



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – *CAMPUS PALMAS*
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA CAROLINA FERREIRA DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRAS DE
DESEMPENHO E AS TABELAS DE MAHONEY PARA OS
PARÂMETROS DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO NA
CIDADE DE PALMAS–TO**

PALMAS

2021

ANA CAROLINA FERREIRA DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRAS DE
DESEMPENHO E AS TABELAS DE MAHONEY PARA OS
PARÂMETROS DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO NA
CIDADE DE PALMAS-TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no curso
de Engenharia Civil do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a Dr^a Liliane Flávia
Guimarães da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586e Silva, Ana Carolina Ferreira da
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRAS
DE DESEMPENHO E AS TABELAS DE MAHONEY PARA OS
PARÂMETROS DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO NA
CIDADE DE PALMAS-TO / Ana Carolina Ferreira da Silva. – Palmas,
TO, 2021.
85 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientadora: Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. NBR 15.220. 2. NBR 15.575. 3. Tabelas de Mahoney. I. Silva,
Liliane Flávia Guimarães da. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é
autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

ANA CAROLINA FERREIRA DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRAS DE
DESEMPENHO E AS TABELAS DE MAHONEY PARA OS PARÂMETROS
DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE PALMAS-TO**

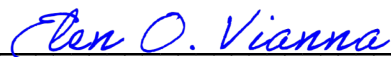
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em: 02/12/2021

BANCA AVALIADORA



Profª Drª Liliane Flávia Guimarães da Silva (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)



Profª Drª Elen Oliveira Vianna
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO)



Eng. Pedro Henrique de Almeida Coelho
Secretaria da Saúde do Tocantins – SESAU

À minha família e amigos que me ajudaram nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Foram várias as pessoas que de alguma forma ajudaram e agregaram para que essa pesquisa pudesse ser concluída com êxito, seja com questionamentos, sugestões, palavras de força e encorajamento. Sem o apoio delas, este trabalho não seria possível. Agradeço a todos que ao seu modo, enriqueceram e me apoiaram nesse importante passo da minha vida e, em especial:

A Deus, que sempre me amparou e conduziu, me fortalecendo ao longo dos anos do curso e zelando por minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais, Laurice e Wilson que sempre me deram todo o amor e carinho, me dando todo o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui.

A minha orientadora, Professora Doutora Liliâne Flávia Guimarães da Silva, por todo o conhecimento compartilhado, pela dedicação e atenção a todas as demandas que foram levadas até ela.

A todos os meus amigos que caminharam juntos a mim nessa fase acadêmica e que sempre me incentivaram e ajudaram a crescer sempre mais.

Ao IFTO e a todos os professores que agregaram conhecimento, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os profissionais que me auxiliaram disponibilizando materiais de pesquisa e conhecimento para que essa pesquisa pudesse ser concluída com êxito.

Enfim, a todos os que por algum motivo e de algum modo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O clima da cidade de Palmas–TO é caracterizado como tropical e com prevalência de altas temperaturas durante todo o ano, o que leva à necessidade de um estudo aprofundado e direcionado para o conforto térmico nas edificações, além de trabalhos que verifiquem a validade dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico. O estudo realizado neste trabalho teve como objetivo a realização de uma comparação quali-quantitativa para o ano de 2020 entre os critérios mínimos dos métodos de análise de conforto térmico normativos no Brasil e as tabelas de Mahoney aplicadas para a cidade de Palmas–TO, localizada na zona bioclimática 7. Por fim, a partir de quadros comparativos, foi possível observar que as recomendações disponibilizadas para a cidade de Palmas–TO utilizando os métodos de conforto térmico brasileiros apresentam divergências de informações e que o método que melhor se aplicou para a cidade objeto de estudo foi o método de Mahoney.

Palavras-chave: NBR 15.220. NBR 15.575. Mahoney. Conforto térmico. Clima de Palmas.

ABSTRACT

The climate of the city of Palmas-TO is characterized as tropical and with a prevalence of high temperatures throughout the year, which leads to the need for an in-depth study aimed at thermal comfort in buildings, as well as work to verify the validity of the procedures of thermal performance evaluation. The study carried out in this work aimed to carry out a quali-quantitative comparison for the year 2020 between the minimum criteria of normative thermal comfort analysis methods in Brazil and the Mahoney tables applied to the city of Palmas-TO, located in the bioclimatic zone 7. Finally, from comparative tables, it was possible to observe that the recommendations made available for the city of Palmas-TO using the Brazilian thermal comfort methods present divergences of information and the method that was best applied to the city object of study was the Mahoney method.

Keywords: NBR 15.220. NBR 15.575. Mahoney. Thermal comfort. Climate of Palmas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 - Fachada do Fórum da Comarca de Palmas–TO	18
Imagem 2 - Palácio Araguaia em processo construtivo	30
Imagem 3 - Cobertura nativa e desmatada na região onde se localiza a capital	32
Imagem 4 - Assembleia Legislativa do Estado do Tocantins	39
Imagem 5 - Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins	40
Imagem 6 - Palácio Araguaia	41
Figura 1 - Localização de Palmas–TO	25
Figura 2 - Malha da cidade proposto pelo GRUPOQUATRO	27
Figura 3 - Projeto contendo distribuição de Palmas–TO em vista 3D	28
Figura 4 - Vista superior da Praça dos Girassóis e seu entorno	29
Figura 5 - Plano de ocupação da cidade de Palmas–TO	31
Figura 6 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas–TO	34
Figura 7 - Umidade do ar anual na cidade de Palmas–TO em 2020	35
Figura 8 - Umidade na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021	35
Figura 9 - Precipitação anual na cidade de Palmas–TO em 2020	36
Figura 10 - Precipitação na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021	37
Figura 11 - Temperatura anual na cidade de Palmas–TO em 2020	38
Figura 12 – Temperatura na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021	38
Figura 13 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro	47
Figura 14 – Zona bioclimática 7	48
Figura 15 – Características e divisões na norma de desempenho	50
Figura 16 - Fluxograma da pesquisa	58
Figura 17 – Localização das estações meteorológicas do INMET na área macroparcelada de Palmas–TO	68
Figura 18 – Temperaturas máximas e mínimas registradas em Palmas–TO (2005-2020)	69

Figura 19 – Umidades relativas máximas e mínimas registradas em Palmas–TO (2005 – 2020)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aberturas para ventilação.....	48
Quadro 2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa	49
Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico no verão	52
Quadro 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico no Inverno	52
Quadro 5 - Valores limites para tr'ansmitância térmica de paredes segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)	53
Quadro 6 - Valores limites para transmitância térmica de coberturas segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)	53
Quadro 7 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021).....	53
Quadro 8 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney	55
Quadro 9 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney	57
Quadro 10 - Parte 01 das tabelas de Mahoney - Temperatura.....	61
Quadro 11 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Umidade, Pluviosidade e Vento Dominante	62
Quadro 12 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Determinação dos grupos de umidade	62
Quadro 13 - Carta para os limites de conforto	63
Quadro 14 – Rigor Térmico	64
Quadro 15 - Indicadores detectados mês a mês	65
Quadro 16 - Indicadores de Umidade e Aridez para o Brasil	65
Quadro 17 - Recomendações para croquis	66
Quadro 18 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005).....	71
Quadro 19 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005).....	71
Quadro 20 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005).....	71
Quadro 21 – Recomendações qualitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005).....	72

Quadro 22 – Recomendações quantitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)	72
Quadro 23 – Recomendações quantitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)	72
Quadro 24 - Parte 01 das tabelas de Mahoney – Temperatura – Palmas–TO, 2020	73
Quadro 25 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Umidade, Pluviosidade e Vento Dominante – Palmas–TO, 2020	73
Quadro 26 – Rigor Térmico – Palmas–TO, 2020.....	73
Quadro 27 - Indicadores detectados mês a mês – Palmas–TO, 2020	74
Quadro 28 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney	75
Quadro 29 – Recomendações segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e Mahoney ..	76
Quadro 30 – Valores limites para as características termofísicas de envoltórias	77
Quadro 31 – Valores limites para as características termofísicas de coberturas	78

LISTA DE SIMBOLOS

ATA	Amplitude térmica anual
BE _{dia}	Bem-estar para o dia
BE _{noite}	Bem-estar para a noite
FT	Fator de correção da transmitância ($1,17 - 1,07h^{-1,04}$);
GU	Grupo de umidade
PL	Pluviosidade Mensal
RT _{dia}	Rigor térmico para o dia
RT _{noite}	Rigor térmico para a noite
Te,max	Valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação
Te,min	Valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação
Ti,max	Valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação
Ti,min	Valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação
TMA	Temperatura média anual
TM _{máx}	Máximas médias mensais
TM _{máx_a}	Maior das médias mensais
TM _{min}	Mínimas médias mensais
TM _{mín_b}	Menor das Médias mensais
U	Transmitância térmica (em W/m ² K).
UR _{máx}	Máxima média mensal pela manhã
UR _{min}	Mínima média mensal pela tarde
α	Absortância à radiação solar da superfície externa

LISTA DE ABREVIações E ACRONIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CPC	Centro de Previsão do Clima
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
ELACAC	Encontro Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído
ENTAC	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MMN	Método de Mahoney Nebuloso
MMT	Método de Mahoney Tradicional
NBR	Norma Brasileira
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.2 JUSTIFICATIVA	22
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo Geral	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 Cidade de Palmas – Tocantins.....	25
2.1.1 Dados da Cidade	25
2.1.2 Plano Urbanístico	26
2.1.3 Clima Local.....	33
2.1.4 Arquitetura da Cidade	38
2.2 Conforto térmico.....	42
2.2.1 Aspectos humanos para conforto térmico	42
2.2.2 Eficiência energética e o conforto térmico	44
2.3 ABNT NBR 15.220 - Desempenho térmico de edificações.....	45
2.4 ABNT NBR 15.575 – Edificações habitacionais – Desempenho.....	49
2.5 Método de Mahoney	54
2.5.1 Método de Mahoney Tradicional.....	54
2.5.2 Método de Mahoney Nebuloso	56
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	58
3.1 Caracterização da pesquisa	59
3.2 Desenvolvimento da pesquisa.....	59
3.2.1 Delimitação do objeto de estudo	60
3.2.2 Instrumentos	60
3.2.3 Coleta e Análise dos dados	68
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
4.1 Resultados de cada método de análise de conforto térmico	71
4.1.1 Síntese das recomendações para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220	71

4.1.2 Síntese das recomendações para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.575	72
4.1.3 Tabelas de Mahoney	73
4.2 Análise qualitativa dos métodos utilizados	76
4.3 Análise quantitativa dos métodos utilizados	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos acerca da influência das condições termo-higrométricas sobre o rendimento no trabalho foram apresentados pela Comissão Americana da Ventilação. Desenvolvidos em 1916, esses estudos visavam principalmente o trabalho físico do operário, uma vez que o mundo naquela época passava por uma revolução industrial e, além disso, se sucediam situações específicas como guerras, levando tropas para regiões com clima diferente do habitual (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Frota e Schiffer (2003) ainda afirmam que os esforços para manter a temperatura corporal em ambientes onde há frio ou calor excessivos fazem o rendimento daquele indivíduo cair, uma vez que há um esforço adicional para manter o equilíbrio térmico, até o ponto onde há a perda total da capacidade de trabalho ou até mesmo problemas de saúde.

Lamberts *et al.* (1997) explicam que o ser humano é homeotérmico, ou seja, mantém em pequenas variações a sua temperatura interna. Porém, para que seja possível manter essa característica, o indivíduo necessita realizar trocas térmicas com o meio, gastando energia para realizar esses eventos. Uma vez que o clima em que esse indivíduo está localizado apresentam características extremas, o esforço para manter a temperatura corporal é cada vez maior.

O interesse em se conhecer mais a respeito do conforto térmico e sua relação com o ser humano teve início visando a parte produtiva do operário, porém sua aplicação vai além da capacidade de produzir e trabalhar, sendo cada vez mais importante esse conhecimento no momento de pensar e elaborar projetos para os mais variados tipos de edificações, pois implica na saúde de seus usuários e na eficiência energética.

A cidade de Palmas–TO, objeto de estudo dessa pesquisa, tem como características climáticas temperaturas elevadas durante todo o ano (INPE, 2021), o que torna ainda mais importante o estudo do conforto térmico e do clima local para a capital, disponibilizando assim para a sua população, construções adequadas à região onde estão sendo construídas.

Paz (2009) aponta que, desde sua fundação, Palmas–TO passou por um processo de negligência a respeito da preservação de sua mata nativa, o cerrado, diminuindo áreas verdes, criando ilhas de calor e acentuando ainda mais as altas temperaturas características da capital. Ele continua:

O processo de urbanização desordenado e o acelerado crescimento que ocorrem na maioria das cidades brasileiras, bem como a redução de espaços verdes intraurbanos, têm alterado o clima urbano e contribuído para o aumento da temperatura, diminuição da umidade do ar, mudança da direção e velocidade dos ventos que, conseqüentemente, prejudicam o conforto ambiental (PAZ, 2009, p. 22).

Além disso, Palmas–TO ainda possui diversas construções públicas e privadas que não condizem com as características climáticas da região. Santos (2020) dá destaque para diversas edificações em Palmas–TO que se utilizam de sistemas construtivos incompatíveis com suas características climáticas, como exemplo, o Fórum de Palmas–TO que conta com uma grande fachada de vidro voltada para Oeste (Imagem 1).

Imagem 1 - Fachada do Fórum da Comarca de Palmas–TO



Fonte: Acervo da autora (2021).

Santos (2020) ainda cita que a chegada dessas construções, que destoam do cenário climático da cidade, ocorreu a partir da influência internacional, onde prédios

espelhados e com utilização de fachadas de vidro eram sinônimo de “edifícios emponderados”.

Por isso, se faz tão necessário no momento de pensar uma edificação e planejar seus projetos, levar em conta estudos relacionados ao clima e ao conforto térmico de onde será construído, instalado e utilizado.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O clima na cidade de Palmas–TO, de acordo com Paz (2009), tem uma influência direta com as densidades urbanas e populacionais aliadas aos elementos ambientais e climáticos. O mesmo autor ainda destaca que Palmas–TO, assim como o Distrito Federal, forma espaços abertos com extensos gramados, [...], mas faltando uma camada de vegetação responsável pelo sombreamento.

Freitas e Souza (2016) concluem em seu estudo que Palmas–TO é uma cidade planejada que apresenta variações climáticas com tendências à prevalência de altas temperaturas e altas amplitudes térmicas durante o período seco. Ainda em seu trabalho, os autores citam que:

Restou demonstrado também que, mesmo sendo uma cidade planejada, considerando-se a dinâmica de ocupação do seu território pela população, bem como a interação e os cuidados que esta população tem para com o meio ambiente no qual está inserida, nem sempre o poder público é capaz de controlar a ação e interação humana, que influenciam diretamente em suas condições climáticas e, conseqüentemente, terá reflexos na qualidade de vida das pessoas e, principalmente, na elevação térmica na cidade (FREITAS; SOUZA, 2016, p.11).

De acordo com Santos (2020), muitas das edificações construídas na cidade de Palmas–TO foram planejadas fora do contexto climático da região, que tem como característica temperaturas altas durante o ano todo. Com isso a população da capital tem ainda mais dificuldade em suportar o calor nos períodos de temperaturas mais elevadas.

Conforme dados disponibilizados pelo INPE (2021), por se tratar de uma cidade quente, com clima tropical com estação seca no inverno, faz-se necessário um estudo mais minucioso e bem direcionado a respeito do conforto térmico para a cidade de Palmas–TO. O questionamento que deu início ao trabalho surgiu dessa ideia central, buscando um estudo direcionado para a cidade, abordando metodologias distintas. São elas: a NBR 15.220 (ABNT, 2005), a NBR 15.575 (ABNT, 2021) e o método de Mahoney tradicional (UNITED NATIONS, 1971).

Assim, essa pesquisa visa, a partir do conhecimento dessas ferramentas de análise para o conforto térmico, comparar seus resultados a fim de concluir: Qual metodologia melhor se adequa a esse tipo de clima característico da região onde se

localiza a cidade objeto de estudo? Em quais pontos esses métodos são convergentes e divergentes? Qual método mais se aproxima da realidade que a cidade necessita?

1.2 JUSTIFICATIVA

Frota e Schiffer (2003) afirmam que o ser humano tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive o térmico. A partir dessa afirmação, pode-se concluir que é de suma importância que no momento do planejamento e execução de uma construção, seja levado em consideração o conforto térmico para que aquela edificação seja usada da melhor forma possível e com o máximo aproveitamento para proporcionar o conforto necessário.

Além disso, Santos (2020) cita que a arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, seja ele térmico, acústico, visual ou luminoso. Para tanto, é necessário que se conheçam as características climáticas da região onde se pretende construir, assim como o uso dessa edificação e cultura construtiva local, para associar as tecnologias do mundo da construção civil com o que é disponibilizado e utilizado na região.

Assim, é possível observar a importância do conforto térmico dentro da construção civil, não só para o bem-estar dos seus usuários, mas também para a qualidade de vida de quem for utilizar-se daquela estrutura, além de influenciar nos materiais que serão utilizados no processo construtivo.

Para garantir e padronizar os limites e parâmetros que são utilizados como método de análise qualitativa e/ou quantitativa do desempenho térmico, são utilizadas no Brasil normas de desempenho, importantes ferramentas para regularizar e referenciar projetos e construções.

Ainda há um segundo viés de análise de conforto térmico que tem voltado a ter espaço nos últimos anos, o método de Mahoney tradicional. Ele tem voltado a ser abordado com frequência em artigos e trabalhos de pesquisa, tendo uma maior regularidade a partir de 2019. Nos Encontros Nacionais e Latino-americanos de Conforto Ambiental e de Tecnologia no Ambiente Construído (ENCAC, ELACAC e ENTAC), eventos mais importantes na área no Brasil, apresentam um número de artigos publicados que abordam o tema cada vez maior nos últimos anos.

Frente ao que foi apresentado, este trabalho pode direcionar estudos posteriores ou ainda orientar sobre futuras edificações em Palmas–TO no que diz

respeito às escolhas construtivas, pensando-se no conforto térmico necessário para a cidade, além de poder ser utilizado como parâmetro para regiões com clima semelhante ao da capital, bem como o método que irá apresentar resultados mais interessantes a respeito dessa região.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Comparar o Método de Mahoney, alimentado com dados climáticos recentes da cidade Palmas–TO, com as recomendações de estratégias bioclimáticas da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), e requisitos e critérios exigidos na NBR 15.575-1 (ABNT, 2021), e avaliar qual é o método mais recomendado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Selecionar os dados sobre o clima de Palmas–TO para aplicação do método, identificando o período de dados mais significativo;
- b) Comparar os resultados obtidos dos processos selecionados por tipo de dado, qualitativo e quantitativo;
- c) Avaliar qual o método deve ser aplicado na cidade de Palmas–TO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com abordagem dos conteúdos que fundamentaram o tema escolhido para o trabalho.

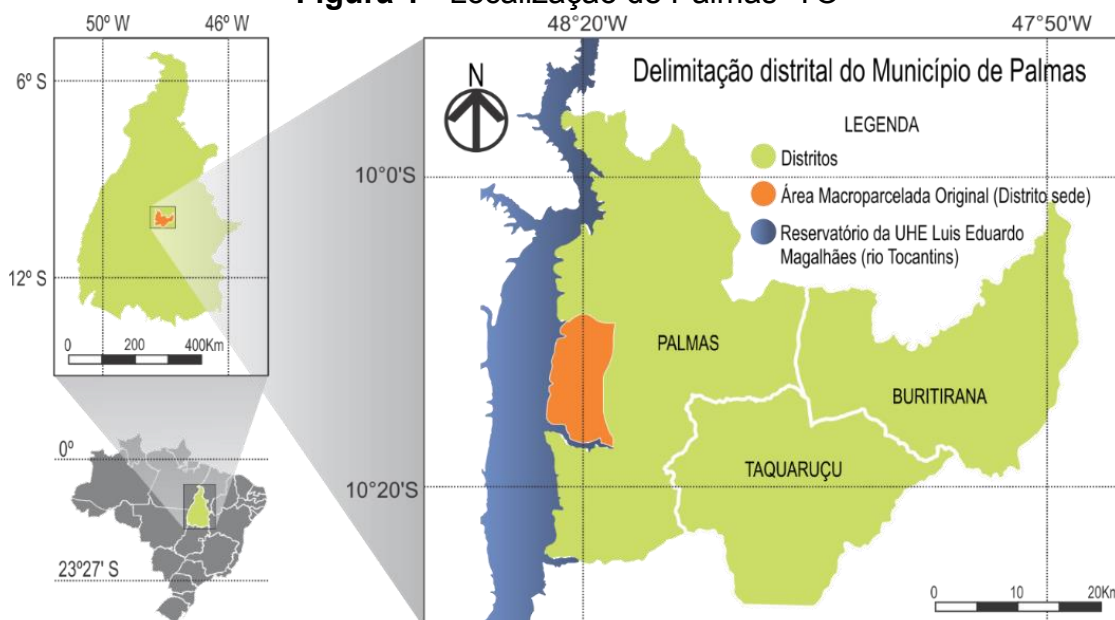
2.1 Cidade de Palmas – Tocantins

Neste primeiro tópico da revisão de literatura, serão apresentadas as características de Palmas–TO, bem como seus dados históricos, climáticos e culturais. Além disso, nas seções que discorrem neste tópico, poderá ser observado os padrões construtivos que caracterizam a arquitetura e os métodos construtivos mais utilizados na cidade.

2.1.1 Dados da Cidade

Palmas é a capital do Tocantins, estado localizado na Região Norte do Brasil. Ela se encontra no centro do país, dentro do cerrado brasileiro e é delimitada pela rodovia TO-050 e pelo lago artificial banhado pelas águas do Rio Tocantins. Está próxima ao paralelo 10° e ao meridiano 48° e conta com uma extensão territorial de 2.227,33 km² (ver Figura 1). Sua população estimada para 2020 é de 306.296 habitantes IBGE (2017).

Figura 1 - Localização de Palmas–TO



Fonte: Silva (2018, p. 145).

O estado do Tocantins tem uma posição estratégica dentro do território brasileiro, por se localizar no centro do país, fazendo divisa com seis grandes estados e três grandes regiões, Norte, Nordeste e Sudeste. Palmas–TO está assentada em seu centro geográfico, dando uma localização tática para a capital.

A cidade foi fundada pelo governador José Wilson Siqueira Campos, por meio da promulgação da Constituição Brasileira em outubro de 1988, após a transferência da capital provisória, Miracema. Planejada para ser capital do Tocantins, Palmas se encontra a 805 km de Brasília e tem em seu entorno a ferrovia Norte-Sul, BR-153 e outras grandes obras importantes (PALMAS, 2021).

Inaugurada em maio de 1989, pouco tempo depois da criação do estado e instalada em janeiro de 1990, sua instalação só foi possível com a transferência da sede administrativa do município de Taquaruçu para Palmas–TO, tornando o prefeito eleito de Taquaruçu, Fenelon Barbosa, o primeiro prefeito de capital. Nesse evento, Taquaruçu deixou de ser município e passou a ser, juntamente com Taquaralto e Canela, distrito da cidade.

Palmas surgiu recheada de símbolos culturais que refletem acontecimentos alheios ao seu espaço/tempo. Entretanto importava realçar a emancipação do estado do Tocantins – como algo fantástico, fabuloso – como o maior acontecimento da história, associando-o ao mais nobre anseio do ser humano, conquistar a liberdade (e, por que não, em uma terra nossa?). O Brasão de Armas do Estado carrega a frase grafada em tupi Co Yvy Ore Retama, que significa “Esta terra é nossa” (BEZERRA, 2013, p. 49).

De acordo com Carvalhêdo e Lira (2009), ao contrário de muitas cidades brasileiras criadas no passado por razões religiosas, militares ou comerciais, Palmas–TO foi fundada por razões político-administrativas, como a capital do Brasil. Cardoso e Reis (2016) ressaltam que ela segue o mesmo processo de cidades inteiramente planejadas, como Chandigarh (Índia) e também Brasília. Apesar das diversas semelhanças apresentadas, Velasques (2010) cita que o projeto de Palmas–TO não pode ser rotulado superficialmente como uma “mera cópia de Brasília”.

2.1.2 Plano Urbanístico

O plano diretor de Palmas–TO foi elaborado em 1988, pelo escritório GRUPOQUATRO, com previsão para assistir uma população de cerca de 120 mil pessoas nos cinco primeiros anos da nova capital considerando que a população

pudesse chegar a meio milhão de habitantes em 15 anos de inauguração (REZENDE, 2019). Na Figura 2, é possível observar a malha inicial que foi proposta pelo grupo de arquitetos para a nova capital do Tocantins.

Figura 2 - Malha da cidade proposto pelo GRUPOQUATRO



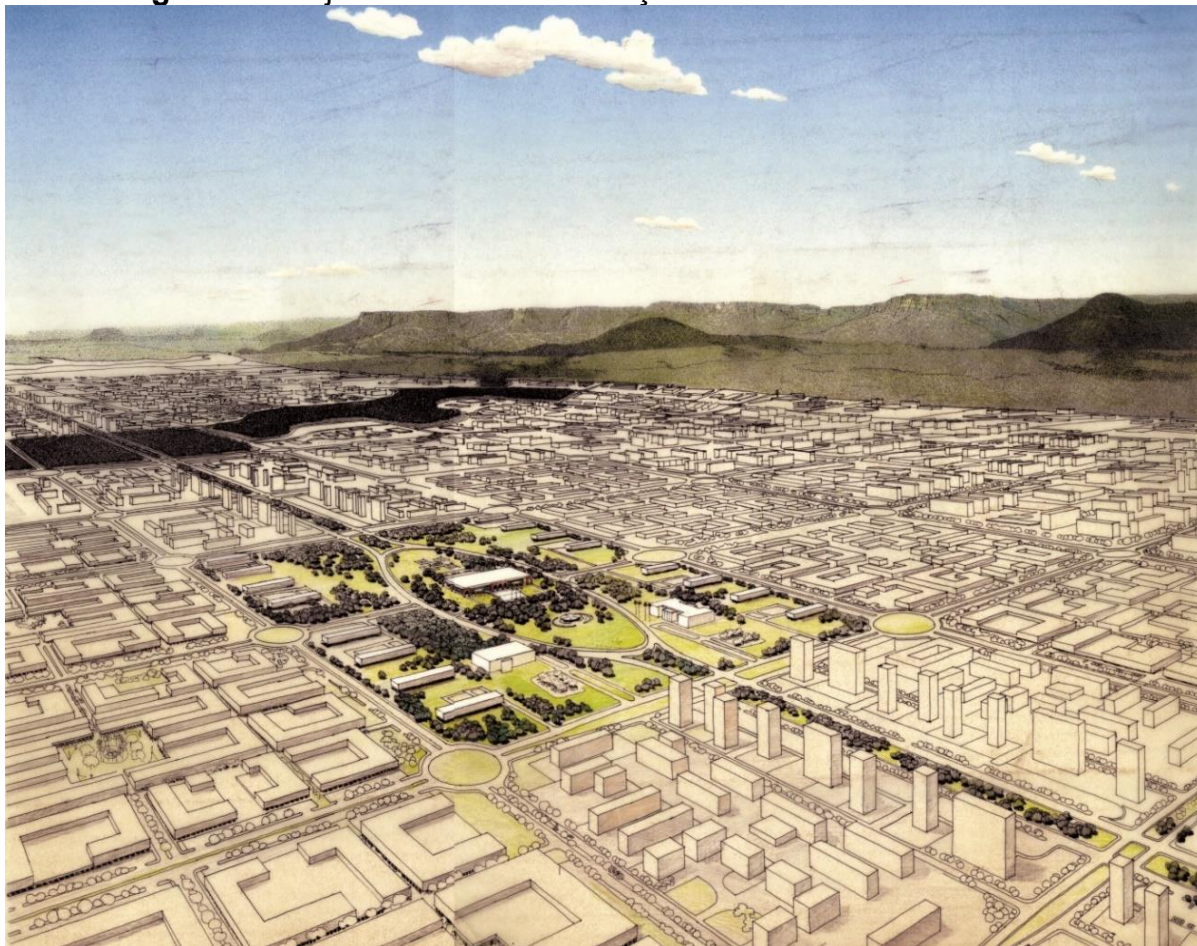
Fonte: GRUPOQUATRO (1988).

Os arquitetos responsáveis pelo projeto da cidade foram Luiz Fernando Cruvinel Teixeira e Walfredo Antunes de Oliveira e o prazo para a entrega do projeto foi estipulado em dois meses. As ideias principais que orientaram o desenvolvimento do plano diretor foram definir a densidade bruta da cidade em 300 habitantes por hectare, preservação do ambiente natural, além da restauração e proteção desses ambientes (GRUPOQUATRO, 1988).

Além disso, a ideia dos arquitetos responsáveis era garantir que a cidade tivesse a escala do pedestre, vias públicas formando corredores com continuidade a fim de garantir acessibilidade facilitada para toda a cidade e também do lago e vários outros princípios que aproximavam a natureza da população e otimizava seu espaço urbano (GRUPOQUATRO, 1988).

Na Figura 3, retirada do acervo pessoal do grupo de arquitetos que projetaram a cidade, tem-se uma visão tridimensional da capital, com a divisão de quadras e a praça dos Girassóis centralizada, sendo possível observar quais ideias de distribuição do cento da cidade estavam sendo desenvolvidas em projeto.

Figura 3 - Projeto contendo distribuição de Palmas–TO em vista 3D



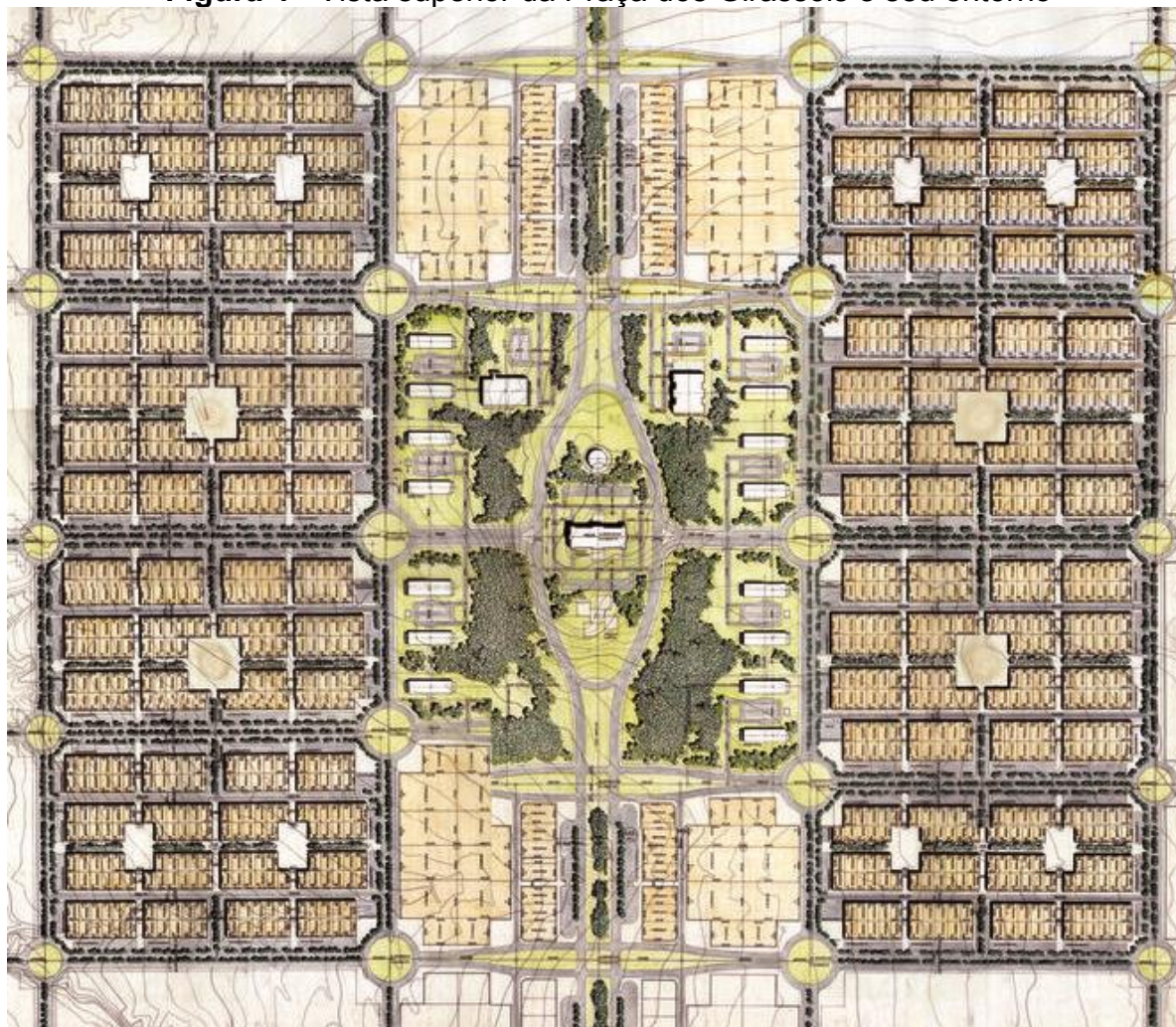
Fonte: GRUPOQUATRO (1988).

Rezende (2019) ressalta que o GRUPOQUATRO buscou para Palmas–TO, a imagem de uma cidade de fim de século, moderna e inovadora. Assim como Brasília, ela apresenta um eixo no sentido norte-sul, a Av. Teotônio Segurado. Além disso, conta também, no sentido leste-oeste, com outra avenida principal que corta a cidade, a Av. Juscelino Kubitschek, ambas se encontrando na Praça dos Girassóis, situada no maior ponto de elevação da cidade.

Em torno da praça dos Girassóis, de acordo com o planejamento da dupla de arquitetos, o uso seria para gerar centralidade na capital, com implantação de bancos, escritórios, restaurantes, edifícios mistos e afins. Além disso, após implantadas as

quadras, cada uma delas seria objeto de parcelamento específico e eram previstas em seus núcleos, praças, escolas e equipamentos públicos básicos. Na Figura 4, é possível ter uma visão superior da divisão dessa praça, bem como suas quadras circundantes.

Figura 4 - Vista superior da Praça dos Girassóis e seu entorno



Fonte: GRUPOQUATRO (1988).

Rezende (2019) também aponta que a Praça dos Girassóis, praça essa projetada para abrigar o centro do poder da capital, tem em si os três principais poderes do estado do Tocantins: o Palácio Araguaia (sede do poder executivo), a Assembleia Legislativa (sede do poder legislativo) e o Tribunal de Justiça (sede do poder judiciário). Além disso, a praça conta com elementos arquitetônicos únicos, como o Memorial Coluna Prestes, projetado por Oscar Niemeyer. Na Imagem , é apresentado um registro do Palácio Araguaia ainda em fase de construção.

Observa-se que, mesmo tendo sido projetados no fim do século XX, os edifícios possuem um forte diálogo com o modernismo. No caso particular do

conjunto da Praça dos Girassóis, os edifícios guardam forte identidade entre si, tanto pelo partido arquitetônico, quanto pelos materiais e técnicas construtivas (CARDOSO; REIS, 2016, p. 5).

Imagem 2 - Palácio Araguaia em processo construtivo



Fonte: Campos (1991).

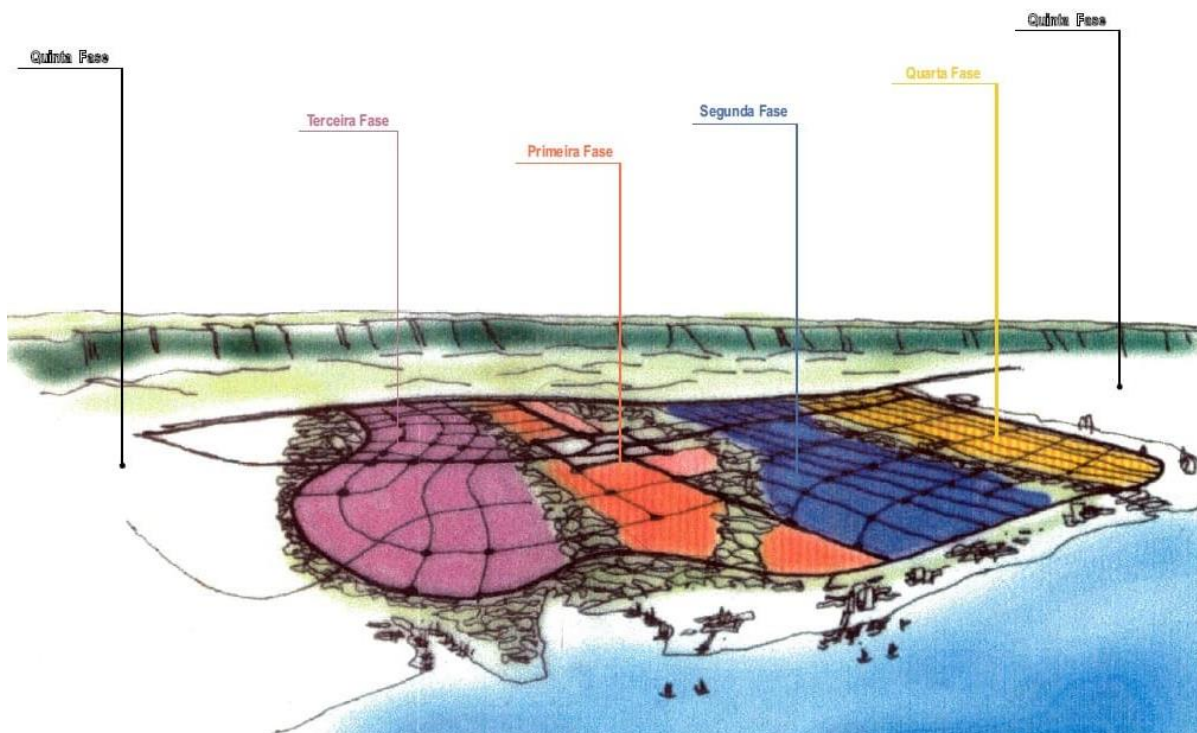
A ocupação das quadras estava prevista para ter uma expansão controlada e progressiva, de acordo com a necessidade de mais espaço exigida com o crescimento da cidade. Desse modo, seriam evitados vazios urbanos e dispersão da cidade, garantindo aproveitamento racional da infraestrutura exigida, avançando gradativamente.

Porém, Palmas–TO não seguiu o que foi concebido, uma vez que sua ocupação não foi gradual. Tal evidência pode ser observada ao andar pela cidade, que conta com grandes áreas não construídas ou habitadas, seguida por regiões de grande densidade demográfica (COCOZZA, 2007).

Na Figura 5, é apresentado o planejamento inicial do GRUPOQUATRO para a ocupação do território onde a capital seria implantada. A figura mostra as fases de

ocupação que foram pensadas pelos arquitetos, buscando respeitar a necessidade da cidade em conjunto com a infraestrutura exigida para cada momento.

Figura 5 - Plano de ocupação da cidade de Palmas–TO



Fonte: GRUPOQUATRO (1988).

Coriolano (2010) evidencia que Palmas–TO se encontra fragmentada, onde uma parcela segue o planejamento, repleta de padrões e modernismo, com espaços de lazer e imóveis aguardando valorização, enquanto sua outra parte segue crescendo de forma desordenada, com desigualdade social e degradação ambiental. Isso ocorre devido a uma falha no processo de ocupação da cidade, que foge completamente da ocupação gradual planejada, consequência da segregação que o Estado impôs desde o começo do povoamento da cidade. Como efeito, a cidade conta com grandes vazios urbanos e forte especulação imobiliária praticada no centro e uma grande densidade demográfica acompanhada de baixa renda nas regiões periféricas da capital.

Apesar de contar com um projeto inicial com conceitos ecológicos e humanistas, Paz (2009) cita que durante o processo de urbanização de Palmas–TO, tanto na fase de implantação quanto na fase de expansão do seu território, as áreas verdes públicas previstas em projeto foram negligenciadas. Este fato associado à

localização geográfica da capital influencia diretamente em seu clima característico de temperaturas mais elevadas.

O mesmo autor ainda esclarece que na implantação do projeto urbanístico da cidade, que se deu em 1989, o desmatamento que ocorreu para a abertura das ruas e avenidas foi realizado de forma indiscriminada. Na Imagem 3, foi registrada a mata nativa presente na região onde seria implantada a cidade e em seguida uma vista superior já do local sem a presença da cobertura vegetal.

Imagem 3 - Cobertura nativa e desmatada na região onde se localiza a capital



Fonte: GRUPOQUATRO (1988).

2.1.3 Clima Local

Conforme cita Freitas e Souza (2016), Palmas–TO é uma cidade jovem e que carece de mais estudos que abordem e documentem o perfil climático da Capital. Isso se confirma com a escassez de dados que são disponibilizados para pesquisas mais aprofundadas em áreas que envolvem as características climáticas da capital, levando alguns autores a buscarem dados de cidades vizinhas, mais antigas e com mais disponibilidade de informações.

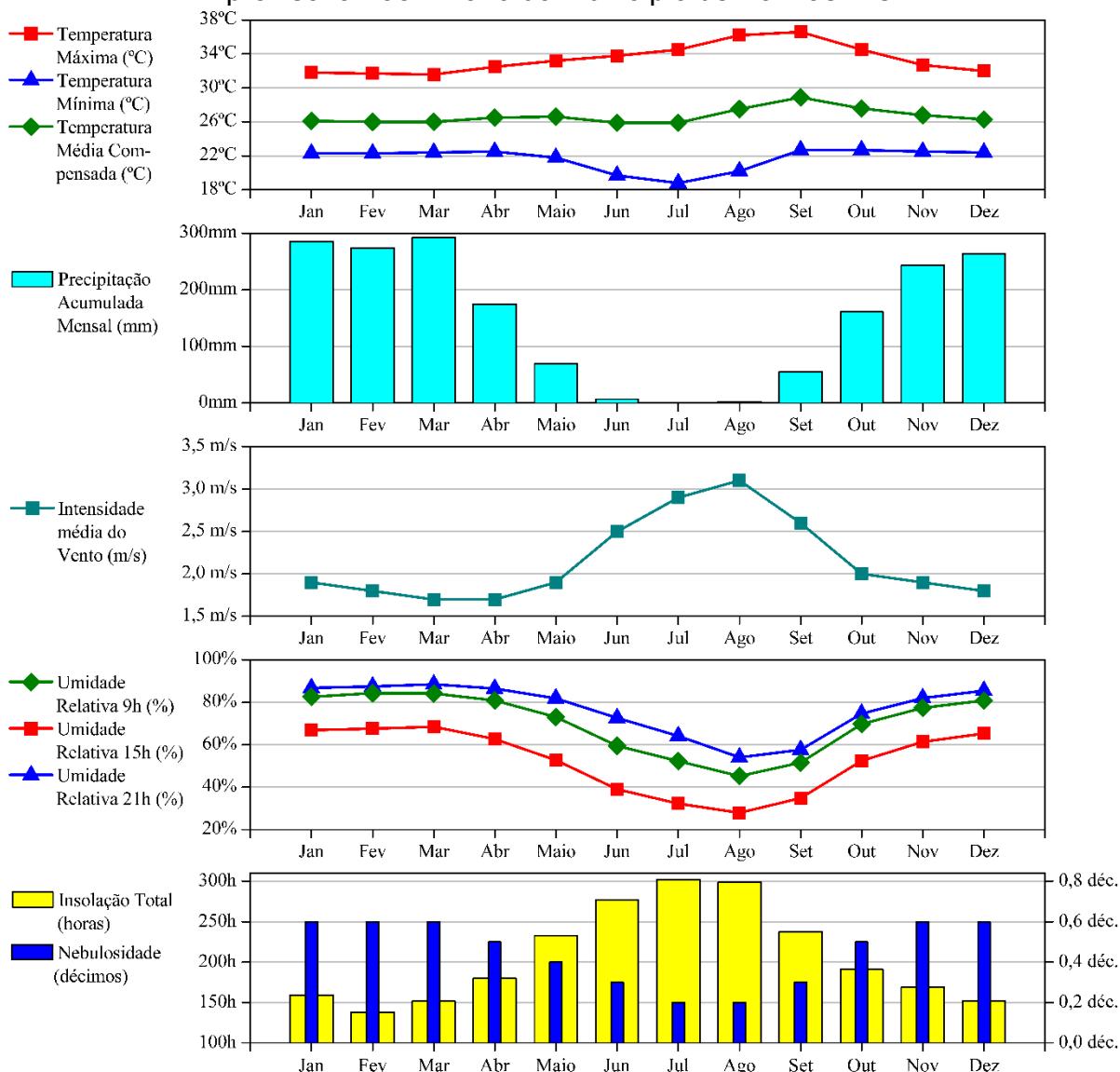
Ainda assim, com o avanço das pesquisas e do interesse em conhecer melhor as características da região na qual a cidade de Palmas–TO está inserida, cada vez mais informações a respeito do perfil climático da cidade são trazidas para a área científica, direcionando estudos e auxiliando na melhor compreensão sobre suas propriedades.

De acordo com Freitas (2015), a cidade de Palmas–TO possui clima com moderada insuficiência hídrica e elevadas temperaturas por um período de três meses, no mínimo, conforme classificação de Thornthwaite e apresenta um clima tropical com estação seca no inverno, possuindo temperaturas máximas de maio a setembro (outono-inverno) estáveis, com grande amplitude e noites/madrugadas mais frescas, e temperaturas médias de outubro a abril (primavera-verão) com instabilidade, sucessão de dias chuvosos, podendo apresentar temperaturas mais baixas que o normal durante o decorrer de todo o dia. Na Figura 6, com dados de Diniz, Ramos e Rebello (2018), organizados por Silva (2018) podemos observar a normal climatológica provisória que apresenta os principais parâmetros para Palmas–TO nos intervalos de 1981 a 2010.

No entanto, apesar das semelhanças em traços gerais, em relação a esta normal climatológica e a outros estudos existentes no Estado do Tocantins, Silva (2018), ao avaliar os gráficos de análise rítmica dos anos de 1997 e 2013, identificou o ritmo climático na cidade de Palmas–TO apresentou algumas diferenças pontuais com o padrão descrito nestes estudos climáticos. A autora identificou diferenças: na distribuição da precipitação, com menor volume de chuvas no ano de 2013; na temperatura, com tendência ao aumento juntamente com a crescente urbanização; e

uma predominância de calmarias noturnas em anos mais recentes. Segundo a autora, os dados climáticos da cidade sugerem uma mudança em curso.

Figura 6 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas–TO



Fonte: Diniz; Ramos; Rebello (2018), organizado por Silva (2018, p.155).

As seções que discorrem a seguir apresentam dados sobre os elementos climáticos da cidade de Palmas–TO, sendo eles a precipitação, temperatura e umidade relativa do ar.

2.1.3.1 Umidade relativa do ar

A umidade do ar em Palmas–TO apresenta uma grande variação ao longo do ano. Guarda (2006) apresenta em seu estudo que as ocorrências de menores valores

de umidade ocorrem no inverno, coincidindo com o período em que as precipitações são menos frequentes, comprovando que a variabilidade do elemento umidade apresenta uma correlação importante com a das precipitações.

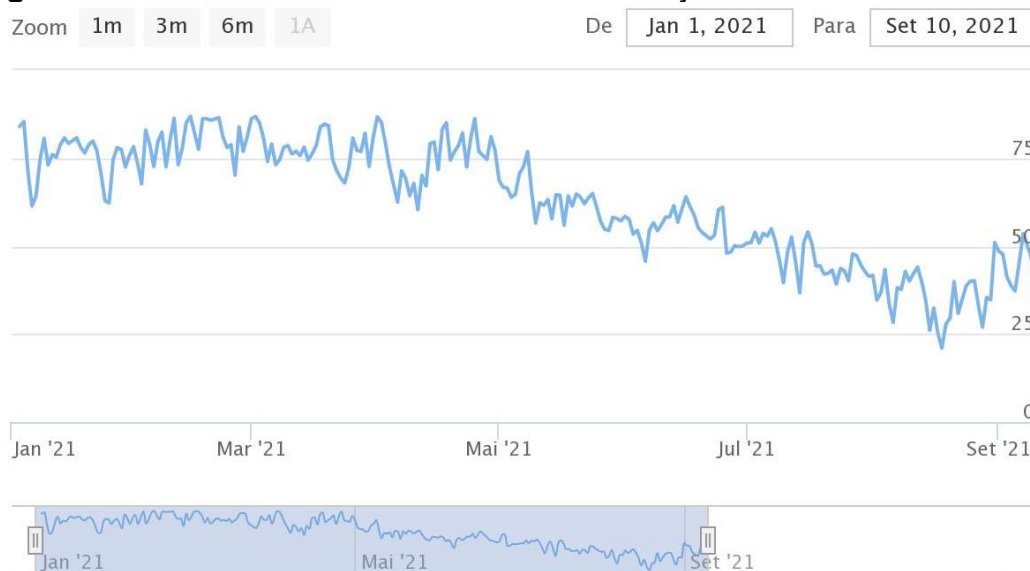
A Figura 6, organizada por Silva (2018), bem como a Figura 7, retirada do site do INMET, apresenta as variações anuais da umidade do ar na cidade de Palmas–TO. A Figura 8 apresenta as variações de umidade do ar do início do ano de 2021 até setembro, data da obtenção das imagens obtidas no site do INMET.

Figura 7 - Umidade do ar anual na cidade de Palmas–TO em 2020



Fonte: INMET (2021).

Figura 8 - Umidade na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021



Fonte: INMET (2021).

2.1.3.2 Precipitação

De acordo com os autores Sousa *et al.* (2011), Palmas–TO apresenta dois períodos bem definidos de precipitação e essas taxas ocorrem com maior frequência entre outubro e abril e menor frequência entre maio e setembro.

Além disso, os autores concluem com sua pesquisa que os meses de agosto a novembro são os meses mais quentes do ano, enquanto que, os meses de junho e julho se constituem no período menos quente do ano.

Guarda (2006) aponta que de novembro a abril, se concentra aproximadamente 80% dos totais médios anuais precipitados e a média anual na capital chega a 1900mm. A autora também cita que as precipitações ocorridas em fevereiro e abril somam em 30% do total médio anual.

A Figura 6, apresentada anteriormente, organizada por Silva (2018), bem como a Figura 9, extraída do site do INMET, apresentam as precipitações anuais ocorridas na cidade de Palmas–TO, enquanto a Figura 10 apresenta as precipitações ocorridas do início do ano de 2021 até setembro, data da obtenção das imagens.

Figura 9 - Precipitação anual na cidade de Palmas–TO em 2020



Fonte: INMET (2021).

Figura 10 - Precipitação na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021

Fonte: INMET (2021).

2.1.3.3 Temperatura

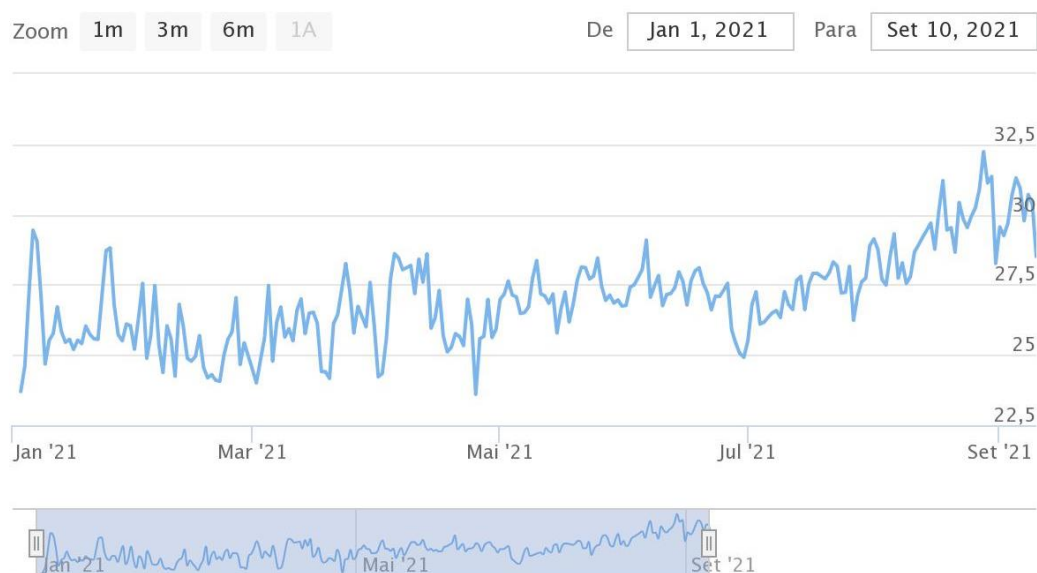
Palmas–TO tem como característica um padrão na variação de temperatura a depender do período do ano, sendo ele um período de chuva ou estiagem. Além disso, como aponta Luz (2019), picos de temperaturas estão presentes, principalmente, em locais que possuem maior atividade humana e menor cobertura vegetal.

Conforme descrito na normal climatológica provisória 1981–2010 (Figura) indica média anual das temperaturas máximas de 33,4°C, média anual das mínimas de 21,7°C e média compensada anual de 26,7°C. As temperaturas mensais atingem médias das máximas de 36,6°C, em setembro, e médias das mínimas de 18,8°C, em julho. A amplitude máxima de 16,0°C ocorre no mês de agosto, e a mínima de 9,2°C no mês de março.

A Figura 6, apresentada na página 34, organizada por Silva (2018), bem como a Figura 11, extraída do site do INMET, apresentam as variações anuais de temperatura na cidade de Palmas–TO, enquanto a Figura 12 apresenta as temperaturas do início do ano de 2021 até setembro, data da obtenção das imagens obtidas no site do INMET.

Figura 11 - Temperatura anual na cidade de Palmas–TO em 2020

Fonte: INMET (2021).

Figura 12 – Temperatura na cidade de Palmas–TO de janeiro a setembro de 2021

Fonte: INMET (2021).

2.1.4 Arquitetura da Cidade

Palmas–TO traz dentro de sua arquitetura, características oriundas do movimento modernista, que foi usado como diretriz por seus autores-arquitetos no momento de desenvolver o plano piloto da capital. Tal fato se deve pelas formações acadêmicas e vivências em cidades artificiais chamadas de *ex nihilo*, “a partir do nada” em latim, como Brasília e Goiânia. Todavia, algumas decisões projetuais parecem atentar-se para a crítica aos postulados modernistas (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018). Os autores seguem dizendo que:

Nesse sentido, o Plano Urbanístico Original – designação utilizada para o plano urbanístico de Palmas – estabelece-se contraditório em sua gênese: na escala macro, assume preceitos modernos ao adotar soluções quase que exclusivamente racionais, sobretudo técnicas e quantitativas. Na escala da quadra, em oposição à primeira, alude-se, ainda que no plano das ideias, à crítica aos preceitos modernos, abrindo espaço para a prevalência da escala humana, o apreço pela tradição urbana, a incorporação da paisagem como elemento palpável, a diferenciação entre o público e o privado, enfim, tópicos que caracterizam o discurso pós-moderno enquanto contraponto ao cânone precedente (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018, p. 242).

Rezende (2019) comenta sobre os materiais que foram empregados no processo construtivo dos edifícios públicos, onde os insumos locais foram a fonte de matéria a ser utilizada nos órgãos públicos, evitando assim a sua escassez ou dificuldade de obtenção. Os tijolos, além de fácil aquisição, também têm seu viés bioclimático, por atuar como um bom isolante térmico, mantendo as temperaturas mais amenas no interior desses locais. Além disso, os autores também destacam padrões que esses projetos apresentavam, contando com um envoltório no entorno da edificação, mantendo seu volume principal protegido do calor intenso característico da cidade. Esses envoltórios podem ser considerados fachadas com o objetivo de conter as temperaturas excessivas dentro da edificação.

Imagem 4 - Assembleia Legislativa do Estado do Tocantins



Fonte: Acervo da autora (2021).

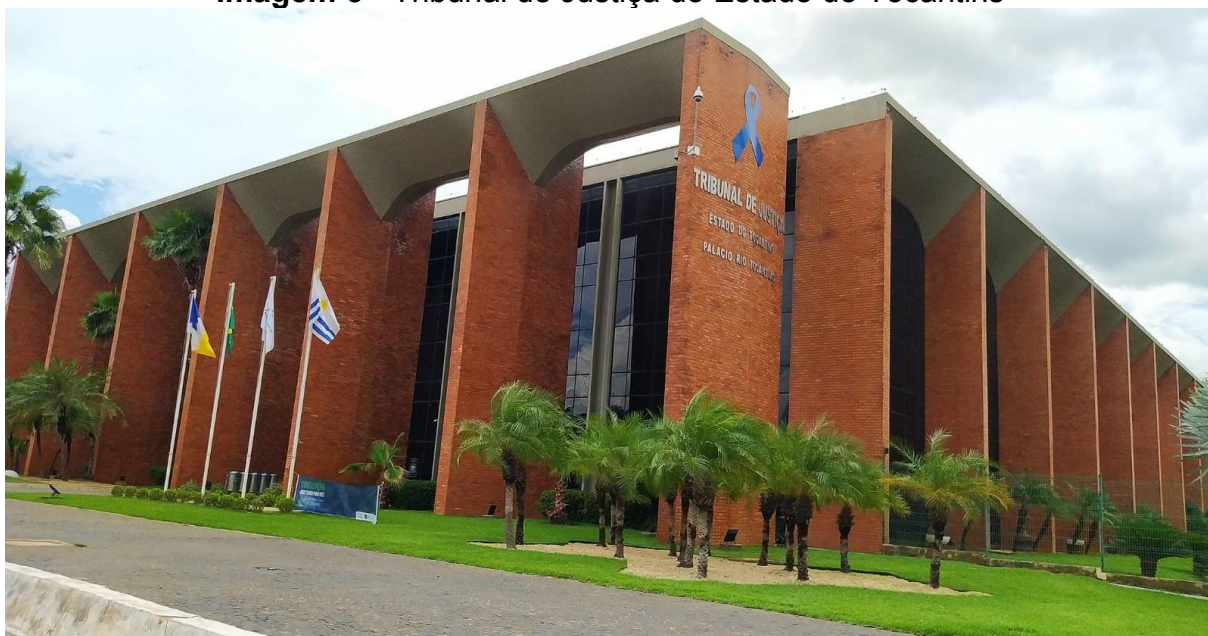
A Assembleia Legislativa (Imagem), uma das construções presentes dentro da praça dos girassóis e criadas pelo GRUPOQUATRO, tem sua fachada principal voltada para oeste, mantendo essa edificação em comunicação visual com as outras.

Por essa razão, essa vista conta com poucas aberturas expostas, mantendo baixo o ganho térmico no interior do edifício (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018).

O site do GRUPOQUATRO apresenta de forma descritiva os elementos e distribuição da assembleia Legislativa do Estado do Tocantins. Eles apontam que a arquitetura da edificação explora elementos de natureza bioclimática como planos verticais de sombreamento, pérgulas e estruturas que filtram o sol, abas e quebra-sóis de proteção para os panos de vidros e pátios associados à espelhos d'água (GRUPOQUATRO, 2021). Eles continuam:

A própria organização da planta espelha a ideia de resguardar o interior do edifício do severo clima da cidade. A volumetria prismática de linhas horizontais se articula internamente como o conjunto de três pavimentos sobrepostos em forma de H, gerando dois pátios simétricos. Para essas áreas protegidas por pérgulas, interligadas no nível do térreo e orientadas de modo a captar ventos dominantes, voltam-se grande parte dos interiores. São espaços de acolhida, de transição entre a vida urbana e as atividades legislativas, articulando-se francamente com a praça ao redor, promovendo certas ideias de continuidade e urbanidade nem sempre consideradas no Brasil.

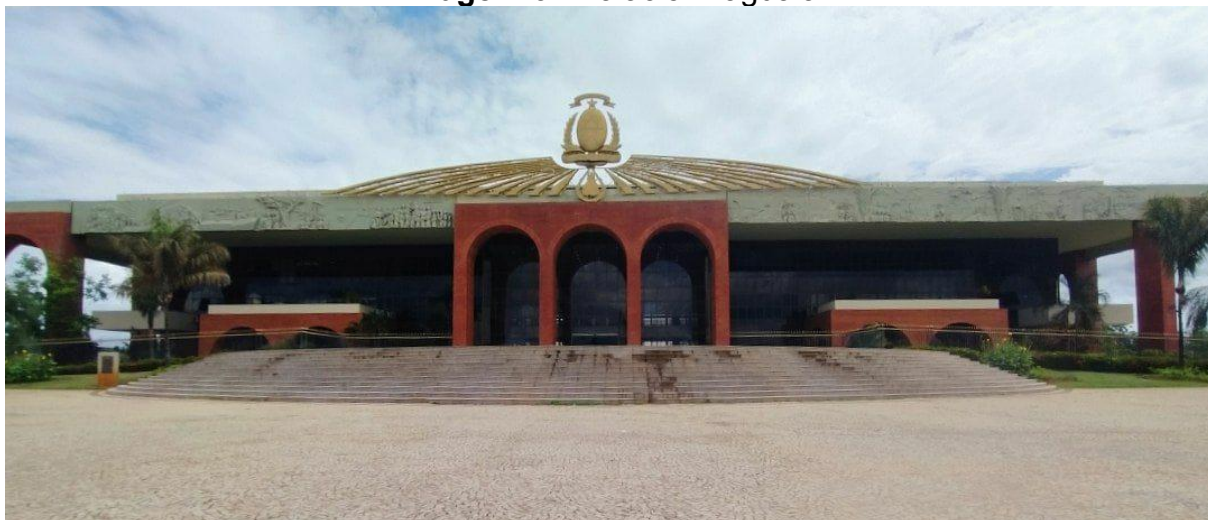
Imagem 5 - Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins



Fonte: Acervo da autora (2021).

A sede do Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins (Imagem) segue uma ideia construtiva próxima ao que foi proposto para a Assembleia Legislativa, com as fachadas leste e oeste protegidas por arcadas separadas da edificação principal. Além disso, ela conta com pátios internos ajardinados, porém com um partido mais fechado em si (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018).

Imagem 6 - Palácio Araguaia



Fonte: Acervo da autora (2021).

Para o edifício Palácio Araguaia (Imagem 6), tal qual as outras edificações aqui citadas, há uma arquitetura planejada para o clima da cidade. Seu projeto foi pensado e elaborado pelos arquitetos Ernani Vilela e Maria Luci da Costa. A ventilação natural é alimentada, o plano de cobertura garante sombreamento para o corpo da edificação e vidraças além das fachadas voltadas para leste e oeste serem estrategicamente menores (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018).

Carvalho, Brito e Santos (2018) comentam em seu artigo:

O Palácio resgata à memória os Palácios de Niemeyer, em Brasília – Itamaraty, Planalto, Justiça, Alvorada, através de seu volume principal envidraçado, abrigado por uma cobertura plana em concreto aparente. Esta estende-se para além da massa construída, criando uma ampla área de circulação, encontrando-se em suas bordas com pilares que compõem as arcadas cerâmicas, fazendo gerar um volume exterior que envolve o primeiro (CARVALHO; BRITO; SANTOS, 2018, p. 10).

Santos (2020) relata que, com o processo de expansão e desenvolvimento da cidade de Palmas–TO, começaram a aparecer edificações com características do estilo internacional, com uso de grandes planos de vidros em fachadas sem proteção solar. O autor ainda ressalta que a vista do lago é um forte argumento para a venda de apartamentos com pele de vidro e outros artifícios que dificultam o conforto térmico nas edificações. No entanto, alguns prédios públicos institucionais e privados, que não têm o caráter comercial como premissa, também utilizam da pele de vidro em sua construção. Ele finaliza afirmando que o vidro não é o único vilão do desconforto térmico, mas é um forte agravante.

Os edifícios dos três poderes e as secretarias estaduais localizadas na Praça dos Girassóis são edificações que apresentam elementos dentro da tradição moderna brasileira, mantendo a preocupação com o clima local. Para tanto, essas construções contam com pérgulas e planos de alvenarias vazadas (cobogós), beirais e brises de proteção para os prismas envidraçados, entre outros (CARVALHO; PEREIRA; SANTOS, 2018).

A partir dessa afirmação e ao contemplar as figuras apresentadas acima, é possível observar que os órgãos públicos situados na praça dos girassóis contam com pele de vidro e outros elementos que isoladamente poderiam contribuir para uma elevação da temperatura no interior dessas edificações, causando um desconforto térmico. Porém, conforme apresentado por Carvalho, Brito e Santos (2018), a realidade dessas construções é o oposto, contando com uma eficiência energética e combinações de elementos arquitetônicos para a região na qual estão construídas.

Tal fato reforça a ideia de que algumas soluções arquitetônicas podem ser utilizadas em locais com características climáticas adversas, desde que haja um bom planejamento, combinações entre diferentes tipos de soluções arquitetônicas, uma boa caracterização climática e o interesse em se planejar de forma eficiente para aquela região. No caso dos edifícios dos três poderes de Palmas–TO, podemos ver, dentre outras soluções para o clima local, a pele de vidro combinada com o recuo da fachada e proteções nas áreas de maior incidência solar.

2.2 Conforto térmico

A partir do conforto térmico proporcionado por uma edificação, é possível observar a adequação do projeto à região na qual ela está construída, bem como sua influência na eficiência energética e também nos aspectos humanos.

2.2.1 Aspectos humanos para conforto térmico

Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o homem é homeotérmico, ou seja, tem como característica, manter a temperatura do organismo constante, independente das condições climáticas as quais ele é exposto. Porém, ainda que o calor corporal seja

gerado pelos próprios mecanismos do corpo humano, as trocas térmicas entre o corpo e o meio acontecem.

Silva (2018) resume em sua tese que muitos estudos em conforto térmico baseados na biometeorologia começam com as trocas térmicas entre o organismo e o ambiente, que são determinadas por convecção, condução, evaporação e radiação, a partir do entendimento do metabolismo e das variáveis ambientais envolvidas nessas trocas. A autora ainda aponta que o corpo humano tem um termostato natural chamado hipotálamo que tem como função manter a homeostase do organismo.

Quando as condições ambientais são desfavoráveis para manter a temperatura corporal dentro dos parâmetros necessários para o bom funcionamento do organismo (por volta de 37°C, com alcances estreitos, entre 36,1°C e 37,2°C), o corpo passa a reagir por meio de mecanismos automáticos. Essas reações variam quando as condições ambientais são de frio ou calor. No caso do frio, há um aumento da resistência térmica por meio da vasoconstrição, arrepio e trizar. Já quando a situação é de calor intenso, temos a vasodilatação e sudorese (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) listam fatores que podem influenciar no conforto térmico, dentre eles, podemos citar as variáveis ambientais, a prática de atividades físicas e as vestimentas que são utilizadas no ambiente. Além desses fatores, outros elementos podem influenciar na percepção de conforto térmico. O trecho a seguir retirado da CBIC exemplifica essa ideia:

O nível de satisfação ou insatisfação depende, ademais, do tipo de atividades no interior do imóvel, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, idade, sexo e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários. Dessa forma, quando se trata de conforto térmico, está se referindo sempre a uma condição média, que atende à maior parte das pessoas expostas a uma determinada condição. (CBIC, 2013, p. 136).

Apesar das capacidades físicas das quais o homem tem para manter a temperatura corporal, outras variáveis entram na equação quando se trata de conforto térmico. Essa medida não é igual para todos, mesmo quando expostos às mesmas condições climáticas, portanto, é necessário mais de um tipo de análise no momento de definir quais são os parâmetros de conforto térmico para uma edificação, como clima local, utilização e ocupação.

2.2.2 Eficiência energética e o conforto térmico

Os padrões atuais de produção e consumo de energia, de acordo com Goldemberg e Lucon (2007), são baseados em sua grande parcela em fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. O consumo exacerbado de energia tem como consequência um impacto direto na natureza, causando, além de um esgotamento de recursos que não são renováveis, a poluição no mais amplo aspecto do meio ambiente e o aumento da temperatura no planeta.

Mesmo que a fonte principal da produção de energia elétrica dentro do Brasil não seja por meio de produtos fósseis, Goldemberg e Lucon (2007) destacam que:

Tradicionalmente, as projeções do governo tratam o setor do petróleo de forma independente do setor de eletricidade, mas essa tradição está sendo rompida pelo fato de que o gás produzido ou importado pela Petrobras é um insumo importante não só para usos residenciais industriais e veiculares (em que combustíveis líquidos são dominantes), mas também para a produção de eletricidade (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 11).

Para Santos (2020), o controle dos aspectos do clima, como temperatura do ar, umidade relativa do ar, movimento das massas de ar e precipitações, culminam na obtenção do conforto térmico em uma edificação, porém, se a arquitetura não for pensada para amenizar os extremos que o clima pode alcançar, o resultado será um elevado consumo de energia elétrica ou emissão de poluentes. Além disso, segundo 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.

Nunes, Carreira e Rodrigues (2009) ainda apontam que as edificações modernas de habitação e trabalho são muitas vezes elementos poluidores quase tão grandes quanto algumas indústrias. O motivo disso, muitas vezes, é a falta de estudo, ou até mesmo de interesse em um conhecimento aprofundado por parte do responsável projetista, do clima característico da região onde seu projeto será implantado.

De acordo com Nogueira e Nogueira (2003), citado por Nunes, Carreira e Rodrigues (2009), o desempenho térmico e energético de uma edificação está diretamente ligado às características climáticas do local de sua instalação e por isso,

o conhecimento do clima e da geografia local é um importante auxílio para todo profissional executar um bom projeto arquitetônico.

Além disso, é importante conhecer também sobre a vegetação característica desse local, uma vez que ela poderá auxiliar na proteção das edificações e na harmonização do clima nesse local, amenizando as temperaturas nos arredores da construção, além de servirem como um elemento de decoração e complementação visual que não sofrerão com as características climáticas, uma vez que são típicas da região onde estão sendo utilizadas. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) ressaltam que:

A Eficiência Energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 5).

Gonçalves e Duarte (2006), revelam que um edifício projetado para a eficiência energética e com mínimo impacto ambiental, carece de ser pensado de modo a reduzir a demanda de energia que ele necessita, além de haver necessidade de estudo para uso dos sistemas mecânicos e elétricos mais eficientes e compatibilizados com os potenciais do projeto de arquitetura, como por exemplo, o uso da iluminação artificial como complemento da iluminação natural.

2.3 ABNT NBR 15.220 - Desempenho térmico de edificações

A associação Brasileira de Normas Técnicas, a ABNT, é o foro nacional de normalização. As normas brasileiras são elaboradas por comissões de Estudo formadas por representantes dos setores envolvidos, fazendo parte destes: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

A NBR 15.220 foi emitida em setembro de 2003, sendo publicada apenas em 2005, e é a primeira norma de desempenho criada no Brasil (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2015). Em 2008, uma errata da parte 2 da norma foi publicada, porém sem grandes alterações da versão anterior. Apresenta diversos métodos de cálculo e medições de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações e sugere estratégias bioclimáticas para cada zoneamento bioclimático brasileiro

(OLIVEIRA, 2012). e aplica-se apenas a edificações unifamiliares de interesse social.

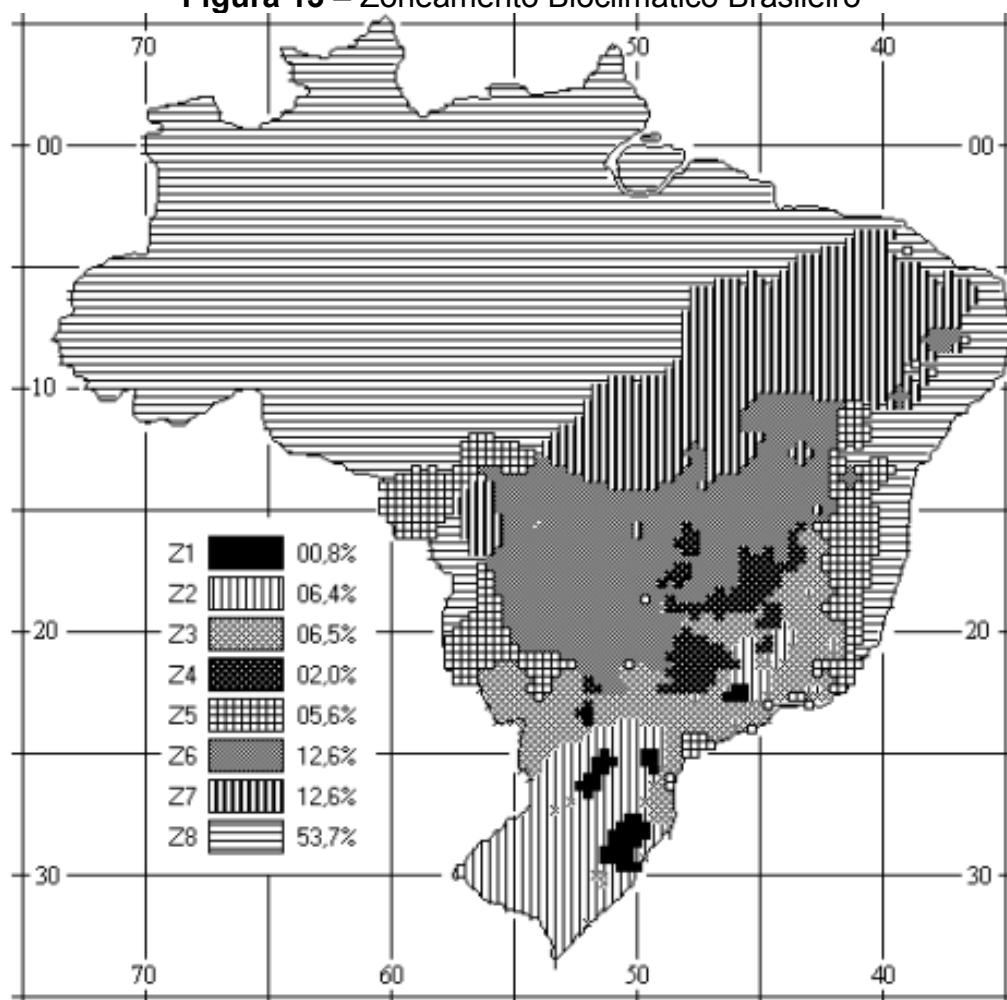
Oliveira cita:

As primeiras normas de desempenho térmico surgiram com o intuito de reduzir o consumo de energia necessário para o funcionamento dos sistemas artificiais, principalmente de condicionamento de ar. Sendo assim elas buscavam basicamente limitar as perdas de calor nos ambientes internos e, para isso, trabalhavam fixando os limites máximos das propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação (OLIVEIRA, 2012, p. 31).

Tendo como objetivo definir e corresponder entre si símbolos e unidades de termos ligados ao desempenho térmico de edificações, essa norma está dividida em cinco partes. Na parte um da norma é estabelecido as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. A parte dois estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas, como a resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar, de elementos e componentes de edificações.

A terceira parte da norma contempla o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Nela é disponibilizado o mapa de climas que é utilizado na norma NBR 15.575 (ABNT, 2021) apresentado na Figura 13.

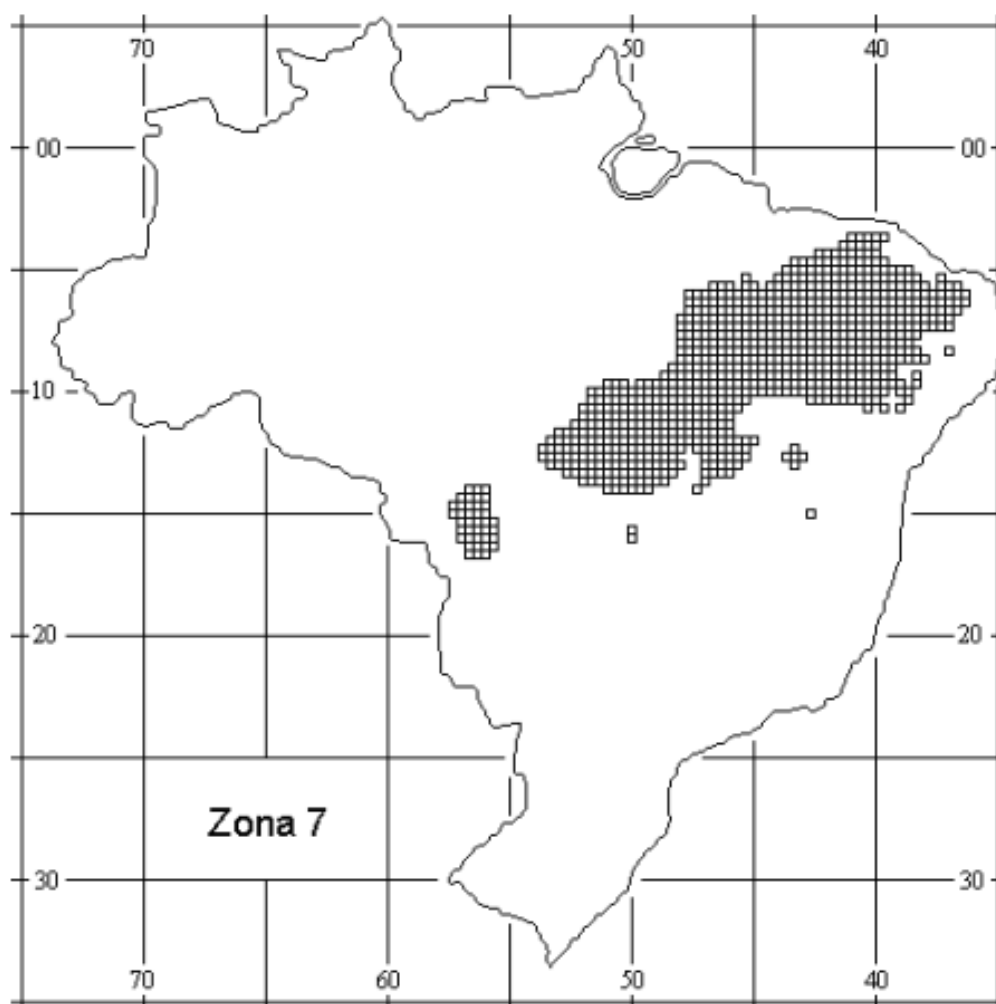
A quarta parte apresenta a descrição do método da placa quente protegida para a determinação da resistência e da condutividade térmicas de materiais sólidos ou granulares. Por último, a parte cinco descreve um método de medição da condutividade térmica com o auxílio de fluxímetro(s).

Figura 13 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 2).

A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) traz em seu anexo A uma relação de mais de 300 cidades brasileiras com suas classificações de climas, apresentando estratégias bioclimáticas recomendadas para as respectivas zonas bioclimáticas onde essas cidades se situam. Palmas não está entre as cidades do Tocantins que são citadas nessa relação, estado esse que tem apenas quatro cidades incluídas na lista: Paranã, na zona 6; Peixe, Porto Nacional, e Taguatinga, na zona 7.

Segundo o zoneamento apresentado, Palmas-TO está incluída na zona bioclimática 7 e, pela proximidade com o município de Porto Nacional, que fica a 66km da capital, com latitude 10°44'S, são utilizadas as recomendações desta segunda cidade para a capital. Na Figura , é apresentada a zona bioclimática 7 em destaque.

Figura 14 – Zona bioclimática 7

Fonte: ABNT 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 9).

A norma NBR 15.220 (ABNT, 2005) traz também, em seu anexo C da parte três, valores mínimos para aberturas de ventilação, transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para paredes externas e coberturas, conforme apresentado no Quadro 1 e Quadro 2. Esses valores serão utilizados na análise quantitativa e qualitativa deste trabalho.

Quadro 1 - Aberturas para ventilação

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

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 17).

Quadro 2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações Externas		Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – ϕ (Horas)	Fator Solar – Fso (%)
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$F_{so} \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$F_{so} \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$F_{so} \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30 \cdot FT$	$\phi \leq 3,3$	$F_{so} \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 6,5$

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 17).

Uma vez que a NBR 15.220 (ABNT, 2005) se aplica apenas a edificações unifamiliares de interesse social, posteriormente, iniciou-se o processo de desenvolvimento da NBR 15.575 (ABNT, 2021), para edificações residenciais de uma forma geral.

2.4 ABNT NBR 15.575 – Edificações habitacionais – Desempenho

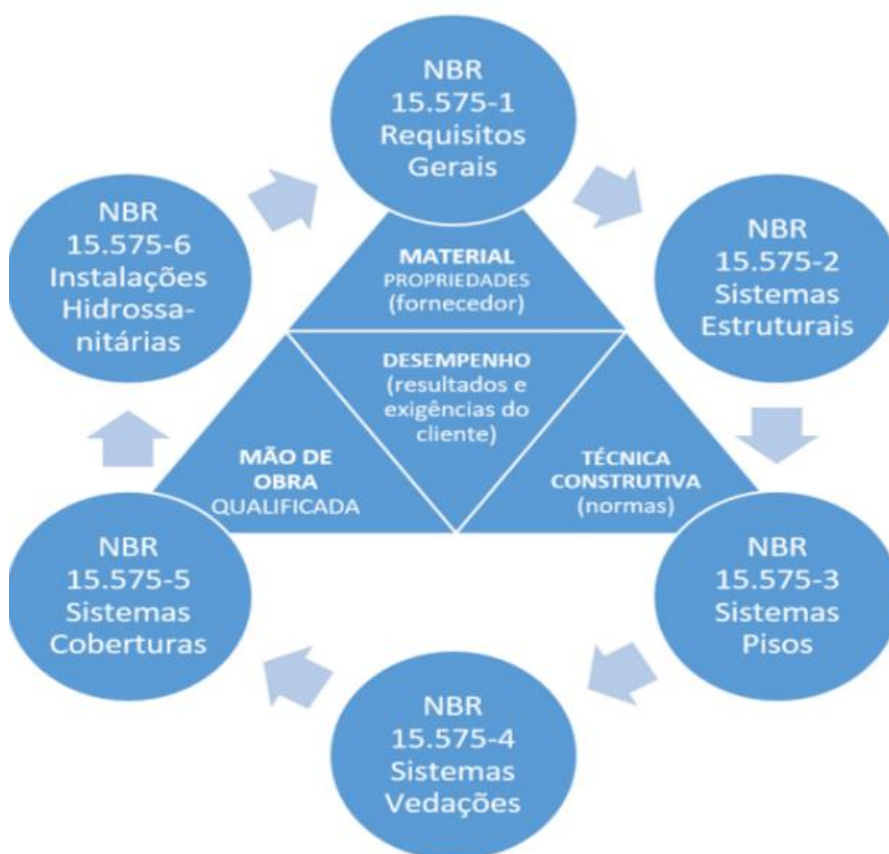
A NBR 15.575 foi elaborada pelo comitê Brasileiro de Construção Civil e pela comissão de Estudo de Desempenho de Edificações. De acordo com Cordovil (2013) a primeira emissão da NBR 15.575 foi em maio de 2008 e sua aplicação era restrita a edifícios de até cinco pavimentos.

Foi revisada em 2010, 2012 e em fevereiro de 2013 sua nova versão foi publicada, entrando em vigor apenas em julho de 2013, a fim de dar um prazo para que o setor se adaptasse as suas novas exigências, uma vez que a nova versão da norma contava com uma ampliação de sua utilização, havendo necessidade de adequação de todos os segmentos da cadeia produtiva, envolvendo projetistas, fabricantes, laboratórios, construtores e também o governo.

As primeiras normas de desempenho térmico surgiram com o intuito de reduzir o consumo de energia necessário para o funcionamento dos sistemas artificiais, principalmente de condicionamento de ar. Sendo assim elas buscavam basicamente limitar as perdas de calor nos ambientes internos e, para isso, trabalhavam fixando os limites máximos das propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação (OLIVEIRA, 2012, p. 31).

Em 2021, foram disponibilizadas emendas de algumas partes da norma, que já entraram em vigor. São elas as partes 1, 3, 4, 5 e 6. Elas foram publicadas para manter a norma atualizada, trazendo uma avaliação mais detalhada e realista sem necessidade de uma nova edição completa, modificando apenas os pontos e as partes que são necessárias à atualidade. A Figura 15 apresenta de forma sistemática a divisão da norma e as relações que resultam no desempenho.

Figura 15 – Características e divisões na norma de desempenho



Fonte: Souza (2016, p. 20).

A NBR 15.575 (ABNT, 2021) de 2013 é dividida em seis partes:

- Parte 1 - Requisitos gerais;
- Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3 - Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5 - Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6 - Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A parte 1 aborda requisitos gerais e critérios de desempenho para edificações habitacionais tendo a possibilidade de ser usada para avaliar de forma integral ou de

forma isolada. Ela é utilizada como um método avaliativo do desempenho dos sistemas construtivos. A segunda parte da norma foca nos requisitos e critérios de desempenho para a parte estrutural da edificação habitacional. Já a terceira parte da norma estabelece e indica quais critérios de desempenho devem ser aplicados ao sistema de pisos da edificação habitacional.

A parte 4 da norma fala sobre as vedações verticais internas e externas da edificação com e sem função estrutural, a SVVIE. A parte cinco da norma apresenta dentro dos requisitos do usuário, além das referências a parte da norma, referências sobre os requisitos mínimos de desempenho para os diferentes sistemas de cobertura e por último, a parte seis da norma apresenta a avaliação de desempenho a partir de verificações de projeto.

O conjunto dessas partes, juntamente com as emendas publicadas em 2021, fazem da norma NBR 15.575 (ABNT, 2021) um parâmetro para avaliar o desempenho higrotérmico. Para tanto, são analisadas as condições de conforto no verão e no inverno utilizando dois procedimentos normatizados disponibilizados na parte 1 da norma: análise simplificada e simulação.

O procedimento de análise simplificada está voltado para uma inspeção do projeto arquitetônico, apresentando vãos mínimos, sombreamento, ventilação e afins a partir dos parâmetros que são estabelecidos em cada zona climática. A atualização de 2021 apresenta restrições para o uso desse método simplificado, sendo um deles, o percentual de área envidraçada dos ambientes. Ou seja, caso o ambiente estudado se encaixe nos requisitos solicitados pela norma, é possível avaliar seu conforto a partir do que é disponibilizado dentro da norma.

Além disso, as cargas térmicas e as características de ocupação, como iluminação, pessoas e equipamentos devem ser incluídas dentro da simulação, quando o método de avaliação utilizado for o segundo. Também é necessário, a partir de 2021, avaliar todas as unidades habitacionais do pavimento e não apenas as mais críticas no verão e inverno.

No Quadro 3 e Quadro 4 são utilizadas como parâmetros para as análises simplificada e de simulação e foram retiradas da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2021). Elas têm como zoneamento climático, o mapa de climas disponível na norma NBR

15.220 –Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico no verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{ °C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4\text{ °C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{ °C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{ °C})$

Fonte: NBR 15.575-1 (ABNT, 2021, p. 62).

Quadro 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico no Inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3\text{ °C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5\text{ °C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7\text{ °C})$	

Fonte: NBR 15.575-1 (ABNT, 2021, p.63).

Sendo:

M – Mínimo;

I – Intermediário;

S – Superior;

$T_{i,max}$ – valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação;

$T_{e,max}$ – valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação;

$T_{i,min}$ – valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação;

$T_{e,min}$ – valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação (temperaturas em graus celsius).

As partes quatro e cinco da norma trazem também um conjunto de parâmetros utilizados para usar como limitantes. O Quadro 5 apresenta dados de transmitância térmica para paredes enquanto o Quadro 6 apresenta dados de transmitância térmica para coberturas. Já o Quadro 7 apresenta dados de capacidade térmica para paredes externas.

Quadro 5 - Valores limites para transmitância térmica de paredes segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE PAREDES (U) W/m²K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2021, p. 27).

Quadro 6 - Valores limites para transmitância térmica de coberturas segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE COBERTURAS (U) W/m²K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	M
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3 \text{ FT}$	$U \leq 1,5 \text{ FT}$	
$U \leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	I
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5 \text{ FV}$	$U \leq 1,0 \text{ FV}$	
$U \leq 1,0$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha > 0,4$	$\alpha > 0,4$	S
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0 \text{ FV}$	$U \leq 0,5 \text{ FV}$	

Fonte: NBR 15.575-5 (ABNT, 2021, p. 52).

Sendo:

α – Absortância à radiação solar da superfície externa;

FT – Fator de correção da transmitância ($1,17 - 1,07h^{-1,04}$);

U – Transmitância térmica (em W/m²K).

Quadro 7 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)

Capacidade térmica (CT) kJ / m².K	
Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2021).

Esses valores serão utilizados na análise quantitativa deste trabalho, juntamente com os dados levantados na NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Para Kern, Silva e Kazmierczak (2014) o cumprimento da NBR 15.575 (ABNT, 2021) culmina em diversas vantagens tanto para a construção civil quanto para a sociedade. Para eles, o uso dessa norma melhora a qualidade das habitações

brasileiras, além de criar um ambiente técnico mais definido, podendo assim o consumidor ter mais acesso as informações sobre o desempenho do edifício. Porém essas mudanças carecem de alterações no processo de projeto, produção e principalmente fiscalização.

2.5 Método de Mahoney

Publicado pela United Nations em 1971 sob o título de “*Climate and the Design of Houses*” (em português: “Clima e o Projeto das Casas”), o estudo que culminou com a primeira publicação das tabelas de Mahoney foi desenvolvido e escrito por Carl Mahoney e editado por Koenigsberger e Evans (UNITED NATIONS, 1971). Posteriormente, em 1999, as tabelas de Mahoney foram confrontadas por Harris, que observou dados divergentes quando utilizadas em climas transitórios o que culminou com o desenvolvimento de uma nova metodologia, denominada Método de Mahoney Nebuloso. Nas seções a seguir as duas metodologias são apresentadas.

2.5.1 Método de Mahoney Tradicional

As tabelas de Mahoney receberam esse nome em homenagem ao seu criador, Carl Mahoney, Arquiteto formado na Associação de Arquitetura de Londres. Utilizando de sua longa experiência desenvolvida no Departamento de Estudos Tropicais e Desenvolvimento e auxiliado por uma equipe de especialistas e ex-alunos da mesma instituição em que se formou, Mahoney elaborou esse método de análise que ainda hoje, depois de várias décadas, é aplicado em diversos países como uma importante ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de projetos para os mais variados usos de edificações (FRANZONI, 2013).

Harris (2002) explana que Mahoney desenvolveu uma série simples de tabelas de modo a registrar e analisar informações climáticas para adequar as características construtivas da habitação às características climáticas da região na qual a edificação será construída. A partir dessas informações, é possível obter recomendações para o desenvolvimento do projeto arquitetônico. A autora ainda continua:

A partir de dados climáticos como a temperatura, a umidade, o vento e a pluviosidade desenvolvem-se uma série de inferências por tabelas utilizando parâmetros climáticos bem definidos. Entre as tabelas utilizadas em sua

metodologia está a destinada a determinar os limites de “Bem estar” e “Rigor Térmico”, para o dia e para a noite mais precisamente determinar os “Limites de Conforto” que posteriormente vão influenciar na classificação do clima em: “quente”, “confortável” ou “frio” (HARRIS, 2002, p. 268).

Apesar de não ser uma norma, as tabelas de Mahoney estabelecem parâmetros interessantes para serem utilizados dentro do âmbito de conforto térmico, estabelecendo valores limites para as características termofísicas. Koenigsberger *et al.* (1977) explicam em seu livro como as tabelas são dispostas. A primeira parte é utilizada para registrar os dados climáticos mais essenciais, dirigindo e definindo a extensão da investigação de dados. Já a segunda parte apresenta uma série de indicadores climáticos, facilitando a identificação do clima. Por último, a parte 3 traduz as informações obtidas em especificações de funcionamento ou recomendações para o desenvolvimento dos projetos arquitetônicos (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

Além das recomendações, as tabelas ainda apresentam valores numéricos que podem ser utilizados como parâmetro de avaliação de conforto térmico. O Quadro 8 retirado da publicação da United Nations (1977) apresenta esses dados numéricos.

Quadro 8 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney

PAREDES			
Leve	$U \leq 2,80$	$FS_o \leq 4,0$	$\varphi \leq 3,0$
Pesada	$U \leq 2,00$	$FS_o \leq 4,0$	$\varphi \geq 8,0$
COBERTURAS			
Leve	$U \leq 1,10$	$FS_o \leq 4,0$	$\varphi \leq 3,0$
Leve e bem isolada	$U \leq 0,85$	$FS_o \leq 3,0$	$\varphi \leq 3,0$
Pesada	$U \leq 0,85$	$FS_o \leq 3,0$	$\varphi \geq 8,0$

Fonte: United Nations (1971, p.82).

Koenigsberger *et al.* (1977) seguem dizendo que mesmo que as tabelas tenham sido desenvolvidas para climas compostos, como quente e seco ou quente e úmido, elas podem ser utilizadas em qualquer clima, porém Harris (1999) apresentou dados que comprovam que as tabelas apresentam informações divergentes em locais de clima intermediário, não sendo a melhor opção escolher o Método de Mahoney Tradicional (MMT).

O Método de Mahoney é utilizado para caracterização climática de diversas localidades e para identificação de recomendações de arranjos construtivos climaticamente adequados. Porém, é fundamentado na classificação de grupos climáticos de modo determinístico, por isso, quando aplicado a

idades de climas de transição apresenta recomendações de projeto contraditórias (MORAES; TORRES; FREITAS, 2016, p. 1).

A partir disso, Harris (1999) remodelou este primeiro método para um segundo, o Método de Mahoney Nebuloso (MMN), capaz de modelar sistemas mais complexos e subjetivos.

2.5.2 Método de Mahoney Nebuloso

O método de Mahoney nebuloso foi proposto pela primeira vez por Harris em 1999. Sua tese intitulada “Métologias baseadas na teoria dos sistemas nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico” propunha, a partir de uma remodelagem do método tradicional de Mahoney, obter recomendações de conforto térmico para cidades com clima transitório.

Harris (1999) observou que quando aplicado o método de Mahoney em regiões de clima transitório, pelo fato de se utilizar dados precisos para chegar aos parâmetros subjetivos de caracterização climática, haviam imprecisões em algumas recomendações, de modo que poderiam haver recomendações equivocadas.

Assim, ela propôs uma remodelagem dos quadros de Mahoney utilizando o método de sistemas nebulosos, utilizando inferências de regras nebulosas estruturadas com base na metodologia tradicional.

A proposta de divisão do sistema nebuloso segue a mesma do tradicional, sendo três partes. A diferença se dá na utilização de valores nebulosos, ao invés de valores discretos, para a faixa da amplitude térmica mensal e pluviosidade em baixa e alta, para os grupos higrotérmicos, para as faixas de conforto, para o rigor térmico diurno e noturno, assim como para os indicadores e recomendações arquitetônicas (HARRIS, 1999).

No Quadro 9, a seguir, são apresentados alguns dos diversos trabalhos que forma feitos abordando o sistema de Mahoney nebuloso.

Quadro 9 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney

Ano	Tipo	Autor(es)	Título
1999	Estudo de caso	Ana Harris	Métologias baseadas na teoria dos sistemas nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico
2000	Estudo de caso	Ana Harris; Liang-Yee Cheng; Lucila Labaki.	Remodelagem dos grupos climáticos dos "quadros de Mahoney" utilizando a teoria dos sistemas nebulosos
2002	Estudo de caso	Ana Harris	A teoria dos Sistemas Nebulosos no tratamento dos parâmetros subjetivos do projeto arquitetônico – os limites de conforto
2004	Estudo de caso	Carliza Sena	Análise comparativa entre o método de Mahoney Tradicional e o método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima do projeto arquitetônico
2005	Estudo de caso	Carliza Sena; Liang-Yee Cheng.	Comportamento mensal dos indicadores climáticos do método de Mahoney tradicional e o remodelado com a teoria dos Sistemas Nebulosos
2017	Estudo de caso	Mônica Silva; Ana Nunes, Dayany Vasconcelos; Ricardo Barbosa.	Estratégias bioclimáticas a partir do método de Mahoney Nebuloso: estudo de caso em Arapiraca-AL
2021	Estudo de caso	Camila Ferreira; Henor Souza.	Estudo do clima brasileiro: reflexão sobre a adaptação climática e recomendações arquitetônicas a partir das Tabelas de Mahoney

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Devido à dificuldade em se obter informações mais concisas e dados mais completos a respeito do clima da cidade de Palmas–TO, não havendo uma classificação clara sobre as características climáticas serem transitórias ou não, este método não foi abordado neste trabalho, sendo realizada a análise para a cidade apenas pelo método de Mahoney tradicional (UNITED NATIONS, 1971).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como define Kahlmeyer-Mertens *et al.* (2007), o método científico é entendido como um conjunto de processos orientados por uma habilidade crítica e criadora voltada para a descoberta da verdade e para a construção da ciência hoje.

Para alcançar os objetivos estabelecidos neste trabalho, faz-se necessário desenvolver o embasamento teórico, a caracterização da pesquisa e a organização da metodologia. A pesquisa consiste em um estudo sobre o conforto térmico da cidade de Palmas–TO utilizando a NBR 15.575 (ABNT, 2021), NBR 15.220 (ABNT, 2005) e as tabelas de Mahoney (UNITED NATIONS, 1971). Temos na Figura 16, um fluxograma apresentando a disposição de atividades deste estudo.

Figura 16 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

3.1 Caracterização da pesquisa

Gil (2002) define que pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Ele também menciona em sua publicação que:

(...) estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. (...) Embora o planejamento da pesquisa exploratória seja bastante flexível, na maioria dos casos assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso (GIL, 2002, p. 41).

Portanto, este trabalho é constituído por uma pesquisa exploratória que conta com um levantamento bibliográfico durante todas as fases de seu desenvolvimento, bem como um estudo comparativo a partir dos resultados obtidos dos métodos de análise utilizados nesta verificação.

A abordagem do presente trabalho é quali-quantitativa, possibilitando um maior apanhado do tema escolhido e das metodologias aplicadas. Qualitativa pois tem como propósito a comparação e obtenção de dados a partir de recomendações disponibilizadas nas normas artificiais de análise de conforto térmico utilizados nesta pesquisa. Quantitativa pois os mesmos artificiais utilizados dispõem de parâmetros que podem ser utilizados como limites para a escolha de metodologias construtivas para a região que é objeto de estudo.

3.2 Desenvolvimento da pesquisa

A primeira fase do trabalho consistiu em um estudo por parte da autora para se familiarizar com os processos que são utilizados como parâmetro de conforto térmico no Brasil além das tabelas de Mahoney. Além disso, nessa primeira etapa foi delimitada a linha de pesquisa bem como seus objetivos e metodologia. Nesse processo, que se estendeu por todo o desenvolvimento deste trabalho, a revisão bibliográfica foi intensificada, a fim de se conhecer melhor os mecanismos de utilização e funcionamento da NBR 15.575 (ABNT, 2021), NBR 15.220 (ABNT, 2005) e as tabelas de Mahoney (UNITED NATIONS, 1971), bem como caracterização da cidade que é objeto de estudo, Palmas–TO.

Para tanto, houve busca e leitura de artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros, relatórios técnicos e governamentais, notícias, além de revistas e sites especializados nos assuntos abordados dentro deste trabalho.

3.2.1 Delimitação do objeto de estudo

A cidade escolhida para ser objeto de estudo foi a capital do Tocantins, onde reside a autora deste trabalho, bem como sua orientadora, a fim de facilitar a obtenção de informações e a locomoção para possíveis visitas a locais de coleta de dados do clima da cidade.

3.2.2 Instrumentos

A primeira fase da delimitação do objeto de estudo foi definir quais seriam as ferramentas a serem utilizadas nesta pesquisa, além da cidade em que elas seriam aplicadas. Após pesquisas e levantamento de informações sobre as possibilidades definiu-se então, que as ferramentas utilizadas seriam as tabelas de Mahoney (UNITED NATIONS), a NBR 15.575 (ABNT, 2021) e a NBR 15.220 (ABNT, 2005).

A segunda etapa deste trabalho desenvolveu os métodos de análise de conforto térmico escolhidos para estruturar a pesquisa comparativa. Para tanto, nesta parte houve coleta de dados do clima e das características da cidade para a aplicação dos métodos e definição dos parâmetros e posteriormente foi feito um estudo comparativo dos resultados obtidos.

O primeiro método de análise de conforto térmico abordado é a NBR 15.220 (ABNT, 2005). A partir dela será feita a análise qualitativa do estudo por meio da comparação com as recomendações disponibilizadas pelo método de Mahoney, uma vez que para cada zoneamento climático disponível na parte 3 da norma, há recomendações de estratégias construtivas para aquela região.

Essa mesma norma apresenta em seu anexo C da parte 3, quadros apresentados valores limites de transmitância térmica, fator solar e atraso térmico, parâmetros esses que serão utilizados na análise quantitativa, juntamente com a NBR 15.575 (ABNT, 2021) (Quadro 10 e Quadro 11).

Já a NBR 15.575 (ABNT, 2021) traz valores de transmitância térmica e capacidade térmica apresentados por essa norma para envoltórias e coberturas. Esses valores são critérios de conforto térmico e serão utilizados nesta pesquisa. Essa segunda norma será empregada no estudo para obter uma análise quantitativa, utilizando como comparação o método de Mahoney tradicional.

A respeito das tabelas de Mahoney, a seguir é apresentada uma descrição da utilização das tabelas, bem como realizar o seu preenchimento de acordo com os dados colhidos da cidade ou região em que se deseja aplicar o método de Mahoney.

Na primeira parte da verificação, estão dispostos os valores a respeito da localização do objeto de estudo e dados básicos de orientação. Após isso, a parte que diz respeito às temperaturas é preenchida. Para tanto, a partir dos registros meteorológicos, as máximas (TM_{máx}) e mínimas (TM_{min}) médias mensais da temperatura são registradas e todos os valores deverão ser arredondados para os 0,5°C mais próximos (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 10 - Parte 01 das tabelas de Mahoney - Temperatura

Local		Latitude	
Altitude		Longitude	

Temperatura média em °C	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal da temperatura (TM _{máx})												
Mínima média mensal da temperatura (TM _{min})												
Amplitude térmica mensal (AT)												

Maior máxima: médias mensais da temperatura (TM _{máx_a})	
Menor mínima: médias mensais da temperatura (TM _{min_a})	

Temperatura média Anual (TMA)	
Amplitude térmica Anual (ATA)	

Fonte: Harris (1999, p. 104), adaptado pela autora (2021).

A amplitude térmica mensal se dá pela diferença entre a TM_{máx} e TM_{min} de cada mês. Além disso, a maior das médias mensais (TM_{máx_a}), bem como também a

menor (TM_{min_b}), devem ser anotadas, pois a média desses valores será utilizada para determinar a Temperatura média anual (TMA). Por último, a amplitude térmica anual (ATA) é obtida a partir da diferença entre a TM_{max_a} e a TM_{min_b} (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 11 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Umidade, Pluviosidade e Vento Dominante

Umidade relativa em %	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal pela manhã (URmax)												
Minima média mensal pela tarde (URmin)												
Umidade Relativa Média (URM)												
Grupo de umidade (GU)												

Pluviosidade em mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pluviosidade mensal (PL)												
Vento dominante												
Vento secundário												

Fonte: Harris (1999, p. 104), adaptado pela autora (2021).

A segunda parte da primeira tabela de Mahoney apresenta dados relativos à umidade, pluviosidade e vento dominante. Para o primeiro quadro, são recolhidos dados da máxima média mensal pela manhã (URmax) e da mínima média mensal pela tarde (URmin). A umidade relativa média (URM) é obtida através da média aritmética entre URmax e URmin. Para determinar a qual grupo de umidade (GU) cada parte pertence, é utilizada a tabela comparativa mostrada no Quadro 12 com quatro divisões de grupos de umidade, sendo eles o grupo 1, 2, 3 e 4 (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 12 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Determinação dos grupos de umidade

URM (%)	GU
< 30	1
30 - 50	2
50 - 70	3
> 70%	4

Fonte: Koenigsberger (1977, p. 250), adaptado pela autora (2021).

Depois disso são preenchidos os dados pluviométricos, anotando os valores mensais de pluviosidade (PL) em milímetros, para depois somá-los, para obter a pluviosidade anual. O último dado levantado nessa primeira parte das tabelas é relativo ao vento dominante e secundário de cada mês ao longo do ano (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Os limites de bem-estar são determinados através de uma carta para limites de conforto térmico, apresentadas no Quadro 13. Esse quadro se baseia na relação entre Temperatura média mensal e Grupo de umidade. Os limites de bem-estar para o dia e para a noite são determinados para todos os meses e aplicados no quadro seguinte (HARRIS; CHENG; CHEBEL, 2000).

Quadro 13 - Carta para os limites de conforto

URM (%)	GU	TMA > 20°C		15° ≤ TMA ≤ 20°C		TMA < 15°C		GH
		BE _{dia}	BE _{noite}	BE _{dia}	BE _{noite}	BE _{dia}	BE _{noite}	
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	
≤ 70	Seco	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19	Seco
> 70	Úmido	22-27	17-22	20-25	14-20	18-24	12-18	Úmido

Fonte: Alucci *et al.* (1986), citado por Harris, Cheng e Labaki (2000, p. 1135).

A segunda parte analisa os dados climáticos obtidos até então, dando um diagnóstico climático. A partir delas será possível detectar o rigor térmico pelo dia e pela noite (Quadro 14). A tabela desenvolvida em seguida é utilizada para se obter os limites de bem-estar e são baseados na relação entre a temperatura média anual (TMA) e o grupo de umidade (GU) (HARRIS; CHENG; CHEBEL, 2000).

O Quadro 14 é preenchido com a máxima média mensal (TM_{max}) para o período diurno e com a mínima média mensal (TM_{min}) para o período noturno, na primeira parte das tabelas de Mahoney. Depois disso, é necessário preencher as máximas do bem-estar para o dia (BE_{dia}) e para a noite (BE_{noite}), bem como as mínimas do bem-estar para o dia e para a noite, relacionando os valores de temperatura média anual (TMA) e do grupo de umidade (GU) que cada mês pertence (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 14 – Rigor Térmico

Solicitações térmicas pelo dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal da temperatura (TMmax)												
Máxima do bem-estar pelo dia												
Mínima do bem-estar pelo dia												
Rigor térmico pelo dia (RTdia)												

Solicitações térmicas pela noite	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mínima média mensal da temperatura (TMmin)												
Máxima do bem-estar pela noite												
Mínima do bem-estar pela noite												
Rigor térmico pela noite (RTnoite)												

Fonte: Harris (1999, p. 105), adaptado pela autora (2021).

Por fim, o rigor térmico para cada mês é definido, tanto para o período diurno (RTdia) quanto para o período noturno (RTnoite). Essa parte da tabela é preenchida com as letras Q, F e C. A primeira representa o rigor térmico “quente” e é utilizada para quando a Temperatura Média Mensal máxima ou mínima, for superior ao limite máximo de bem-estar. Caso a TM máxima e mínima estejam abaixo do limite mínimo de bem-estar, o rigor é “frio” e será representado pela letra F. Por último, caso a TM máxima e mínima estejam dentro dos limites de bem-estar, a situação é considerada como ‘Confortável’ (C) (HARRIS; CHENG; LABAKI, 2000).

A próxima tabela a ser preenchida, apresentada no Quadro 15, aponta os indicadores climáticos de umidade (H1, H2, H3) e de aridez (A1, A2, A3). Estes indicadores são definidos a partir das análises de temperatura média, umidade relativa e pluviosidade da região (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Ao longo dos 12 meses, deve-se verificar a existência ou não dos indicadores e ao final, faz-se a somatória do número de vezes que o indicador aparece ao ano, indicando assim, ao final, a frequência anual de cada indicador (Quadro 16). A análise dos resultados obtidos ao final da tabela deve ser realizada de forma integrada, pois

um único indicador não é capaz de apresentar uma solução do problema geral (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 15 - Indicadores detectados mês a mês

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Detectado
H1													
H2													
H3													
A1													
A2													
A3													

Fonte: Harris (1999, p. 106) adaptados pela autora (2021).

Quadro 16 - Indicadores de Umidade e Aridez para o Brasil

Indicador	Definição	Regras
H1	Movimento do ar essencial	Se RTdia = Quente e URM > 70%, então H1=1 ou Se RTdia = Quente, URM ≤ 70% e AT < 10°C, então H1=1
H2	Movimento do ar desejável	Se RTdia = Confortável e URM > 70%, então H2=1
H3	Proteção contra chuvas necessárias	Se PL > 200mm, então H3=1
A1	Armazenamento térmico necessário	Se URM ≤ 70% e AT ≥ 10°C, então A1=1
A2	Local para dormir ao ar livre	Se RTnoite = Quente e URM ≤ 70%, então A2=1 ou Se RT dia = Quente, RTnoite = Confortável, URM ≤ 70% e AT ≥ 10°C, então A2=1
A3	Proteção contra o frio	Se RTdia = Frio, então A3=1

Fonte: United Nations (1971) adaptado por Sena (2004 p. 29).

Por fim, na última parte das tabelas de Mahoney, são apresentadas as recomendações para as características arquitetônicas da edificação para aquela característica climática. Essas recomendações são agrupadas em itens e determinadas pela frequência dos indicadores que são apresentados no Quadro 17 (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971).

Quadro 17 - Recomendações para croquis

						Recomendação Para Croquis
F_{H1}	F_{H2}	F_{H3}	F_{A1}	F_{A2}	F_{A3}	
						Total detectado
Traçado						
			0 - 10			R1
			11 - 12		5- 12	
						0 - 4
Espaçamento						
11 – 12						R3
2 – 10						R4
0 - 1						R5
Movimento do ar						
3 – 12						R6
1 - 2			0 – 5			
			6 - 12			R7
0	2 – 12					
	0 - 1					R8
Aberturas						
			0 – 1		0	R9
			11 - 12		0 - 1	R10
Quaisquer outras condições						R11
Paredes						
			0 – 2			R12
			3 - 12			R13
Coberturas						
			0 – 5			R14
			6 - 12			R15
Dormir ao ar livre						
				2 - 12		R16
Proteção para chuvas						
		3 - 12				R17

Fonte: Mascaró (1983) adaptado por Harris (2004 p. 107).

A seguir são descritas as recomendações referentes aos tópicos para as características arquitetônicas (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; MASCARÓ, 1978; UNITED NATIONS, 1971). São eles:

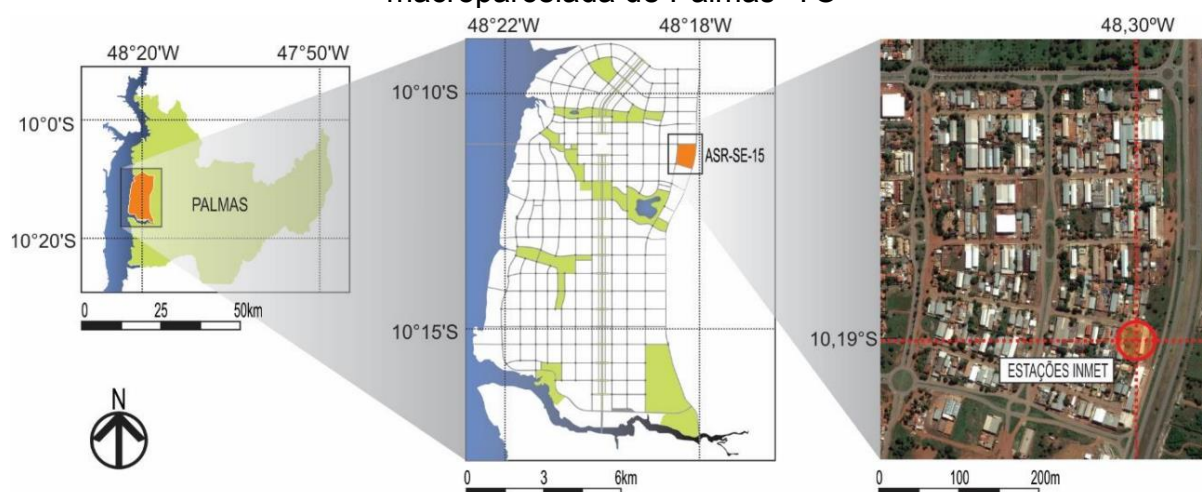
- **Traçado**
 - R1 - Edifícios orientados sobre o eixo N-S para reduzir a exposição ao sol;
 - R2 - Planificação compacta com quintal;
- **Espaçamento**
 - R3 - Espaço aberto para penetração de brisa;
 - R4 - Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção do vento quente ou frio;
 - R5 - Planificação compacta;
- **Movimento do ar**
 - R6 - Habitações em fileira única. Dispositivo permanente para o movimento do ar;
 - R7 - Habitações em fileira dupla com dispositivo temporal para o movimento do ar;
 - R8 - Não é necessário o movimento do ar;
- **Aberturas**
 - R9 - Aberturas grandes, 40-80% parede N e S;
 - R10 - Aberturas muito pequenas, 10-20%;
 - R11 - Aberturas medianas, 20-40%;
- **Paredes**
 - R12 - Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica;
 - R13 - Paredes pesadas, interiores e exteriores;
- **Coberturas**
 - R14 - Coberturas isoladas leves;
 - R15 - Coberturas pesadas; mais de 8 horas de transmissão térmica;
- **Para dormir ao ar livre**
 - R16 - Espaço necessário para dormir ao ar livre;
- **Proteção contra a chuva**
 - R17 - Necessidade de proteção contra a chuva intensa.

Dentre os trabalhos mais recentes com o método de Mahoney, o professor Dr. Leandro Carlos Fernandes, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (PPGEC/UFPR), desenvolveu uma planilha eletrônica com *input* de dados horários de estações meteorológicas automáticas, e *output* de todas as tabelas de Mahoney (FERNANDES, 2021). A planilha foi utilizada como base, sendo adaptada para a presente pesquisa.

3.2.3 Coleta e Análise dos dados

A cidade de Palmas-TO (e seu entorno imediato) possui seis estações meteorológicas que fornecem dados a serem utilizados nesta pesquisa, mas poucas tem disponibilidade automática de dados. Dentre elas, as estações do INMET e do projeto SONDA são as que disponibilizam dados *online*, no entanto, esta última está com dados indisponíveis desde 2016. O INMET possui duas estações, automática e convencional, a primeira com dados horários, e a segunda com dados mensais, diários e horários-padrão (00, 12 e 18h UTC). Para *input* na planilha desenvolvida por Fernandes (2021), foi selecionada a estação automática, por apresentar todos os dados necessários a esta planilha. A estação automática do INMET (código INMET A009, código OMM 86607) foi instalada em 16 de dezembro de 2004 na Quadra ASR-SE-15, Rua SR 07, Plano Diretor Sul, Palmas-TO, com latitude $10,19^\circ$ sul, longitude $48,3^\circ$ oeste e 280m de altitude (INMET, 2021). A Figura 17 apresenta a localização da estação dentro da cidade objeto de estudo.

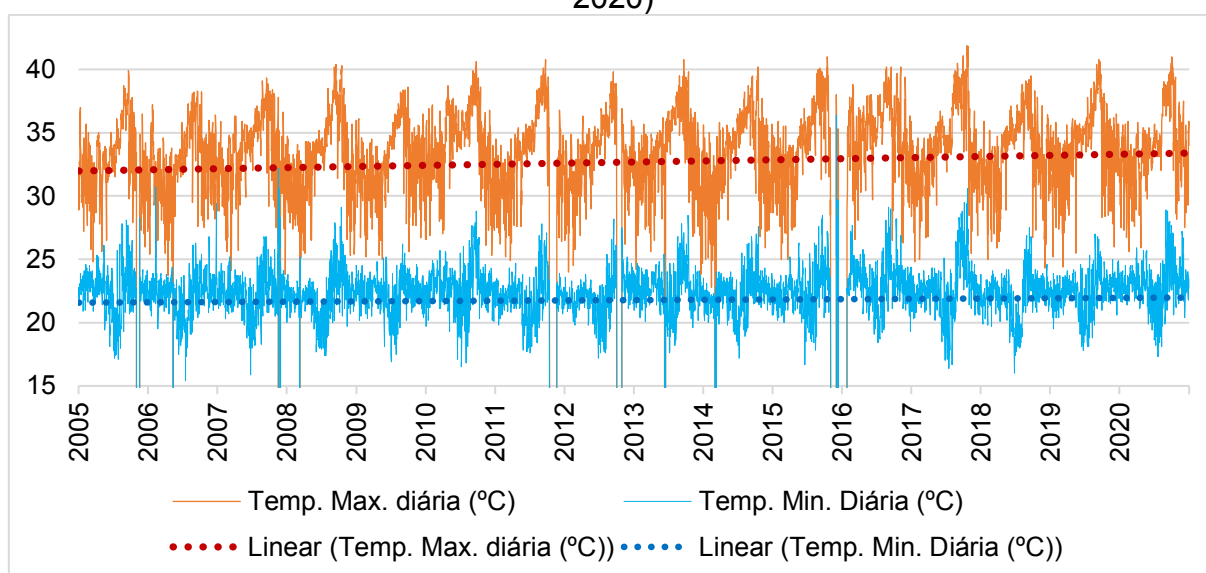
Figura 17 – Localização das estações meteorológicas do INMET na área macroparcelada de Palmas-TO



Fonte: Palmas (2017); Google (2017), organizado por Silva (2018).

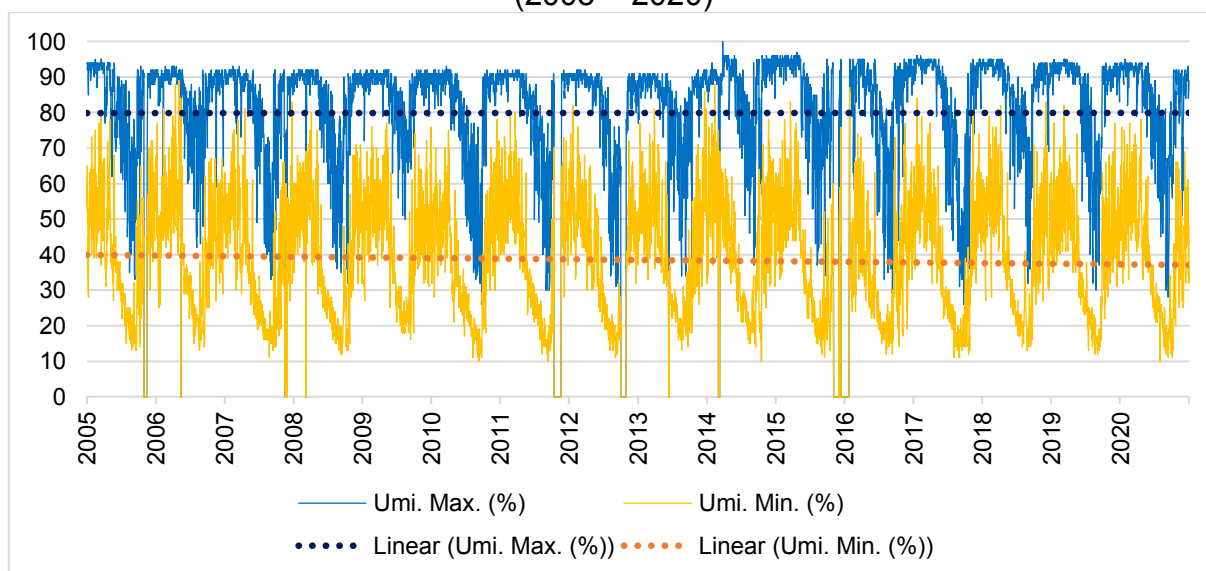
Na planilha desenvolvida por Fernandes (2021), devem ser inseridos dados horários brutos de um ano completo. Seleccionada a estação, restou escolher o ano mais representativo para inserção na planilha. Para isso, foram coletados os dados de todos os anos disponibilizados no site do INMET (2021), ou seja, desde 2004 até os dias atuais. Os dados de temperatura e umidade (máxima e mínima) de anos inteiros (2005 a 2020) foram dispostos em um gráfico de linhas, como apresentado na Figura 18 e Figura 19, a seguir:

Figura 18 – Temperaturas máximas e mínimas registradas em Palmas–TO (2005-2020)



Fonte: INMET (2021), organizado pela autora (2021).

Figura 19 – Umidades relativas máximas e mínimas registradas em Palmas–TO (2005 – 2020)



Fonte: INMET (2021), organizado pela autora (2021).

A partir dos gráficos, e das linhas de tendência geradas, foi possível observar que há uma tendência crescente das temperaturas, principalmente das máximas, e decrescente da umidade relativa, principalmente das mínimas, tendência esta já identificada por Silva (2018) em sua tese. Por este motivo, foi definido que seriam selecionados anos mais recentes, no entanto, também foi possível perceber no gráfico que os anos de 2016 e 2017 apresentam distorções em relação aos demais, com maior elevação de temperaturas. Isso se deve aos efeitos do “*El Niño*” mais severo até hoje registrado (NOAA/NWS/CPC, 2021), entre os anos de 2015 e 2016, com forte repercussão ainda no ano seguinte, 2017 sendo, portanto, descartados por se caracterizarem como fora do habitual. Dentre os demais anos mais recentes, 2018 a 2020, o ano que apresentou dados mais completos, com menor número de lacunas, foi o ano de 2020, sendo este selecionado para a presente pesquisa.

Depois de coletados os dados da cidade objeto de estudo deste trabalho, foram aplicados os processos da tabela de Mahoney, e levantados os respectivos dados das normas. Após finalizada essa etapa, foram geradas tabelas contendo os resultados de cada um dos métodos, de modo que esses valores pudessem ser comparados para que fosse possível chegar a uma conclusão sobre o método que melhor se aplica a cidade de Palmas–TO e região.

A partir dessa comparação os questionamentos iniciais que foram levantados no começo deste trabalho foram sanados e foi possível alcançar a conclusão da pesquisa de modo satisfatório, respeitando a metodologia estabelecida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos a seguir foram sintetizadas as diretrizes da NBR 15.220 e da NBR 15.575 para a Zona Bioclimática 7 e preenchimento das tabelas de Mahoney com os dados climáticos atualizados de Palmas, afim de comparar os resultados. Em seguida são apresentadas as tabelas comparativas para obtenção das análises necessárias.

4.1 Resultados de cada método de análise de conforto térmico

4.1.1 Síntese das recomendações para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220

O Quadro 18, o Quadro 19 e o Quadro 20, retirados da terceira parte da norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), trazem as recomendações para a zona 7 onde se localiza a cidade de Palmas–TO. Esses quadros foram utilizados para realizar a análise qualitativa desta pesquisa.

Quadro 18 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 8).

Quadro 19 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Vedações Externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 8).

Quadro 20 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Nota: Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 8).

O Quadro 20, que traz recomendações de condicionamento térmico passivo, traz sugestões para o período de verão, como a desumidificação do ambiente com a renovação do ar interno por ar externo com ventilação seletiva e o resfriamento evaporativo através do uso de vegetações, fontes de água ou outras soluções para resfriar o ambiente diretamente (ROCHA, 2019).

A partir dos dados disponibilizados na NBR 15.220 (ABNT, 2005) foi elaborado um resumo com recomendações para a cidade de Palmas–TO, no que tange as indicações qualitativas e quantitativas (Quadro 21 e Quadro 22):

Quadro 21 – Recomendações qualitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)

RECOMENDAÇÕES QUALITATIVAS	
Aberturas	Pequenas e sombreadas ($10 < A < 15\%$)
Paredes	Pesada
Cobertura	Pesada
Ventilação	Seletiva

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 8), adaptada pela autora (2021).

Quadro 22 – Recomendações quantitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Vedações Externas		Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – ϕ (Horas)	Fator Solar – Fso (%)
Paredes	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 3,5$
Coberturas	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 6,5$

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005, p. 17), adaptada pela autora (2021).

4.1.2 Síntese das recomendações para a Zona Bioclimática 7, segundo a NBR 15.575

A partir dos dados disponibilizados pela NBR 15.575 (ABNT, 2021) foi elaborado um resumo com recomendações para a cidade de Palmas–TO zona bioclimática 7, descrito no Quadro 23.

Quadro 23 – Recomendações quantitativas para a Cidade de Palmas–TO, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2021)

	Transmitância térmica – U W/m ² .K	Capacidade térmica – CT
Paredes	$U \leq 3,7$ para $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 2,50$ para $\alpha > 0,6$	$CT \geq 130$
Coberturas	$U \leq 2,30$ FT para $\alpha \leq 0,4$ ou $U \leq 1,5$ FT para $\alpha > 0,4$	-

Fonte: NBR 15.575-5 (ABNT, 2021, p. 52), adaptada pela autora (2021).

4.1.3 Tabelas de Mahoney

Depois de definido o período de estudo, as tabelas de Mahoney foram preenchidas e os resultados são apresentados nos quadros a seguir.

Quadro 24 - Parte 01 das tabelas de Mahoney – Temperatura – Palmas–TO, 2020

Local	Palmas–TO	Latitude	-10,19°
Altitude	280	Longitude	-48,3°

Temperatura média em °C	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal da temperatura (TM _{max})	31,0	31,0	31,0	31,7	32,7	33,2	33,9	35,8	37,5	35,5	33,0	32,5
Mínima média mensal da temperatura (TM _{min})	22,9	23,1	23,4	23,1	23,5	22,6	21,3	22,6	25,7	24,3	24,0	23,0
Amplitude térmica mensal (AT)	8,7	7,9	7,5	8,4	9,2	10,6	12,7	13,1	11,9	11,3	9,1	9,4

Maior máxima: médias mensais da temperatura (TM_{max})	37,5
Menor mínima: médias mensais da temperatura (TM_{min})	21,3

Temperatura média Anual (TMA)	29,4
Amplitude térmica Anual (ATA)	16,3

Fonte: Fernandes (2021), adaptada pela autora (2021).

Quadro 25 – Parte 2 das tabelas de Mahoney – Umidade, Pluviosidade e Vento Dominante – Palmas–TO, 2020

Pluviosidade em mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pluviosidade mensal (PL)	378	208	167	319	88	0	0	0	1	132	67	193
Vento dominante	NNW	NNE	NE	SE	E	E	E	E	E	NNE	E	SSE
Vento secundário	N	N	NNE	E	SE	ESE	ESE	ENE	ENE	N	ENE	N

Umidade relativa em %	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal pela manhã (UR _{max})	90,9	90,1	90,0	94,6	92,8	92,2	89,3	90,9	88,7	90,5	88,3	83,5
Mínima média mensal pela tarde (UR _{min})	59,2	60,3	54,0	58,5	53,8	60,4	42,0	55,2	60,7	65,2	62,0	50,6
Umidade Relativa Média (URM)	75	75	72	77	73	76	66	73	75	78	75	67
Grupo de umidade (GU)	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3

Fonte: Fernandes (2021), adaptada pela autora (2021).

Quadro 26 – Rigor Térmico – Palmas–TO, 2020

Solicitações térmicas pelo dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal da temperatura (TMmax)	31,5	31,0	31,0	31,7	32,7	33,2	33,9	35,8	37,5	35,5	33,0	32,5
Máxima do bem-estar pelo dia	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	29,0	27,0	27,0	27,0	27,0	29,0
Mínima do bem-estar pelo dia	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	23,0	22,0	22,0	22,0	22,0	23,0
Rigor térmico pelo dia (RTdia)	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q

Solicitações térmicas pela noite	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mínima média mensal da temp. (TMmin)	22,9	23,1	23,4	23,1	23,5	22,6	21,3	22,6	25,7	24,3	24,0	23,0
Máxima do bem-estar pela noite	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	23,0	21,0	21,0	21,0	21,0	23,0
Mínima do bem-estar pela noite	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Rigor térmico pela noite (RTnoite)	Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	Q	Q	Q	Q	Q

Fonte: Fernandes (2021), adaptada pela autora (2021).

Quadro 27 - Indicadores detectados mês a mês – Palmas–TO, 2020

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Detectado
H1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	11
H2													0
H3	1	1		1									3
A1							1						1
A2							1					1	2
A3													0

Fonte: Fernandes (2021), adaptada pela autora (2021).

A partir das planilhas preenchidas, foi possível obter as seguintes recomendações segundo as tabelas de Mahoney para as construções realizadas na cidade de Palmas–TO:

- **Traçado**
 - R1 - Edifícios orientados sobre o eixo N-S para reduzir a exposição ao sol;
- **Espaçamento**
 - R3 - Espaço aberto para penetração de brisa;
- **Movimento do ar**
 - R6 - Habitações em fileira única. Dispositivo permanente para o movimento do ar;
- **Aberturas**
 - R9 - Aberturas grandes, 40-80% parede N e S;
- **Paredes**
 - R12 - Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica;
- **Coberturas**
 - R14 - Coberturas isoladas leves;
- **Para dormir ao ar livre**
 - R16 - Espaço necessário para dormir ao ar livre;
- **Proteção contra a chuva**
 - R17 - Necessidade de proteção contra a chuva intensa.

De acordo com os dados climáticos da cidade objeto de estudo deste trabalho, a recomendação quantitativa indicada pelo método de Mahoney para as envoltórias das edificações localizadas na região é de paredes leves e para coberturas leves e bem isoladas. No Quadro 28, são apresentados os valores limites que são indicados para essas recomendações.

Quadro 28 - Valores limites para as características termofísicas segundo Mahoney

PAREDES			
Leve	$U \leq 2,80$	$FS_o \leq 4,0$	$\phi \leq 3,0$
COBERTURAS			
Leve e bem isolada	$U \leq 0,85$	$FS_o \leq 3,0$	$\phi \leq 3,0$

Fonte: United Nations (1971, p.82) adaptado pela autora (2021).

4.2 Análise qualitativa dos métodos utilizados

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) disponibiliza para a zona bioclimática 7, as seguintes recomendações, dispostas no Quadro 29. Juntamente a elas, são apresentadas parte das recomendações disponibilizadas a partir das tabelas de Mahoney.

Quadro 29 – Recomendações segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e Mahoney

	RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS	
	NBR 15.220 (ABNT, 2005)	Mahoney
Aberturas	Pequenas (10 a 15%) e sombreadas	Grandes (40 a 80%) em parede N e S.
Paredes	Pesada	Leves com curto tempo de transmissão térmica
Cobertura	Pesada	Isoladas e leves
Movimento do ar	Ventilação seletiva	Habitações em fileira única; espaço aberto para penetração de brisa

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Essas indicações foram dispostas de modo que para característica construtiva são apresentadas as recomendações disponibilizadas por cada um dos métodos utilizados na análise qualitativa. É possível observar que as sugestões das duas metodologias são contrárias entre si, apresentando propostas divergentes.

As demais recomendações indicadas a partir das tabelas de Mahoney não estão dispostas no quadro uma vez que a NBR 15.220 (ABNT, 2005) não oferece informações ou indicações de soluções construtivas equivalentes para que seja possível realizar uma comparação completa destas indicações.

4.3 Análise quantitativa dos métodos utilizados

A seguir são apresentadas as tabelas com os resumos dos valores limites para transmitância térmica, atraso térmico, fator solar e capacidade térmica disponibilizados pelas normas NBR 15.220 (ABNT, 2005), NBR 15.575 (ABNT, 2021) e Mahoney para envoltórias e em seguida para coberturas.

Para que esse estudo pudesse ser realizado de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2021) para a análise em questão, foi considerada como padrão construtivo paredes e coberturas claras e, portanto, com a absorvância à radiação solar de $\alpha = 0,20$ segundo a norma.

Quadro 30 – Valores limites para as características termofísicas de envoltórias

	Transmitância térmica – U W/m².K	Atraso térmico – ϕ	Fator Solar – Fso	Capacidade térmica - CT
NBR 15.220 (ABNT, 2005)	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 3,5$	-
NBR 15.575 (ABNT, 2021)	$U \leq 3,7$ para $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 2,50$ para $\alpha > 0,6$	-	-	$CT \geq 130$
Mahoney	$U \leq 2,80$	$\phi \leq 3,0$	$F_{so} \leq 4,0$	-

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A partir da disposição das informações acima a respeito dos valores limites para os diferentes métodos de análise de conforto térmico, analisando os dados recomendados para a região bioclimática 7, região essa onde se localiza a cidade de Palmas–TO, é possível observar que a NBR 15.220 (ABNT, 2005) apresenta o menor valor de transmitância térmica. Essa tolerância se refere aos limites de quanto um componente construtivo conduz de calor e, levando em consideração o clima da região, é indicado transmitâncias térmicas mais baixas.

Também é possível observar que a recomendação de Mahoney apresenta o menor atraso térmico em relação aos outros métodos. Altos valores de atraso térmico são indicados para regiões desérticas, que apresentam baixos níveis de umidade. Uma vez que a cidade não se localiza dentro de regiões desérticas, não há necessidade de altos valores de atraso térmico como é disposto na NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Por último, é possível realizar uma análise voltada para as indicações de limites para fator solar, onde a NBR 15.220 (ABNT, 2005) apresenta um limite menor em relação a recomendação indicada por Mahoney. O fator solar indica a razão entre o ganho de calor que entra em um ambiente através de uma abertura e a radiação que incide nessa abertura.

A respeito da capacidade térmica, a única metodologia que apresenta valores para essa variável é a NBR 15.575 (ABNT, 2021), o que impossibilita que haja estudo comparativo para esse dado.

Quadro 31 – Valores limites para as características termofísicas de coberturas

	Transmitância térmica – U W/m².K	Atraso térmico – φ	Fator Solar – Fso
NBR 15.220 (ABNT, 2005)	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$F_{so} \leq 6,5$
NBR 15.575 (ABNT, 2021)	$U \leq 2,30FT$ para $\alpha \leq 0,4$ ou $U \leq 1,5FT$ para $\alpha > 0,4$	-	-
Mahoney	$U \leq 0,85$	$\varphi \leq 3,0$	$F_{So} \leq 3,0$

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A recomendação indicada pelo método de Mahoney para coberturas das edificações localizadas na região são leves e bem isoladas. A partir disso, é possível observar com os quadros que para a cobertura a ser utilizada na região, que o método de Mahoney apresenta recomendações mais conservadoras em todos os aspectos de conforto térmico.

A partir do disposto acima, é possível observar que as normas utilizadas no Brasil para análise de conforto térmico apresentam dados divergentes a respeito dos valores limites de conforto térmico para as mesmas zonas bioclimáticas ou ainda não apresentam recomendações referentes a alguns limitantes térmicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MMT, utilizado no trabalho em questão apresentou dados mais coerentes com o clima da cidade quando confrontado com as recomendações construtivas em relação à NBR 15.220 (ABNT, 2005). Além disso, este método estrangeiro disponibilizou muito mais indicações de edificação, orientando melhor e dando respaldo necessário para escolhas construtivas de quem se utiliza deste método de análise de conforto térmico.

Já quando as normas brasileiras são confrontadas com as recomendações disponibilizadas pelo método de Mahoney dentro da análise quantitativa, mesmo quando esse último método apresenta valores específicos de limites térmicos acima do recomendado pelas normas brasileiras, uma vez analisados todos os resultados de forma conjunta, ele oferece recomendações mais congruentes e dentro do esperado para o clima da região de Palmas–TO.

De posse dessas análises é possível concluir que o método de Mahoney tradicional se adapta e disponibiliza recomendações e limites de conforto mais congruentes e mais próximos a realidade da cidade do que as normas brasileiras que hoje se encontram em vigor no território nacional.

Houveram dificuldades no momento da realização do estudo em questão, quanto a obtenção de informações da cidade. A caracterização do clima da cidade de Palmas–TO é escassa e carece de mais estudos e informações, o que acaba por dificultar as recomendações construtivas para essa região. Uma vez que esses dados climáticos são de difícil acesso, pesquisas direcionadas para o clima podem apresentar falhas ou discordâncias. A pesquisa foi realizada utilizando dados mais recentes da cidade e de um único ano, o que pode levar os resultados a serem divergentes de apurações obtidas quando utilizados dados climáticos mais antigos.

Outra dificuldade encontrada no momento da realização da pesquisa foi a discordância entre os resultados obtidos a partir das normas NBR 15.575 (ABNT, 2021) e NBR 15.220 (ABNT, 2005). Uma vez que ambas as normas são empregadas dentro do território brasileiro, o correto seria que ambas apresentassem dados

conjuntos ou similares, de modo a não deixar margem de incerteza para os valores limites de conforto térmico e o que se mostrou com o estudo foi o oposto ao esperado.

Além disso, a NBR 15.220 (ABNT, 2005) apresenta recomendações construtivas na parte de análise qualitativa para a zona bioclimática 7 que se mostram não indicadas para a realidade do clima da região, como paredes e cobertura pesadas e aberturas de ventilação pequenas, reforçando mais uma vez a necessidade de se reavaliar as recomendações que estão dispostas em ambas as normas.

Por fim, a falta de clareza de informações a respeito do clima da cidade de Palmas–TO, bem como sobre a execução do MMN e suas tabelas levou esse procedimento de análise a ser dispensado nesta pesquisa.

Este trabalho se agrega aos demais trabalhos voltados para a análise de conforto térmico na cidade de Palmas–TO e regiões de clima semelhante, podendo servir como parâmetro e fonte de análise para futuras pesquisas que abordem os aspectos debatidos aqui. A partir desta, foi possível aferir as recomendações para climas com características próximas ao da cidade objeto de estudo além de apresentar de forma crítica os pontos a serem melhorados nas normas brasileiras, no que tange aos limites térmicos para a região bioclimática 7.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Desempenho térmico de edificações - Parte 1 - Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Desempenho térmico de edificações - Parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Desempenho térmico de edificações – Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220:** desempenho térmico e edificações – Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220:** desempenho térmico e edificações – Parte 4 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220:** desempenho térmico e edificações – Parte 5 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

BEZERRA, N. A. P. **A migração em Palmas/TO:** a felicidade no imaginário social. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, TO, 2013.

CAMPOS, S. **Palácio Araguaia.** 1991. 1 fotografia.

CARDOSO, M. G. P.; REIS, P. O. B. dos. **Arquitetura em Palmas–TO:** Considerações sobre uma modernidade extemporânea. ISAMA – Seminário de arquitetura moderna na Amazônia. 2016.

CARVALHÊDO, W. S.; LIRA, E. R.; Palmas Ontem e Hoje: Do interior do Cerrado ao Portal da Amazônia. **Observatorium:** Revista Eletrônica de Geografia. 51f. Julho de 2009. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/44044>. Acesso em: 29 ago. 2021.

CARVALHO, G. O. M.; BRITO, F. P.; SANTOS, R. 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_nne tradição nativa universalidade conservação.

CARVALHO, G. O. M.; PEREIRA, O. C. M.; SANTOS, M. A. PALMAS EM TRÊS ATOS: projeto urbanístico, implantação e consolidação da capital do Tocantins. **Revista Observatório**, Palmas, v. 4, n. 2, p. 236-264, abr-jun. 2018.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

COCOZZA, G. P. **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.

CORDOVIL, L. A. B. L. **Estudo da ABNT NBR 15.575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. Trabalho de Graduação. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CORIOLO, G. P. Palmas: entre o planejamento e a exclusão. *Minha Cidade*, São Paulo, ano 11, n. 122.03, **Vitruvius**, set. 2010. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/11.122/3587>. Acesso em: 07 set. 2021.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. Comparação de desempenho de envoltórias recomendadas por normas de desempenho e Mahoney. **Anais... Encontro Nacional**, 13, IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 9. Campinas, 2015.

FERNANDES, L. C. **Método de Mahoney Tradicional**. Planilha eletrônica. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350052958_TABELAS_DE_MAHONEY_13-03-2021. Acesso em: 15 nov. 2021.

FRANZONI, R. M. **Análise Climática: O Método De Mahoney**. Centro universitário INGÁ – Engenharia Civil. 2013.

FREITAS, T. P. F.; SOUZA, L. B. Aspectos do clima urbano de Palmas–TO no episódio de outono-inverno. **Caminhos de Geografia** – revista online. Programa de Pós-graduação em Geografia. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>. 12f. Julho de 2016.

FREITAS, T. P. F. **O campo térmico de Palmas/TO em episódios de primavera-verão e de outono-inverno: contribuições ao planejamento urbano**. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7. ed. São Paulos: Studio Nobel, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **ESTUDOS AVANÇADOS**, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/tk9tsKdqdkSy3CzMf58V9bw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 set. 2021.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. 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.

GRUPOQUATRO. **Plano Diretor de Palmas**. Palmas, 1988. Disponível em: <http://grupoquatro.com.br/portfolio/plano-diretor-palmas/>. Acesso em: 05 set. 2021.

GRUPOQUATRO. **Assembleia Legislativa**. Disponível em: <http://grupoquatro.com.br/portfolio/assembleia-legislativa>. Acesso em: 09 nov. 2021.

HARRIS, A. L. N. C. **Metodologias baseadas na Teoria dos Sistemas Nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o tratamento das informações subjetivas do Projeto Arquitetônico**. São Paulo, 1999. 160p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HARRIS, A. L. N. C. **A teoria dos sistemas nebulosos no tratamento dos parâmetros subjetivos do projeto arquitetônico – os limites de conforto**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. 2002.

HARRIS, A. L. N. C.; CHENG, L.; CHEBEL, L. L. **Remodelagem dos grupos climáticos dos “quadros de Mahoney” utilizando a teoria dos sistemas nebulosos**. 08/2000, CIENTÍFICO NACIONAL, NUTAU'2000 - Tecnologia e Desenvolvimento, Vol. S/N, São Paulo, SP, BRASIL, 2000.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to/palmas.html?>. Acesso em: 22 ago. 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br>. Acesso em: 08 set. 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sonda – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/palmas.html>. Acesso em: 25 ago. 2021.

KAHLMAYER-MERTENS, R. S.; FUMANGA, M.; TOFFANO, C. B.; SIQUEIRA, F. **Como elaborar projetos de pesquisa** linguagem e método. Rio de Janeiro: FGV. 2007.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15.575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>. Acesso em: 14 set. 2021.

KOENIGSBERGER, O. H. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Paraninfo, 1977.

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

LUZ, L. F. R. **Mapeamento da temperatura da superfície continental do perímetro urbano de PALMAS/TO a partir de imagens LANDSAT-8** Monografia. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, UFT, Palmas, 2019.

MASCARÓ, L. E. A. R. **Luz, clima e arquitetura**. São Paulo: FAU/USP, 1978.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**, 2ª edição, Sagra-DC Luzzatto, Porto Alegre, 1992.

MORAES, O. B.; TORRES, S. C.; FREITAS, R. O método de caracterização climática de Mahoney remodelado e os avanços para obtenção de recomendações de adequação climática de edificações: um estudo em cidade no agreste do Nordeste Brasileiro. **Anais...** Congresso Luso Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável, 7, Maceió, 2016.

NOAA/NWS/CPC. CENTRO DE PREVISÃO DO CLIMA. Episódios históricos de El Niño / La Niña (1950 - presente). Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

NUNES, I. H. O.; CARREIRA, L. R. M.; RODRIGUES, W. A arquitetura sustentável nas edificações urbanas: uma análise econômico-ambiental. **Arquitetura revista online** - Volume 5, nº 1:25-37. Janeiro/junho 2009. Disponível em: <http://www.revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4800/2062>. Acesso em: 13 set. 2021.

OLIVEIRA, L. S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15.220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. Pós-Graduação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

PAZ, L. H. F. **A influência da vegetação sobre o clima de Palmas -TO**. 2009. 169f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, UNB, Brasília, 2009.

PREFEITURA DE PALMAS. **Conheça Palmas**. Disponível em: https://portalantigo.palmas.to.gov.br/conheca_palmas/. Acesso em: 22 ago. 2021.

REZENDE, M. D. S. **GRUPOQUATRO: trajetória profissional na arquitetura e no urbanismo (1972-1990)**. 2019. 155f. Dissertação. Pós-graduação em Projeto e Cidade, Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, 2019.

ROCHA, Nicole Giovana Menezes. **O uso da IoT para monitoramento do desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas/TO, à luz da norma de desempenho NBR 15.575**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2019.

SANTOS, R. S. **arquitetura e clima local: relações entre orientação solar, tipos de tempo e conforto térmico em edifícios habitacionais na cidade de Palmas–TO**. 2020. 143f. Dissertação. Pós-graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, UFT, Palmas, 2020.

SENA, C. B. **Análise comparativa entre o método de Mahoney Tradicional e o método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto**

arquitetônico. Dissertação. Mestrado em Engenharia da Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2004.

SILVA, L. F. G. **Percepção climática e conforto térmico:** contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO. 2018. 550 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. A atuação dos ventos em Palmas, TO. In: Gomes, Ingrid Aparecida. **A geografia na contemporaneidade.** Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018a, cap. 18, p. 217-228.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. Análise Rítmica Microclimática em estudos de conforto térmico: Proposta para seleção de períodos-padrão. **Revista de Geografia – PPGeo – UFJF** – Volume 8, nº 2. dezembro 2018b. Disponível em: <https://geografia.ufjf.emn.uvens.com.br/geografia>. Acesso em: 18 nov. 2021.

SOUZA, E. S. SILVA, R. A.; MACIEL, G. F.; NUNES, R. G.; BORGES, F. W. Estudo da variabilidade interanual da temperatura do ar e precipitação pluviométrica na cidade de Palmas–TO no período de 1995 a 2009. **Anais...** Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17, Guarapari - ES. 2011.

SOUZA, J. L. P. **Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em novo Hamburgo/RS.** 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **Climate and House Design:** Design of low-cost housing and community facilities. New York: 1971. 1v.

VELASQUES, A. B. A. **A ‘última capital planejada do século XX’:** o projeto de Palmas e sua condição moderna. 2010. 18f.