - NOAA, dos Estados Unidos, que considera que a sensação térmica, ou o *wind chill*<sup>9</sup>, é a temperatura aparente experimentada pela pele exposta em virtude da combinação entre temperatura do ar e velocidade do vento (NOAA, 2020).

Como o ser humano possui um organismo que perde calor principalmente por meio de dois tipos de trocas térmicas, a convecção e a evaporação, a porcentagem em que ocorre essa perda de calor depende da velocidade do vento sobre a pele. Quanto maior a velocidade do vento, mais rápido o resfriamento.

<sup>7</sup> Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos (tradução nossa).

<sup>8</sup> Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (tradução nossa).

<sup>9</sup> Índice de Resfriamento ou Vento Frio (tradução nossa).

Em situação de baixa temperatura, o vento influencia mais no desconforto, pois ele remove a camada de ar quente que envolve a pele e que funciona como um isolante. Como o corpo humano estará mais quente que a temperatura ambiente, logo começa a perder calor para o ambiente, causando uma sensação de frio.

Embora o *wind chill* seja mais utilizado no inverno, quando são registradas as menores temperatura do ar, podemos lembrar também que em situação de temperaturas e umidade elevadas, como visto anteriormente, o vento ajuda na evaporação do suor, podendo proporcionar uma sensação melhor de conforto.

Outro índice bastante utilizado e também apresentado pela National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2020) é o *Heat Index*<sup>10</sup>, que analisa o efeito que o corpo humano sente quando a umidade é combinada com a temperatura. Este índice também pode ser chamado de temperatura aparente e é comumente empregado para analisar períodos mais quentes, quando a temperatura do ar alcança os valores máximos e a umidade relativa do ar permanece alta, como ocorre no verão.

Quando a temperatura do corpo se eleva, ele começa a suar para se refrescar. E se o suor não for capaz de evaporar, o corpo não poderá regular sua temperatura, já que o suor ou a evaporação atua como um processo de resfriamento.

Quando a transpiração do corpo é maior, reduz efetivamente a temperatura do mesmo. Quando o teor de umidade é mais elevado, a porcentagem de evaporação diminui. Ou seja, o corpo humano poderá sentir mais calor em condições mais úmidas.

O corpo humano também pode sentir mais frio em condições mais áridas já que existe uma relação direta entre a temperatura do ar e a umidade relativa e o índice de calor, ou seja, à medida que a temperatura e a umidade diminuem, o índice de calor também diminui, como mostra a figura 6.

---

<sup>10</sup> Índice de Calor (tradução nossa).

**Figura 6 - Índice de Calor para Diferentes Temperaturas (°C) e Umidades Relativas (%)**

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Fonte: Adaptado de NOAA (2020)

As cores da figura 6 seguem a seguinte definição, segundo NOAA (2020): Amarelo - cuidado (fadiga possível com exposição prolongada e/ou atividade física); Amarelo-escuro - cuidado extremo (insolação, câimbras de calor ou exaustão de calor são possíveis com exposição prolongada e/ou atividade física); Laranja - perigo (cãimbras ou exaustão de calor, provavelmente, e insolação possível com exposição prolongada e/ou atividade física) e Vermelho - perigo extremo (insolação altamente provável).

Segundo Steadman (1979) citado por NOAA (2020), o *Heat Index* é o resultado de extensos estudos biometeorológicos, em que algumas variáveis, como é o caso da taxa de ventilação, resistência da pele ao calor, transferência de umidade e outras, não aparecem como condicionantes na tabela que expressa o índice de calor, mas elas são incorporadas de forma implícita em sua equação.

Dessa forma, o *Heat Index* ou o Índice de Calor é uma forma de medir quanto realmente o corpo humano sente a relação da umidade relativa com a temperatura do

ar. E por meio da tabela apresentada na figura 6, calculada com base nas fórmulas apresentadas, pode-se encontrar a temperatura sentida por meio do Índice de Calor de uma forma mais prática e rápida.

Como visto anteriormente, o conforto térmico pode variar conforme muitas condicionantes, tais como: elementos climáticos, atividades desenvolvidas, condições de saúde, aclimatação, vestimenta e outros, que resultam em combinações que proporcionam uma grande variedade de condições diferentes. Assim, foram desenvolvidos diversos outros métodos de cálculos e índices que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas, facilitando assim o estudo e a aplicação dos mesmos.

Entretanto, não é objetivo desse trabalho analisar o desempenho ou a eficiência dos diversos índices existentes de conforto e seria algo praticamente infactível encontrar um único índice ou método padrão para mensurar o conforto térmico ou a neutralidade térmica ideal para todos os seres humanos que habitam diversas regiões do planeta. Portanto, foram apresentados aqui apenas alguns dos modelos comumente utilizados para compreensão e conhecimento dos modelos quantitativos sobre o conforto térmico humano, com destaque para o modelo *Heat Index* que será empregado na parte empírica da presente pesquisa.

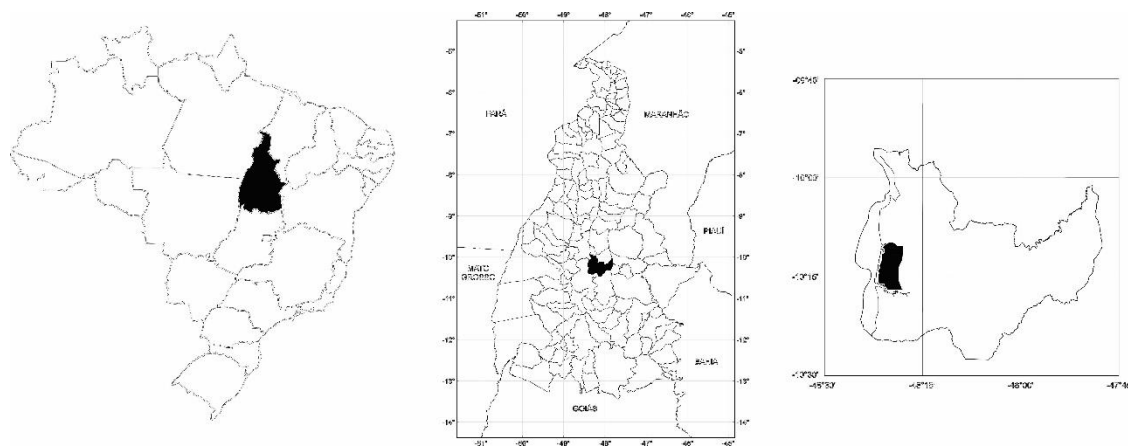
### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A apresentação dos conceitos e a relação entre homem, clima e arquitetura apresentada até o momento orientam esta pesquisa para compreensão e análise de alguns efeitos dessa relação numa subunidade climática do mesoclima da região central do cerrado brasileiro, no clima local da cidade de Palmas - Tocantins.

#### 3.1 A Cidade de Palmas

Palmas é a capital do estado do Tocantins, localizada no centro do país e no cerrado brasileiro, próxima ao paralelo 10° Sul e ao meridiano 48° Oeste, como mostra a figura 7, situada entre o Lago da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães (rio Tocantins), a Oeste, e a Serra do Carmo, a Leste, com altitude média de 260m acima do nível do mar (TOCANTINS, 2012).

**Figura 7 - Mapas do Brasil, Tocantins e Palmas**



Fonte: Silva e Souza (2016)

É considerada a última capital estadual planejada do século XX no Brasil, conforme Velasques (2010). Foi criada para ser a sede administrativa de um novo estado que surgiu em 1988, oriundo da divisão do estado do Goiás, na promulgação na Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988).

Deu-se início à sua construção em 20 de maio de 1989, sob uma visão declaradamente “ecológica” presente em seu planejamento, que era para ser algo mais do que simplesmente uma “ideologia ambiental”, conforme os seus autores, os

arquitetos Luiz Fernando Cruvinel Teixeira e Walfredo Antunes de Oliveira Filho. Assim, Palmas foi criada para ser moderna, com conceitos ecológicos e humanistas, seguindo princípios do bioclimatismo para o desenho urbano, com ruas sombreadas, grandes espaços arborizados e áreas verdes. Um exemplo disso é a principal avenida que corta a cidade no eixo Norte-Sul, a Av. Teotônio Segurado e seu canteiro central, de aproximadamente 45 m de largura, destinado às árvores para amenizar a radiação solar (GRUPOQUATRO, 1989).

Mas Paz (2010) questiona tal visão “ecológica” na prática, pois ainda no início de sua construção, a área urbana passou a ser implantada às custas da supressão do cerrado, dando espaço para as grandes avenidas que cortam a cidade de Norte a Sul e de Leste a Oeste. Posteriormente, foram plantadas espécies exóticas nos canteiros dessas avenidas, priorizando apenas a questão estética ao invés de buscar prover conforto ambiental à população.

Figuera (2005) também questiona a efetividade do projeto de “cidade ecológica” para Palmas. Analisando pela ótica das suas áreas verdes, observou que “tanto o processo de implantação quanto o de expansão da cidade negligenciou a importância da cobertura vegetal” (FIGHERA, 2005, p. 176).

Contudo, em seu planejamento, os autores relatam que o desenho urbano da cidade procura amenizar os impactos climáticos oriundos da ocupação e densidade construtiva, pois a configuração física do plano urbanístico possibilita melhores condições de conforto ambiental, devido ao projeto respeitar o ambiente (GRUPOQUATRO, 1989).

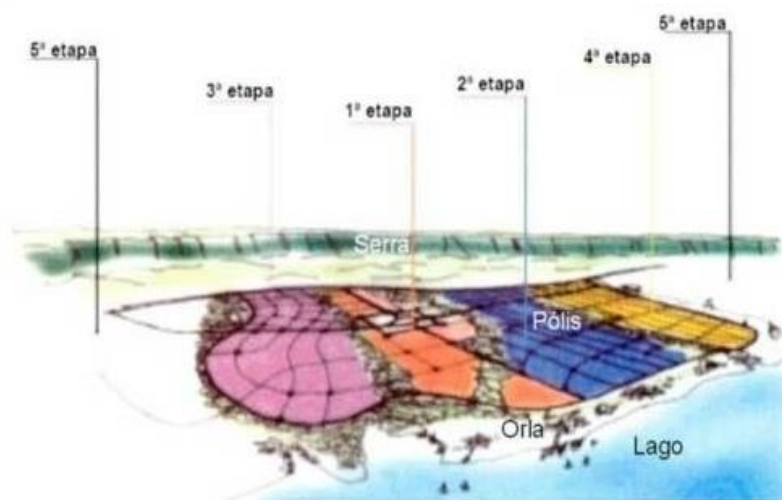
Seguindo uma análise mais teórica da concepção de Palmas, Velasques (2010) relata que o partido urbanístico da cidade é algo singular, tendo como referência as novas cidades europeias, onde são utilizadas soluções projetuais modernas, porém aliadas às preocupações da contemporaneidade.

Um dos destaques desse partido urbanístico, seguindo ainda o pensamento abordado pela autora, é a proposta de ocupação concentrada e em etapas. Tal metodologia de ocupação era uma das peças chaves para manutenção dos conceitos fundamentais do desenho da cidade, permitindo a integração com a natureza por meio de um traçado simples e lógico que permitiria um controle maior dos recursos naturais (GRUPOQUATRO, 1989).



Desse modo, o projeto deveria seguir uma diretriz de ocupação da cidade em cinco fases, como mostra a figura 8, sendo que o centro, compreendido como a área lindeira aos principais eixos viários (Av. Juscelino Kubitschek e Av. Teotônio Segurado), deveria ser ocupado primeiramente, e só assim haveria a abertura para ocupação das demais quadras da cidade. Tais quadras fazem a subdivisão da cidade como se fosse uma grande malha ortogonal, dividida pelo sistema viário, com previsão de regras básicas para o funcionamento de cada uma dessas quadras (GRUPOQUATRO, 1989).

**Figura 8 - Proposta de Ocupação Urbana Sequenciada de Palmas**



Fonte: Palmas (2005) adaptado por Coriolano (2010)

Inicialmente, as quadras receberam nomes conforme o uso e a orientação, predominando a ocupação das Áreas Residenciais (as ARs), compostas por lotes multifamiliares e unifamiliares em sua maioria, mas pensadas para serem independentes no atendimento às demandas rápidas, como comércio e serviços locais, áreas de recreação e institucionais, e com previsão obrigatória de áreas verdes em seu parcelamento.

Embora tenha existido toda essa preocupação na fase de planejamento da cidade, Coccozza (2007) expõe que houve uma ruptura na ocupação territorial de Palmas. A forma como estava sendo ocupada era diferente do que estava no plano para seu crescimento, em grande medida por conta de problemas fundiários

relacionados às desapropriações das terras (LUCINI, 2018). Essa ruptura entre o planejamento e a gestão criou algumas interferências nas diretrizes do ordenamento previstas como essenciais para condicionar o crescimento da capital.

### 3.1.1 O Crescimento da Cidade e a Verticalização

O crescimento de Palmas foi planejado para ocorrer em etapas, como citado anteriormente. O projeto previa uma indicação populacional esperada ao longo dos anos, algo aproximado de 50 mil a 100 mil habitantes até o 5º ano da cidade, 100 mil a 200 mil até o 10º ano, e que poderia atingir no mínimo 300 mil a 500 mil habitantes até o 15º ano de Palmas (GRUPOQUATRO, 1989).

Contudo o crescimento populacional não ocorreu conforme o esperado pelo planejamento. Segundo o censo de 2010, Palmas ainda apresentava uma população de 228.332 pessoas, e a população estimada para o ano de 2019 é de 299.127 pessoas (IBGE, 2010; 2019).

O crescimento populacional não tinha atingido as marcas esperadas pelos autores para abertura das quadras de forma escalonada, mas a ocupação espalhada da cidade deu-se logo após os primeiros anos, e hoje Palmas ocupa uma área que deveria atender a cerca de 2,5 milhões de habitantes (GRUPOQUATRO, 1989).

Cocozza (2007) relata que pessoas que estão na cidade desde o começo de sua construção presenciaram seu processo de ocupação, que foi desvirtuado do seu planejamento urbanístico original. O plano que projetava o crescimento em faixas no sentido norte-sul, previa a ocupação territorial de toda a área macroparcelada apenas em 2010, mas aos poucos a cidade se distanciava dessa estratégia e redesenhava o seu espaço. Áreas mais afastadas eram ocupadas por trabalhadores que chegaram no começo da cidade e não tinham condições de se estabelecer nas áreas centrais.

Tais trabalhadores, assim como boa parte da população que contribuiu no crescimento de Palmas são imigrantes, em sua maioria vindos do interior do Estado (Goiás/Tocantins), e também nordestinos, logo em seguida. Nesse processo, a população migrante oriunda de regiões interioranas veio para promover a urbanização de áreas inicialmente rurais. Assim, Palmas nasce como uma cidade construída por modos de vida mesclados entre o rural e o urbano, principalmente nos primeiros 15

anos, quando estava sendo erguida a maior parte das edificações e da estrutura da cidade (BEZERRA, 2013).

Durante o processo de implantação, o Estado era o principal responsável por parte das áreas da nova capital e foi o maior proprietário fundiário. Não respeitando o processo de expansão previsto no planejamento, negociou boa parte dessas áreas ou utilizou como moeda de troca, como pagamento de empreiteiras responsáveis pelas obras de construção da cidade, à medida que as terras eram desapropriadas e os entraves jurídicos superados (LUCINI, 2018). Assim, o Estado foi um dos principais agentes responsáveis pelo crescimento horizontal e pela implantação de uma cidade esparsa e de baixa densidade territorial (CORIOLANO, 2010).

Para Paz (2010), esse processo de transformação do solo urbano desvirtuado do plano original, sem estratégias claras e critérios técnicos de ocupação, produziu vazios urbanos danosos ao equilíbrio da qualidade de vida e da economia da cidade.

Outro processo que também era previsto no plano original, mas que também não ocorreu conforme o planejado, foi a verticalização da cidade. Havia espaços reservados para edificações verticais e multifamiliares desde o princípio, para ajudar com a densidade recomendada nas quadras. A verticalização deveria ocorrer simultaneamente ao processo de ocupação horizontal, seguindo as etapas planejadas de forma subsequente, com o intuito de impedir o espalhamento da malha urbana (RODRIGUES, 2016).

Rodrigues (2016) relata que no início do processo de ocupação da cidade a produção de edificações era predominantemente horizontal, pois nos primeiros anos era possível comprar lotes bem localizados por um preço baixo. Assim, era mais vantajoso comprar um lote e construir uma casa, do que comprar um apartamento. A violência urbana não era um agravante nesse período, e esse quesito é um dos fatores pelos quais muitos optam pela moradia em apartamentos. Não havia, portanto, interesse significativo na produção verticalizada de moradia nesses primeiros anos da implantação de Palmas.

Como a oferta de lotes era vasta, devido à abertura de várias quadras e à presença de poucos habitantes, Rodrigues (2016) expõe que mesmo com o crescimento da verticalização na cidade, até o ano de 2010 construtores optavam por construir edifícios com um menor número de pavimentos. Logo, muitos empreendimentos não utilizavam o potencial construtivo total de seus terrenos, pois o

valor da terra urbana não ultrapassava o ponto a partir do qual era necessária a diluição do valor do lote em um maior número de pavimentos.

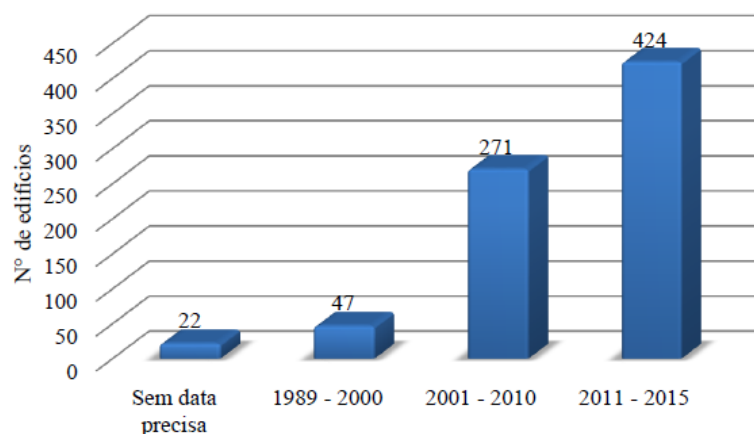
Desse modo, a verticalização só veio a ganhar força a partir de 2011 com edificações mais expressivas, pois nos 4 anos seguintes foram construídos mais edifícios verticais do que a soma de todos os outros em períodos anteriores. Isso pode ter ocorrido devido a alguns fatores, como: a liberação de linhas de crédito para o setor da construção e habitação; a potencialização dos índices construtivos com aprovação de novas leis favoráveis às construtoras; e o aumento do valor dos terrenos (RODRIGUES, 2016).

Em uma pesquisa mais recente, Vieira (2019) corrobora com a autora, relatando que em áreas mais nobres da cidade, como na orla do lago (UHE Luiz Eduardo Magalhães), a verticalização intensificou-se a partir de 2011, dada a permissão concedida para a aplicação do instrumento da outorga onerosa<sup>11</sup> do direito de construir.

O gráfico apresentado na figura 9 mostra resultados da pesquisa de Rodrigues (2016), exibindo de forma significativa o crescimento das edificações verticalizadas de Palmas até o ano de 2015. No período de 2011 a 2015, por exemplo, houve um acréscimo de 424 edifícios. Isso representou uma mudança significativa na morfologia da cidade, e tem implicações diretas nos impactos ambientais e nas características climáticas da cidade (RODRIGUES, 2016).

---

<sup>11</sup> Mediante pagamento, permite a ampliação do potencial construtivo de um lote.

**Figura 9 - Número de Edifícios Construídos em Palmas Entre 1989 e 2015**

Fonte: Rodrigues (2016)

Rodrigues (2016) também constatou que os edifícios residenciais passaram a predominar na verticalização da cidade. Praticamente 70% dos edifícios construídos entre 2001 e 2010 foram destinados ao uso habitacional, evidenciando que Palmas seguiria uma tendência da verticalização nacional, que é destinada em sua maioria para habitação. No entanto, a autora questiona a escolha por habitações verticais em Palmas. Será que é realmente uma opção da preferência de seus compradores ou se trata de uma alternativa devido à ampla oferta no mercado e às possibilidades de financiamento?

Assim, a habitação verticalizada começou a delinear a *skyline* de Palmas representando uma das formas de reprodução do espaço urbano que mais alterou a morfologia da cidade nos últimos anos, com edificações inicialmente de até quatro pavimentos, depois com obras mais altas, a partir de cinco pavimentos, até os arranha-céus mais recentes, com até 40 pavimentos.

Contudo, a considerar pelos vazios urbanos, tal processo de verticalização não se justifica pela falta de áreas livres para expansão horizontal ou tampouco pela necessidade de adensamento. Ainda assim, a verticalização parece ser uma realidade sem volta para Palmas.

### 3.1.2 A Arquitetura Local

A identidade arquitetônica de Palmas é algo ainda em construção, pois a cidade possui poucos anos de existência, e sua criação *ex nihilo*<sup>12</sup> proporcionou uma ausência inscrita da sua diacronia.

A identidade cultural, que poderia influenciar com elementos capazes de colaborar na formação de uma identidade arquitetônica, sofre com a falta ou o excesso de influências. Considerando-se ainda a formação heterogênea do povo tocantinense, formado por indivíduos que trazem consigo culturas de diversas raízes de seus locais de origem, Palmas é uma cidade que reúne uma “miscelânea de elementos mesclados entre símbolos de culturas tradicionais e da cultura moderna” (BEZERRA, 2013, p. 137).

Mesmo assim, é possível encontrar alguns elementos semelhantes, oriundos das limitações expressas em leis urbanísticas locais, como o uso de marquises em alguns edifícios comerciais nas avenidas da cidade, ou o uso de colunatas presentes em determinados edifícios comerciais da região central (PALMAS, 2015).

Também levando em conta a cronologia arquitetônica da cidade, com o passar dos seus poucos anos de existência, pode-se notar que em Palmas há uma predominância de dois episódios arquitetônicos mais marcantes e presentes nas edificações espalhadas pela capital.

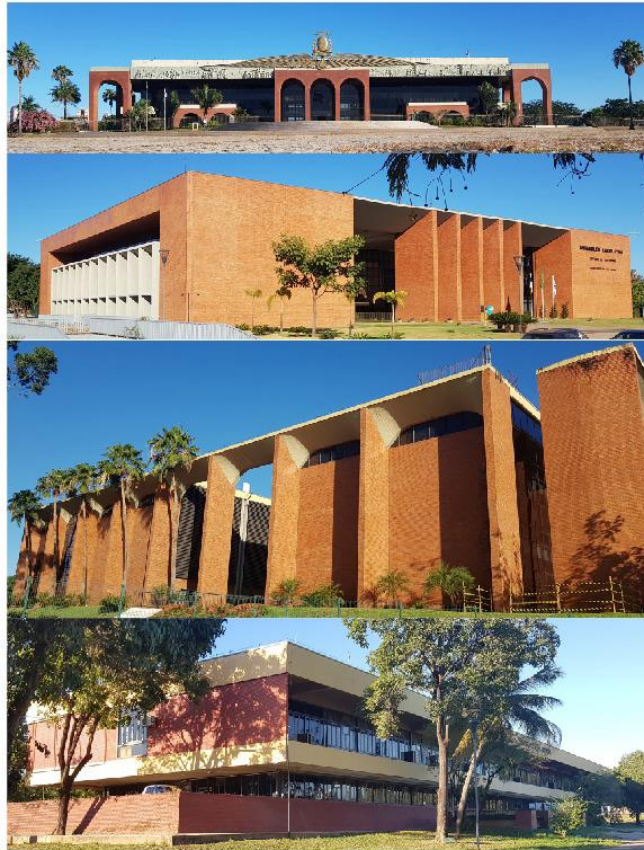
Num primeiro momento, estão as principais edificações institucionais do seu início, projetadas pelos arquitetos do GrupoQuatro e seus parceiros, com a incumbência de receber as principais atividades administrativas do novo estado e de sua capital. Como por exemplo, os edifícios dos três poderes e as secretarias estaduais situados na Praça dos Girassóis<sup>13</sup>, como mostra a figura 10, e o prédio da Prefeitura Municipal de Palmas localizado no Paço Municipal e outros.

---

<sup>12</sup> A partir do nada (tradução do latim)

<sup>13</sup> A Praça dos Girassóis é considerada a maior da América Latina, localizada no eixo de cruzamento das duas principais avenidas da cidade. Nela está a sede do Poder Executivo (Palácio Araguaia), do Poder Legislativo (Assembleia Legislativa) e do Poder Judiciário (Tribunal de Justiça), além das Secretarias de Governo que estão distribuídas nas alas leste e oeste da praça.

**Figura 10 - Principais Edificações da Praça dos Girassóis. De Cima Para Baixo, Palácio Araguaia, Assembleia Legislativa, Tribunal de Justiça e Edifício-Modelo das Secretarias De Estado.**



Fonte: Fotografias do autor publicadas em Carvalho, Brito e Santos (2018).

Nessas primeiras edificações é notória uma preocupação com o clima local, traduzida em uma arquitetura condizente com a realidade climática de Palmas com o uso de pérgolas e planos de alvenarias vazadas (cobogós), beirais e brises de proteção para os prismas envidraçados. Ainda que tais edifícios apresentem em suas fachadas especificidades plásticas com a finalidade de resolver as questões do clima, há também uma coesão em relação à composição de suas fachadas e a seleção dos materiais de acabamentos neles aplicados (CARVALHO; BRITO; SANTOS, 2018).

Em um segundo momento, começaram a aparecer em Palmas edificações com

características do estilo internacional, com uso de grandes planos de vidros em fachadas sem proteção solar influenciados pela herança da escola alemã Bauhaus<sup>14</sup>.

Indo na direção do que estava ocorrendo nos grandes centros, Gonçalves e Duarte (2006) relatam que tal tendência se alastrou pelo mundo com a crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, em qualquer tipo de clima. Estimulou-se, assim, construções envidraçadas e, logo, um proeminente consumo de energia elétrica por décadas, tanto nos grandes centros da Europa e dos Estados Unidos, quanto no Brasil. Isso tornou-se um forte fator que define parte da arquitetura brasileira e, conseqüentemente, se reflete na arquitetura das edificações da cidade de Palmas.

Como o estilo internacional era símbolo de *status* e poder na arquitetura dos grandes centros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997), logo o mercado voltou-se à produção de espaços urbanos seguindo uma lógica capitalista, visando muitas vezes apenas ao lucro e à acumulação sem se preocupar com o respeito e as adaptações ambientais. Pode-se admitir que, na maioria das vezes, o equilíbrio entre os sistemas urbanos e os sistemas climáticos torna-se precário, conforme explica Sant'Anna Neto (2011).

Sucedeu-se que esse pensamento de mercado, caracterizado por “edifícios empoderados” com peles de vidros<sup>15</sup>, teve ressonância em Palmas e, assim, boa parte dos novos edifícios que se erguiam na cidade pareciam desconsiderar as características do clima local.

Assim é o caso de alguns dos edifícios residenciais que estão erguidos na orla do lago, adotando as seguintes características apresentadas por Rodrigues (2016):

[...] a maioria desses edifícios possui fachadas voltadas para o reservatório [lago], no sentido oeste, onde o sol incide diretamente durante todo o período da tarde, o que pode contribuir para o desconforto térmico, geralmente, solucionado com uso de condicionadores de ar, que conseqüentemente, aumenta o consumo de energia. [...] nota-se que na maioria dos

---

<sup>14</sup> Bauhaus foi uma escola alemã de design, artes plásticas e arquitetura, primeira escola de design do mundo. Foi uma das maiores e mais importantes expressões do Modernismo no design e na arquitetura. (BENEVOLO, 2014a)

<sup>15</sup> Pele de vidro é uma tecnologia construtiva para aplicação de vidro em fachadas. Também é conhecida por fachada cortina e *structural glazing*.



apartamentos, as aberturas das sacadas, voltadas para o oeste, foram fechadas, com vidraças [...] (ROGRIGUES, 2016, p.61).

Nesse texto, a autora relata o exemplo de um edifício residencial de altíssimo padrão que possui apenas um apartamento por pavimento. Isso possibilitaria um arranjo físico interno de forma que ambientes de permanência prolongada<sup>16</sup> não precisariam ficar expostos para fachadas menos favoráveis (oeste), mas o visual do lago é um forte argumento para a venda de apartamentos em várias porções da cidade, e isso muitas vezes excede aos cuidados com o conforto térmico.

Distante do que ocorre nos edifícios de altíssimo padrão, a flexibilidade na orientação dos ambientes internos é um pouco diferente em edifícios com padrões inferiores, que possuem em média quatro ou mais apartamentos por pavimento. Isso reduz a possibilidade de não existir ambientes com aberturas voltados para oeste, pois normalmente os apartamentos fazem divisa com outras unidades habitacionais ou com a área comum do condomínio em pelo menos uma ou duas de suas laterais.

A figura 11 mostra imagens de alguns dos edifícios residenciais encontrados na orla de Palmas com aberturas envidraçadas voltadas para oeste, como citado anteriormente por Rodrigues (2016). Estes são apenas recortes do que é possível encontrar em outras partes da cidade.

---

<sup>16</sup> São locais de uso caracterizados como habitáveis, que permitem a permanência confortável por um tempo longo e indeterminado, tais como dormitórios, salas de estar, jantar, TV e outros.

**Figura 11 - Exemplo de Alguns Edifícios Residenciais na Orla de Palmas. Da esquerda Para a Direita, Residenciais Graciosa, Excellence Tower, Le Premier.**



Fonte: Fotografias do autor (2020)

Infelizmente, esse fato, que parecer ser falta de conhecimento por parte de alguns arquitetos projetistas e até mesmo da população acerca da realidade climática da cidade, é uma ocorrência que atinge não somente edificações residenciais, mas também prédios públicos, institucionais e privados como mostra a figura 12.

**Figura 12 - Exemplos de Alguns Prédios Não Residenciais Com Peles de Vidros e Voltados Para Oeste em Palmas. Da Esquerda Para a Direita, Sede da Federação das Indústrias do Tocantins (Fieto), Fórum de Palmas e Ministério Público.**



Fonte: Fotografias do autor (2020)

As preocupações com a arquitetura de Palmas não se resumem apenas nas questões climáticas, de conforto térmico ou de cuidados ambientais, mas também pelo alto custo de implantação de sistemas que colaborem com esses atributos. Presume-se que prédios de padrão mais elevado apresentam maiores chances de possuir expressivas aberturas recobertas por vidros, e muitas vezes sem proteção, a fim de enaltecer o seu “*status*”, ao menos em parte conferido pelo vidro.

Embora haja vários edifícios com essa característica espalhados pela cidade, o vidro, aqui enfatizado, não é o único “vilão” do desconforto térmico em edificações, mas o mesmo, usado sem proteção contra a radiação solar, é um dos principais agravantes para o desconforto em climas quentes. Seu uso de forma demasiada e sem proteção em Palmas tem sido um dos fatores que demonstram a discordância ou a falta de atenção quanto aos aspectos climáticos da cidade.

### 3.1.3 O Clima Local

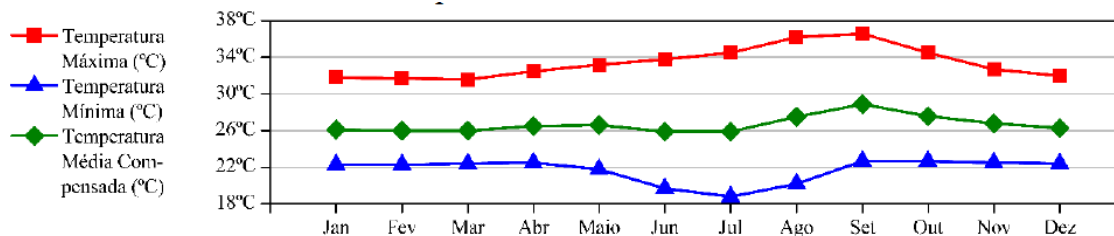
O clima de Palmas é classificado como predominantemente úmido e subúmido - C2wA´a`, segundo a classificação de Thornthwaite. Apresenta duas estações bem definidas, quente e úmido e quente e seco, com moderada deficiência hídrica no inverno, e umidade mais elevada durante o verão (TOCANTINS, 2012).

Possui em média três meses consecutivos com temperatura mais elevadas, como pode ser visto no gráfico da figura 13, mas se comparado com climas temperados, as altas temperaturas ocorrem praticamente o ano todo, segundo as Normais Climatológicas<sup>17</sup> provisórias do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A média das máximas atinge 36,6°C na Primavera (setembro) e a média das mínimas é de 18,8°C no inverno (julho). Já a média anual das temperaturas máximas é de 33,4°C e a média anual das mínimas é de 21,7°C, enquanto a média compensada anual é de 26,7°C (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2018).

---

<sup>17</sup> A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos (INMET, 2019).

**Figura 13 - Dados das Temperaturas Médias Mensais Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas**

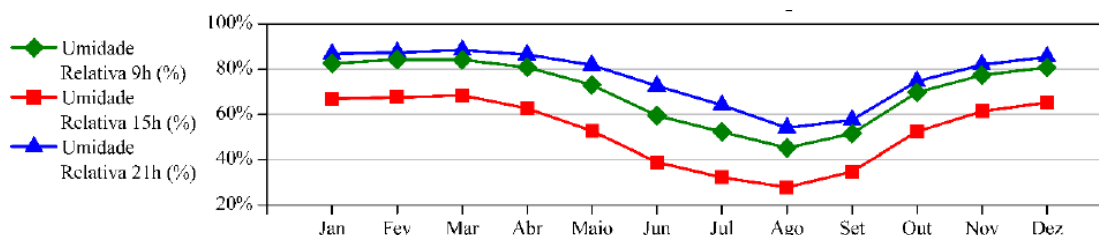


Fonte: Diniz, Ramos e Rebello (2018), organizado por Silva (2018).

Para Guarda (2006), a temperatura é um dos elementos climáticos da região com maior variabilidade. Com baixas amplitudes térmicas<sup>18</sup> nos meses mais quentes e úmidos, enquanto nos períodos mais quentes e secos são alcançadas amplitudes térmicas maiores, conforme também demonstrado na figura anterior.

Outro elemento que também possui uma grande variação em Palmas é a umidade relativa do ar, que percorre os dois extremos, de clima úmido a seco, no decorrer do ano, com suas máximas no período chuvoso (dezembro a março), e as mínimas na estiagem (julho a setembro), como mostra a figura 14.

**Figura 14 - Dados da Umidade Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas**



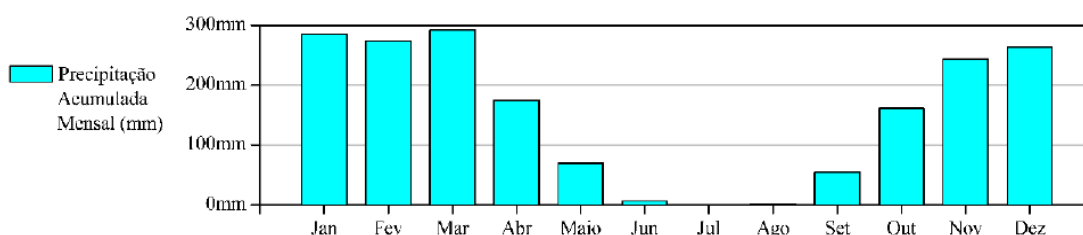
Fonte: Diniz, Ramos e Rebello (2018), organizado por Silva (2018).

Seguindo a tendência da umidade, a precipitação também sofre com grandes variações nos volumes de chuvas, sendo que os meses de novembro a abril, como mostra a figura 15, concentram aproximadamente 80% dos totais médios anuais. Atingindo as maiores médias mensais entre os meses de janeiro e março, com uma

<sup>18</sup> Amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas num determinado período de tempo.

precipitação média superior a 250 mm. Já de junho a agosto, esses valores não superam os 10 mm.

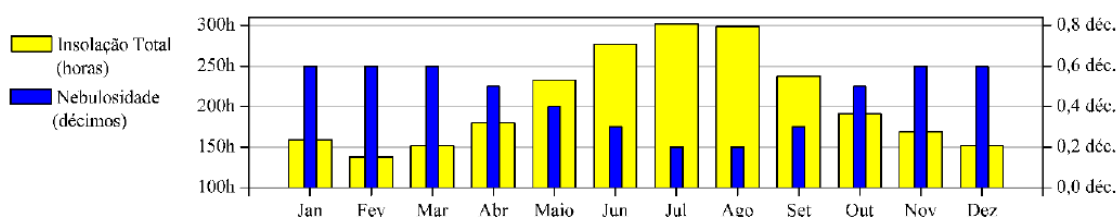
**Figura 15 - Dados da Precipitação Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas**



Fonte: Diniz, Ramos e Rebello (2018), organizado por Silva (2018)

Como nos meses de maior precipitação (primavera e verão) a nebulosidade no céu aumenta, o padrão temporal do elemento insolação se comporta de forma inversamente proporcional a ela, como mostra o gráfico da figura 16. Assim, quanto maior a cobertura de nuvens no céu, menor será a insolação. Logo, nos meses de estiagem (maio a setembro), como a cobertura de nuvens no céu é menor, isso proporciona uma maior insolação total, sendo que o contrário é verificado no período chuvoso.

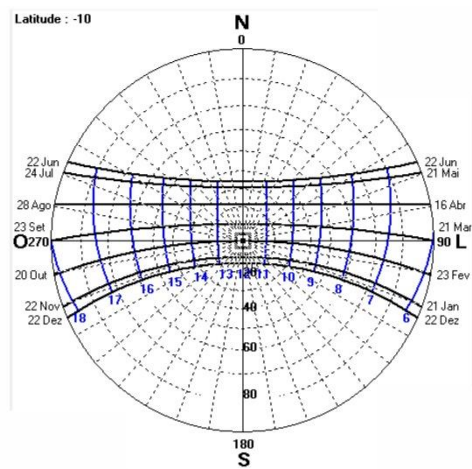
**Figura 16 - Dados de Insolação e Nebulosidade Média Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas**



Fonte: Diniz, Ramos e Rebello (2018), organizado por Silva (2018)

O tempo de exposição à insolação, juntamente com a altura solar, são fatores que podem influenciar diretamente nos níveis de radiação solar recebidos sobre o plano terrestre, logo influenciam também no ganho térmico e no aumento da temperatura. Por meio da carta solar de latitude  $-10^\circ$ , a mesma de Palmas como mostra a figura 17, é possível compreender o percurso aparentes do sol na abóbada celeste ao longo do dia em diferentes épocas do ano.

**Figura 17 - Carta Solar de Palmas Latitude -10°**

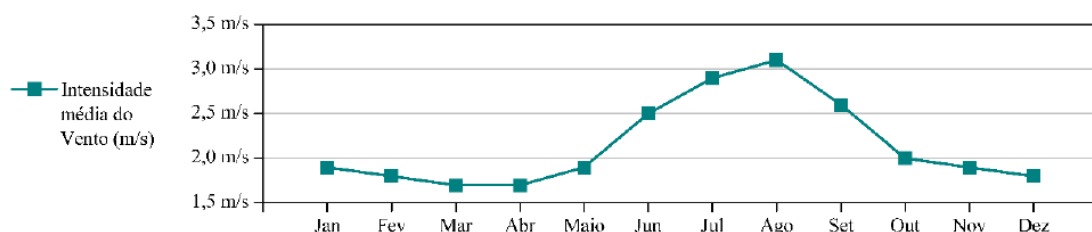


Fonte: Software Sol-Ar (LABEEE, 2020)

Por meio da carta solar, é possível compreender que o sol em Palmas faz o seguinte percurso: no solstício de inverno, nasce aproximadamente ao leste e se põe aproximadamente ao oeste, com inclinação para o norte, atingindo o ápice dessa inclinação aproximadamente no dia 22 de junho. Já no solstício de verão, essa inclinação ocorre em direção ao sul, atingindo o máximo dessa inclinação aproximadamente no dia 22 de dezembro. Já nos equinócios, o percurso solar tende a ocorrer mais próximo do zênite.

A intensidade dos ventos também segue uma tendência similar aos demais elementos climáticos apresentados, com maiores médias no período de estiagem e ventos mais moderados no período chuvoso, como mostra a figura 18. A velocidade média dos ventos chega a atingir 3,1m/s, com maiores velocidades em agosto, e mínimas em março e abril, com 1,7m/s de média.

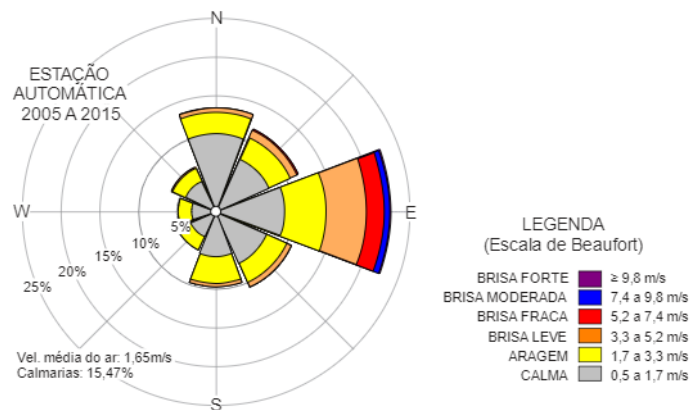
**Figura 18 - Dados da Intensidade Média dos Ventos Mensal Segundo Normal Climatológica Provisória do Município de Palmas**



Fonte: Diniz, Ramos e Rebelo (2018), organizado por Silva (2018)

Quanto à direção da movimentação do ar, um estudo realizado por Silva e Souza (2016) com base nos dados do INMET, constatou que o vento é predominante do sentido Leste, com variações mais significativas para o Norte, Nordeste e Sudeste, como mostra a figura 19.

**Figura 19 - Rosa dos Ventos Para a Cidade de Palmas de 2005 a 2015**

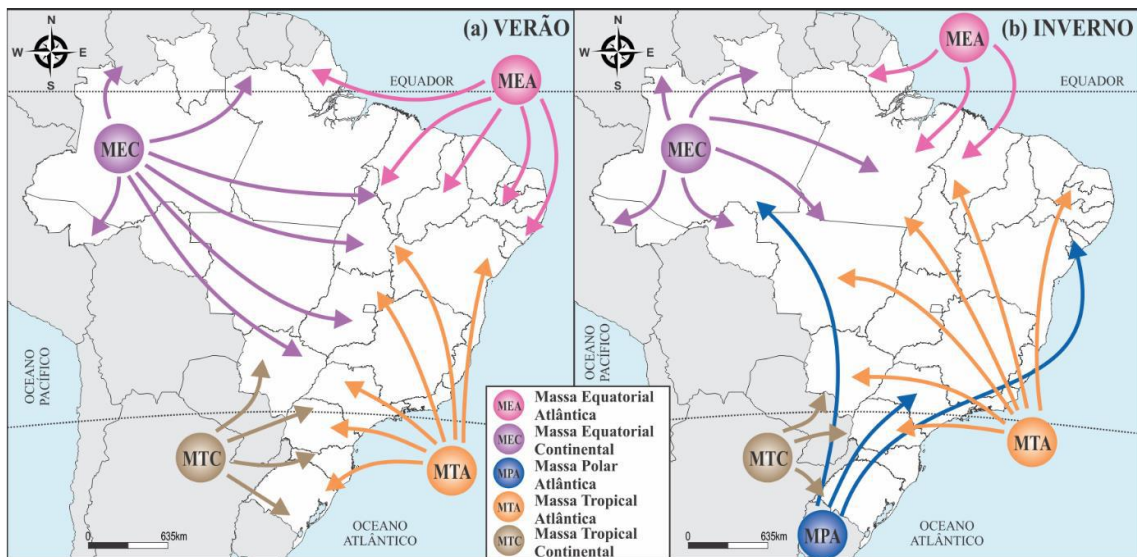


Fonte: Silva e Souza (2016).

Os autores ainda constataram que no período de inverno (estiagem) é quanto existe a maior intensidade na movimentação do ar, que ocorre praticamente em sua totalidade do Leste, com ventos que chegam a 9,8m/s (SILVA; SOUZA, 2016).

As direções e intensidades do movimento do ar na cidade de Palmas sofrem influência predominantemente de três massas de ar atuantes no Brasil, como mostra a figura 20. No período chuvoso (primavera e verão), a Massa Tropical Atlântica (MTA) e a Massa Equatorial Atlântica (MEA) atuam com ventos de origem marítima, de leste e norte, respectivamente. Já a Massa Equatorial Continental (MEC), que se origina na região da Amazônia, pode atuar especialmente no verão, podendo também colaborar com as chuvas. Já o período de estiagem (outono e inverno) sofre influência da Massa Tropical Atlântica (MTA) e da Massa Equatorial Atlântica (MEA), com característica mais quente e seca devido à aproximação do centro de ação (anticiclone) do continente (SILVA; SOUZA, 2016).

**Figura 20 - Síntese da Atuação dos Principais Sistemas Atmosféricos no Brasil ao Longo do (A) Verão e (B) Inverno**



Fonte: Serra e Ratisbonna (1959) organizado por Silva (2013)

Conciliando as informações dos dados climáticos anteriormente citados, nota-se que Palmas possui dois períodos climáticos distintos: um quente e úmido, que vai do mês de outubro até abril, e outro período quente e seco, entre os meses de maio e setembro.

Assim, com base no percurso do sol na abóbada celeste, juntamente com os dados de nebulosidade, precipitação e umidade apresentados, nota-se que o inverno, quando o sol está mais inclinado ao norte, é também o período com as maiores médias de temperaturas, menor nebulosidade, maior tempo de insolação e maior movimentação do ar. Já nos meses mais chuvosos e mais úmidos, quando o sol faz seu percurso com inclinação ao sul, os ventos são mais moderados, o volume de nuvens no céu é maior, tendendo a um menor tempo de insolação e menores médias de temperaturas durante o verão, ainda que episódios de veranicos (períodos de alguns dias com ausência de chuvas durante a estação chuvosa) possam alterar o tipo de tempo habitual.



#### 4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Prodanov e Freitas (2013) afirmam que a metodologia é um conjunto de processos ou operações mentais que são utilizados em uma pesquisa. Neste trabalho, tais processos tiveram um delineamento de forma aplicada, pois ele possui um caráter específico voltado à produção de conhecimentos para aplicação prática, com o objetivo de contribuir com projetistas, na concepção de projetos de edificações na cidade de Palmas; acadêmicos, quanto ao conhecimento teórico aplicado; e cidadãos, no sentido de orientá-los quanto ao tema, enquanto possíveis moradores de edifícios.

Assim, os passos desta pesquisa foram estruturados com base em uma abordagem teórica e prática, dividida em:

Pesquisa com fundamentação teórico-conceitual, que consiste em um levantamento bibliográfico junto a publicações relacionadas ao tema, tais como livros, normas técnicas, publicações periódicas, anais de encontros científicos, teses, dissertações e outros materiais encontrados em meio eletrônico. A fundamentação teórico-conceitual é um dos pilares de qualquer investigação científica eficaz para fundamentar o estudo, pois permite ao investigador, segundo Chemim (2015), alcançar uma maior quantidade de informações apresentadas de forma mais ampla do que ele poderia se pesquisasse diretamente pela via empírica.

Em seguida, foi feita uma breve caracterização da área de estudo com base em documentos públicos da cidade de Palmas como o plano urbanístico original, leis urbanísticas, publicações acadêmicas e dados climáticos oficiais.

Já a descrição da arquitetura da cidade contou também com uma pesquisa de campo voltada ao registro fotográfico e à observação, com o intuito de apresentar as características gerais encontradas em edifícios locais, não somente em edifícios habitacionais, como é o foco desta pesquisa, mas de forma geral.

Logo após, para obter amostras empíricas convenientes ao tema, foram escolhidos edifícios habitacionais na cidade para coletar dados por medição, seguindo os processamentos e equipamentos descritos nos itens a seguir.

Por fim, pela via da pesquisa qualitativa, foram realizadas entrevistas com alguns profissionais que atuam na elaboração de projetos para esse tipo de edificação, na tentativa de melhor compreender a relação entre os arquitetos, o mercado imobiliário e o clima local de Palmas.

Com todos os dados coletados em mãos, os mesmos foram comparados segundo as diferentes orientações em uma mesma tipologia de habitação construída com os mesmos materiais e processos construtivos, visando abordar as influências no ganho térmico no interior da edificação e quanto isso agravou ou atenuou a sensação de conforto térmico.

Ressalta-se que esta pesquisa não tem a finalidade de apresentar ou propor técnicas construtivas, materiais de construção ou recomendação projetuais, mas sim apresentar resultados que auxiliem nas decisões ou escolhas desses itens em edificações projetadas para Palmas. Assim, a ideia central, por exemplo, não é de orientar o projetista para que loque sua edificação com a menor fachada possível voltada para oeste, mas mostrar de forma quantitativa quais serão as implicações se ele tomar ou não tal decisão. Mesmo que ele não opte por uma recomendação A ou B apresentada nos princípios da arquitetura bioclimática, ele terá subsídios para mensurar suas decisões arquitetônicas e saber o quanto tal escolha poderá implicar em uma edificação projetada em Palmas.

#### **4.1 Delimitação do Campo Amostral**

Como visto anteriormente, o crescimento na arquitetura verticalizada em Palmas é algo notório nos últimos anos, e a habitação vertical vem ganhando espaço significativo em meio a esse crescimento.

Diante disso, optou-se como objeto de estudo de caso para essa pesquisa fazer um recorte na arquitetura da capital e estudar apenas prédios de habitação multifamiliar de múltiplos pavimentos.

Assim, foram escolhidas duas tipologias de habitação vertical dentre as encontradas na cidade. Isso, devido à padronização do tipo dos apartamentos que proporcionariam uma melhor comparação, pois todas as características construtivas e arquitetônicas são iguais entre eles, tendo apenas a orientação solar com principal diferencial, coisa que não acontece com facilidade em habitações unifamiliares.

Levou-se também em conta as seguintes características: o padrão de acabamento, o número de pavimentos, o sistema construtivo, o número de

apartamentos por andar, a ocupação e a facilidade de acesso para coleta de dados, bem como a quantidade de equipamentos disponíveis para a realização das coletas.

Assim, e por conveniência, foram escolhidos dois edifícios residenciais na porção central da cidade, conforme mostra a figura 21, ambos com características distintas, para compreender a relação entre as análises propostas por essa pesquisa, em duas diferentes realidades.

**Figura 21 – Planta de situação dos edifícios em estudo**



- 📍 Edifício 01
- 📍 Edifício 02
- - - - - Eixo da Av. Juscelino Kubitschek
- - - - - Eixo da Av. Teotônio Segurado

Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

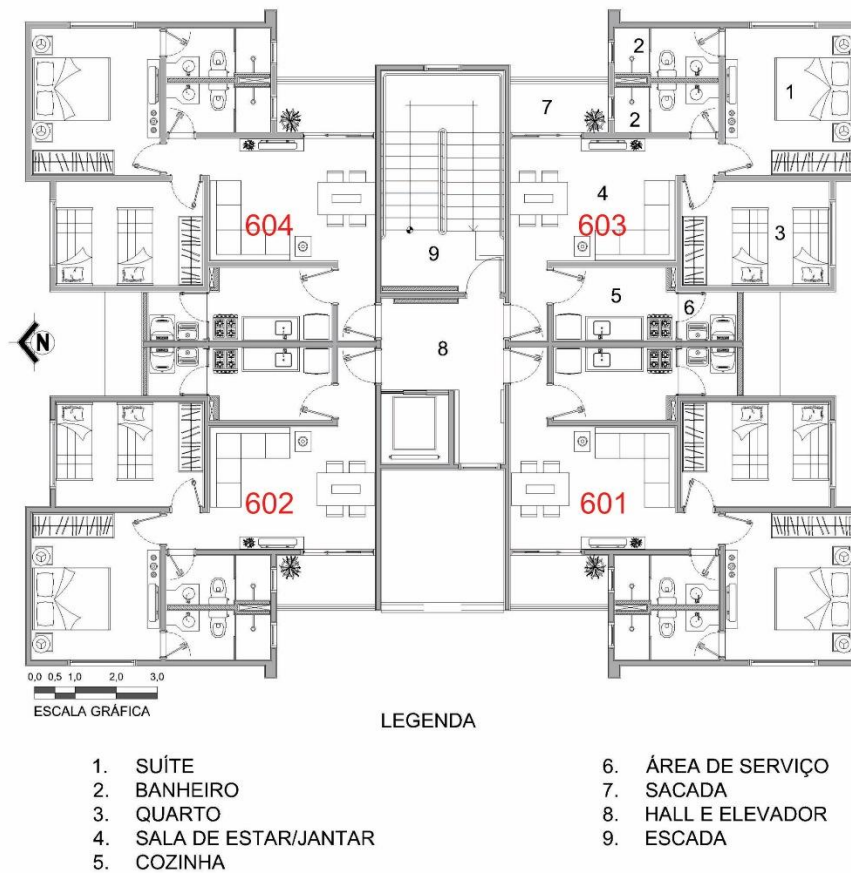
#### 4.1.1 Edifício 1

O primeiro edifício analisado no estudo de caso é o Edifício 01, localizado na parte norte do plano diretor de Palmas. É um típico condomínio de padrão intermediário de acabamento comumente encontrado na cidade.

Atualmente encontra-se praticamente todo ocupado, com apartamentos de dois quartos, sendo um suíte, com sala de estar/jantar, sacada, cozinha e área de serviço,

distribuídos em aproximadamente 60 m<sup>2</sup>. Em cada pavimento existem quatro apartamentos iguais, locados de forma simétrica nos eixos norte/sul e leste/oeste, como mostra a figura 21. De acordo com a época do ano e o horário do dia, todos os apartamentos recebem radiação solar direta em pelo menos uma de suas paredes externas.

**Figura 22 - Planta Baixa do Pavimento Tipo - Edifício 01**



Fonte: Organizado pelo Autor (2019)

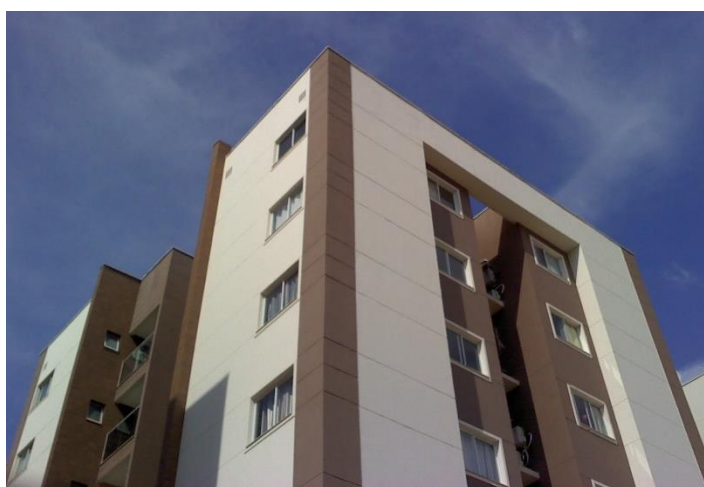
O sistema construtivo dos apartamentos desse condomínio é a alvenaria autoportante ou alvenaria estrutural, feito com blocos cerâmicos estruturais, usualmente utilizados em edificações residenciais mais simples e de poucos pavimentos, como é o caso desse condomínio com apenas sete pavimentos.

Seguindo também o conceito abordado por Rodrigues (2016), da relação entre o custo do terreno e o aproveitamento máximo da ocupação, esse condomínio com

poucos pavimentos pressupõe um baixo custo de terreno, condizente com a realidade da área onde o mesmo foi construído em meados do ano de 2012.

O acabamento das fachadas foi executado com rebocado argamassado de cimento e areia, pintado na parte externa com textura rolada de cor clara em sua maioria, e alguns poucos detalhes em revestimentos cerâmicos de tonalidade amadeirada ou textura rolada de cor mais escura, como mostra a figura 20.

**Figura 23 - Fachadas Oeste e Sul do Edifício 01**



Fonte: Fotografia do Autor (2019)

Quanto às aberturas para iluminação e ventilação natural dos ambientes internos, foram executadas esquadrias estruturadas em alumínio e fechamentos em planos de vidro incolor sem proteção solar. Os apartamentos apresentam aberturas voltadas para todas as principais orientações (norte, sul, leste e oeste), dependendo da posição de cada unidade, com no mínimo uma fachada que receberá insolação maior na parte da manhã ou da tarde, e uma fachada que receberá maior insolação no solstício de inverno ou de verão.

#### 4.1.2 Edifício 2

O segundo edifício analisado no estudo de caso é o Edifício 02, localizado no plano diretor Sul, na porção central da cidade e em área lindeira à avenida Juscelino Kubitschek, um dos principais eixos comerciais e de serviços de Palmas.

O condomínio ainda não estava ocupado até a coleta de dados, por ainda estar em construção, embora já na fase final, com acabamentos internos e externos praticamente finalizados. Por não possuir moradores, as chances de intervenções humanas nos ambientes internos durante os dias de coletas seriam reduzidas.

Esse residencial possui quatro tipologias de apartamentos, sendo que apenas os apartamentos tipos<sup>19</sup> foram levados em conta nesta pesquisa, não considerando as coberturas duplex que estão nos dois últimos pavimentos, devido a diferenças em sua tipologia.

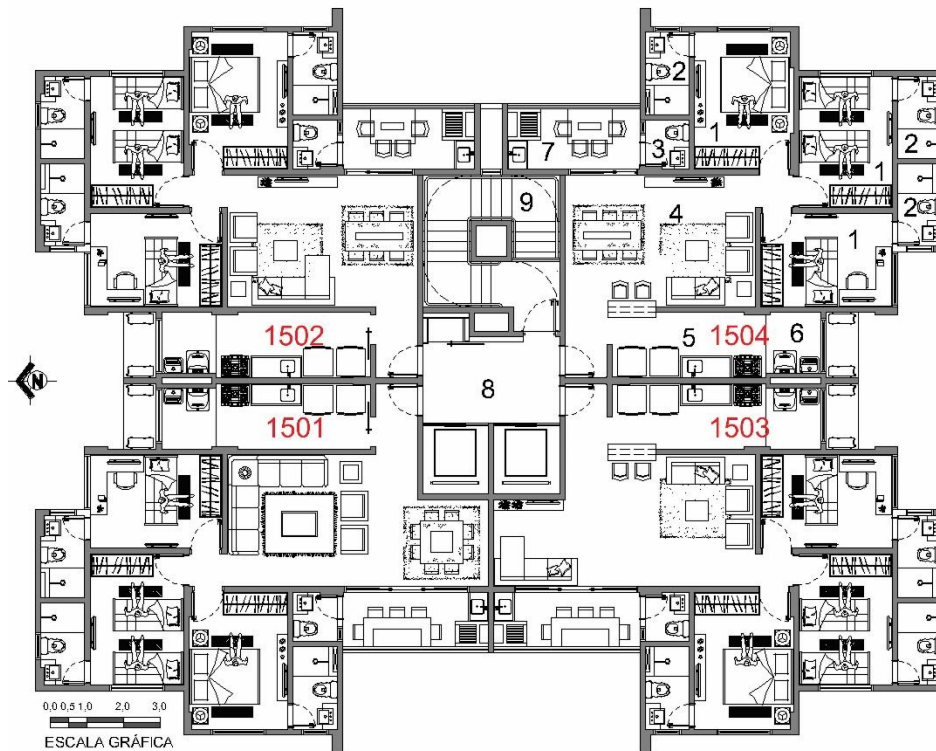
As unidades tipos possuem áreas que variam aproximadamente de 89m<sup>2</sup> a 94m<sup>2</sup>, sendo considerado um condomínio de alto padrão, levando em conta sua localização, estrutura da área comum, padrão de acabamento e número de pavimentos. Cada apartamento tipo possui três suítes plenas, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, lavabo e sacada gourmet, como mostra a figura 23.

Os edifícios escolhidos foram levados em conta a comodidade e a facilidade no acesso ao interior dos mesmos. Não sendo escolhido nem um dos edifícios citados da orla do lago de Palmas, por não conseguir com facilidade acesso a todos os apartamentos de um pavimento para medição. E a escolha de um edifício habitado foi justamente devido essa facilidade na coleta de dados, levando em conta também os equipamentos utilizados não possuírem *data logger*.

---

<sup>19</sup> Tipo: São os apartamentos padrões do edifício.

**Figura 24 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício 02**



**LEGENDA**

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 1. SUÍTE                | 6. ÁREA DE SERVIÇO |
| 2. BANHEIRO             | 7. SACADA          |
| 3. LAVABO               | 8. HALL E ELEVADOR |
| 4. SALA DE ESTAR/JANTAR | 9. ESCADA          |
| 5. COZINHA              |                    |

Fonte: Adaptado pelo Autor (2019)

Assim como no edifício um, cada pavimento do edifício dois também possui quatro apartamentos por andar, locados de forma simétrica nos eixos norte/sul e leste/oeste. De acordo com a época do ano e horário do dia, todos os apartamentos recebem radiação solar direta em pelo menos uma de suas paredes externas.

O sistema construtivo dos apartamentos desse residencial é estrutura em concreto armado e o fechamento de alvenaria de vedação em tijolos cerâmicos nas paredes internas e externas. Esse sistema construtivo é um dos mais comuns utilizados no Brasil e em Palmas até o momento. Esse tipo de construção, que possui vãos maiores, permite maior flexibilidade para reformas e permite alcançar vários pavimentos sobrepostos. Neste caso, esse edifício possui 21 lajes, sendo 15 pavimentos tipo, 2 pavimentos de cobertura, 2 pavimentos de subsolo para

estacionamentos e os demais pavimentos destinados à área comum do condomínio, com área de lazer, convívio e recreação.

Verificado em pesquisa de campo, esse residencial, devido à sua localização e valorização do seu terreno, é um caso de utilização total do potencial construtivo, ainda com acréscimo na utilização da outorga onerosa do direito de construir, instrumento citado por Vieira (2019). Assim, o valor do terreno pode ser diluído em um maior número de unidades habitacionais (apartamentos) a serem comercializadas posteriormente.

O acabamento externo das fachadas foi executado com rebocado argamassado de cimento e areia, pintado com textura rolada de cor clara em sua maioria, com alguns poucos detalhes em textura rolada de cor mais escura, conforme figura 24.

**Figura 25 - Fachadas Leste e Norte do Edifício 02**



Fonte: Fotografia do Autor (2019)

Quanto às aberturas para iluminação e ventilação natural dos ambientes internos, foram executadas esquadrias estruturadas em alumínio e fechamentos em planos de vidro incolor sem proteção solar. Os apartamentos possuem aberturas voltadas para todas as principais orientações (norte, sul, leste e oeste), a depender da posição de cada unidade, tendo no mínimo uma fachada que receberá insolação



maior na parte da manhã ou da tarde, além de fachada que receberá maior insolação no solstício de inverno ou de verão.

## 4.2 Instrumentos, Equipamentos e Coleta de Dados

Foram coletados dados para análise nos dois residenciais anteriormente descritos, em dois episódios distintos no decorrer de um ano, levando em conta as estações e também a mudança na inclinação solar entre os solstícios.

Mesmo que haja controversas sobre este conceito na literatura, para uns, dias típico e para outros dia representativo. Seguindo recomendações da NBR 15.575 de desempenho em edificações habitacionais (ABNT, 2013), delimitou-se o prazo de coletas em cada episódio de acordo com as indicações apresentadas para avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição. Nesse caso, o período de medição deve seguir as seguintes recomendações para coleta:

O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local (ABNT, 2013, p. 34).

Dessa forma, foram considerados três dias de coleta de dados, tanto nas medições internas, quanto para as medições externas. Os resultados foram analisados considerando o conjunto dos dados de cada episódio, porém com especial atenção ao terceiro dia, conforme sugerido pela norma.

Assim, as primeiras coletas ocorreram no verão, período de chuvas, quando a maior incidência solar ocorre na fachada sul dos edifícios, entre os dias 04 e 06 de janeiro de 2019 no Edifício 01 e entre os dias 10 e 12 de janeiro de 2019 no Edifício 02. O segundo episódio de coleta de dados correu no inverno, estação de estiagem, com maior incidência solar na fachada norte, entre os dias 21 e 23 de junho de 2019 no primeiro residencial, e entre os dias 17 e 19 de julho de 2019 no segundo residencial.

Foram coletados dados no interior de quatro apartamentos distintos de cada edifício, porém com as mesmas características arquitetônicas e de construção, localizados no mesmo pavimento, tendo apenas a orientação como principal diferença entre eles.

No Edifício 01, as unidades escolhidas para as medições internas foram as do último pavimento do bloco 3, apartamentos 601, 602, 603 e 604, de forma que o sombreamento das demais edificações vizinhas não interferisse nos resultados dos dados coletados, pois durante a maior parte do dia, o último pavimento não é sombreado. Outro fator também foi levado em consideração: por ser o último pavimento, esses apartamentos recebem influência no ganho térmico, além das fachadas, também da cobertura, que neste caso foi executada com estrutura metálica e telha de fibrocimento.

No Edifício 02, as unidades escolhidas estão no 15º pavimento da torre 1, sendo os apartamentos 1501, 1502, 1503 e 1504. Seguindo a mesma lógica de escolha do primeiro residencial, optou-se por apartamentos mais altos para que o sombreamento da torre 2 não interferisse nos resultados, pois a torre 2 não sombreia os últimos pavimentos da torre 1. Em compensação, estes apartamentos não recebem influência do ganho térmico oriundo do plano do telhado, pois a tipologia dos últimos apartamentos desse condomínio muda para as coberturas duplex.

Como os equipamentos utilização não possuíam *Data Logger*. Os horários para coleta de dados ficaram definidos da seguinte forma: todos os dias durante o período estipulado, com duas a quatro medições diárias, sendo o primeiro horário na metade da manhã, por volta das 9h, assim a fachada leste já poderia ter em média até 3 horas de incidência solar direta; o segundo horário na metade do dia, por volta das 12h, assim a fachada leste já poderia ter atingido o máximo de exposição ao sol que ela recebe em horas por dia; o terceiro horário na metade da tarde, por volta das 15h, assim a fachada oeste já poderia ter em média até 3 horas de incidência direta; e o quarto horário no final da tarde, por volta das 18h, assim a fachada oeste já poderia ter atingido o máximo de exposição ao sol que ela recebe em horas por dia.

Com base nos critérios aqui apresentados foram coletados dados para análise conforme descrito a seguir, e com os seguintes instrumentos e equipamentos igualmente discriminados.

#### 4.2.1 Temperatura e Umidade do Ar Internas nas Unidades Habitacionais

As temperaturas e umidades no interior das unidades habitacionais foram coletadas com termohigrômetros digitais da marca Instrutherm, modelo HT - 210, com as seguintes especificações:

Escala da temperatura interna: 0 a 50°C;

Escala na umidade: 20 a 99% RH;

Precisão:  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $\pm 3\%$  RH e 3 segundos por dia.

Os termohigrômetros foram instalados no interior dos apartamentos um dia antes do início das coletas de dados, como orientado pelo fabricante para o tempo de estabilização, mas antes disso, 3 dias antes eram ligados, colocados todos em um mesmo ambiente para aclimatação e verificação da calibragem e possíveis diferenças nos dados apresentados para correções.

No Edifício 01, os aparelhos foram colocados na sala, devido a ser um dos ambientes com a menor possibilidade de interferência pelos moradores. Também foram feitas recomendações para os moradores para não retirar o termohigrômetros do lugar, não ligar equipamentos que pudessem interferir nos dados apresentados pelos aparelhos (umidificador ou ar-condicionado), pois os apartamentos estavam ocupados. A sala não possui paredes voltadas para área externa, tendo apenas uma abertura (porta), protegida pela sacada (ambiente aberto) e não recebe muita radiação solar direta durante o dia.

No Edifício 02, os aparelhos foram colocados na primeira suíte com abertura voltada para leste ou oeste em cada apartamento. Diferente do outro edifício, este ambiente possui paredes voltadas para área externa, pintada de cor clara do lado externo e interno, e possuía uma abertura (janela) sem proteção voltada para a área externa. Como esse condomínio não estava ocupado, foi recomendado para o encarregado da obra para não mexer ou retirar os termohigrômetros dos locais instalados.

Assim, seguindo o cronograma de 4 medições durante os 3 dias por episódios foram anotados os dados *in loco* e traduzidos em gráficos que serão apresentados nesta dissertação, pois os aparelhos não possuem *datalogger*. E ao final do dia foram consideradas também as máximas e mínimas da temperatura e umidade no período de cada 24 horas.

#### 4.2.2 Imagens Termográficas das Fachadas

Por meio das imagens termográficas, foi verificado o ganho térmico nas quatro principais fachadas de cada residencial, capturando imagens com uma câmera de imagens térmicas ou termovisor, da marca FLIR, modelo E50, com as seguintes características:

Faixa de Temperatura: -20 a 650°C;

Sensibilidade Térmica: <0.05°C a 30°C;

Precisão:  $\pm 2^\circ\text{C}$  ou  $\pm 2\%$  de leitura;

Resolução: IR 240 x 180 pixels

Este dispositivo é utilizado para medição de temperatura da superfície sem que haja contato com o material, gerando termogramas que são imagens térmicas de um determinado objeto que está emitindo, transmitindo ou refletindo a energia infravermelha.

Durante cada episódio estipulado, foram capturadas imagens térmicas das fachadas duas vezes por dia, focando sempre nas fachadas dos apartamentos em estudo. O primeiro horário de coleta foi por volta das 9h, metade da manhã, quando a fachada leste já teria ganhado calor pela radiação solar direta, e o segundo horário por volta da 15h, metade do período da tarde, quando a fachada oeste já teria ganhado calor por radiação, pois já estaria em média até 3 horas exposta à insolação direta.

Seguindo orientações de Monteiro e Leder (2011), alguns ajustes são recomendados antes da utilização do equipamento, tais como o conhecimento dos parâmetros das variáveis de entrada, temperatura refletida, emissividade, temperatura do ar, umidade relativa e distância do objeto.

Os autores indicam que a temperatura refletida durante medições em campo seja ajustada para o mesmo valor da temperatura do ar. Quanto aos valores de emissividade, boa parte dos materiais de construção apresentam valores de 0,90 a 0,95 (MONTEIRO; LEDER, 2011). Dentro do que é apresentado pela NBR 15220-2, para reboco com pintura de cor clara, a emissividade varia entre 0,85 e 0,95 (ABNT, 2005).

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar utilizados para calibração da câmera termográfica foram coletados *in loco*, com auxílio de uma estação

meteorológica portátil, da marca Kestrel, Modelo 5200 HVG. E a distância do objeto foi considerada como sendo de 50 m, levando em conta a distância aproximada entre a câmera termográfica e a fachada imageada.

#### 4.2.3 Temperatura Externa das Fachadas

Para auxiliar na compreensão dos ganhos térmicos apresentados nos termogramas e conhecer a variação de temperaturas externas das fachadas quanto às suas orientações, foram coletados dados de temperatura superficial das quatro fachadas dos edifícios em análise. Essas coletas também foram realizadas durante os 3 dias consecutivos, duas vezes por dia, por volta das 9h e das 15h, juntamente com as imagens térmicas, ao longo dos dois episódios em questão (verão e inverno).

Os dados foram coletados com o auxílio de um termômetro digital infravermelho, modelo TI 400, da marca Instrutherm, com as seguintes características:

Temperatura do Infravermelho:  $-20 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ;

Resolução:  $0,1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ ;

Precisão:  $\pm 5,0^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 2\%$  da leitura.

O equipamento sempre foi utilizado sobre superfícies do mesmo material e cor em todas as orientações em um mesmo edifício, e em locais não sombreados por outros obstáculos que não fosse a própria edificação, quando houvesse. A coleta da informação ocorreu de dentro do apartamento, colocando-se apenas o equipamento pelo lado de fora da janela e aferindo a temperatura da superfície aproximadamente a 30cm da mesma. Diferente da câmera térmica, que mostra a temperatura de todo o conjunto da obra, com todos os seus materiais de uma distância maior, esse equipamento aferiu apenas o temperatura pontual, a uma distância mais curta.

#### 4.2.4 Volume de Nuvens no Céu e Massas de Ar Atuantes

Durante o momento de aferição da temperatura das fachadas e captura dos termogramas foi observada também a nebulosidade ou a cobertura de nuvens no céu, para compreender se/ ou quanto tal cobertura poderia influenciar no ganho térmico por radiação solar e na temperatura das fachadas dos edifícios em estudo.

No primeiro momento, essa análise ocorreu de forma visual, verificando a partir do local dos condomínios como estava a nebulosidade sobre cada edificação. Seguiu-se essa classificação, de acordo com o volume de nuvens no céu:

- Céu limpo ou ensolarado;
- Céu quase limpo;
- Céu pouco nublado;
- Céu parcialmente nublado;
- Céu quase totalmente nublado;
- Céu totalmente nublado.

Em um segundo momento, foram consideradas também as imagens do satélite GOES-16, fornecidas pelo sítio eletrônico do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este é o satélite meteorológico GOES que está cobrindo a América do Sul. Foram observadas imagens do Canal 13 (10.35 micrômetros), para auxiliar na inspeção visual de nuvens sobre a região.

Essas mesmas imagens, juntamente com os dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada em Palmas e com as cartas sinóticas elaboradas pelo mesmo órgão, auxiliaram no processo de caracterização das massas de ar atuantes ao longo dos episódios de coleta de dados. Esse procedimento procurou reconhecer qual sistema atmosférico condicionava os tipos de tempo atmosférico nos momentos de medição em ambos os edifícios. Para isso, deu-se a análise visual das imagens e cartas mencionadas, em paralelo ao exame de dados observados em superfície pela estação meteorológica, em especial quanto à direção do vento, à pressão atmosférica e à temperatura do ar, entre outros parâmetros eventuais.

### **4.3 Análises Computacionais**

Com auxílio de *software* computacional, foram simuladas algumas situações em ambientes gráficos para compreensão da insolação, sombreamento e ganho na carga térmica das fachadas dos edifícios em estudo de caso nos dois episódios antes mencionados.

Foram adicionados dados de entrada com a localização da cidade de Palmas latitude  $-10^\circ$  e longitude  $48^\circ$ , em dois *softwares* para uma aproximação mais realista do que aconteceu nas fachadas das edificações em estudo.

#### 4.3.1 Simulação de Insolação e Sombreamento

No estudo de insolação e sombreamento, foram geradas imagens a partir da modelagem tridimensional de cada edifício, levando em consideração a forma original da edificação, localização e orientações reais das fachadas, com base em seu projeto arquitetônico original obtido junto à construtora.

Optou-se por gerar imagens nos mesmos períodos e horários que foram coletados os dados de temperaturas das fachadas, para auxiliar na compreensão dos fatores sombra, insolação e ganho térmico nas fachadas em questão. Com simulações realizadas às 9h, 12h e 15h para o Edifício 01 nos dias 05 de janeiro (verão) e 23 de junho (inverno), e para o Edifício 02 nos dias 12 de janeiro (verão) e 18 de julho (inverno).

Para modelagem e simulação foi utilizado o *software* SketchUp, que é um programa próprio para a criação de modelos tridimensionais por computador, muito utilizado e difundido no meio profissional e acadêmico nas áreas de arquitetura, urbanismo e design de interiores.

#### 4.4 Radiação Solar nas Fachadas

Com auxílio do programa Luz do Sol, um *software* voltado para avaliar a radiação e a luz provenientes da radiação solar em edificações, elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), estimou-se os valores de radiação solar em Watt-hora por metro quadrado ( $\text{Wh/m}^2$ ) que cada fachada dos edifícios em análise recebe, de acordo com o horário do dia e a época do ano.

Primeiramente, o programa foi alimentado com os parâmetros de entrada como latitude da cidade, orientação das fachadas, data e nebulosidade para os dois períodos em análise. A primeira análise foi realizada para o período de verão (chuvoso) e a segunda análise para o período de inverno (estiagem).

Para o período do verão, optou-se por considerar o céu parcialmente nublado ou com poucas nuvens, algo característico desse período (chuvoso) e para o inverno (estiagem), a nebulosidade foi considerada zero (céu limpo ou com poucas nuvens), típica para dias de inverno na região central do Brasil.

#### **4.5 Cálculos de Índice de Conforto**

Dentre os inúmeros índices de conforto térmico encontrados na literatura, e com base nos índices apresentados aqui anteriormente, optou-se por analisar o conforto no interior dos apartamentos com o *Heat Index*, pois o mesmo é utilizado por órgãos oficiais, como é o caso da NOAA e não solicita dados diferentes dos que foram coletados pelos aparelhos disponíveis na pesquisa.

Outros índices solicitariam dados de movimentação do ar, temperaturas de bulbo seco/úmido e/ou outros dados que necessitariam diferentes equipamentos para coleta. Trata-se de equipamentos não disponíveis para a realização desta pesquisa, especialmente considerando a quantidade necessária.

Assim, como o intuito desta pesquisa não é o de avaliar a efetividade ou a eficiência dos índices encontrados na literatura, a escolha pelo método do cálculo de conforto pelo *Heat Index* se justifica pela disponibilidade dos equipamentos de coleta e pela simplicidade das informações necessárias para atingir os resultados esperados para a comparação entre as unidades com diferentes orientações em relação à incidência da radiação solar.

##### **4.5.1 *Heat Index***

Os dados coletados, conforme descrito anteriormente, de temperatura e umidade interna dos apartamentos, foram aplicados na equação do *heat index* para encontrar a relação dos índices de conforto no interior de cada unidade habitacional, conforme sua orientação e horários do dia nos dois episódios em estudo (verão e inverno).



A equação<sup>20</sup> utilizada é um refinamento de um resultado obtido por análise de regressão múltipla realizada por Lans P. Rothfusz, apresentado em um Anexo Técnico do Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos (NWS, 1990) *apud* NOAA (2020):, com a seguinte fórmula:

$$HI = -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * UR - .22475541 * T * UR - .00683783 * T * T - .048481717 * UR * UR + .00122874 * T * T * UR + .00085282 * T * UR * UR - .00000199 * T * T * UR * UR$$

Onde T é a temperatura em graus F, RH é a umidade relativa em porcentagem, e HI é o índice de calor expresso como uma temperatura aparente em graus F, mas dependendo dos dados climáticos, a NWS (1990) *apud* NOAA (2020): recomenda alguns ajustes que deverão ser feitos.

Se a UR for menor que 13% e a temperatura estiver entre 80 e 112°F (26,66 e 44,44°C), o seguinte ajuste é subtraído de HI:

$$AJUSTE = [(13-RH) / 4] * SQRT \{[17-ABS (T-95.)] / 17\}$$

Onde ABS e SQRT são o valor absoluto e a função de raiz quadrada, respectivamente.

Mas se por outro lado, a UR for maior que 85% e a temperatura estiver entre 80 e 87°F (26,66 e 30,55°C), o seguinte ajuste será adicionado ao HI:

$$AJUSTE = [(UR-85) / 10] * [(87-T) / 5]$$

A regressão de Rothfusz não é apropriada quando as condições de temperatura e umidade apresentam um valor de índice de calor abaixo de 80°F (26,66°C). Nesses casos, uma fórmula mais simples é aplicada para calcular valores consistentes com os resultados de Steadman (1979) *apud* NOAA (2020):

$$HI = 0,5 * \{T + 61,0 + [(T-68,0) * 1,2] + (UR * 0,094)\}$$

Na prática, a fórmula mais simples é calculada primeiro e o resultado é medido com a temperatura. Se esse valor do índice de calor for 80°F (26,66°C) ou superior, será aplicada a equação de regressão completa, juntamente com qualquer ajuste conforme descrito acima.

---

<sup>20</sup> Essa equação foi obtida usando uma análise de regressão múltipla e, portanto, apresenta um erro de  $\pm 1,3$  ° F.

Porém segundo a NWE (1990) *apud* NOAA (2020):, a regressão de Rothfus não é válida para condições extremas de temperatura e umidade relativa além do intervalo de dados considerado por Steadman, o que foi devidamente observado no caso desta pesquisa.

#### 4.6 Entrevistas

Em uma pesquisa qualitativa, com intuito de descrever a realidade projetual dos arquitetos que atuam em Palmas, foram realizadas algumas entrevistas com profissionais atuantes nesse mercado, com experiência em edifícios de habitação vertical. Esse procedimento buscou compreender melhor como é a relação dos aspectos climáticos, o mercado da construção e o processo de elaboração de projetos para tal finalidade na cidade.

Para Bauer e Gaskell (2002), a compreensão do ponto de vista dos entrevistados é a condição *sine qua non* da entrevista qualitativa e pode contribuir para diversos interesses na pesquisa, podendo também ser empregada como base para construção de um referencial de futuras pesquisas.

As entrevistas foram realizadas com auxílio de tópico guia, de forma que a conversa fluísse aparentemente natural e quase casual, para deixar o entrevistado à vontade e não parecer um interrogatório com respostas prontas e automáticas sobre o assunto. Um contato prévio foi realizado por telefone ou presencialmente, com a devida apresentação geral da investigação e de seus propósitos, tendo sido combinada a melhor forma e momento para a realização da entrevista. Foram garantidas condições de confidencialidade e anonimato quanto à participação na pesquisa, com vistas a preservar os participantes.

##### 4.6.1 Arquitetos Locais

A seleção da amostra do corpus empírico foi feita por meio da amostragem não probabilística do tipo bola de neve, até que se atinja a saturação empírica, tendo em vista que não há muitos profissionais que tenham essa atuação na arquitetura vertical no mercado de Palmas. Desse modo, um número de 6 participantes constituiu o grupo de entrevistados da pesquisa.

Os arquitetos entrevistados possuem as mais diversas linhas acadêmicas de formação, oriundos de vários locais do Brasil, mas são atuantes no mercado de Palmas há anos. Para compreender esse e outros aspectos, o tópico guia (ver Apêndice A) foi estruturado de forma que nas primeiras perguntas o entrevistado se apresentasse com uma introdução, suas influências socioculturais, acadêmicas e informações sobre sua aclimatação.

Em um segundo momento da entrevista, as perguntas orientavam para compreender melhor as experiências profissionais de cada arquiteto e como o mercado e as construtoras e incorporadas influenciam em seus projetos.

Para finalizar cada entrevista, foram feitas perguntas para compreender como cada entrevistado aborda a relação do clima em seus projetos de arquitetura elaborados para Palmas. Falaram também suas opiniões sobre a arquitetura vertical na cidade e citaram nomes de outros arquitetos que poderiam ser entrevistados, considerando a experiência nessa área de arquitetura.

## 5 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Nesse tópico serão apresentadas e discutidas as informações obtidas com base nos resultados de dados coletados conforme métodos e equipamentos descritos anteriormente, visando averiguar qual a relação no ganho térmico e no conforto térmico em edificações de acordo com sua orientação solar, nos episódios de verão e de inverno na cidade de Palmas, assim como a influência exercida pelos tipos de tempo nesse processo.

Desta forma, apresenta-se informações primeiramente conforme dados da estação automática - Palmas-A009 (Código OMM: 86607), do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, iniciando pelo episódio de verão e logo depois as informações do episódio de inverno, fazendo basicamente uma abordagem geral dos dados atmosféricos que configuram os tipos de tempo na cidade nos dias escolhidos para as coletas de dados.

Em seguida, apresenta-se informações dos dados coletados *in loco*, dos edifícios em análise, de temperaturas e umidades internas, temperaturas externas por imagens térmicas, temperaturas de superfície nas fachadas, imagens por satélite da cobertura do céu, simulações computacionais de sombreamento e valores no ganho por radiação solar em cada fachada. E com base nos dados coletados no interior de cada apartamento, também se apresentam e comparam-se os dados de sensação térmica para cada unidade habitacional em estudo.

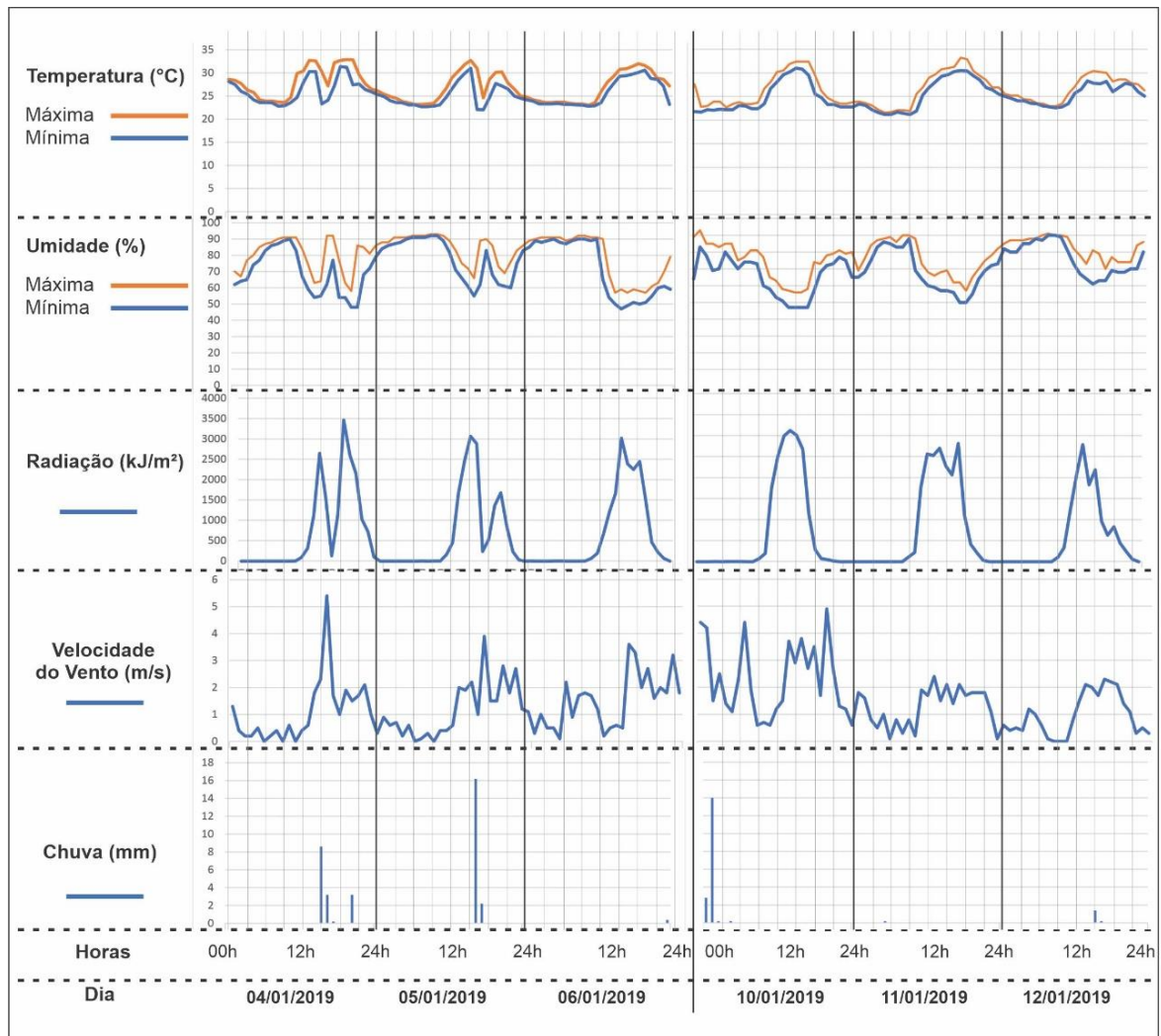
Por fim, com base nas entrevistas, na intenção de compreender como a visão do mercado ou/e dos arquitetos locais dialoga com os resultados averiguados por essa pesquisa, serão apresentadas informações sobre o pensamento e o conhecimento de alguns dos responsáveis pelas modificações do espaço urbano de Palmas por meio de projetos e construção de edifícios.

### 5.1 Análises do Episódio de Verão

Como apresentado anteriormente, durante os dias 4 a 6 e 10 a 12 de janeiro de 2019, ocorreram as coletas de dados no episódio de verão. Segundo dados da estação climatológica do INMET, apresentado na figura 25, é possível verificar as

condições atmosféricas e compreender os comportamentos da atmosfera sobre a cidade.

**Figura 26 - Figura dos gráficos agrupados dos dados do INMET**



Fonte: Dados do INMET (2019) organizado pelo Autor (2020)

Com o exame dos dados dos horários registrados pela estação climatológica automática e dos dados de nebulosidade em horários-padrão registrados pela estação climatológica convencional, ambas do INMET, auxiliado pela inspeção visual das imagens do canal 13 do satélite meteorológico GOES-16, foi possível averiguar as massas de ar e demais sistemas atmosféricos atuantes sobre Palmas durante os períodos de coleta de dados. Acompanhando os horários dos registros realizados junto aos edifícios, a condição atmosférica foi descrita para os turnos da manhã e da tarde para as duas sequências diárias, conforme descrição a seguir.

Abrindo a primeira sequência, o dia 04/01/2019 foi caracterizado pela atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEA) no período da manhã e da Massa Tropical Atlântica (MTA) no período da tarde. No entanto, o surgimento de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) no interior da MTA levou à ocorrência de um acumulado pluvial de 11,4 mm entre 12h e 14h.

No dia 05/01/2019 uma situação semelhante ocorreu sobre Palmas com atuação da MTA nos períodos da manhã e da tarde, porém com formação de linhas de instabilidade (LI) e consequente episódio pluvial de 18,4 mm entre 13h e 14h.

Já no dia 06/01/2019 a cidade prosseguiu sob ação de sistemas atlânticos, alternando MTA no turno da manhã e MEA no turno da tarde. Embora os dados de nebulosidade indicassem um tipo de tempo parcialmente encoberto durante todo o dia, não houve registro de precipitação nos dois turnos observados deste dia.

Para a segunda sequência, o dia 10/01/2019 esteve marcado pela atuação da MTA no período da manhã e da MEA, com linhas de instabilidade (LI), no período da tarde. Sob tal condição, registrou-se um tipo de tempo parcialmente nublado pela manhã e totalmente encoberto à tarde (em decorrência das linhas de instabilidade), contudo sem o registro de pluviosidade ao longo do dia.

O dia 11/01/2019 mostrou-se com céu mais estável, com poucas nuvens ao longo de todo o dia, sob a influência contínua da MTA e, consequentemente, sem chuvas.

Por fim, no dia 12/01/2019 houve permanência da MTA nos dois turnos observados, com céu parcialmente nublado pela manhã e a ocorrência de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) cruzando o centro-sul do Tocantins, o que gerou um pequeno acumulado de 1,6 mm de precipitação sobre Palmas localizada na borda desse sistema instável.

Verifica-se, desse modo, um ritmo alternado entre condições de estabilidade e de instabilidade atmosférica, sempre no interior de massas de ar atlânticas (MTA e MEA), o que é habitual para esse período do ano sobre Palmas assim como também registrado por Silva (2018).

Como mostra a figura 25, é possível também verificar que durante os dias de coletas, a temperatura máxima alcançou 33,2°C, no dia 11 de janeiro, sendo o dia mais quente durante o período deste episódio de verão. Já a temperatura mínima

atingiu 21,2°C em pelo menos três dos seis dias de coletas, deixando a amplitude térmica em torno de 12°C.

A umidade máxima chegou aos 93% e a mínima aos 47%, características dessa época do ano, ou seja, umidades mais elevadas, pois esse período faz parte da estação chuvosa na região. E durante tais dias, foram acumulados 53 mm de chuvas, sendo que o dia com maior volume de chuvas foi o dia 5 de janeiro, com 16,2 mm de precipitação.

Como nesse período de chuvas há mais nuvens no céu barrando uma parcela dos raios solares que atingiria a cidade, nota-se que o valor total da radiação solar em 24h atingiu uma média de 16.459,51 kJ/m<sup>2</sup>. O menor valor ocorreu em 12 de janeiro, com 13.600,98 kJ/m<sup>2</sup>, sendo o dia com menor somatória dentro o período de medição e, com 18.733,84 kJ/m<sup>2</sup>, 11 de janeiro equivale ao dia com maior somatória da radiação solar, entre os 6 dias de mediação do episódio de verão.

Os ventos nesse período apresentaram características mais moderadas, embora haja registros de rajadas de ventos que chegaram aos 13,5 m/s. A velocidade média foi de 1,38 m/s, com direções predominantes de norte e de sul.

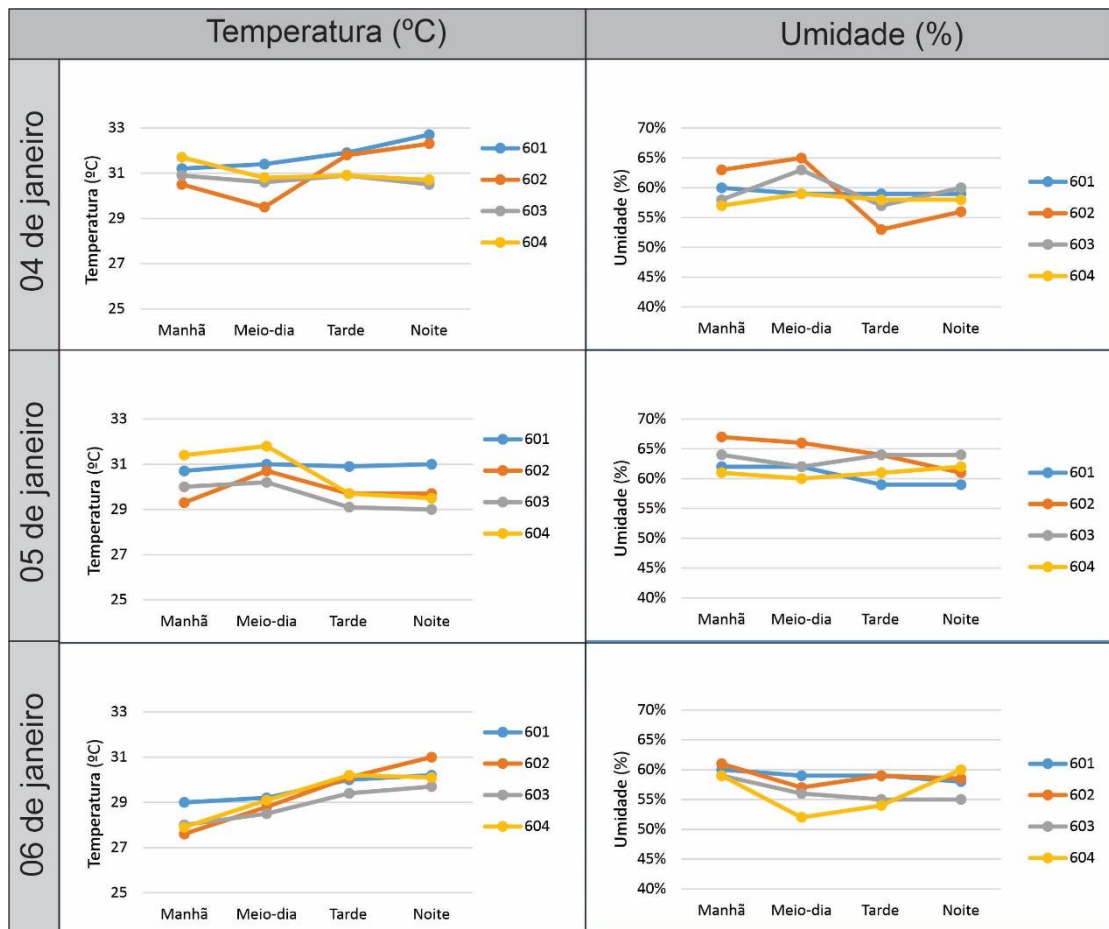
Em suma, esses são alguns dos dados de caracterização geral da atmosfera sobre a área de estudo. Em seguida apresenta-se os dados coletados junto aos edifícios levando em consideração uma escala de maior detalhe.

## **5.2 Temperatura e Umidade Internas nas Unidades Habitacionais**

Os resultados a seguir referem-se ao episódio de verão (04 a 06/01/2019), com base nos dados coletados nos residenciais em estudo, seguindo os processos descritos anteriormente. A temperatura e a umidade relativa no interior das unidades habitacionais se comportaram da forma como é possível observar nas figuras 26 e 27, dos Edifício 01 e 02 respectivamente.

Seguindo a sequência, conforme o levantamento de dados, examina-se primeiro o Edifício 01.

**Figura 27 - Gráfico de Temperatura e Umidade Internas no Edifício 01**



Fonte: Autor (2020)

No primeiro dia, 04 de janeiro, os apartamentos 601 e 602 do Edifício 01, com fachadas voltadas para o oeste, apresentaram a maior variação na temperatura interna, ganhando calor ao longo do dia e atingindo as temperaturas mais altas no final da tarde, em especial o apartamento 601, que recebe insolação direta na fachada sul ao longo do dia (oriundo da inclinação do sol ao sul devido ao solstício de verão) e na fachada oeste no período da tarde, atingindo a temperatura de 32,7°C no início da noite. Nessa época do ano (janeiro), o sol está declinado para sul, permanecendo a face norte sombreada ao longo de todo o dia.

Os apartamentos com fachadas voltadas para o leste, 603 e 604, tiveram o processo inverso no ganho de temperatura interna, se comparados com os demais. A temperatura foi reduzida ao longo do dia, atingindo até 2°C a menos que os apartamentos voltados para oeste. Embora o apartamento 603 também receba



insolação pela fachada sul ao longo do dia, sua temperatura interna foi a que mais se manteve constante, variando entre 30,9°C pela manhã a 30,5°C no final da tarde.

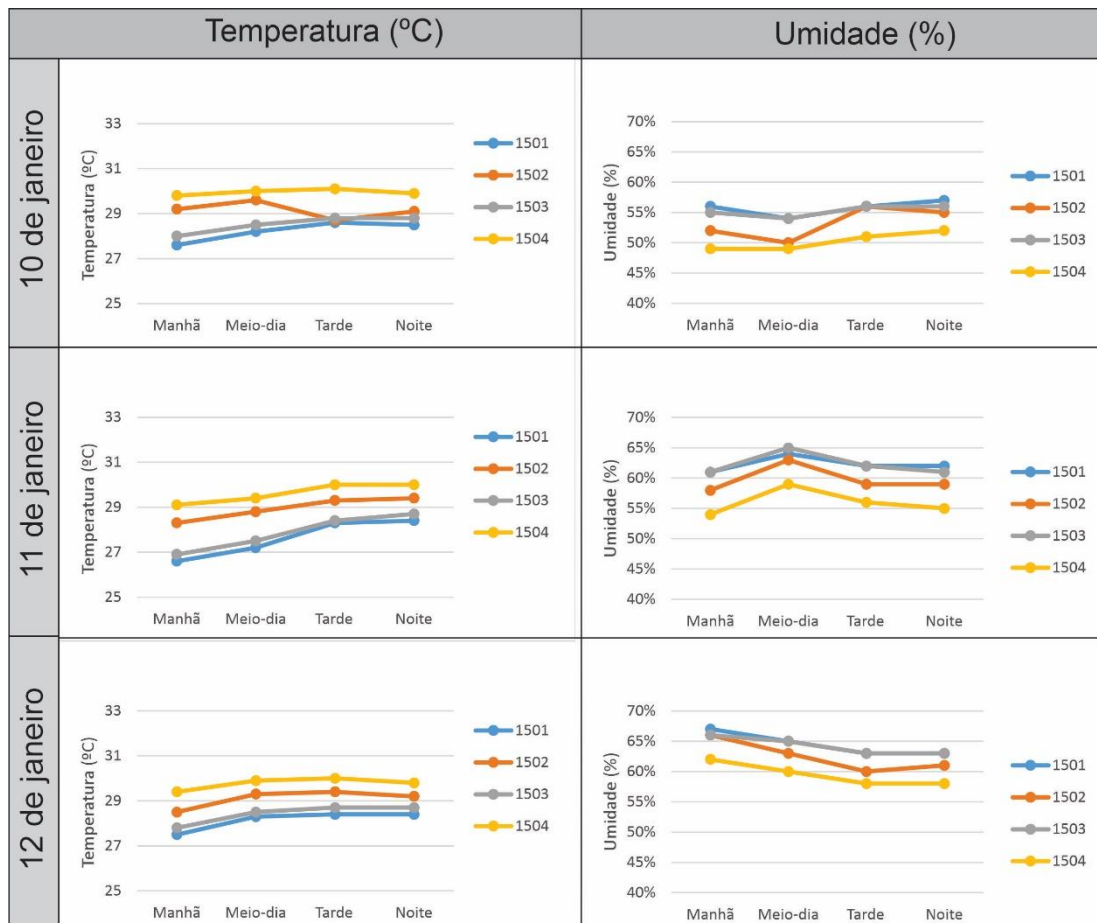
No segundo dia de medição, o céu encoberto com pancadas de chuvas no período da tarde, situação comum do verão, quando o calor e a evaporação acumulados desde o início da manhã provocam instabilidade da atmosfera no período da tarde ou no início da noite, promovei uma queda na temperatura interna dos apartamentos caísse após o meio-dia, exceto o 601, que teve sua temperatura praticamente constante no decorrer do dia.

E no terceiro dia, as temperaturas se mantiveram um pouco mais baixas, provavelmente em função da chuva do dia anterior, o que pode ter reduzido rapidamente a temperatura de superfície pelo contato com a água e, em seguida, possibilitando a transferência de calor latente (via evaporação) para camadas mais altas da troposfera, refrescando-a em sua base. O comportamento dos dados foi similar ao primeiro dia para o apartamento 601, sendo o apartamento mais quente durante os dias de medição, atingido 30,9°C de máxima no final da tarde para o começo da noite.

A umidade relativa do ar no interior dos apartamentos não sofreu grandes alterações ao longo do dia se comparada com a variação que houve na temperatura externa, provavelmente porque os mesmos estiveram fechados, fazendo com que houvesse pouquíssima troca de ar com o meio externo, sendo que a umidade variou principalmente em função das mudanças de temperatura interna. Assim, todos os apartamentos perderam umidade com o passar do dia. Conforme a temperatura externa aumentava, a umidade relativa interna reduzia, atingindo valores médios por volta de 50% a 60% em todas as 4 medições realizadas nos 3 dias desse episódio em todos os apartamentos do Edifício 01.

No Edifício 02, os dados coletados entre 10 e 12/01/2019 se comportaram da seguinte forma:

**Figura 28 - Gráfico de Temperatura e Umidade Internas no Edifício 02**



Fonte: Autor (2020)

Durante os 3 dias de medição, houve uma relação um pouco diferente do esperado, em que os apartamentos voltados para oeste teriam as maiores temperaturas no final da tarde, e até mesmo as mais altas do dia, similar ao ocorrido no primeiro e terceiro dia de medição do Edifício 01.

Os apartamentos voltados para oeste, 1501 e 1503, começaram o dia com temperaturas inferiores aos da orientação leste, pois esta fachada recebe normalmente muita radiação no período da manhã, ou seja, era um dado esperado no período da tarde. Quando a insolação é mais incidente na fachada oeste, os apartamentos voltados para essa orientação permanecem com uma temperatura quase constante e ainda inferior à dos demais, com variações que não ultrapassaram 1°C ao longo do dia.

Isso pode ser justificado devido ao acúmulo de nebulosidade que ocorre com o passar do dia no período chuvoso (verão), pois ao longo do dia há uma maior

evaporação e formação de nuvens, que justifica um céu mais limpo pela manhã e um céu mais fechado e com maior possibilidade de chuvas no período da tarde, como pode ser visto na Figura 29 capturada do Edifício 02 nos dias que compuseram o episódio.

**Figura 29 - Imagens do Céu no Edifício 02 para Comparação de Nebulosidade**



Fonte: Autor (2019)

Assim, a insolação é menor no período da tarde, fazendo com que parte da radiação solar que seria absorvida pela edificação fosse refletida, difundida ou absorvida pelas nuvens. Isso fez com que as temperaturas internas dos apartamentos 1502 e 1504, voltados para o leste, fossem as mais elevadas, e não dos apartamentos 1501 e 1503, voltados para oeste, como esperado.

Mesmo assim, dos dois apartamentos voltados para oeste, o apartamento 1503 ainda apresenta uma temperatura um pouco mais elevada, pois recebe insolação na fachada sul no período da manhã, quando a nebulosidade ainda é um pouco menor. E mesmo com temperaturas máximas inferiores às da fachada leste, os dois apartamentos possuem a maior amplitude térmica no decorrer do dia.

Já a umidade relativa do ar no interior dos apartamentos sofreu uma variação de acordo com as temperaturas externas, perdendo percentual conforme a tal temperatura iria aumentando, e retornava a elevar no período da tarde, devido à maior possibilidade de chuvas, como explicado. Mesmo assim, a umidade relativa do ar no interior dos apartamentos não sofreu grandes alterações ao longo do dia, atingindo valores médios por volta de 50% a 60% em todas as 4 medições realizadas nos 3 dias desse episódio, em todos os apartamentos do Edifício 02, semelhante ao Edifício 01.

### 5.3 Imagens Termográficas das Fachadas

Diferente dos demais resultados apresentados até o momento, devido à quantidade de dados e arquivos gerados, e seguindo a recomendação da NBR 15575 de desempenho em edificações habitacionais (ABNT, 2013), a apresentação de alguns dos resultados a partir desse momento será representada pelo dia representativo da estação, como é o caso das imagens termográficas.

Esse dia para o Edifício 01 será representado pelo segundo dia de coleta, dentre os 3 dias de medição, considerado que o segundo dia estava mais próximo do considerado dia representativo de verão na cidade de Palmas com temperatura e umidade elevada, céu parcialmente limpo no período da manhã a encoberto no período tarde com possibilidade de chuva.

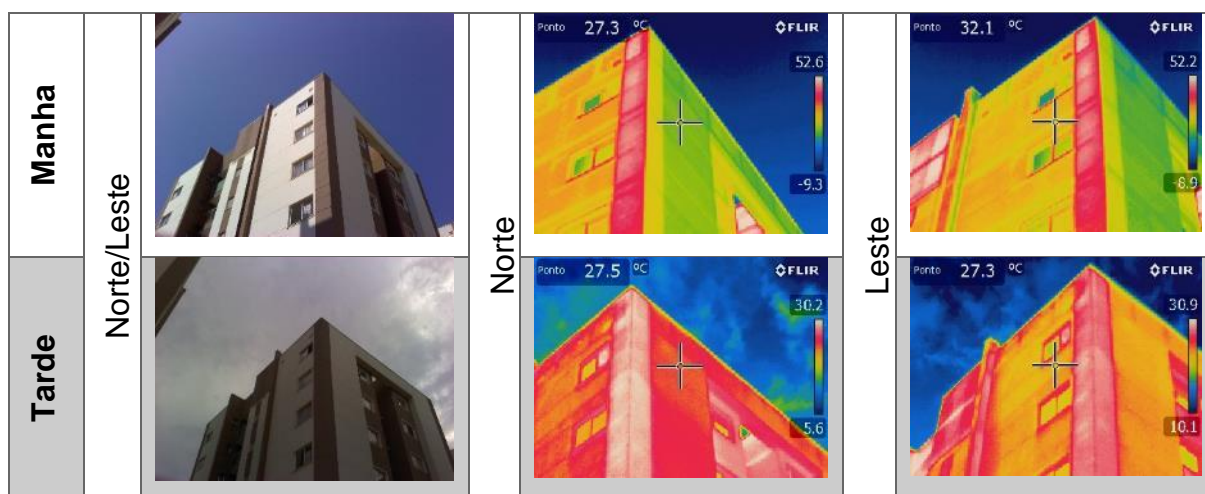
Optou-se pela representação do segundo dia e não do último como recomenda a norma devido ao último dia de coleta o céu ficou totalmente encoberto durante todo o dia, característica prevalente em um menor número de dias sobre Palmas no período do verão. Essas são ocasiões popularmente conhecidas como “invernadas”, quando a instabilidade atmosférica (tempo nublado e/ou chuvoso) permanece ativa por uma sequência de dias, favorecendo a queda das temperaturas. Normalmente ocorrem sob a influência de sistemas instáveis (como a ZCAS) no interior de massas atlânticas (MTA ou MEA), sozinhas ou em alternância com a MEC.

No Edifício 02, como recomenda a norma, optou-se pelo último dia de coleta de dados para representação dos resultados obtidos, pois durante todos os dias de medições, o comportamento da atmosfera durante o dia se apresentou de forma similar a um dia representativo ou habitual de verão, como descrito anteriormente.

Assim, os resultados obtidos por meio das imagens termográficas do Edifício 01 serão representados pelo dia 05 de janeiro, e se comportaram da seguinte forma, como mostra a figura 30.

**Figura 30 - Imagens Termográficas das Quatro Fachadas do Edifício 01 Durante a Manhã (9h) e Tarde (15h) do Dia 05 de Janeiro de 2019**

Período	Fachada	Data: 05 de janeiro de 2019	
		Fotos	Imagens Térmicas
Manha	Sul/Leste		
Tarde	Sul/Leste		
Manha	Sul/Oeste		
Tarde	Sul/Oeste		
Manha	Norte/Oeste		
Tarde	Norte/Oeste		



Fonte: Autor (2019)

É possível notar pela escala de temperatura, expressa ao lado direito ou pela cruzeta que marca a temperatura descrita em °C no ponto central de cada imagem termográfica, que independentemente do tipo de material, a fachada que atingiu a maior temperatura durante o dia foi a fachada leste no período da manhã, e perdendo temperatura no período da tarde. Já a fachada oeste, que potencialmente poderia ser a fachada com maiores temperaturas no período da tarde ou até mesmo do dia, não apresentou temperaturas tão elevadas, pois o céu estava encoberto nesse período, não possibilitando uma maior incidência de radiação na mesma.

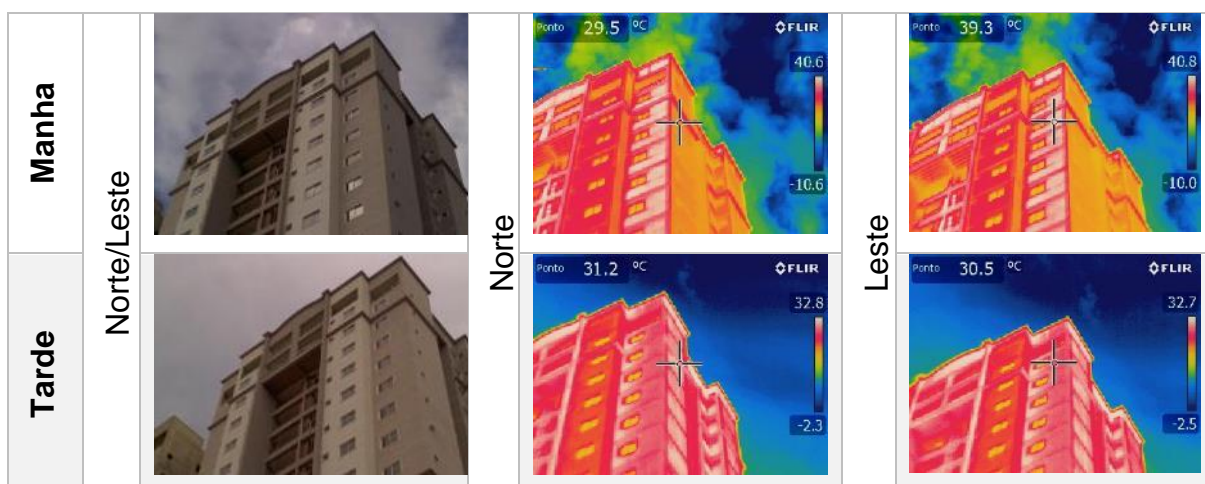
A fachada sul, por receber insolação essa época do ano, apresentou temperaturas mais elevadas também no período da manhã, mas mantendo uma temperatura praticamente constante ao longo do dia. Isso se deve ao ângulo mais ou menos constante da incidência da radiação sobre essa face, sem atingir valores próximos de um ângulo reto, como acontece nas faces leste (manhã) e oeste (tarde). E a fachada norte, por não receber insolação direta nessa época do ano, apresentou as temperaturas mais baixas entre as quatro principais orientações.

Por meio das imagens termográficas também é possível notar o quanto o material ou a cor do mesmo pode influenciar no ganho de temperatura das fachadas. As cores mais escuras desse residencial, como por exemplo a textura de cor marrom, exposta ao sol, é sempre o material mais quente em cada imagem.

Já os resultados obtidos no Edifício 02, por meio das imagens termográficas, serão representados pelo dia 12 de janeiro, e se comportaram da seguinte forma, como mostra a figura 31.

**Figura 31 - Imagens Termográficas das Quatro Fachadas do Edifício 02 Durante a Manhã (9h) e Tarde (15h) do Dia 12 de Janeiro de 2019**

Período	Fachada	Data: 12 de janeiro de 2019	
		Fotos	Imagens Térmicas
Manha	Sul/Leste		
Manha	Sul/Oeste		
Manha	Norte/Oeste		
Manha	Leste		
Manha	Sul		
Manha	Oeste		



Fonte: Autor (2019)

Por possuir um sistema construtivo diferente do outro edifício analisado anteriormente, é possível notar com mais facilidade que a estrutura em concreto e a vedação em alvenaria identificadas nas imagens apresentam temperaturas diferentes, mostrando mais uma vez que o material influencia no ganho de calor.

Já sobre as cores, devido à colocação com tons de marrom na pintura das fachadas desse residencial, nota-se que suas temperaturas apresentaram resultados mais elevados, se comparados com o outro residencial que tinha boa parte de sua fachada na cor branca.

Apesar disso, o padrão se repete e a fachada leste é a fachada que atingiu as maiores temperaturas durante o dia, alcançando valores mais elevados durante o período da manhã, quando a nebulosidade ainda era menor, e perdendo um pouco dessa temperatura no período da tarde, quando não estava mais exposta à radiação direta. Mesmo assim, no período da tarde era uma das fachadas com temperaturas mais elevadas devido ao calor acumulado ainda no período da manhã e à pouca radiação solar absorvida pelas outras fachadas no período da tarde devido ao aumento da nebulosidade.

A fachada oeste também seguiu o mesmo padrão do edifício anterior: não atingiu as maiores temperaturas devido ao céu estar mais encoberto no período da tarde, quando o sol se inclina para essa orientação.

Já a fachada sul apresentou uma pequena variação na sua temperatura durante o dia, com valores mais elevados na parte da manhã, quando recebeu um pouco mais de insolação, mas perdendo calor na parte da tarde, devido ao aumento



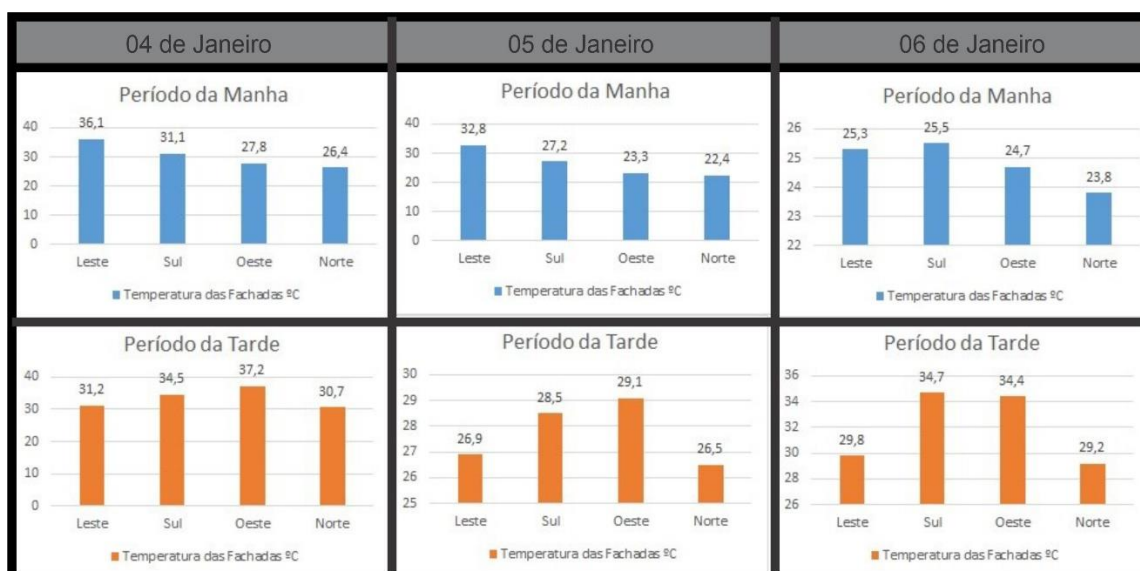
da nebulosidade. E a fachada norte se manteve praticamente constante em suas temperaturas durante o dia, com temperaturas superficiais mais baixas em decorrência da não exposição direta à radiação solar nessa época do ano.

#### 5.4 Temperatura Externa das Fachadas

Condizente com os resultados dos dados apresentados de temperatura no interior dos apartamentos e também como apresentado pelas imagens termográficas, as temperaturas externas na superfície das fachadas se comportaram de forma similar aos demais resultados.

No Edifício 01, pode-se ver através da figura 32 que, para esse período do ano, a fachada sul possui maior temperatura nos dois períodos do dia se comparada com a fachada norte, pois a mesma recebe radiação solar direta devido à inclinação solar do solstício de verão para esta latitude.

**Figura 32 - Temperatura Externa nas Fachadas do Edifício 01**



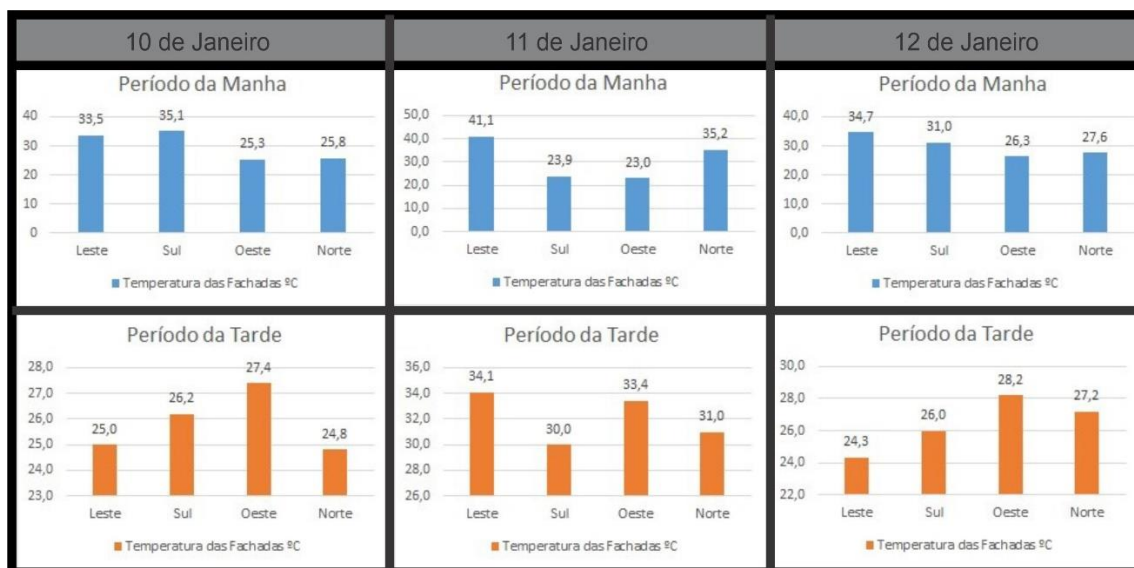
Fonte: Autor (2019)

Já as fachadas leste e oeste possuem temperaturas que variam conforme o período do dia e o tipo de tempo. A fachada leste tem maior temperatura pela manhã e a fachada oeste a maior temperatura pela tarde, exceto para o dia 05/01, quando

houve uma nebulosidade maior pela tarde, reduzindo o ganho térmico por radiação na fachada oeste, se comparada com a fachada sul que atingiu a maior temperatura.

Para o Edifício 02, os valores de temperatura externa na superfície das fachadas se comportaram da seguinte forma, como mostra a figura 33.

**Figura 33 - Temperatura Externa nas Fachadas do Edifício 02**



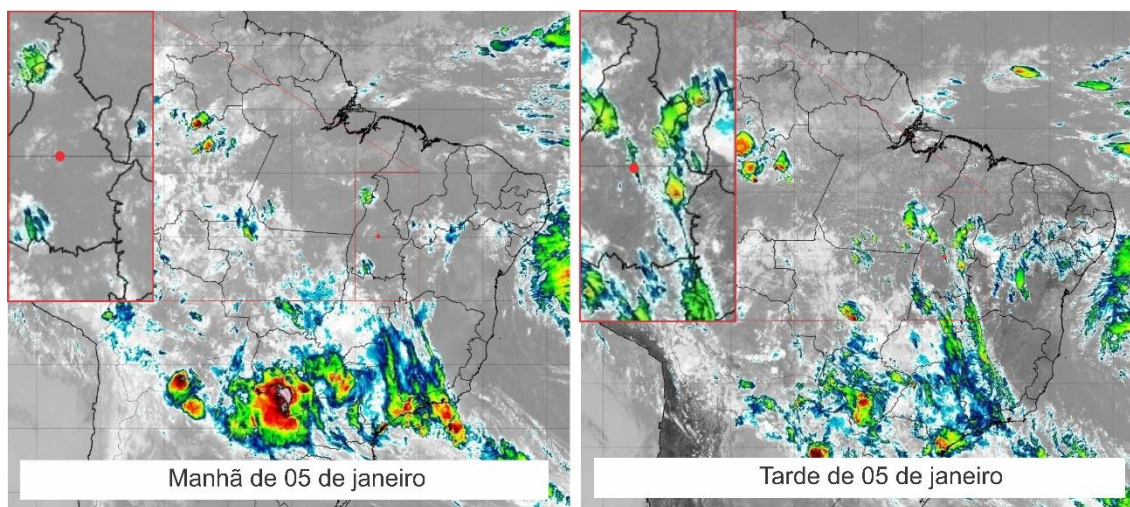
Fonte: Autor (2019)

A fachada leste apresenta as maiores temperaturas durante o dia devido à menor nebulosidade na parte da manhã para este período do ano, como expresso anteriormente. As fachadas sul e oeste disputam o segundo lugar quanto ao maior ganho de calor por radiação solar, fachada sul no período da manhã e fachada oeste no período da tarde, enquanto a fachada norte permanece com temperaturas praticamente constantes durante o dia, pois não recebe radiação solar direta.

## 5.5 Volume de Nuvens no Céu

Para analisar melhor a diferença na nebulosidade do céu entre os períodos da manhã e da tarde para a estação de verão, apresenta-se a cobertura das nuvens sobre Palmas por meio das figuras 34 e 35 e para o Edifício 01 no dia 05 de janeiro e para o Edifício 02 no dia 12 de janeiro.

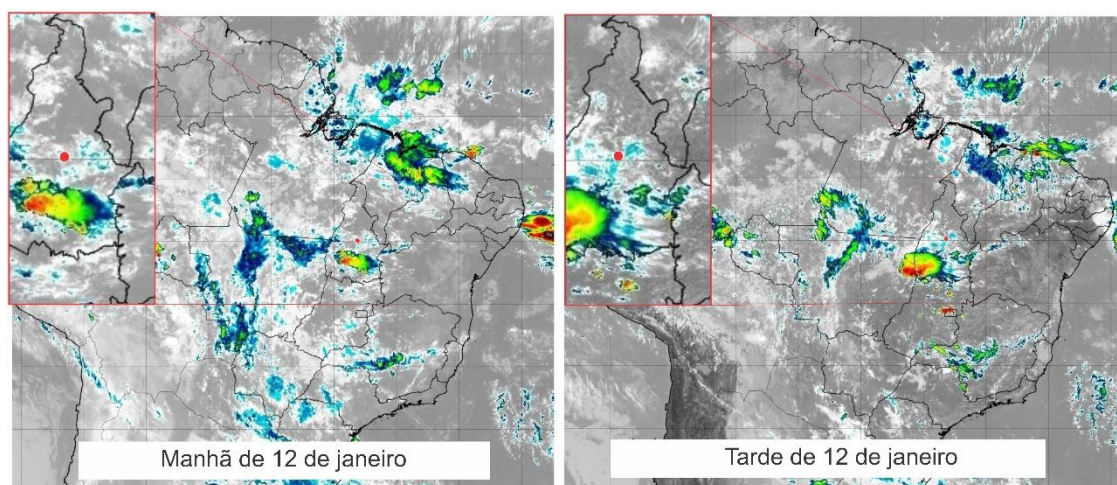
**Figura 34 - Nebulosidade do Céu Entre os Períodos da Manhã e da Tarde para a Estação de Verão no Edifício 01 no dia 05 de Janeiro**



Fonte: Dados do INPE (2019) organizado pelo Autor (2020)

Nota-se que no dia 05, pelo período da manhã, a cobertura de nuvens sobre Palmas é praticamente zero, céu limpo. Já na parte da tarde há maior formação de nuvens sobre a região, deixando o céu encoberto, justificando a queda nas temperaturas, pois há uma redução na incidência solar sobre a cidade.

**Figura 35 - Nebulosidade do Céu Entre os Períodos da Manhã e da Tarde Para a Estação de Verão no Edifício 02 no dia 12 de Janeiro**



Fonte: Dados do INPE (2019) organizado pelo Autor (2020)

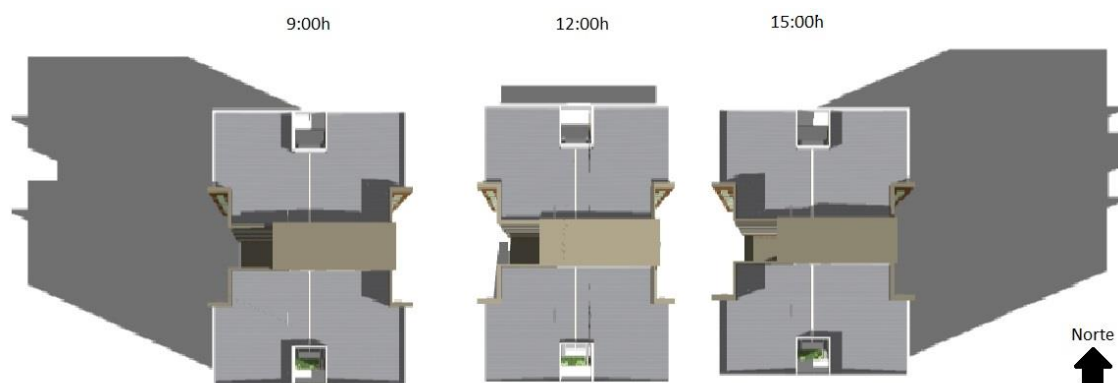
Já para o dia 12, o céu apresentou nuvens praticamente durante o dia todo. Mudando apenas em sua intensidade, pois pela manhã as nuvens estavam mais leves

e no período da tarde uma formação de nuvens mais pesadas, possivelmente em função do acúmulo de evaporação ao longo do dia.

## 5.6 Simulação de Insolação e Sombreamento

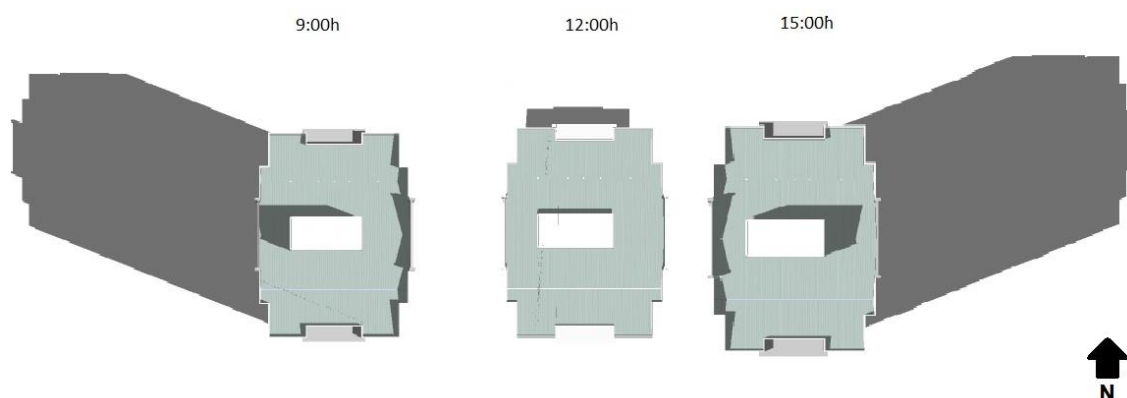
Com base em uma simulação computacional que leva em conta a trajetória solar de acordo com a carta solar de Palmas de latitude  $-10^\circ$ , nota-se que o percurso do sol e a movimentação da sombra se comportam sobre as edificações em estudo da seguinte forma no verão, como mostram as figuras 36 e 37, para o Edifício 01, no dia 05 de janeiro, e para o Edifício 02, no dia 12 de janeiro.

**Figura 36 - Percurso do sol e a movimentação da sombra para o Edifício 01 no dia 05 de janeiro**



Fonte: Autor (2020)

**Figura 37 - Percurso do sol e a movimentação da sombra para o Edifício 02 no dia 12 de Janeiro**



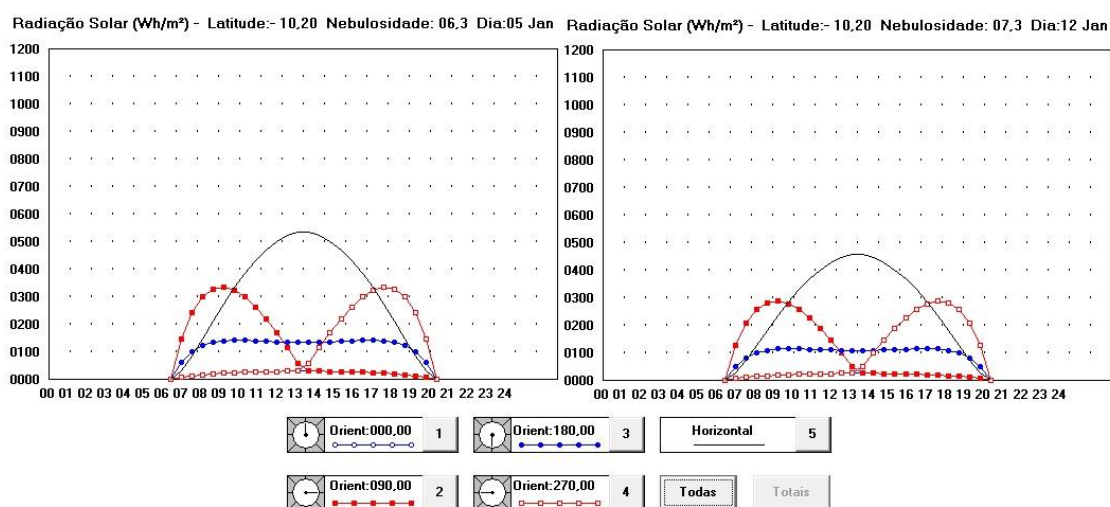
Fonte: Autor (2020)

Por meio da vista superior de protótipos eletrônicos das edificações em estudo, nota-se que para esse período do ano, durante praticamente todo o dia, a fachada norte fica toda sombreada, enquanto a fachada sul recebe radiação solar direta. Já a fachada leste, fica sombreada pela parte da tarde e com sol pela manhã, enquanto a oeste é sombreada pelo período da manhã e recebe radiação solar direta pela tarde, quando há cobertura de nuvens no céu, característica dessa estação, assim permite.

## 5.7 Radiação Solar nas Fachadas

O ganho térmico por radiação solar nas fachadas durante esse período do ano segue a mesma lógica dos dados apresentados anteriormente sobre sombreamento. Conforme o horário do dia e a incidência de radiação nas fachadas, é possível observar, como mostra a figura 38, para o Edifício 01 no dia 05 de janeiro e para o Edifício 02 no dia 12 de janeiro, respectivamente, qual é o valor da radiação solar recebida em Kw/h, durante todo o dia sobre fachadas das quatro principais orientações (norte, sul, leste e oeste) em Palmas.

**Figura 38 - Radiação Solar em Kw/h Durante Todo o Dia Sobre Fachadas das Quatro Principais Orientações Para o Edifício 01 no dia 05 de janeiro e para o Edifício 02 no dia 12 de janeiro**



Fonte: Gerado pelo programa Luz do sol e Adaptado pelo Autor (2020)

O software foi alimentado com dados conforme apresentado na metodologia. Para os valores de nebulosidade, considerou-se a média dos dados da nebulosidade da manhã e da tarde, fornecidos pela estação climatológica convencional do INMET, sendo esta média de aproximadamente 6,3 para o dia 05/01/2019 e de 7,3 para o dia 12/01/19.

O gráfico leva em conta o azimute 000,00 para a orientação norte, 090,00 para a orientação leste, 180,00 para a orientação sul e 270,00 para oeste. Também é apresentado no gráfico o ganho de radiação em planos como coberturas e lajes, no item horizontal.

Nota-se que a fachada leste, no período da manhã, quando não sombreada, atinge valores mais elevados de radiação solar, com picos de 335 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 05 e de 288 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 12, ambos por volta das 9h. Já no período da tarde, quando o sol se inclina para oeste, esses valores começam a reduzir, mesmo assim gerou ao longo do dia uma somatória de 3070 Wh/m<sup>2</sup> para essas fachadas no dia 05 e de 2633Wh/h<sup>2</sup> para o dia 12, sendo que as diferenças explicam-se basicamente pelo gradiente de nebulosidade. Como o software não possibilita trabalhar nebulosidades diferentes ao longo do dia (já que a entrada é de apenas um valor diário), a fachada oeste tem um comportamento igual ao da fachada leste, simétrico no gráfico, ganhando valores mais significativos de radiação no período não sombreado, nesse caso pela tarde, e no período manhã os valores são mais tímidos, o que se assemelha a dias com tempo mais estável.

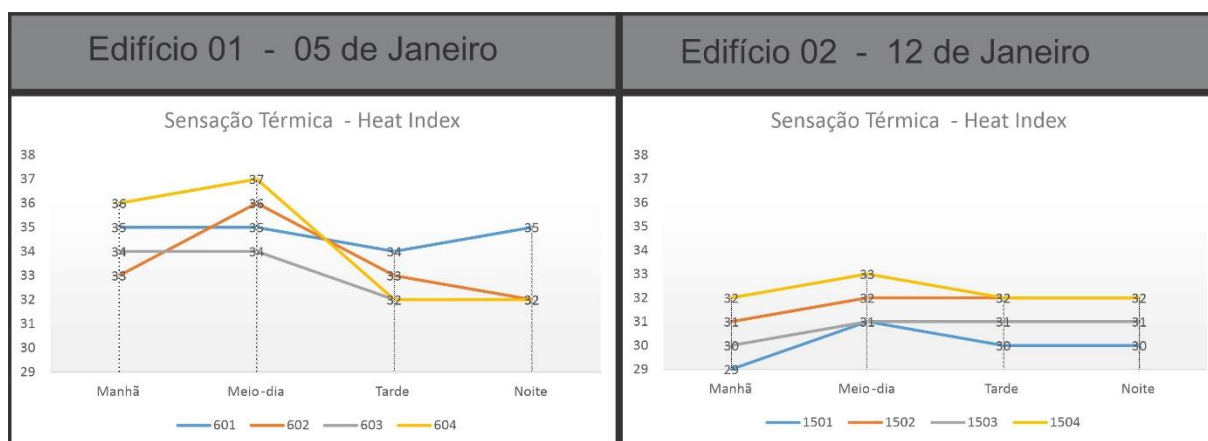
Para essa época do ano, a fachada sul, por receber insolação praticamente durante todo o dia, apresenta resultados mais elevados da radiação solar incidente. Para essa condição de tempo e nebulosidade, apresentou um total diário de radiação de aproximadamente 3047 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 05 e 2474 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 12. Se comparado com a fachada norte, que não recebe radiação solar direta durante essa estação, os valores somados de radiação da fachada sul ficam próximos dos valores diários adquiridos ao longo do dia nas fachadas oeste e leste, enquanto a fachada norte fica com os valores acumulados bem menores, de 534Wh/<sup>2</sup> para o dia 05 e 456wh/m<sup>2</sup> para o dia 12. Assim, a fachada norte será a fachada com menor radiação solar para essa estação do ano, considerando a latitude de Palmas.

## 5.8 Cálculos de Índice de Conforto

Baseado no método de cálculo apresentado pelo *Heat Index*, foram encontrados os níveis de sensação térmica no interior dos apartamentos em estudo, levando em conta a temperatura e a umidade relativa do ar em quatro horários do considerado dia representativo dessa estação.

Nota-se na figura 39 que nos dois residenciais, os apartamentos 604 e 1504, mesmo voltados para a orientação leste, tiveram os índices mais elevados de sensação térmica do dia, isso devido a temperaturas mais elevadas no final da manhã e umidade elevada no decorrer do dia. Isso devido ao fato da maior nebulosidade verificada no período da tarde. Em outras palavras, os dados retratam a situação nesse tipo de tempo, que está sendo considerado típico ou habitual para esse período do ano (verão).

**Figura 39 - Níveis de Sensação Térmica no Interior dos Apartamentos do Edifício 01 no dia 05 de janeiro e do Edifício 02 no dia 12 de janeiro de 2019**



Fonte: Autor (2020)

Logo, o apartamento 601 do Edifício 01 com fachada na orientação oeste atingiu valores de sensação térmica mais elevados apenas no final da tarde, mas não a mais elevada do dia, pois sua temperatura interna se manteve alta e praticamente constante durante o dia. Enquanto os demais apartamentos perdiam calor devido provavelmente ao tempo mais nublado no período da tarde ou por receberem radiação solar direta menor ou mesmo nula em função de suas orientações.

No Edifício 02, os apartamentos voltados para o oeste, 1501 e 1503, tiveram valores menores no índice de sensação térmica mesmo no período da tarde. Como as temperaturas e as umidades estavam mais elevadas no período da manhã, os apartamentos com orientação para leste, 1502 e 1504, tiveram os índices mais elevados de sensação térmica para esse dia, considerado como o típico para a estação.

Os resultados da sensação térmica corroboram com os demais dados apresentados para essa estação do ano e colocam em questão um conceito que sempre se ouve sobre Palmas e região: que a fachada oeste é sempre a pior fachada do ponto de vista térmico e a mais quente do dia. Nota-se que isso depende de alguns outros fatores. Pior ou melhor opção para quê? Para quais épocas do ano? Para quais horários do dia? E para quais tipos de tempo? Devido aos dias chuvosos no verão e à nebulosidade alta dessa estação, nem sempre a fachada oeste será a mais quente do dia, e nem sempre os ambientes voltados para essa orientação também serão os mais desconfortáveis do ponto de vista térmico.

Assim, a tabela representada na figura 40 mostra uma síntese sistemática dos resultados encontrados para cada tipo de tempo predominante para o episódio de verão.

**Figura 40 - Síntese Sistemática dos Resultados**

TIPO DE TEMPO	TENDÊNCIA
<b>Estável (dia todo)</b>	Fachada oeste mais quente (Valores máximos do dia)
<b>Estável (manhã) e Instável (tarde)</b>	Fachada leste mais quente (Valores máximos do dia)
<b>Instável (dia todo)</b>	Temperaturas amenas em ambas as fachadas (Valores constantes)

Fonte: Autor (2020)

Embora apresentados dados para o considerado “dia representativo”, o período chuvoso, que equivale à primavera-verão em Palmas, mesmo o dia representativo apresenta tipos de tempo variados, conforme listados anteriormente. Apesar dos dias



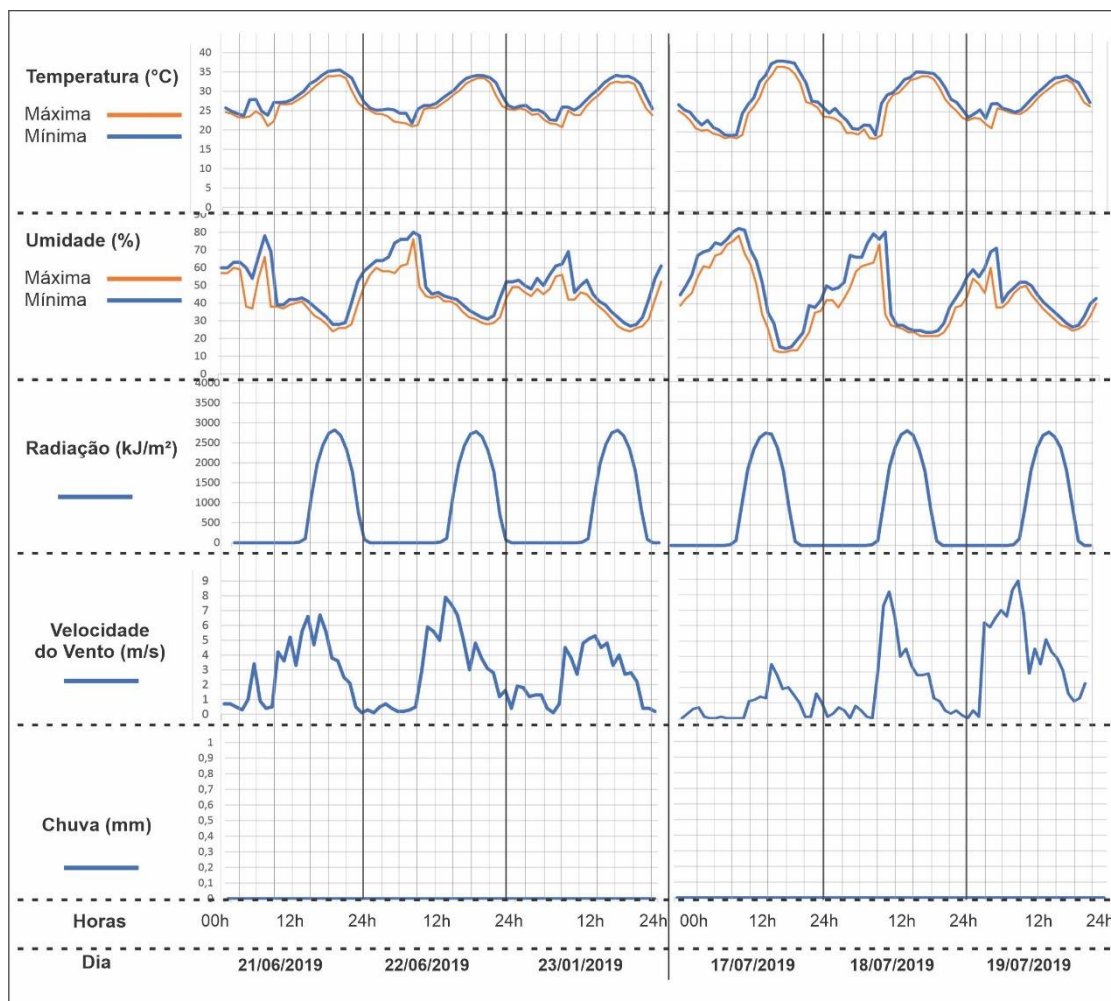
com manhãs estáveis e tardes/noites instáveis sejam considerados habituais ou típicos, há também situações de estabilidade ao longo de todo o dia (por exemplo, em episódios de veranicos) e de instabilidade ao longo de todo o dia (conhecidos como “invernadas”), quando persistem condições atmosféricas propícias à chuva por uma sequência de dias ou até de semanas. Essas características se devem a um ritmo atmosférico mais oscilante no período chuvoso, se comparado com o período seco.

Vale lembrar que a estação chuvosa na região corresponde a apenas alguns meses do ano, e os resultados para o período de estiagem (inverno) serão apresentados no tópico a seguir.

### **5.9 Análises do Episódio de Inverno**

As coletas de dados da análise episódica do período de inverno ocorreram nos dias 21 a 23 de junho e 17 a 19 de julho de 2019, no Edifício 01 e no Edifício 02, respectivamente. E conforme dados da estação climatológica do INMET, demonstrados na figura 41, as condições atmosféricas e o comportamento da atmosfera sobre a cidade de Palmas se manifestaram assim:

**Figura 41 - Figura dos gráficos agrupados dos dados do INMET**



Fonte: Dados do INMET (2019) organizado pelo Autor (2020)

A verificação das massas de ar atuantes sobre Palmas ao longo do episódio de inverno seguiu os mesmos procedimentos empregados para o episódio de verão, sempre para os turnos da manhã e da tarde para cada uma das sequências diárias de coleta de dados juntos aos edifícios, conforme descrição a seguir.

A primeira sequência teve início no dia 21/06/2019, sob ação da MTA pela manhã e da MEA à tarde, ambas em condições de estabilidade. A mesma configuração se sucedeu no dia 22/06/2019 (MTA pela manhã e MEA à tarde) e, finalmente, houve a inversão das massas por turno no dia 23/06/2019, ou seja, MEA pela manhã e MTA pela tarde. No conjunto dos três dias, houve pouca variação na direção do vento, com suave oscilação em torno da direção leste (entre sudeste, no caso da MTA, e nordeste, no caso da MEA), com pouca nebulosidade e nenhum registro de precipitação.

Na segunda sequência houve predomínio da MEA, com deslocamento da direção do vento para norte (oscilando entre noroeste e nordeste, no caso da MEA, e para leste, no caso da MTA). No dia 17/07/2019 houve ação da MEA tanto no turno da manhã quanto no turno da tarde. No dia 18/07/2019 ocorreu alternância entre a MTA, na parte da manhã, e a MEA, na parte da tarde. E, por fim, no dia 19/07/2019 repetiu-se a situação do primeiro dia, isto é, ação da MEA ao longo dos dois turnos observados. Novamente foram verificados baixos valores de nebulosidade e nenhuma pluviosidade registrada nos dias dessa sequência.

A situação atmosférica desse episódio de inverno se revelou habitual para o período, demonstrando um ritmo repetitivo de estabilidade relacionado ao deslocamento sazonal do anticiclone tropical atlântico para mais próximo do continente sul-americano. Isso influencia o tempo seco sobre boa parte do Brasil, especialmente na porção central do território, onde Palmas está localizada. Tal condição também foi relatada por Silva (2018) em sua pesquisa sobre a mesma cidade.

Durante os dias do episódio de inverno, a temperatura máxima alcançou 37,6°C, no dia 17 de julho, sendo o dia mais quente dos dias escolhidos para análise desse episódio. Já a temperatura mínima atingiu 18,7°C em pelo menos dois dos seis dias de coletas, dias 17 e 18 de julho, deixando a amplitude térmica em 18,9°C, característica típica dessa época no ano na região, de amplitudes térmicas maiores se comparadas com o verão.

Com umidades mais baixas, devido ao período de estiagem, a umidade máxima chegou aos 89% (madrugada). Mas em compensação, a umidade mínima chegou a níveis críticos de 14% (tarde e primeiras horas da noite), com média diária próxima a 45%. Com tempo seco, com o total no volume de chuvas em zero.

Com tempo seco, umidade baixa e sem previsão de chuvas, a cobertura de nuvens no céu é bem reduzida, deixando os dias com céu mais limpo, característica desse período. Assim, uma parcela maior dos raios solares atinge a cidade, alcançando valores totais médios de radiação solar em 24h de 18.587,49 kJ/m<sup>2</sup> nos primeiros 3 dias de coletas e de 18.703,75 kJ/m<sup>2</sup> nos outros 3 dias. Durante todos os dias de coleta de dados do inverno, as somatórias diárias apresentaram-se muito parecidas, pois os dias são mais estáveis.

Os ventos nesse período aparecem com um pouco mais de intensidade, com rajadas que ultrapassam os 19 m/s, porém a velocidade média ficou entre 2,73 m/s para os primeiros 3 dias e 2,26 m/s para os outros dias de coleta de dados desse episódio. Silva e Souza (2016) já haviam demonstrado comportamento semelhante dos ventos em Palmas indicando o aumento das velocidades no período de inverno.

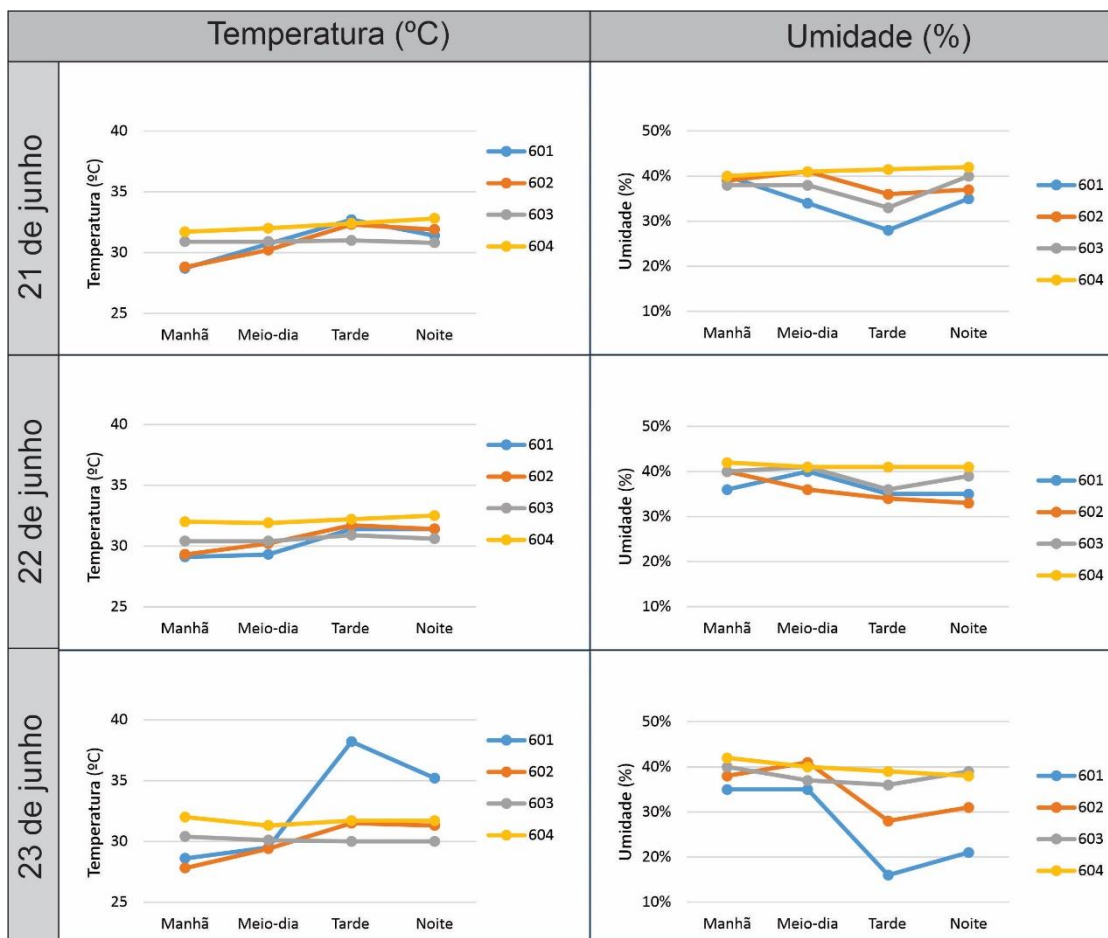
Em resumo, esses são alguns dos dados de caracterização geral da atmosfera sobre a cidade de Palmas durante os episódios de inverno de 2019. A seguir, serão apresentados os resultados numa escala de maior detalhe e mais próxima das unidades habitacionais.

### **5.10 Temperatura e Umidade Internas nas Unidades Habitacionais**

Seguindo os processos descritos na metodologia, serão apresentados os resultados do episódio de inverno, com base nos dados coletados nos dois residenciais em estudo. A temperatura e a umidade relativa no interior das unidades habitacionais se comportaram conforme apresentadas nos gráficos representados na figura 41 e 42, para o Edifício 01 e o Edifício 02, respectivamente.

Analisa-se primeiro o Edifício 01.

**Figura 42 - Temperatura e Umidade no Interior dos Apartamentos do Edifício 01 no Episódio de Inverno de 21 a 23 de junho de 2019**



Fonte: Autor (2019)

Para o primeiro dia de medição do episódio de inverno, 21 de junho, os apartamentos 601 e 602 do Edifício 01, com fachadas voltadas para o oeste, apresentaram a maior variação na temperatura interna, ganhando calor ao longo do dia e atingindo temperaturas mais elevadas no período da tarde, quando a fachada oeste recebe maior insolação. Assim, esses apartamentos tiveram as maiores amplitudes térmicas no dia, com diferença de  $6,8^{\circ}\text{C}$  para o apartamento 601 e de  $4,0^{\circ}\text{C}$  para o apartamento 602, atingindo, respectivamente, temperaturas máximas de  $33,1^{\circ}\text{C}$  e de  $32,3^{\circ}\text{C}$  e temperaturas mínimas de  $26,3^{\circ}\text{C}$  e de  $28,3^{\circ}\text{C}$ .

Nessa época do ano, o apartamento 604 recebe insolação por duas fachadas, nas orientações norte e leste, logo obteve a temperatura mais elevada do dia entre os apartamentos ao final da tarde. Este apartamento, juntamente com o apartamento 603, obteve as menores variações térmicas ao longo do dia, com temperaturas mais

constantes, que variaram de 30,4°C a 33,1°C para o 604 e de 29,5°C a 31,2°C para o 603. Enquanto isso, a temperatura atmosférica externa medida pela estação climatológica do INMET apresentou variação de temperaturas entre 35,5°C, para a máxima, e mínima de 21,0°C. Portanto, percebe-se que as temperaturas internas estiveram mais próximas das máximas do que das mínimas externas.

Acompanhando a sequência de medições, o segundo dia, assim como os demais do episódio de inverno, apresentou céu limpo sem nuvens ou com poucas nuvens, situação típica do período de estiagem e tempo mais estável. Assim, os apartamentos apresentaram temperaturas internas mais baixas à noite ou no começo da manhã e temperaturas mais elevadas durante o dia, em especial no período da tarde, seguindo a mesma lógica do primeiro dia de medição.

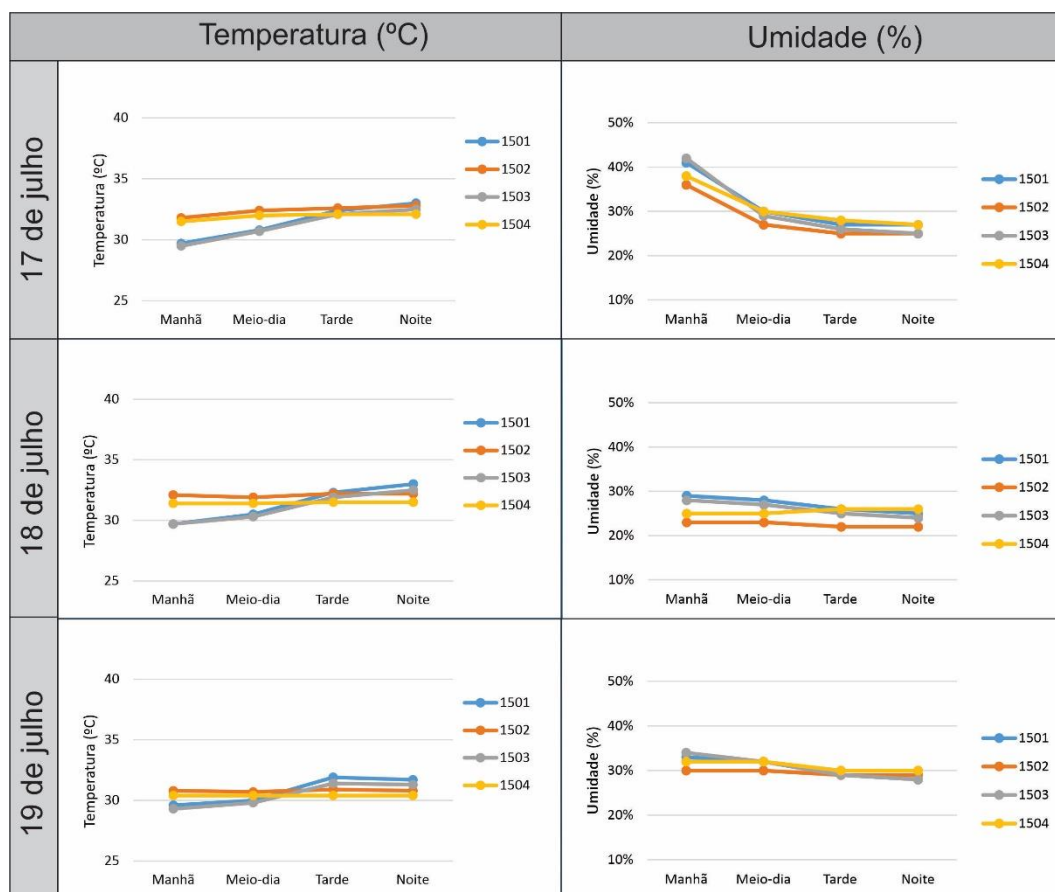
Mesmo com recomendações para que os moradores dos apartamentos ocupados do Edifício 01 não mexessem nos aparelhos e que não ligassem equipamentos que pudessem interferir nos dados coletados, uma discrepância nos valores de temperatura e umidade do apartamento 601, no dia 23 de junho, pressupõem que a ocupação e o cotidiano dos moradores no interior do apartamento possam ter gerado interferência. Isso pode ocorrer até mesmo quando se opta, por exemplo, pela escolha de abrir ou fechar portas e janelas para que haja troca do ar quente ou frio no interior do apartamento. Sendo assim, esses dados, em especial, são considerados como *outlier*, cuja qualidade escapou ao nosso controle.

Diferente das umidades mais elevadas do verão, neste episódio os apartamentos apresentaram dados de umidades quase sempre inferiores aos 40% na maior parte do dia, e perderam umidade conforme a temperatura externa subia em praticamente todos os três dias de medição.

Diferente do verão, a variação dessa umidade entre máximas e mínimas foi mais expressiva, a ponto de apartamentos apresentarem umidade de 40% pela manhã e pela tarde esse valor chegar a 28%, como ocorreu no apartamento 601 no dia 21 de junho. Apartamentos que tiveram menor variação de temperatura interna apresentaram uma umidade mais constante ao longo do dia, o que reforça a relação entre essas duas variáveis.

Analisando os dados desse episódio para o Edifício 02, que teve dados coletados entre 17 e 19/07/2019, esses foram os resultados encontrados como se pode observar no gráfico representado pela figura 43.

**Figura 43 - Temperatura e Umidade no Interior dos Apartamentos do Edifício 02 de 17 a 19 de julho de 2019**



Fonte: Autor (2019)

Houve um comportamento muito similar na temperatura interna dos apartamentos durante esses três dias de medição. Os apartamentos voltados para oeste tiveram a maior amplitude térmica, com menores valores pela manhã, mas atingindo valores mais elevados no período da tarde. Diferente do que ocorreu com os apartamentos voltados para leste, que mantiveram uma temperatura praticamente constante ao longo do dia.

Para o dia 17 de julho, os apartamentos 1501 e 1503, voltados para oeste, começaram o dia com temperaturas internas inferiores aos da orientação leste, como esperado, pois a fachada leste recebe normalmente mais radiação no período da manhã, mas no período da tarde, quando a insolação é mais incidente na fachada oeste, os apartamentos voltados para essa orientação atingiram temperaturas mais elevadas, sendo que o apartamento 1501 atingiu no final da tarde os valores mais

altos do dia, chegando a 33°C, enquanto a temperatura externa na cidade atingia 34,8°C conforme dados do INMET. Pela manhã, esse mesmo apartamento chegou a medir 29,7°C e a temperatura externa chegou a medir 24,6°C.

Com céu limpo praticamente sem nuvens, como mostra a figura 43, durante o episódio de inverno, o comportamento de temperatura interna dos apartamentos voltados para o oeste manteve-se muito semelhante ao ocorrido no dia 17, com valores menores de temperatura pela manhã e valores mais expressivos pela parte da tarde, chegando a atingir os valores mais altos do dia.

**Figura 44 - Cobertura do Céu e Nebulosidade Típica no Inverno de 17 a 19 de junho nos períodos de manhã e tarde no Edifício 02**



Fonte: Autor (2019)

Sem nuvens no céu para barrar parte da radiação solar, o edifício absorve uma quantidade maior dessa radiação, se comparado com os mesmos horários e quantidade de radiação absorvida no verão. Somado juntamente com o ganho de calor adquirido pela atmosfera ao longo do dia, o apartamento 1501, com orientações oeste e norte, obteve as temperaturas mais altas do dia durante os três dias de mediação desse residencial.

O outro apartamento a atingir as maiores temperaturas também possui fachada voltada para oeste, o apartamento 1503, porém sua outra fachada é voltada para sul, onde não há insolação direta durante o solstício de inverno. Isso proporcionou



temperaturas internas no final da tarde um pouco menores do que as obtidas no apartamento 1501, com fachada voltada para oeste e norte.

De janelas sempre fechadas, a umidade relativa do ar no interior dos apartamentos não apresentou uma relação muito oscilante conforme a mudança da orientação do apartamento, pois a mesma sofreu uma variação similar em todos os quatro, perdendo percentual conforme a temperatura externa iria aumentando.

Com dias de tempo mais seco, característica típica dessa época do ano, houve apartamento que alcançou umidade interna mínima de 21% no final da tarde do dia 18/07, enquanto a estação no INMET apresentou uma umidade relativa na cidade de 24% neste mesmo horário. E a umidade máxima no interior dos apartamentos não ultrapassou os 47%, enquanto a umidade externa superou os 80% no começo na manhã do dia 17/07, sendo o dia com maior variação de umidade durante os 3 dias desse episódio de medições realizadas nos Edifício 02.

### **5.11 Imagens Termográficas das Fachadas**


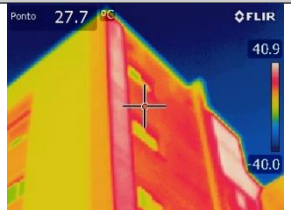

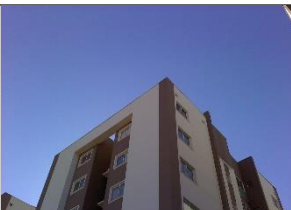


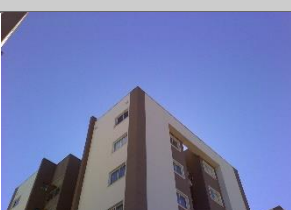





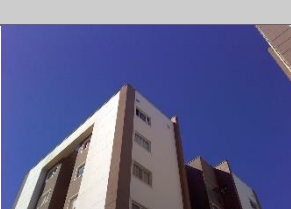

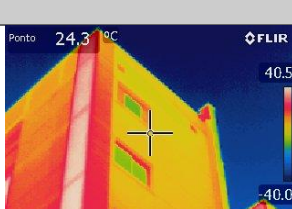
Como relatado anteriormente, alguns dados serão apresentados pelo dia representativo da estação, como é o caso das imagens termográficas que serão apresentadas nesse tópico.

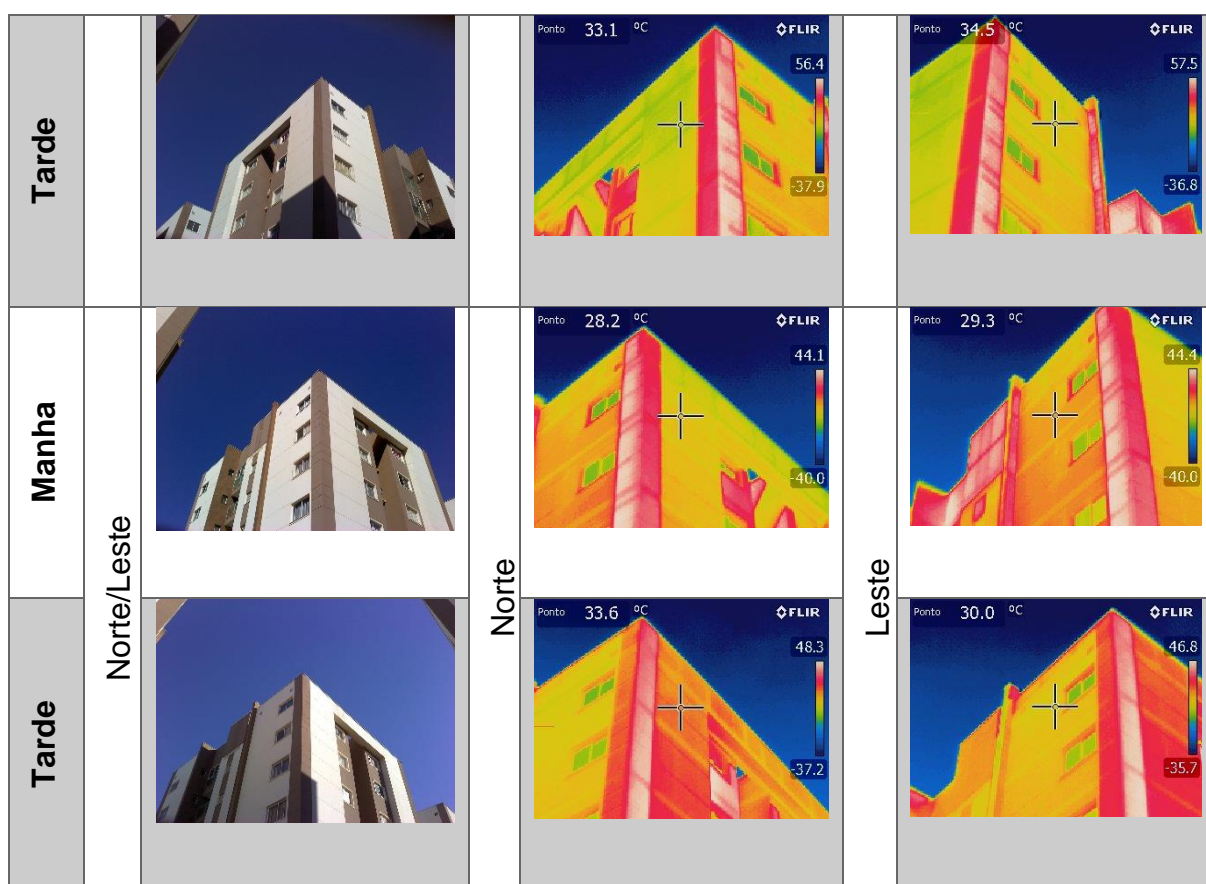
Para Edifício 01 esse dia será o último de coleta desse episódio, 23/06, dentre dos três de medição, como recomenda a norma, com temperatura mais elevada de dia e menor temperatura durante a noite, umidade relativa baixa e céu limpo ou com poucas nuvens.

Para o Edifício 02, optou-se pelo segundo dia de medição para considerar o dia representativo. Como todos os 3 dias tiveram características muito similares entre si, optou-se pelo segundo devido à nebulosidade nula durante todo o dia. Assim, tem-se uma compreensão melhor de tipos de tempo sem nebulosidade como ocorre com muita frequência nessa época do ano.

Os resultados obtidos por meio das imagens termográficas do Edifício 01 são representados pelo dia 23 de junho, e se comportaram da seguinte forma, como mostra na figura 45.

**Figura 45 - Imagens Termográficas das quatro Fachadas do Edifício 01 no dia 23 de junho Durante a Manhã, às 9 Horas, e Tarde às 15 Horas**

		Data: 23 de junho de 2019				
Período	Fachada	Fotos	Imagens Térmicas			
Manha	Sul/Leste		Leste		Sul	
Tarde	Sul/Leste		Leste		Sul	
Manha	Sul/Oeste		Sul		Oeste	
Tarde	Sul/Oeste		Sul		Oeste	
Manha	Norte/Oeste		Norte		Oeste	



Fonte: Autor (2019)









É possível notar pela escala de temperatura ou pela cruzeta que marca a temperatura descrita em °C no ponto central de cada imagem termográfica, que independentemente do tipo de material, a fachada que atingiu a maior temperatura durante o dia foi a fachada oeste no período da tarde. Já a fachada leste, que recebe praticamente a mesma quantidade de radiação solar que a fachada oeste, não apresentou valores tão expressivos como ocorreu no verão. Isso pode ter ocorrido devido à temperatura atmosférica pela manhã não atingir valores mais elevados, como ocorre pela tarde, bem como a maior velocidade dos ventos no período de inverno.


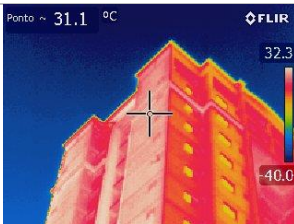
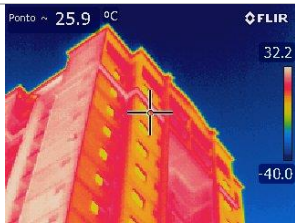


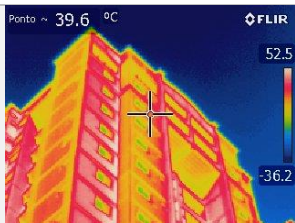






Já a fachada norte, por receber radiação solar direta nessa época do ano, praticamente o dia todo, apresentou em segundo lugar as temperaturas mais elevadas no período da tarde. Como ocorreu durante o verão na fachada sul, isso se deve ao ângulo mais ou menos constante da incidência da radiação sobre essa fachada, sem atingir valores próximos de um ângulo reto, como acontece nas faces leste (manhã) e oeste (tarde).

E a fachada sul, por não receber radiação solar direta nessa época do ano, apresentou as temperaturas mais baixas entre as quatro principais orientações.

Já os resultados obtidos no Edifício 02, por meio das imagens termográficas, serão representados pelo dia 18 de julho, e se comportaram da seguinte forma, como mostra o quadro 46.

**Figura 46 - Imagens termográficas das quatro fachadas do Edifício 02 Durante a Manhã, às 9 Horas, e Tarde às 15 Horas do Dia 18 de Julho de 2019**

Período	Fachada	Data: 18 de julho de 2019		
		Fotos	Imagens Térmicas	
Manha	Sul/Leste			
			Leste	
Tarde	Sul/Oeste			
			Sul	

<b>Manha</b>	Norte/Oeste		Norte		Oeste	
						
<b>Manha</b>	Norte/Leste		Norte		Leste	
						

Fonte: Autor (2019)

Mesmo que esse residencial possua um sistema construtivo e cores diferentes do outro edifício analisado anteriormente, o padrão se repete e a fachada oeste é a que atingiu as maiores temperaturas durante o dia, alcançando valores mais elevados durante o período da tarde.

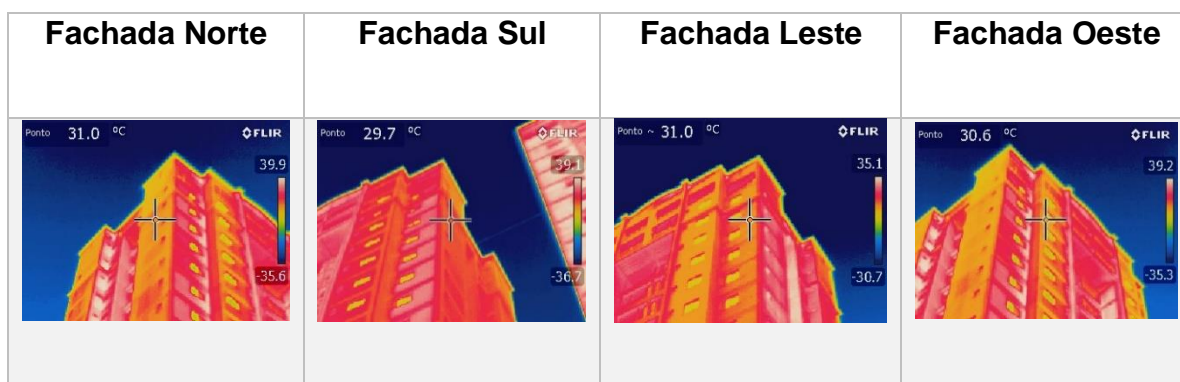
A fachada leste também seguiu o mesmo padrão do residencial anterior, atingindo o segundo lugar entre as fachadas com as maiores temperaturas, porém numa disputa acirrada com a fachada norte, que recebe radiação solar direta o dia todo devido à proximidade do solstício de inverno.

Já a fachada sul ficou com os menores valores de temperatura de superfície juntamente com a fachada oeste no período da manhã, quando não exposta à

radiação solar direta, por isso temperaturas superficiais mais baixas nessa época do ano ou nesse horário.

Com o intuito de observar como é o comportamento dessa temperatura de superfície sem a exposição da radiação solar, algumas imagens termográficas foram capturadas durante a noite, por volta das 21h, como mostra a figura 47.

**Figura 47 - Imagens Termográficas das Quatros Fachadas do Edifício 02 no Período da Noite (21h) no Dia 18 de Julho de 2019**



Fonte: Autor (2019)

Nota-se que após praticamente 3 horas sem insolação, a temperatura externa das fachadas tende a igualar-se, sem diferenças tão marcantes que não sejam pela variação dada por cada tipo de material ou cor.

## 5.12 Temperatura Externa das Fachadas

Para essa época do ano, os resultados de temperatura externa das fachadas são condizentes com os resultados dos dados apresentados pelas imagens termográficas, como pode-se ver a seguir.

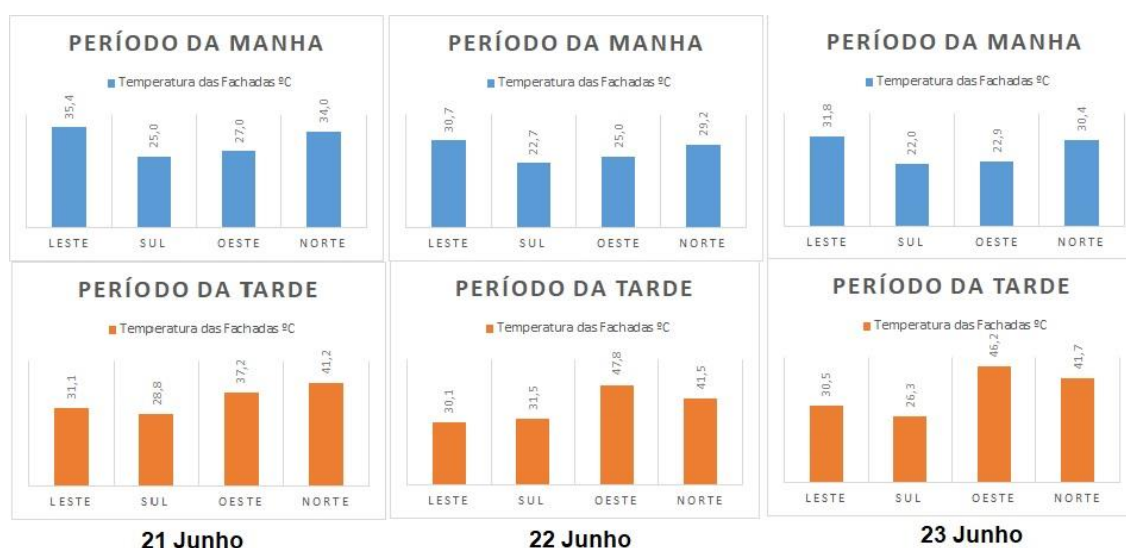
No Edifício 01, nota-se através do gráfico representado na figura 47 que para esse período do ano, a fachada oeste possui as temperaturas mais altas do dia, alcançado valores superiores a 47°C no período da tarde.

A fachada leste tem uma relação um pouco parecida com a fachada oeste, maiores temperaturas enquanto recebe radiação solar direta, nesse caso pela manhã, e com temperaturas menores quando sombreada, nesse caso pela tarde, porém sem

o agravante do acúmulo de temperatura da atmosfera e demais superfícies que contribuem para o ganho de calor na fachada, como ocorre na fachada oeste.

A fachada norte também possui uma das maiores temperaturas do dia, se comparada com a fachada sul, pois ela recebe radiação solar direta o dia todo devido à inclinação solar de inverno para esta latitude.

**Figura 48 - Temperatura Externa de Superfície das Fachadas no Episódio de Inverno de 21 a 23 de Junho de 2019 no Edifício 01**

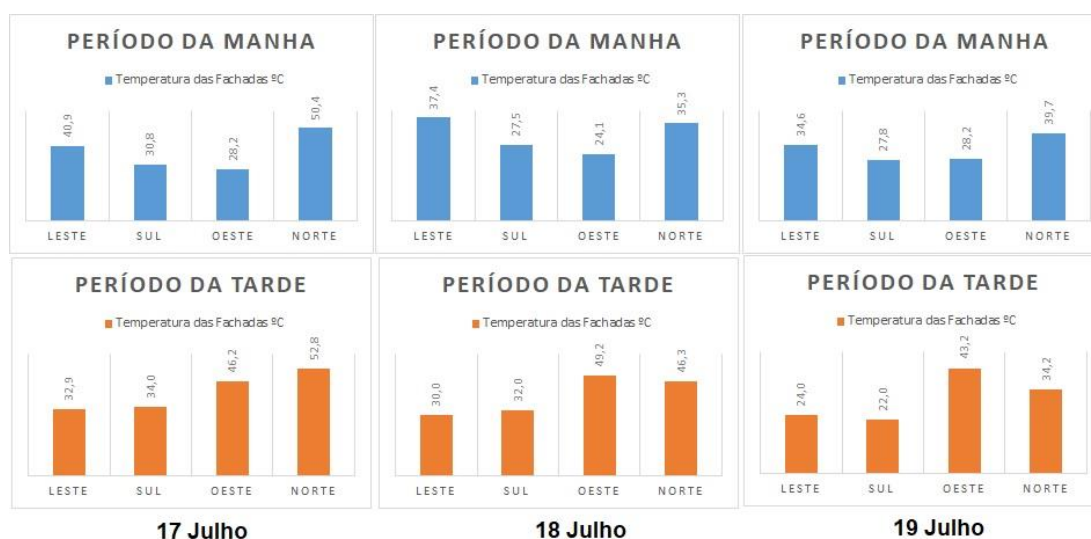


Fonte: Autor (2019)

Já a fachada sul, como não recebe radiação solar direta em nenhum momento do dia, devido à inclinação do sol no inverno para essa latitude, tem as menores temperaturas do dia, e permanece praticamente constante no decorrer dele.

Para o Edifício 02, os valores de temperatura externa na superfície das fachadas se comportaram de forma semelhante aos do primeiro residencial, como mostra a o gráfico representado na figura 49.

**Figura 49 - Temperatura Externa de Superfície das Fachadas no Episódio de Inverno de 17 a 19 de Julho no Edifício 02**



Fonte: Autor (2019)

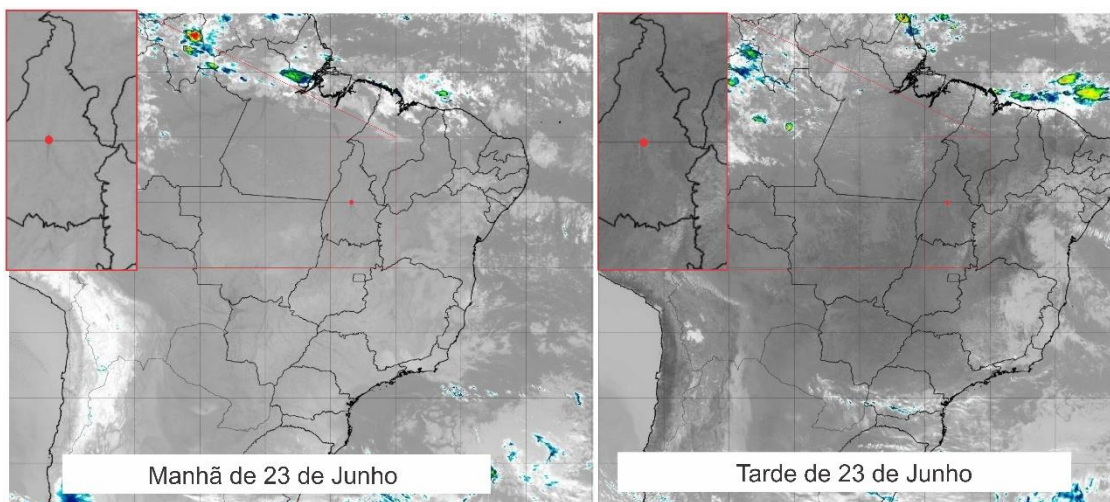
Nesse caso, no dia 17 de julho a temperatura da fachada norte chegou a ser a mais elevada durante dois períodos do dia, mais quente até mesmo que a fachada oeste no período da tarde, ultrapassando os 52°C no dia 17 de julho. Para os demais dias de medição, o comportamento foi similar ao apresentado no Edifício 01, ou seja, fachada com radiação solar direta, maior temperatura.

### 5.13 Volume de Nuvens no Céu

Para compreender melhor a diferença na nebulosidade do céu ou a falta dela entre os períodos da manhã e da tarde para o episódio de inverno, apresenta-se a cobertura das nuvens sobre o céu da região de Palmas por meio da figura 50 para o Edifício 01 no dia 23 de junho e para o Edifício 02 no dia 18 de julho.



**Figura 50 - Imagens de satélite com a cobertura de nuvens sobre a região de Palmas no dia 23 de junho de 2019 pela Manhã às 10h e Tarde às 15h**

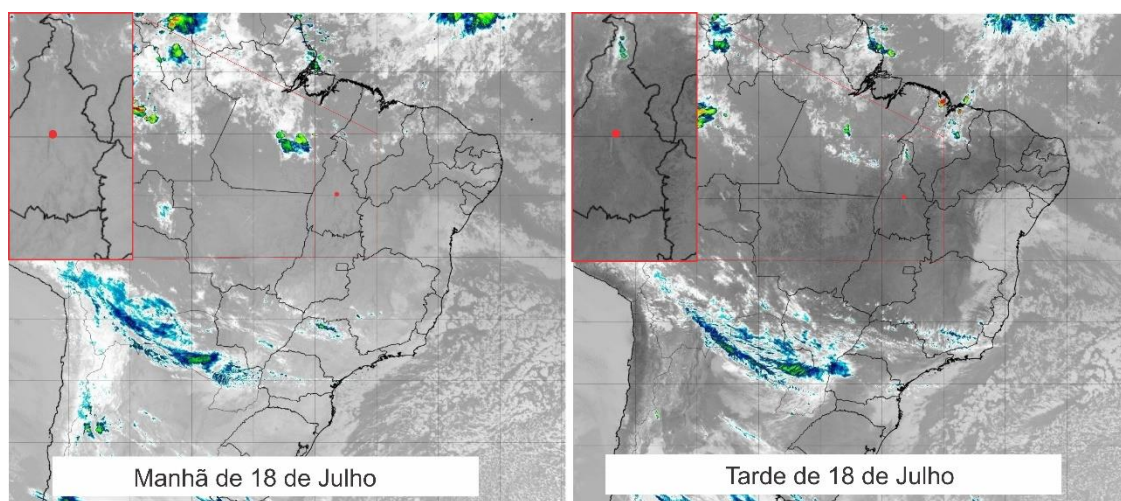


Fonte: Dados do INPE (2019) organizado pelo Autor (2020)

Como dito anteriormente, nessa época do ano a nebulosidade no céu é extremamente baixa ou não há nebulosidade, como mostram as imagens para os dias 23 de junho e 18 de julho, tanto no período da manhã como no período da tarde. O céu se manteve limpo com ausência de formação de nuvens mais significativas que pudessem ajudar na absorção e reflexão da radiação solar. Isso corrobora com os dados apresentados das altas temperaturas sobre as fachadas expostas à radiação solar direta.

Similar ao ocorrido durante os três primeiros dias de medição para esse episódio, o segundo período de coleta, de 17 a 19 de julho, a cobertura de nuvens sobre o céu permaneceu com a mesma característica típica para essa época do ano, no dia 18 de julho a nebulosidade foi praticamente zero o dia todo, como mostra a figura 51.

**Figura 51 - Imagens de Satélite Com a Cobertura de Nuvens Sobre a Região de Palmas no dia 18 de Julho de 2019 Pela Manhã às 10h e Tarde às 15h**

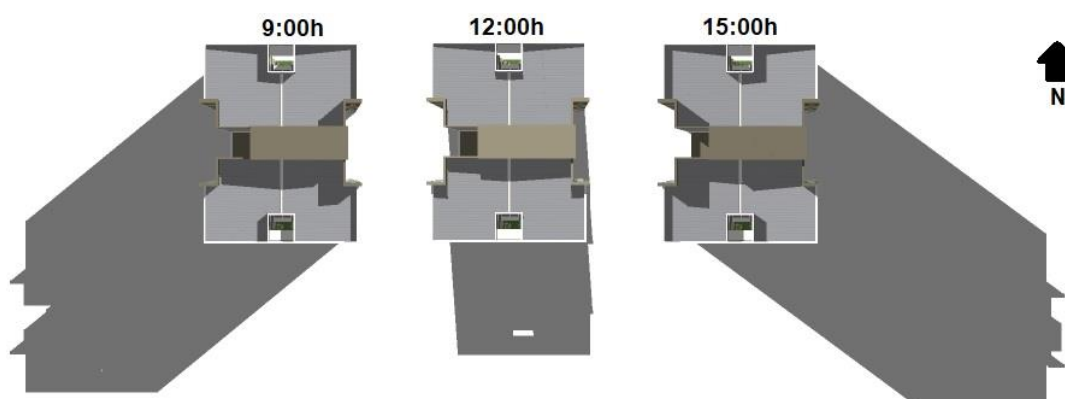


Fonte: Dados do INPE (2019) organizado pelo Autor (2020)

#### 5.14 Simulação de Insolação e Sombreamento

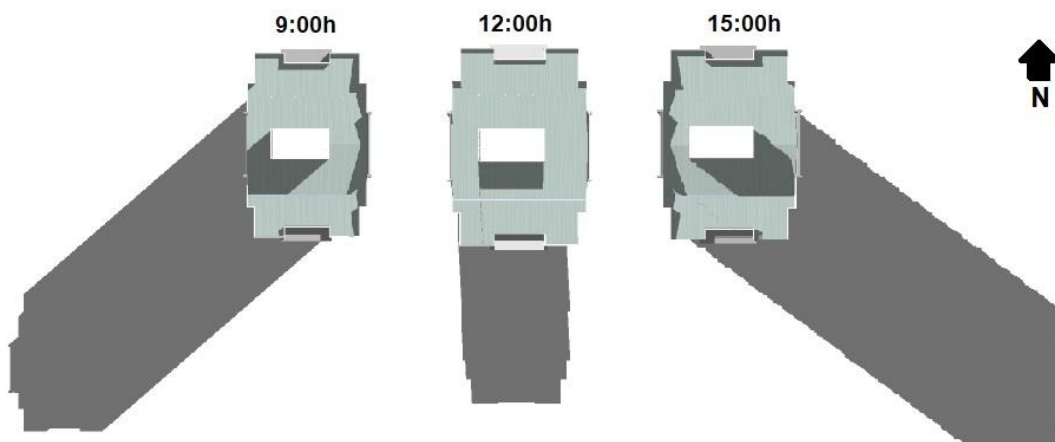
Para os resultados da simulação computacional, nota-se que o percurso do sol e a movimentação da sombra se comportam sobre as edificações em estudo da seguinte forma no inverno, como mostram as figuras 52 e 53, para o Edifício 01, no dia 23 de junho, e para o Edifício 02, no dia 18 de julho, respectivamente.

**Figura 52 - Simulação de Sombreamento das Fachadas do Edifício 01 no Inverno. Vista Superior da Edificação no dia 23 de junho.**



Fonte: Autor (2020)

**Figura 53 - Simulação de Sombreamento das Fachadas do Residencial Edifício 02, no dia 18 de julho**



Fonte: Autor (2020)

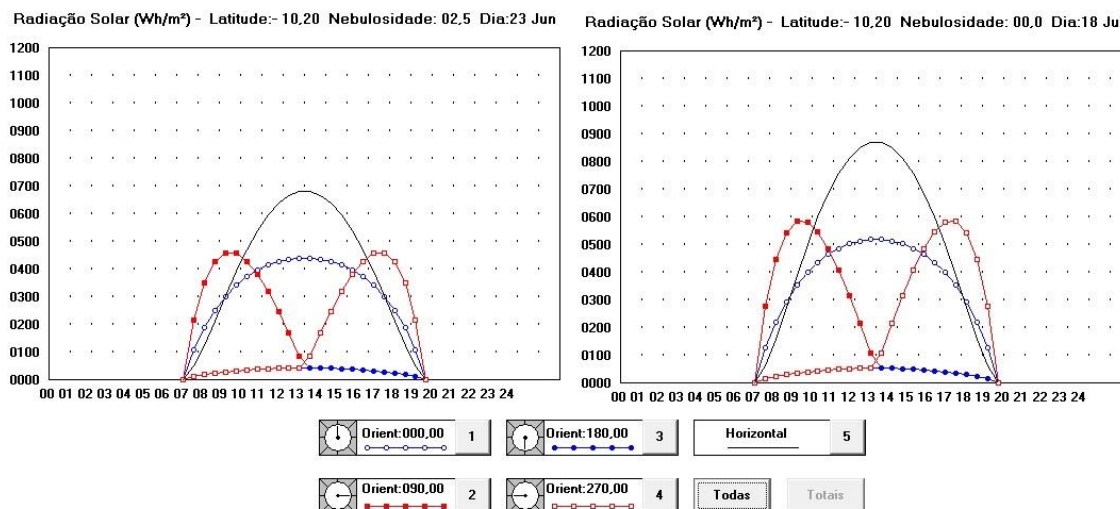
Nota-se que para esse período do ano, durante todo o dia, a fachada sul fica toda sombreada, enquanto a fachada norte recebe radiação solar direta. Já a fachada leste fica sombreada pela parte da tarde e com sol pela manhã, enquanto a oeste é sombreada pelo período da manhã e recebe radiação solar direta pela tarde.

### 5.15 Radiação Solar nas Fachadas

Para o inverno, o ganho térmico por radiação solar nas fachadas segue a mesma lógica dos dados apresentados anteriormente sobre sombreamento.

Conforme o horário do dia e a incidência de radiação, é possível observar qual é o valor da radiação solar recebida em  $Wh/m^2$ , durante todo o dia sobre as quatro fachadas principais (norte, sul, leste e oeste) em Palmas como mostra o gráfico representado na figura 53. Sendo que para o Edifício 01 os dados são para o dia 23 de junho e para o Edifício 02 o dia escolhido foi 18 de julho.

**Figura 54 - Gráfico da Simulação de Ganho Térmico por Radiação das Principais Fachadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) de Latitude  $-10^\circ$  nos Dias 23 de Junho e 18 de Julho**



Fonte: Gerado pelo programa Luz do sol e Adaptado pelo Autor (2020)

Para os valores de nebulosidade, considerou-se a média dos dados da nebulosidade do dia - manhã e tarde, dos respectivos dias, fornecidos pela estação climatológica convencional do INMET. Com céu praticamente limpo e sem nuvens, adotaram-se as seguintes médias: 2,5 para o dia 23/06/2019 e de 0,0 para o dia 18/07/19.

Se comparado com os dados apresentados no episódio de verão, quando há maior nebulosidade no céu, nota-se que os gráficos atingiram picos mais elevados de radiação em praticamente todas as fachadas. Como é possível verificar na fachada leste, que no período da manhã, quando não sombreada, atinge valores mais elevados de radiação solar absorvida, com picos de 457Wh/m<sup>2</sup> para o dia 23 e de 583 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 18, ambos por volta das 9h.

Já no período da tarde, quando o sol se inclina para oeste, esses valores de radiação na fachada leste começam a reduzir, mesmo assim gerou ao longo do dia uma somatória de 3885 Wh/m<sup>2</sup> para essas fachadas no dia 22 e de 4941Wh/h<sup>2</sup> para o dia 18, sendo que as diferenças se explicam basicamente pelo gradiente de nebulosidade.

Como o software não possibilita trabalhar nebulosidades diferentes ao longo do dia, a fachada oeste tem um comportamento ao da fachada leste, simétrico no gráfico,

ganhando valores mais significativos de radiação no período não sombreado, nesse caso pela tarde, e no período manhã os valores são mais tímidos, o que assemelha a dias com tempo mais estável.

Para essa época do ano, a fachada norte, por receber radiação solar direta praticamente durante todo o dia, apresenta resultados mais elevados da radiação solar incidente. Para essa condição de tempo e nebulosidade, apresentou um total diário de radiação de aproximadamente 7351 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 23 e 8627 Wh/m<sup>2</sup> para o dia 18, valores que chegam praticamente ao dobro dos valores apresentados nas fachadas leste e oeste.

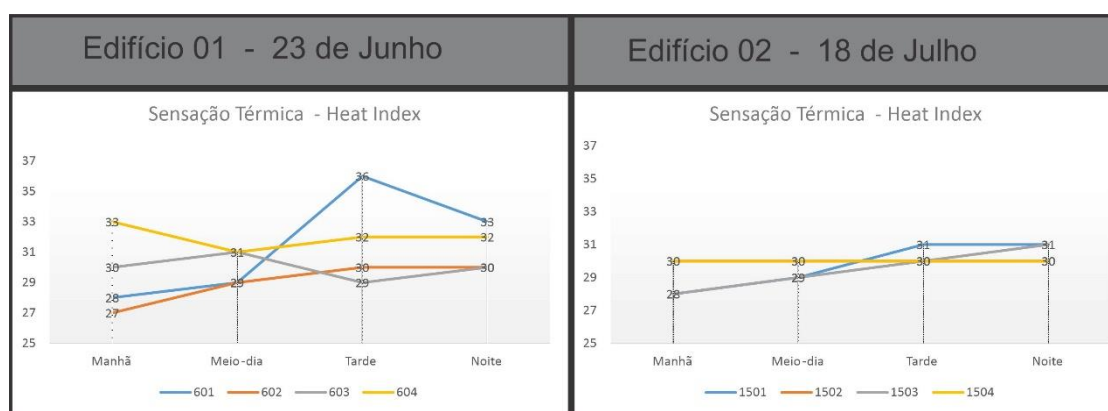
A fachada sul, que não recebe radiação solar direta durante essa estação, tem seus os valores somados de radiação de aproximadamente 699Wh/m<sup>2</sup> para do dia 23 e 877wh/m<sup>2</sup> para o dia 18. Assim, a fachada sul será a fachada com menor radiação solar absorvida para essa estação do ano, considerando a latitude de Palmas.

### **5.16 Cálculos de Índice de Conforto**

Por meio do *Heat Index*, foram encontrados os níveis de sensação térmica no interior dos apartamentos em estudo para esta época do ano, levando em conta a temperatura e a umidade relativa do ar em quatro horários do considerado dia representativo dessa estação: Para o Edifício 01 no dia 23 de junho de 2019, e para o Edifício 02 no dia 18 de julho de 2019.

A umidade influencia diretamente nos índices de sensação térmica, e nessa época do ano, período de estiagem, os níveis da umidade relativa do ar tendem a cair, chegando a estados críticos abaixo dos 20%. Nota-se no gráfico representado na figura 55 que, mesmo com temperaturas elevadas no inverno palmense, com valores acima dos 30°C, da mesma forma que ocorre no verão, a baixa umidade proporciona uma melhor sensação térmica, pois o ar saturado de vapor de água no verão dificulta a sudorese, responsável por arrefecer o corpo humano, nesse caso.

**Figura 55 - Gráficos de Temperatura, Umidade e Conforto Térmico no Interior dos Apartamentos em Estudo nos Dias 23 de Junho e 18 de Julho de 2019**



Fonte: Autor (2020)

É possível verificar também que os dois apartamentos (601 e 1501) com maiores índices de conforto térmicos estão voltados para oeste, sendo que apresentaram os maiores valores desse índice no final da tarde, em ambos os residenciais em estudo. Isso devido a valores mais significativos de temperatura interna oriundos do ganho térmico por radiação da fachada não sombreada à tarde e à somatória de calor ao longo do dia na atmosfera.

Com céu limpo ou de poucas nuvens e sem muitas alterações nos tipos de tempo durante o dia, como ocorre no verão, o inverno proporcionou no interior dos apartamentos uma sensação térmica mais constante, como ocorreu com os apartamentos 1502 e 1504 do Edifício 02, ambos voltados para leste. Mesmo com um leve aumento na temperatura e uma queda não muito significativa na umidade no interior dos apartamentos, o índice de conforto se manteve praticamente constante durante todo o dia.

Logo, o apartamento 1501 (Edifício 02) com fachadas nas orientações oeste e norte, atingiu valores de sensação térmica mais elevados apenas no período da tarde, mas atingindo, juntamente com o apartamento 1503, os valores mais elevados do dia. Embora, no período da manhã, tinham os menores valores do dia, pois a fachada oeste ainda não havia sido ensolarada.

Para essa época do ano, de baixa nebulosidade e praticamente sem chuvas, as fachadas com maiores índices de radiação solar incidente, juntamente com o acúmulo de temperatura na atmosfera ao longo do dia, fachada oeste e norte, estão

propícias a temperaturas mais elevadas no interior de edificações voltadas para essa orientação, e com isso uma maior sensação térmica também será percebida no seu interior.

Os resultados da sensação térmica corroboram com os demais dados apresentados para essa estação do ano e considera-se que para esse episódio as fachadas oeste e norte são as duas mais prejudicadas do ponto de vista do conforto térmico ao longo do dia. Diferente do que ocorreu no episódio de verão, onde houve uma maior instabilidade nos tipos tempos, e assim, resultados menos uniformes como ocorrido no inverno.

## **6 O TEMA VISTO DE OUTRO ÂNGULO: O QUE DIZEM OS ARQUITETOS LOCAIS**

Com intuito de compreender a visão dos arquitetos locais sobre os aspectos climáticos da cidade de Palmas, como a temática repercute ou é tratada no âmbito dos projetos e para entender melhor como é o mercado no processo de criação de novas edificações de residências de múltiplos pavimentos, foram entrevistados alguns dos principais profissionais que atuam no mercado de arquitetura verticalizada na cidade, totalizando 6 participantes.

Na primeira parte da entrevista, os arquitetos foram solicitados a fazer uma breve introdução a respeito de suas influências socioculturais, acadêmicas e de aclimatação na cidade de Palmas. Notou-se que 5 dos entrevistados não são naturais da região, nasceram e foram criados a maior parte de suas vidas em cidades com climas diferentes do de Palmas, mas todos já estão em Palmas há no mínimo 10 anos, com isso já se sentem habituados com o clima local.

Para compreender as influências acadêmicas, os mesmos foram questionados sobre suas formações e experiências durante a passagem pela academia. Três dos entrevistados se graduaram no estado do Tocantins. Os demais vieram já graduados de outros estados das regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil.

Durante a vida acadêmica, aqueles que se lembraram, informaram que em sua formação o conhecimento sobre conforto térmico foi algo tratado em nível básico, mas que todos tiveram matérias relacionadas ao assunto. Porém, quando se referem especificamente à arquitetura verticalizada para habitação, nem todos tiveram prática projetual dessa natureza durante a academia ou em estágios profissionais.

Quanto à experiência profissional no mercado de habitação multifamiliar, 5 deles fizeram seu primeiro projeto verticalizado na cidade de Palmas e depois do primeiro, outros edifícios foram projetados para a capital e/ou para outras regiões do estado ou em estados vizinhos.

Quando solicitados para expor suas maiores dificuldades na hora de elaborar seus projetos, tanto o primeiro projeto quanto os realizados atualmente, os profissionais abordaram que é atender limites de áreas, estacionamentos e normas urbanísticas, embora isso mude conforme a classe social para qual o projeto está sendo elaborado.



Quando questionados sobre o que julgavam mais importante na hora de começar a projetar um prédio para fins habitacionais, nenhum dos entrevistados citou o conforto térmico ou questões relacionadas. Talvez isso seja reflexo da influência do mercado que os moldaram a pensar assim.

Neste aspecto de influência do mercado, todos foram unânimes em informar que os construtores e incorporadores influenciam diretamente no projeto, pois o programa de necessidade, custo de obra, áreas, valor estimado de venda, lucro esperado, padrão de acabamento e outros itens são trazidos por eles. E a maioria dos contratantes dos projetos para esse tipo de empreendimento é taxativa quanto a alguns aspectos, como o número de unidades habitacionais que o terreno deve contemplar para que seja viável, do ponto de vista mercantil, a construção de um condomínio. Sendo assim, os profissionais se veem pressionados a trabalhar nos moldes apresentados, o que certamente limitará o emprego de estratégias que visem ao bem-estar dos futuros moradores.

Os entrevistados relataram também que os contratantes dos serviços de arquitetura para elaboração de projetos residenciais na maioria das vezes, estão mais interessados em “números” e “lucros”, e quanto mais popular é o empreendimento mais evidente é essa questão. Assim, em residenciais para classes sociais mais altas, o arquiteto possui uma relativa maior liberdade projetual, podendo orientar os empreendedores quanto a aspectos que justificam um possível aumento no custo de construção. Segundo consideram, o cliente com melhor poder aquisitivo não está interessado apenas no valor final do apartamento a ser adquirido, mas também na qualidade de vida e nos itens que possam favorecer esse quesito.

Já o consumidor final (o futuro morador) de menor poder aquisitivo, quando adquire um apartamento, prioriza questões como o valor das parcelas do financiamento, o preço final do apartamento, o tamanho dos ambientes e a qualidade do acabamento à frente dos aspectos de conforto térmico. Todavia, não consideram a questão do conforto totalmente descartada por uma parte significativa dos compradores, pois algumas empresas do ramo trabalham com valores diferenciados para apartamentos com orientação para leste ou oeste, para que aqueles menos favorecidos dos pontos de vista térmico não fiquem sem vender ou com vendas mais demoradas, assim a redução no valor de venda é um atrativo para aqueles que colocam a questão econômica à frente do conforto. Nesse caso, apartamentos

voltados para o sol da tarde (oeste) possuem uma leve depreciação no valor de venda, se comparados com os mesmos apartamentos com fachadas sombreadas no período da tarde (voltados para leste).

Quando questionados sobre a relação do clima local e a preocupação na elaboração de projetos arquitetônicos adaptados para o clima de Palmas, todos afirmaram ter conhecimento das características do clima da cidade e que também conhecem seus principais aspectos. Entretanto, relataram que nem sempre esse conhecimento é primordial nas tomadas de decisões projetuais em prédios habitacionais já que, dependendo do padrão da habitação, o custo de construção fala mais alto, conforme assinalado anteriormente. Assim, por exemplo, os prédios tomam formas mais simples e alturas mais baixas para reduzir o custo com estrutura e a área comum de circulação do pavimento deve ser dividida por um maior número de unidades habitacionais para baratear o seu valor de venda. Dessa forma, apartamentos populares terão um maior número de unidades por pavimento, normalmente a partir de quatro unidades, e isso praticamente impossibilita o projetista a não orientar apartamentos ou ambientes de permanência mais prolongadas (como salas e quartos) para fachadas desfavoráveis do ponto de vista térmico.

Já em empreendimentos de padrões mais elevados, às vezes com dois ou até mesmo um apartamento por pavimento, essa tarefa se torna menos árdua, pois um único apartamento pode possuir paredes voltadas para as quatro principais orientações, nesse caso torna-se possível projetar ambientes com menor permanência para a orientação mais desfavorável ou até mesmo incluir outras soluções que promovam sombreamento ou redução da absorção de radiação solar. Já os apartamentos populares apresentam duas ou apenas uma parede com aberturas voltadas para o exterior, e essa fachada, para alguns dos apartamentos do pavimento, será aquela mais desfavorável do ponto de vista térmico.

Questionados sobre em que ocasiões o conforto térmico é colocado em segundo plano na hora de elaborar um projeto de prédio, todos afirmaram que isso ocorre quando a viabilidade financeira do empreendimento é ameaçada, ou seja, que nessa situação sem dúvida os aspectos de conforto são deixados em segundo plano.

Já quando abordados sobre a relação do conforto com a parte estética da edificação, todos afirmaram que o conforto para Palmas é mais importante que a parte plástica da edificação, e que jamais colocariam uma grande abertura de vidro sem

proteção voltada para uma fachada desfavorável do ponto de vista térmico. Contudo, por exigência do cliente, isso pode ocorrer, mas que o mesmo estaria devidamente informado a respeito das possíveis desvantagens dessa escolha.

Para saber se as tomadas de decisão ou as escolhas em projetos são embasadas em simulações ou ensaios, os arquitetos foram questionados acerca dessa prática uma vez que todos informaram que conhecem o clima da cidade e suas particularidades. Mas a resposta foi que quase nunca são feitas tais simulações, e que as tomadas de decisão em projetos são embasadas apenas em conceitos básicos de conforto térmico ou em seus conhecimentos empíricos, como orientação solar e a captação dos ventos predominantes. Logo, informaram que raramente são feitos testes ou simulações do gênero, alegando não ser necessário, pois já conhecem bem os aspectos do clima e suas prováveis implicações sobre as edificações em Palmas.

Com o intuito de a entrevista não parecer um interrogatório, evitando-se sua rigidez, ao final do procedimento com cada entrevistado, o mesmo permaneceu livre para que comentasse sobre a arquitetura vertical que tem se expandido em Palmas especialmente na última década. A esse respeito, todos alegaram que apreciam os novos edifícios que estão redesenhando a paisagem urbana, embora aleguem que muitas dessas edificações são projetadas por profissionais de fora, principalmente das regiões sudeste e centro-oeste, que possuem realidade climática totalmente diferente da cidade de Palmas. Como consequência, por não conhecerem o clima e suas particularidades, esses profissionais correm maior risco de cometer equívocos do ponto de vista térmico em edificações para essa região. Segundo apontam, por isso a existência de tantos prédios com fachadas envidraçadas pela cidade, sem qualquer proteção contra a insolação, sendo muito provável que tais edificações sejam desses profissionais de fora do estado.

Como é possível observar com o auxílio do conteúdo das entrevistas, a questão do conforto térmico em edificações verticais para moradia em Palmas não é exclusivamente um tema de ordem técnica. Ela abrange aspectos sociais, econômicos e culturais, com destaque para as exigências e a competitividade do mercado imobiliário em uma conjuntura complexa que merece ser abordada em sua profundidade.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em meio a discursos ecológicos e preocupações com o meio ambiente em praticamente todas as áreas do conhecimento, o cenário dos altos níveis de consumo de energia elétrica em edificações leva à busca por estratégias globais que reduzam a demanda de tal consumo. A construção civil tem um papel importante na elaboração de edificações que otimizem os recursos naturais durante todo o seu curso de existência, já que tal setor é responsável por boa parte do consumo de energia elétrica mundial, de acordo com o Brasil (2020).

Diante disto, essa pesquisa se propôs ao estudo interdisciplinar para análise da relação entre arquitetura e o clima local da cidade de Palmas - TO, comparando orientação solar, tipos de tempo e conforto térmico em edifícios habitacionais, em episódios de verão e de inverno. Procurou-se demonstrar a complexidade do tema, especialmente em uma cidade com temperaturas elevadas durante o ano todo, concebida como “cidade planejada” para ser “ecologicamente sustentável”, conforme Palmas costuma ser referenciada. Porém, trata-se de uma cidade com edificações que parecem fora do contexto da realidade climática regional e local, desconsiderando as complicações relativas aos tipos de tempo e a sua posição tropical. Tal conjuntura proporciona um consumo elevado de energia elétrica para climatizar e amenizar o desconforto térmico no interior das edificações.

Esse trabalho também buscou contribuir para a produção de conhecimento sobre o clima de Palmas, pois boa parte das pesquisas encontradas no âmbito de graduação fazem recomendações de diretrizes projetuais levando em consideração revisão de literatura e não utilizaram métodos de medição em campo.

Para isso, buscou-se apresentar um referencial teórico sobre o que diz a bibliografia a respeito da arquitetura e o clima, mostrando conceitos por trás da arquitetura sustentável, o bioclimatismo na arquitetura e o conforto ambiental atrelados à eficiência energética. A partir disso, foram apresentados conceitos e definições que permeariam toda a pesquisa, como o tempo, o clima e seus principais aspectos para a arquitetura.

Como toda essa relação entre clima, conforto e eficiência energética é pensada para o bem-estar do ser humano e a preservação dos recursos naturais para gerações futuras, fez-se também necessária uma abordagem sobre os aspectos humanos e o

conforto térmico. Por meio dessa abordagem, procurou-se mostrar como o organismo humano se comporta em relação ao frio e ao calor, e o que é a sensação de conforto, componentes que podem ser traduzidos de forma quantitativa pela sensação térmica e pelos índices de calor. Essa preocupação norteou a escolha de um desses índices para o cálculo da sensação de conforto térmico no interior das edificações em estudo, considerando instrumentos e dados disponíveis.

Em seguida, os conceitos apresentados sobre a relação entre homem, clima e arquitetura nortearam a discussão dessa pesquisa para compreensão e análise desse tema na escala local do clima de Palmas, capital do estado do Tocantins, planejada para ser moderna e concebida sob conceitos ecológicos e humanistas, conforme seus idealizadores. Mas, também, uma cidade criticada por alguns autores quanto ao seu processo de ocupação e implantação nada pragmático, atrelado a um crescimento e a uma ocupação diferentes do planejamento original, o que proporcionou a ocorrência elevada de vazios urbanos. De modo aparentemente contraditório, tal crescimento espraiado da cidade não impediu a intensificação do processo de verticalização de Palmas e a habitação vertical passou a ganhar espaço significativo em meio a esse crescimento. Diante disso, optou-se por investigar prédios de habitação multifamiliar de múltiplos pavimentos, modalidade que tem se destacado.

Na primeira parte da contribuição empírica, as análises dos dados apresentaram informações para o episódio de verão (período chuvoso na região), quando as massas de ar e demais sistemas atmosféricos atuantes sobre Palmas contribuem para um ritmo alternado entre condições de estabilidade e de instabilidade atmosférica, característica habitual para esse período do ano. Sob tais circunstâncias, observam-se dias mais nublados, menor radiação solar incidente na superfície, umidade e temperatura do ar elevadas, com menores amplitudes térmicas.

Nota-se que, mesmo no solstício de verão, quando o sol está mais inclinado ao sul, a fachada voltada para oeste não apresenta um comportamento constante quanto ao ganho térmico, já que nessa época do ano os tipos de tempos são mais variáveis. Situações com instabilidade atmosférica e formação de nuvens no céu minimizam a carga térmica em determinados períodos do dia. Como normalmente no verão o tempo apresenta características mais estáveis pela manhã e mais instáveis pela tarde, há uma possibilidade de a fachada leste ser a mais prejudicada do ponto de vista térmico nessa época, com índices mais elevados que a fachada oeste.

Já a segunda parte dos resultados, dedicada ao episódio de inverno, referiu-se ao período em que o sol está mais inclinado ao norte, quando há predominância de tempo estável na região central do Brasil, com estiagem e poucas nuvens no céu. Sob tais condições, a fachada oeste se destacou nos valores alcançados em sua temperatura, juntamente com a fachada norte, que recebe radiação solar desde o nascer até o pôr do sol.

Sendo assim, diferente do que muitos pensam, a fachada oeste não é sempre a pior fachada do ponto de vista térmico em Palmas. Foi possível verificar nesta pesquisa que o ganho térmico na fachada, que influencia no conforto térmico na edificação e no consumo de energia elétrica pode sofrer variações conforme a época do ano e os tipos de tempo atmosférico.

Deve-se lembrar, entretanto, que o material escolhido para a envoltória das fachadas da edificação pode influenciar e potencializar ainda mais o ganho térmico. Logo, em Palmas e em cidades tropicais com climas semelhantes devem ser evitados os materiais com baixa inércia térmica, como o metal e o vidro, sem proteção ou tratamento térmico, já que podem tornar o interior da edificação uma verdadeira estufa.

Por isso, a complexidade do tema dessa pesquisa não pode ser simplificada devido às variações nos tipos de tempo, mais ou menos constantes no outono-inverno, porém muito variáveis na primavera-verão. Assim, deve-se levar em conta a contribuição das diferentes ciências relacionadas à natureza e aos ambientes construídos.

O modelo de arquitetura hoje em evidência na cidade de Palmas e em muitas cidades brasileiras não condiz com a preocupação com o conforto térmico alinhado à eficiência energética. Edificações residenciais de múltiplos pavimentos em cidades com vazios urbanos expressivos, como é o caso de Palmas, indicam desequilíbrios muitas vezes relacionados à especulação e ao valor da terra urbana. A disponibilidade de espaço demonstra que o uso máximo do potencial construtivo dos terrenos, além de plantas com números elevados de apartamentos por pavimento não são justificáveis. Nesses casos, dificulta-se o melhor posicionamento das fachadas, a disposição mais flexível de cômodos e áreas comuns e a adoção de outras alternativas sustentáveis em benefício dos aspectos climáticos das edificações.

Como apresentado pelos arquitetos locais, a obtenção de conforto também não é algo tão simples diante da realidade do mercado, pois não basta seguir as normas existentes ou conhecer as características climáticas gerais da região e as melhores soluções projetuais para isso. É preciso inovar e atuar em diversas frentes no âmbito dos projetos, embora pressões imobiliárias, o tamanho dos lotes, o número de apartamentos por andar, o custo da moradia por metro quadrado, tudo isso dificulta também a obtenção de conforto. Nesse caso, o conforto se distingue também socialmente, não está ao alcance de todos por conta das condições estruturais da sociedade.

Embora as normas se baseiam na estação do ano, por meio do conceito de dia representativo, tal critério pode não contemplar a complexidade das relações entre o clima e a arquitetura, conforme apresentado nessa pesquisa. Isso ocorre particularmente no período chuvoso, quando não existe necessariamente um dia representativo e pode haver diferentes configurações em termos de tipos de tempo ao longo das 24 horas do dia (céu aberto, nublado, chuva em diferentes horários e sequências ao longo dos dias). Sabendo que todo e qualquer método não garante o completo êxito de um experimento ou estudo, e embora a presente pesquisa tenha se amparado em uma metodologia passível de reaplicação, reconhece-se a existência de dificuldades, especificidades e limitações, tais como: a disponibilidade de equipamentos para coleta de dados, o acessos aos softwares para modelagem, a limitação do tempo de mestrado, e os demais aspectos logísticos relacionados à coleta de dados confiáveis e com o mínimo de interferências indesejadas.

Mesmo assim, espera-se que as informações contidas nesta pesquisa sirvam de subsídio para estudos futuros no campo interdisciplinar, envolvendo elementos arquitetônicos, climáticos e ambientais. As atuais circunstâncias de existência têm exigido abordagens e reflexões a respeito das condições de vida em face da verticalização do espaço urbano em cidades cuja dimensão climática imponha rigores aos seus habitantes, a exemplo de Palmas, no Tocantins.

Nesse sentido, no decorrer do estudo, foram levantadas também algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Análise da influência da orientação solar diretamente sobre o gasto com energia elétrica para a climatização de ambientes;

- Análise da eficiência energética em edificações, conforme a orientação solar;
- Análise de como as decisões arquitetônicas podem influenciar no conforto térmico e na eficiência energética.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Hermes Alves de. **Climatologia aplicada à geografia**. Campina Grande: EDUEPB, 2016.

ALVES, Rogério Rozolen. **Métodos de avaliação do conforto térmico humano**. São Paulo. 2011. Trabalho de Graduação Individual (TGI II) (Bacharel em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico e edificações. Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning SYSTEMS AND EQUIPMENT. Atlanta, GA: ASHRAE, 2004.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA, 2013.

AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332p.

BARBOSA, Djean da Costa; LIMA, Mariana Brito de. **Arquitetura bioclimática: recomendações apropriadas para Palmas/TO**. 2010. Palmas: IFTO/Campus Palmas, 2010. Disponível em: <http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/999/746>. Acesso em: 22 mar. 2020.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. Petrópolis: Vozes, 2002.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura moderna**. 5.ed. São Paulo: Perspectiva, 2014a.

BEZERRA, Nilva Aparecida Pacheco. **A Migração em Palmas/TO: a felicidade no imaginário social**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, TO, 2013.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, out. 1988.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso da carta solar**. [S. l.]: Projeteee - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/uso-da-carta-solar/>. Acesso em: 28 dez. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção sustentável**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 28 jun. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano-base 2016**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2017.

BURIOL, Galileo Adeli; ESTEFANEL, Valduino; RIGHI, Evandro Zaini; BRESSAN, Vagner Cazorla. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Cienc. Rural** [online], v. 45, n.2, pp.223-230, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131537>. Acesso em: 22 fev. 2020.

CARVALHO, Giuliano O. M.; BRITO, Fabrine P. de; SANTOS, Raphael de S.. **Fachadas modernas, corolário brasileiro**: uma análise dos edifícios institucionais de Palmas, 2018 Manaus 13 a 16 de agosto de 2018 7do.co.mo.mo\_n ne tradição nativa universalidade conservação.

CHEMIM, Beatris Francisca. **Manual da UNIVATES para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3.ed. Lajeado: UNIVATES, 2015.

COCOZZA, Glaucio de Paula. **Paisagem e urbanidade**: os limites do projeto urbano na conformação de lugares em Palmas. 2007. 253 p. Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - FAUUSP. São Paulo, 2007.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. 2. ed.rev.ampl. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

CORIOLOANO, Germana Pires. **Palmas**: entre o planejamento e a exclusão. 2010. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/11.122/3587>. Acesso em: 25 mar. 2020.

DINIZ, Francisco de Assis; RAMOS, Andrea Malheiros; REBELLO, Expedito Ronald Gomes. **Brazilian climate normals for 1981-2010**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 53, n.2, p. 131-143, fev. 2018.

DUALIBE, Ana. L. F.; OLIVEIRA, Mariela C. A. de; CARDOSO, Mariana G. Dados para carta bioclimática da cidade de Palmas Tocantins. In: ENCONTRO NACIONAL, 13.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9. Campinas-SP, 2015.

FERNANDES, Júlia Teixeira. **Código de obras e edificações do DF**: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. 2009. 92 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

FIGHERA, Daniela da Rocha **A Efetividade do projeto de cidade ecológica de Palmas (TO) pelos seus espaços verdes**. Palmas: UFT, 2005. 187p.

FREITAS, Thyago Phellip França. **O Campo térmico de Palmas-TO em episódios de primavera-verão e de outono-inverno**: contribuição ao planejamento Urbano. 2015. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

FREITAS, Thyago Phellip França; SOUZA, Lucas Barbosa e. Aspectos do Clima Urbano de Palmas-TO no episódio de outono inverno. Revista on-line Caminhos da Geografia. v. 17, p.103-125, set. 2016. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela-RS. **Anais**. Canela-RS, 2010.

FREITAS, Alinne O. de; TAVARES, Silvia Garcia; SANTOS, Raphael de S.; OLIVEIRA, Mariela C. A. de. **Estudos bioclimáticos e tecnologias para elaboração de projeto arquitetônico em Palmas (TO)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. Anais eletrônicos... Canela: UFRGS, 2010. Disponível em: <https://www.antac.org.br/anais-c1pyf>. Acesso em: 2 mai. 2020.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. 2. ed. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GOOGLE. Google Earth web. Version 9.122.0.2. 2020. Palmas, TO. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/palmas/@-10.16429104,-48.33461065,262.47395923a,7570.01533061d,35y,359.92515713h,0t,0r/data=CigiJgokCZE1fGbrSD1AEXqbbsmPmSrAGdtkqhWzTFFAIU3PnK4LZUbA> . Acesso em: 15 mai. 2020.

GRUPOQUATRO. Memorial do projeto da capital do estado do Tocantins: Palmas/Plano Básico. Goiânia, 1989. (Mimeo).

GUARDA, Simone Dutra Martins. **Expansão urbana do entorno do lago do município de Palmas (1990, 1993, 1999, 2002, 2005)**: acompanhamento por dados

de sensoriamento remoto. 2006. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2006.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 25 mar. 2019.

IBGE. **Tocantins, Palmas infográficos.** Censo Demográfico, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 25 mar. 2019.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 25 set. 2019.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de satélites e sistemas Ambientais. CPTec/INPE. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>. Acesso em: 18 jun. 2020.

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC. Software Analysis Sol-ar. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares>. Acesso em: jul. 2020.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados, 1997.

LEMOS, Haroldo Mattos. **A Evolução da questão ambiental e o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.

LUCINI, A. C. G. C. **Palmas, no Tocantins, terra de quem?: as desapropriações e desposseções de terras para a implantação da última capital projetada do século XX.** 2018. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

MASCARÓ, Juan; MASCARÓ, Lúcia. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre: SAGRA-DC LUZZATO, 1992.

MAYER, Helmut. Urban bioclimatology. **Experientia**, v. 49, n.11, p. 957-963, nov. 1993.

MONTEIRO, J. R. V.; LEDER, S. M. A Aplicação da termografia como ferramenta de investigação térmica no espaço urbano. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 6., 2011, Vitória. **Anais.** Vitória: ANTAC, 2011.

MOURÃO, Joana; PEDRO, João Branco. **Princípios de Edificação Sustentável: Arquitetura.** LNE. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2014.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. - NOAA/NWS/CPC. National Weather Service. 2020. Disponível em: <http://noaa.gov>. Acesso em: 22 fev. 2020.

OLGYAY, Victor. **Design with climate**: bioclimatic approach to architectural regionalism. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona (Espanha): Editorial Gustavo Gili S.A., 2015. 203 p.

PALMAS. **Lei Complementar no 321 de 13 de agosto de 2015**. Dispõe sobre a divisão da Área Urbana da Sede do Município de Palmas em Zonas de Uso e dá outras providências. Palmas: Câmara Municipal, 2015.

PAZ, Luis Hildebrando Ferreira. **A Influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO**. 2009. 169 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

PÉDELABORDE, Pierre. **Introduction a l'étude scientifique du climat**. Paris: Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, 1991.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

RODRIGUES, Marcelly Pereira da Silveira. **A natureza da verticalização no processo de reprodução do espaço urbano em Palmas-TO**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, TO, 2016.

ROMERO, Marta Adriana B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano** Editora: CopyMarket.com, 2000

SANT'ANNA NETO, João Lima. O Clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 8, June 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25794>. Acesso em: 13 nov. 2019.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da; SOUZA, Lucas Barbosa e. **Caracterização da direção predominante e velocidade do vento em Palmas (TO)**. Goiânia (GO) : SBCG, n.12, 2016. 12 p.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. **Percepção climática e conforto térmico**: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO. 2018. 550f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2018.

SORRE, Maximilien. **Les fondements de la Géographie Humaine**. Tomo I: Les fondements biologiques: essai d'une écologie de l'homme. Livro I: Le climat et l'homme. 3. ed. Paris: Librairie Armand Colin, 1951. cap. 1.

STEADMAN, R.G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **J. Appl. Meteor.**, 18, p. 861-873, 1979.

TEIXEIRA, Luiz Fernando Cruvinel. A formação de Palmas. **Revista da UFG**, Goiânia, v.11, n. 6, p. 91-99, jun. 2009.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas, 2012.

SOUZA, Lucio de; MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de. **Climatologia geográfica**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, v. 1, 2013. 246 p.

TORRES, F.T.P.; MACHADO, P.J. de O. **Introdução à climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Movimentos da terra, estações. Paraná: Universidade Federal do Paraná Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>. Acesso em: 27 dez. 2019.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2005. 463p. (Versão digital).

VELASQUES, Ana Beatriz. **Palmas (1989) e sua condição moderna**. 2010. 245f. Tese (Doutorado em Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VIEIRA, K. da C. **Apropriação privada e valorização imobiliária na “orla” de Palmas-TO**: onde e quando os projetos disfarçam os verdadeiros planos. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente). - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

## APÊNDICE A - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

### Roteiro (Tópico Guia)

#### Introdução, influências socioculturais e aclimação

1. Nome do entrevistado
2. Cidade onde nasceu
3. Qual cidade você morou a maior parte da vida, e qual a média de idade você tinha durante esse período?
4. Onde você morava antes de morar em Palmas e por quanto tempo?
5. Está morando em Palmas há quanto tempo?
6. Qual universidade e cidade você se formou?
7. Durante a universidade fez intercâmbio, se sim, para onde?

#### Influências acadêmicas

8. Como classifica sua relação durante a universidade com as disciplinas de arquitetura verticalizada?
9. Como foi sua relação durante a universidade com as disciplinas que relacionavam de arquitetura e conforto?
10. Durante a faculdade você projetou residencial multifamiliar vertical? Se sim, o que era mais cobrado neste tipo de projeto?
11. Você fez estágio em locais que trabalhavam com elaboração de projetos residenciais multifamiliares verticais?

#### Experiências profissionais

12. Qual foi o seu primeiro projeto de arquitetura vertical, e para qual cidade?
13. Você lembra qual foi sua maior dificuldade na hora de elaborar seu primeiro prédio já no mercado de trabalho?
14. Quantos prédios multifamiliares você já fez até hoje?
15. Para quais cidades você já projetou arquitetura verticalizada?
16. Hoje qual a sua maior dificuldade quando começar a projetar um prédio de apartamentos?
17. Seus projetos multifamiliares normalmente são para qual público social?
18. Quando você vai começar um projeto para um prédio, quais são as primeiras análises que você faz e porquê?
19. O que você acha que merece mais atenção na hora de projetar um condomínio vertical?

### **Influência do mercado**

20. Como é a influência do incorporador ou construtora no seu projeto?
21. Segundo sua visão, o que o construtor mais se importa neste tipo de projeto?
22. Segundo sua experiência, o cliente que te contrata para projetar um condomínio, com o que ele mais te incomoda/importa?
23. Você acha que o cliente que compra esse produto se importa com quais questões?

### **Relação com o clima local e arquitetura**

24. Depois de formado, qual o seu nível de preocupação com os aspectos climáticos na hora de elaborar um projeto de arquitetura vertical para Palmas?
25. Existem cuidados diferenciados no projeto quanto aos aspectos de conforto térmico de acordo com a classe social?
26. Quando que o conforto térmico é colocado em segundo plano na hora de elaborar um projeto de prédio?
27. Você faz alguma simulação durante a elaboração de projeto para afirmar as suas escolhas quanto aos aspectos do clima local?
28. Você abriria mão do conforto térmico em seu projeto em prol da plástica, por exemplo usando vidro sem proteção para o oeste?
29. Você conhece bem os principais aspectos climáticos locais que podem influenciar na hora de elaborar um projeto, como orientação solar, ventos, chuvas, umidade e radiação?

### **Fechamento e considerações**

30. O que acha da arquitetura vertical de Palmas hoje?