



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

CASSANDRA SILVA MAIA

**RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS
BIOCLIMÁTICAS EM PALMAS – TO**

PALMAS

2020

CASSANDRA SILVA MAIA

**RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS
BIOCLIMÁTICAS EM 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.

PALMAS

2020

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

M217r Maia, Cassandra Silva
 RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
 CONSTRUTIVAS BIOCLIMÁTICAS EM PALMAS – TO / Cassandra
 Silva Maia. – Palmas, TO, 2020.
 86 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2020.

Orientadora: Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. Estratégias Bioclimáticas. 2. Arquitetura Bioclimática. 3. Clima
de Palmas. 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 autorizado 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).

CASSANDRA SILVA MAIA

**RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS
BIOCLIMÁTICAS EM PALMAS – TO**

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

Aprovado em: ____/____/____

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)

Prof. Me. Thyago Phellip França Freitas
Centro de Ensino Superior de Palmas (CESUP)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todo amparo fornecido nos momentos difíceis, por estar sempre me protegendo e guiando meu caminho, e por ter me dado a força necessária para lutar, não fraquejar e vencer mais essa etapa da vida, almejada não só por mim, mas também pelos meus familiares.

Aos meus pais, José Jucicleudo e Maria Claudia, por sempre me incentivarem a ser uma boa aluna, estudiosa e respeitosa com os professores, mesmo que a distância nessa etapa, a luta deles para que eu chegasse até aqui foi em dobro, assim como o apoio e compreensão.

À minha irmã, Camila, pelo companheirismo e pela paciência.

Aos meus amigos, que se tornaram minha segunda família e ajudaram a diminuir a saudade de casa. Agradeço por todo apoio nos momentos difíceis e agradeço ainda mais pelos muitos momentos felizes.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Liliane Flávia Guimarães, por ter compartilhado comigo seu conhecimento, por ser sempre tão simpática, gentil, prestativa e atenciosa, obrigada por me salvar dos desesperos que às vezes esse trabalho causou. Agradeço por poder ter tido a oportunidade de reconhecer a mulher maravilha que é, não só como profissional, mas também como mãe e esposa, sem dúvida, um espelho de mulher a ser seguido.

Aos componentes da banca, Prof^a Dr^a Elen Oliveira e Prof. Me. Thyago Phellip França, pela simpatia, ajuda e orientações enriquecedoras para esse trabalho.

Ao IFTO, pelos inúmeros benefícios proporcionados.

“O edifício bom não é o que fere a paisagem, mas sim aquele que a torna mais
bonita do que era antes dele ser construído”
Frank Lloyd Wright.

RESUMO

O clima na cidade de Palmas - TO é caracterizado como tropical, dividido em um período quente e úmido e outro quente e seco, com temperaturas elevadas o ano inteiro. Diante disso, percebe-se a necessidade de associação do clima à busca de soluções projetuais que proporcionem melhorias para o conforto térmico às edificações na cidade, que podem ser adotadas através de estratégias bioclimáticas que resultam em benefícios como eficiência energética e desempenho térmico das habitações, vinculados à arquitetura bioclimática. O estudo desse trabalho é primordial para acréscimo do acervo bibliográfico acerca da análise dinâmica do clima, uma vez que bibliografias relacionadas à série de estados atmosféricos são consideradas escassas na região. Os resultados apresentados foram obtidos através da análise da comparação dos gráficos gerados pelos dados dos programas Analysis Bio® e *Climate Consultant*® inseridos no gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas – TO, ano 2013, com as indicações construtivas para a zona bioclimática de Palmas, de acordo com a ABNT NBR 15220 (2003). Por fim, verificou-se que a simples aplicação das diretrizes de projeto desta norma não atende totalmente às necessidades do clima de Palmas e, em geral, os *softwares* indicaram o uso das estratégias de “Sombreamento”, “Ventilação”, “Resfriamento evaporativo” e “Alta inércia térmica”. No entanto, o uso de alta massa térmica só é recomendado com alto sombreamento, evitando o sobreaquecimento destes elementos construtivos.

Palavras-chave: Estratégias Bioclimáticas. Arquitetura Bioclimática. Conforto Térmico. Clima de Palmas. Zonas Bioclimáticas.

ABSTRACT

The climate in the city of Palmas, state of Tocantins, Brazil, is characterized as tropical and divided into a hot and humid period and other a hot and dry one, with high temperatures all year round. Therefore, there is a need to associate the climate with the search for design solutions that provide improvements for thermal comfort to buildings in Palmas, which can be adopted through bioclimatic strategies that result in benefits such as energy efficiency and thermal performance of homes, linked to bioclimatic architecture. The study of this work is essential for adding to the bibliographic collection about the dynamic analysis of the climate, since bibliographies related the series of atmospheric states about a given place in its usual succession are considered scarce in the region. The results presented were obtained through the analysis of the comparison of the graphs generated through data from the Analysis Bio® and Climate Consultant® programs inserted in the graph of rhythmic analysis of the city of Palmas, year 2013, with the constructive indications for the bioclimatic zone de Palmas, according to ABNT NBR 15220 (2003). Lastly, it was found that the simple application of the design guidelines of this standard does not fully meet the needs of the climate of Palmas and in general, the software indicated the use of the strategies of "Shading", "Ventilation", "Evaporative cooling" and "High thermal inertia". However, the use of high thermal mass is only recommended with high shading, avoiding the overheating of these buildings elements.

Keywords: Bioclimatic Strategies. Bioclimatic Architecture. Thermal comfort. Climate of Palmas. Bioclimatic Zones.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa dos climas do Brasil segundo Köppen.....	21
Figura 2 - Domínios climáticos segundo Strahler e massas de ar atuantes.....	22
Figura 3 - Normais parciais de temperatura anual em Palmas (1995-2009).....	24
Figura 4 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas.	25
Figura 5 - Diagrama bioclimático de Olgyay para Phoenix.	34
Figura 6 - Carta bioclimática de Givoni (adotada no Brasil).	36
Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro.	41
Figura 8 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI.	42
Figura 9 - Zona de conforto.	43
Figura 10 - Ventilação	43
Figura 11 - Ventilação por efeito chaminé.	44
Figura 12 - Aplicabilidade da ventilação natural em Palmas.....	45
Figura 13 - Zona de resfriamento evaporativo.	46
Figura 14 - Zona de inércia térmica para resfriamento.	47
Figura 15 - Aplicabilidade de inércia térmica em Palmas.	47
Figura 16 - Zona de resfriamento artificial.	48
Figura 17 - Zona de umidificação.	49
Figura 18 - Zona de inércia térmica e aquecimento solar.	49
Figura 19 - Zona de aquecimento solar passivo.....	50
Figura 20 - Zona de aquecimento artificial.	51
Figura 21 - Aplicabilidade de sombreamento em Palmas.....	52
Figura 22 - Carta Bioclimática da cidade de Palmas - TO (Analysis Bio®).....	56
Figura 23 - Carta Bioclimática da cidade de Palmas - TO (Climate Consultant®).	58
Figura 24 - Toldos retráteis.	65
Figura 25 - Venesiana para Janela.	65
Figura 26 - Sombreamento com vegetação.	66
Figura 27 - Sombreamento do beiral.	66
Figura 28 - Brises Verticais.	67
Figura 29 - Parede de cobogós.	67
Figura 30 - Sombreamento com vegetação arbustiva.	68
Figura 31 - Pergolado.	68
Figura 32 - Parede interna de cobogós.	69
Figura 33 - Ventilação cruzada.	70
Figura 34 - Ventilação por torre de vento.	71
Figura 35 - Cobertura ventilada.....	71
Figura 36 - Tanque de água na cobertura.	72
Figura 37 - Teto Jardim.....	73
Figura 38 - Microaspersão da água diretamente no ar.	73
Figura 39 - Cortina de água em vidro.....	74
Figura 40 - Aspersores de água em telhado.	74
Figura 41 - Parede dupla.....	75
Figura 42 - Parede verde.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características climáticas brasileiras.....	211
Quadro 2 - Sistematização das estratégias bioclimáticas passivas.	522
Quadro 3 - Quadro resumo das Estratégias para cada período.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo médio por equipamento (kWh/ano/equipamento)	32
Gráfico 2 - Consumo de eletricidade no setor residencial	33

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning</i>
BTO	<i>Building Technologies Office</i>
DOE	<i>Department of Energy's</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FPA	Frente Polar Atlântica
FPA-DIS	Frente Polar Atlântica em Dissipação
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITS	<i>Index of Thermal Stress</i> (Índice de Estresse Térmico)
MEA	Massa Equatorial Atlântica
MEA(ZCAS)	Massa Equatorial Atlântica (Zona de Convergência do Atlântico Sul)
MEC	Massa Equatorial Continental
MTA	Massa Tropical Atlântica
MTA(ZCAS)	Massa Tropical Atlântica (Zona de Convergência do Atlântico Sul)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
Projeteee	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
REP-FPA	Repercussão da Frente Polar Atlântica)
SAS	Sistemas de Aquecimento Solar
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
TRY	<i>Test Reference Year</i> (Ano Climático de Referência)
UCLA	Universidade da Califórnia em Los Angeles

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema de pesquisa.....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Conforto Térmico.....	18
2.2 Clima e Arquitetura.....	19
2.2.1 Clima no Brasil.....	21
2.2.2 Clima no Tocantins	22
2.2.3 Clima na cidade de Palmas, TO.....	24
2.2.4 Análise rítmica	27
2.2.5 Bioclimatologia.....	29
2.2.6 Arquitetura Bioclimática	29
2.3 Eficiência Energética	31
2.4 Métodos e <i>softwares</i> de Avaliação Bioclimática	34
2.4.1 Cartas Bioclimáticas	34
2.4.2 Tabelas de Mahoney	36
2.4.3 Analysis Bio®.....	37
2.4.4 <i>Climate Consultant</i> ®	38
2.5 Zonas Bioclimáticas da ABNT NBR 15220 (2003).....	39
2.6 Estratégias Bioclimáticas.....	42
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
3.1 Instrumentos	54
3.2 Dados.....	55
3.3 Gráficos.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1 Estratégias Bioclimáticas - Analysis Bio®.....	59
4.2 Estratégias Bioclimáticas - <i>Climate Consultant</i> ®	61
4.3 Recomendações de aplicação das estratégias Construtivas	63
4.3.1 Sombreamento.....	64
4.3.1 Ventilação	69
4.3.1 Resfriamento Evaporativo	71

4.3.1 Alta massa térmica	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A.....	85

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), até aproximadamente a metade do século XX, ao se projetar a “capa” das edificações, tornava-se necessário considerar as condições climáticas locais, pois, naquela época, não existiam tantas opções de equipamentos que contribuíssem no condicionamento do ambiente. Nesse sentido, o condicionamento era obtido através do aproveitamento dos recursos naturais, como por exemplo, a irradiação solar e os ventos.

A partir da segunda metade do século passado, com a evolução tecnológica e avanços nos estudos bioclimáticos, dentre outros estudos, os irmãos Olgyay deram início ao desenvolvimento da carta bioclimática, construída através de dados de temperatura e umidade locais, que indica a zona de conforto e as estratégias bioclimáticas que servem como soluções para projetos arquitetônicos, visando o conforto térmico. Na década de 1960, Givoni e outros pesquisadores aprimoraram essa carta, desenvolvendo a carta bioclimática da edificação, incluindo mais estratégias bioclimáticas.

A partir da década de 1970, com a crise do petróleo conjunta ao crescimento urbano, a preocupação com a eficiência energética se elevou. À vista disso, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*) desenvolveu a primeira versão da norma *ASHRAE Standard 90*, cujo texto desencadeou condições e premissas de eficiência energética (PEREIRA; BATISTA JUNIOR, 2018). Pesquisas mais recentes foram desenvolvidas com o uso de *softwares* para aplicação de estratégias bioclimáticas, como o Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e o *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018).

Até os dias atuais, com base na preocupação com o conforto ambiental e com a eficiência energética, a utilização de estratégias bioclimáticas mostra-se como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos que se adequam ao uso inteligente dos recursos naturais. O uso de estratégias bioclimáticas infere que o conforto de uma edificação é, sobretudo, derivado da otimização de elementos naturais (iluminação, orientação solar e ventilação natural), logo, diminuindo a necessidade de utilização de meios artificiais para garantir um ambiente confortável (FERNANDES, 2009).

Um projeto que idealiza somente a forma, as dimensões e quantidades de ambientes, não é o bastante para que os habitantes de uma edificação tenham suas necessidades supridas e, assim, garantido seu conforto com os recintos. Sendo assim, uma das condições fundamentais para a elaboração de espaços, sejam esses atribuídos às moradias, lazer ou trabalho, com condições adequadas de habitabilidade ou permanência, é a necessidade da utilização de conceitos que propiciem bons índices de conforto ambiental no interior dessas construções. Portanto, deve-se procurar, para projetos destinados aos mais diferentes alvos, saídas que amenizem sensações humanas indesejadas, estando estas agregadas ao conforto e funcionalidade (ARANTES, 2013).

Para Frota e Schiffer (2001), a arquitetura deve adaptar-se ao homem e ao seu conforto, o que engloba o seu conforto térmico. O homem tem condições de vida e de saúde mais favoráveis quando seu organismo pode trabalhar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico. Uma das funções da arquitetura é ofertar condições térmicas condizentes ao conforto térmico humano no interior das edificações, independentemente de quais forem as condições climáticas externas. Com esta preocupação, foi desenvolvida no Brasil uma norma que apresenta diversas estratégias voltadas à adaptação climática dos edifícios, a ABNT NBR 15220 (2003), organizadas de acordo com um zoneamento bioclimático, incluindo os conhecimentos acerca das estratégias bioclimáticas.

1.1 Problema de pesquisa

Quais estratégias bioclimáticas se tornam melhores soluções para projetos arquitetônicos de edifícios de Palmas - TO? A simples aplicação da norma ABNT NBR 15220 (2003) atende às diretrizes projetuais de Palmas - TO e à necessidade de associação do clima ao projeto?

1.2 Justificativa

Visto que o clima local da cidade de Palmas - TO necessita de soluções projetuais que proporcionem melhorias para o conforto térmico das edificações, estas podem ser adotadas por meio de estratégias bioclimáticas que resultem em outros

benefícios, como eficiência energética, já que equipamentos utilizados para condicionar a temperatura do ambiente são os que mais consomem energia elétrica.

Construções realizadas a partir de projetos que não consideram as variáveis climáticas locais, acabam tendo como consequência um alto consumo de energia para compensar o desconforto sentido no interior dessas edificações. É de suma importância a conscientização dos projetistas, para que esses considerem em seus projetos, além os aspectos humanos e sociais, as variáveis climáticas, de maneira que sejam garantidas soluções ligadas à Arquitetura Bioclimática antes da prática de simulações computacionais, presumindo níveis de conforto e eficiência energética para os edifícios.

A eficiência energética é a capacidade de uma edificação exibir condições ambientais agradáveis aos usuários com reduzido consumo de energia, sendo uma destas condições o conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Segundo Walsh, Cóstola e Labaki (2017a), o zoneamento climático (primeiro passo para indicação de estratégias bioclimáticas) para aplicações de eficiência energética de edifícios é um componente primordial em muitos programas e políticas para melhorar o desempenho térmico das edificações.

Logo, a Arquitetura Bioclimática tornou-se importante para as construções, pois esta tem como princípio projetar condições de conforto ambiental com base na otimização de elementos naturais. Desse modo, um projeto bioclimático é elaborado para se ter uma alta eficiência energética (PEREIRA; BATISTA JUNIOR, 2018).

Além disso, Palmas – TO possui altas temperaturas (FREITAS, 2015; SILVA, 2018), mas com clima ainda pouco estudado, principalmente quanto ao estudo dinâmico do clima (voltado à análise rítmica), o que reforça a necessidade de estabelecer estratégias adaptadas a estudos aplicados ao clima da cidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar recomendações para aplicação de estratégias bioclimáticas adaptadas ao clima da cidade de Palmas – TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Adquirir conhecimento e habilidade com os programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018);
- Comparar os resultados dos programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e do *Climate consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), e suas diversas metodologias com os dados meteorológicos locais e a norma ABNT NBR 15220 (2003);
- Selecionar uma análise rítmica anual para comparação com o *software* selecionado, aplicando o conceito dinâmico do clima na recomendação de estratégias;
- Identificar as estratégias bioclimáticas mais adequadas para a cidade de Palmas - TO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conforto Térmico

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a ASHRAE define conforto térmico representa um estado de espírito que demonstra satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. O contrário dessa situação, que seria a insatisfação, ocasionada pelo desconforto causada pelo excesso de calor ou de frio, se dá pelo desbalanceamento térmico, quando ocorrem diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (DUARTE, 2016).

O conforto térmico é proposto para que o homem possua melhores condições de vida e saúde (física e mental), mantendo seu organismo em funcionamento normal, sem que seja submetido a fadiga ou estresse térmico. O calor em excesso causa efeitos sobre o indivíduo, deixando-o cansado, minimizando sua atenção e elevando as possibilidades de provocar erros ou acidentes (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Além disso, o estudo do conforto térmico é de suma importância para o desenvolvimento de métodos bioclimáticos e estratégias de projetos que visam a conservação de energia, minimizando o condicionamento artificial do ar. Para auxiliar nesse estudo, fixou-se um certo tipo de vestimenta e atividade realizada por um indivíduo para relacionar variáveis do ambiente e índices de conforto térmico.

De acordo com Frota e Schiffer (2001), os índices de conforto térmico foram desenvolvidos baseados em aspectos diferentes do conforto, podendo serem identificados como:

Índices biofísicos — fundamentam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que originam esses elementos;

Índices fisiológicos — fundamentam-se nas reações fisiológicas causadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;

Índices subjetivos — fundamentam-se nas sensações subjetivas de conforto analisadas em condições que os elementos de conforto térmico variam.

Baseada em Givoni (1976), Silva (2018) descreve que os índices de conforto térmico têm o propósito de avaliar o efeito combinado dos fatores ambientais

sobre as respostas fisiológicas e sensoriais do corpo e exprimir qualquer combinação deles em termos de um parâmetro único, sendo assim, os índices são uma combinação destes fatores em teor de uma fórmula única.

Os estudos com cartas bioclimáticas, com geração de estratégias bioclimáticas para edificações, foram desenvolvidos com base em índices de conforto térmico. A carta bioclimática de Givoni, na qual se baseou a primeira norma de desempenho térmico brasileira, a ABNT NBR 15220 (2003), foi desenvolvido com base no *Index of Thermal Stress* (ITS), Índice de Estresse Térmico, criado pelo próprio autor (GIVONI, 1976).

2.2 Clima e Arquitetura

Clima é a condição média da variação diária das condições atmosféricas em uma região, embasado em medições ao longo de períodos de 30 anos ou mais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esta definição clássica vem do austríaco Julius Hann, desde o final do século XIX, e orienta estudos estatísticos até os dias de hoje (SILVA, 2018). Para Monteiro (1971) citado por Silva (2018), esta definição leva pesquisas ao uso exacerbado de médias (como a classificação de Köppen), enquanto a definição do geógrafo francês Sorre, em que o clima é a série de estados atmosféricos sobre determinado lugar em sua sucessão habitual, possibilita uma análise mais dinâmica do clima.

Para Duarte (2016) o clima pode ser dividido em três escalas: macroclima, mesoclima e microlima. O macroclima representa as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações; entretanto, pode não ser adequado para descrever as condições do entorno imediato do edifício.

O mesoclima, assim como o prefixo sugere, abrange áreas medianas, onde as condições locais de clima são modificadas por variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais. Já o microclima caracteriza-se por ser a escala mais próxima ao nível da edificação, podendo ser projetado e alterado pelo arquiteto, considerando as particularidades climáticas do local, que podem representar benefícios ou dificuldades adicionais.

Segundo Silva (2000), o clima possui aspectos próprios e a interferência no mesmo requer uma pesquisa voltada a cada região. Decorrente de um conjunto de

fatores espaciais, é qualificado pela definição de seus elementos como a temperatura, a umidade, os ventos e precipitações. Os fatores do clima condicionam, definem e originam o clima, enquanto os elementos climáticos apontam e fornecem valores a cada tipo de clima, relacionando-os.

As variáveis climáticas caracterizam uma região através da radiação solar, temperatura, vento e umidade. É de suma importância o conhecimento destas variáveis para o projeto de edificações mais apropriadas ao conforto de seus habitantes e mais efetivas em termos de consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De acordo com Duarte (2016), a radiação solar é a fonte principal de energia no planeta, a trajetória elíptica da Terra ao redor do Sol, associada ao movimento de rotação da terra estipulam as variações na intensidade da radiação ao longo do ano e no decorrer do dia, respectivamente. As regiões que mais recebem a radiação solar situam-se entre os trópicos de Câncer (no hemisfério norte) e de Capricórnio (no hemisfério sul).

Condizente com Silva (2000), a temperatura é resultado de vários fenômenos climáticos, como a distribuição irregular da energia solar, os movimentos do ar e das águas e as trocas de energia entre o ar, o mar e a terra. Sendo assim, o perfil da temperatura altera-se com os dias, as estações e o passar dos anos.

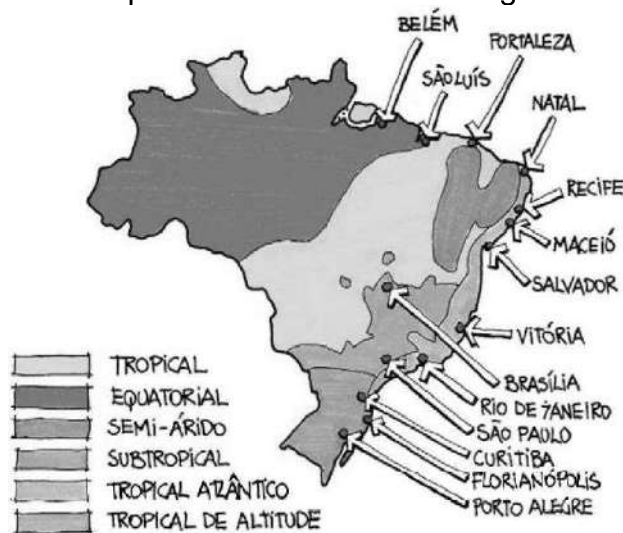
Frota e Schiffer (2001) definem umidade absoluta como peso do vapor de água compreendido em uma unidade de volume de ar (g/m^3) e a umidade relativa como a relação da umidade absoluta com a capacidade máxima do ar de manter o vapor d'água, a uma mesma temperatura.

A velocidade e a direção do vento são comumente medidas nas estações meteorológicas a uma altura de 10m. Essas devem se localizar normalmente em regiões abertas, livres de obstáculos como vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais, para não passarem por influência de rugosidade da superfície (quanto maior a altitude, maior a velocidade do vento). Essas medidas são expressas em diagramas tipo “rosa-dos-ventos”, instrumento essencial para auxílio dos projetistas na colocação adequada de aberturas, de modo a aproveitar o vento fresco no período quente e esquivar-se do vento forte no período frio. É possível também aproveitar-se do perfil topográfico de um terreno para direcionar os ventos, desviando-os ou trazendo-os para a edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

2.2.1 Clima no Brasil

Por ser um país com território muito extenso, entre os dois trópicos, o Brasil apresenta um clima bem diversificado. É importante ressaltar que há várias classificações climáticas, (sendo a maioria baseadas no conceito de clima de Julius Hann). A mais conhecida é a de Wilhelm Köppen, mas também se destaca a de Thornthwaite. A Figura 1 ilustra a divisão climática brasileira, segundo classificação de Köppen e o Quadro 1 caracteriza estes tipos de climas, descrito por Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Figura 1 - Mapa dos climas do Brasil segundo Köppen



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 82).

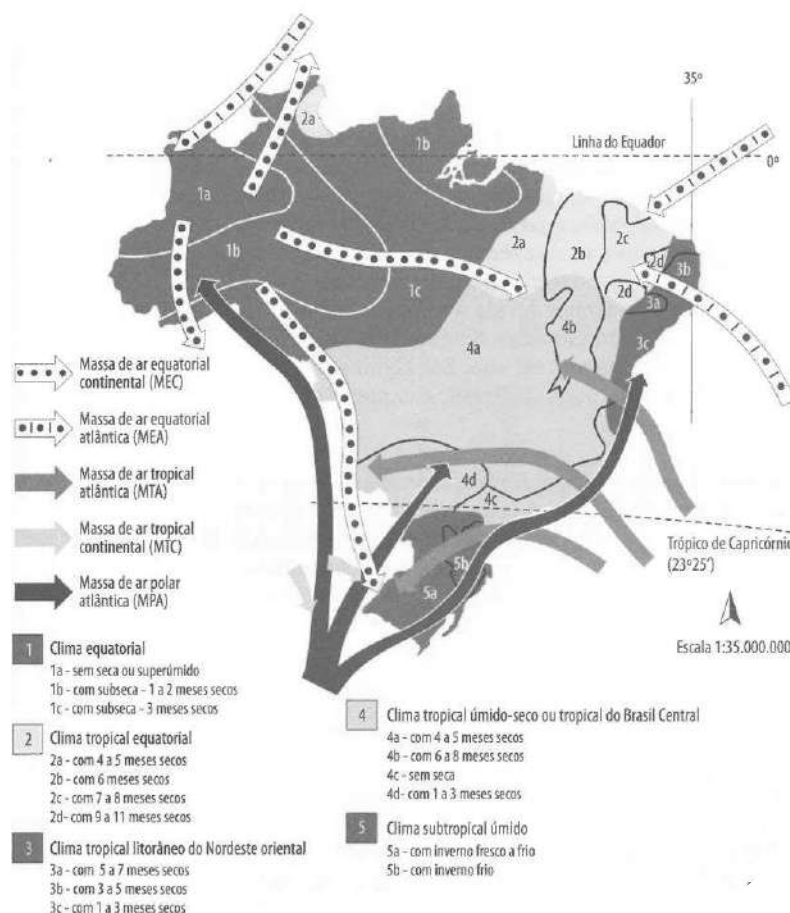
Quadro 1 - Características climáticas brasileiras.

TIPO	CARACTERÍSTICAS
CLIMA TROPICAL	O verão é quente e chuvoso e o inverno é quente e seco. Retrata temperaturas acima de 20 °C e amplitude térmica anual de até 7°C. As chuvas variam de 1000 mm/ano e 1500 mm/ano.
CLIMA EQUATORIAL	Alcança a Amazônia inteira e possui temperaturas médias entre 24°C e 26°C, com amplitude térmica anual de até 3°C. Nesta região a chuva é farta e bem dividida (geralmente maior que 2500 mm/ano).
CLIMA SEMI-ÁRIDO	A região climática mais seca do país, definida por temperaturas médias elevadas (por volta de 27°C). As chuvas são raras (menos de 800 mm/ano) e a amplitude térmica anual é mínima (em torno de 5°C).
CLIMA SUBTROPICAL	Temperaturas médias comumente abaixo de 20°C e amplitude anual de 9°C a 13°C. Com chuvas abundantes e distribuídas (variam de 1500 mm/ano e 2000 mm/ano). O inverno é rígido nas regiões mais altas, com possível ocorrência de neve.
CLIMA TROPICAL ATLÂNTICO	Regiões litorâneas, com temperaturas médias entre 18°C e 26°C e chuvas recorrentes (1200 mm/ano). Conforme a latitude aumenta, a amplitude térmica anual também cresce.
CLIMA TROPICAL ATLÂNTICO	Temperaturas médias entre 18°C a 22°C, com chuvas mais fortes no verão (de 1000 mm/ano e 1800 mm/ano) e pode gear no inverno.

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.82), adaptado pela autora (2020).

Quanto ao conceito dinâmico, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) apresentam os cinco grandes tipos climáticos no Brasil, com seus subtipos, proposto por Arthur Strahler, e a influência dos sistemas atmosféricos atuantes, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Domínios climáticos segundo Strahler e massas de ar atuantes



Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 151).

2.2.2 Clima no Tocantins

O Atlas do Tocantins (TOCANTINS, 2012, p. 20) apresenta a classificação climática do Estado pelo Método de Thornthwaite, com três tipos climáticos:

B1wA'a' - clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

C2wA'a'' - clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm,

distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

C2w2A'a` - clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, evapotranspiração potencial média anual de 1.600 mm, distribuindo-se no verão em torno de 410 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

Do ponto de vista dinâmico, segundo Souza, Gomes e Rocha (2014), o posicionamento centrado do Estado do Tocantins no território brasileiro favorece a ação de diferentes tipos de massas de ar, principalmente equatoriais e tropicais, tanto atlânticas quanto continentais.

A origem climática das massas de ar que atuam no Tocantins são as tropicais, equatoriais e ocasionalmente as polares. Todavia, em estado de tropicalização avançado, as polares não geram consequências sensíveis sobre as temperaturas, estando as temperaturas mais baixas na iminência do solstício de inverno (circunstância de estabilidade, causando aumento da amplitude térmica) e em ocorrências pontuais no período de primavera-verão, com sucessão de dias chuvosos (FREITAS; SOUZA, 2016).

A Massa Equatorial Atlântica (MEA) e a Massa Tropical Atlântica (MTA) são as que mais atuam no Tocantins, em todas as estações do ano, sendo associadas ao anticiclone do Atlântico Sul e a sua capacidade barométrica de embrenhar-se em grande proporção o território brasileiro. Na maior parte do Tocantins, em especial na porção central e sul, observa-se nítida predominância da MTA. Esse predomínio da MTA troca-se com a MEA na parte norte e se equilibra na parte nordeste do estado, provavelmente em consequência da maior proximidade dessas áreas em relação ao litoral norte brasileiro (SOUZA; GOMES; ROCHA, 2014).

No período chuvoso (verão), o Tocantins está sob domínio da Massa Equatorial Continental (MEC), vinda da região Amazônica, com características quente e úmida. A média anual de temperatura varia de 24°C a 28°C, mas, na estação seca a temperatura varia entre 25°C a 40°C (BANDEIRA; OLIVEIRA, 2017). De acordo com Souza (2016), observa-se uma ampliação da MEC no verão, estimulada pelo calor e umidade acumulados durante o decorrer da estação, atuando em áreas a leste do seu centro de ação (Bacia Amazônica). Isso também está relacionado com o desenvolvimento de sistemas frontais sobre o oceano Atlântico, deslocando o centro de ação responsável pela MTA e MEA (alta pressão subtropical) e possibilitando

situações barométricas favoráveis para a atuação da MEC sobre o Estado do Tocantins, proveniente da direção oeste.

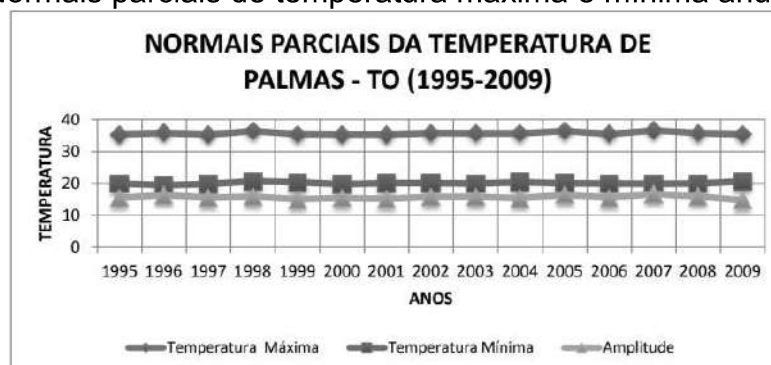
A distância em relação aos principais centros de ação atmosféricos (altas pressões subtropicais e polares, baixas pressões equatoriais) coopera para que o Tocantins se mantenha constantemente próximo ao limite de atuação dos sistemas atmosféricos. Esse fato provoca impasses para a identificação das condições atmosféricas em escala diária (SOUZA, 2016).

2.2.3 Clima na cidade de Palmas, TO

Conforme a classificação de Thornthwaite, a cidade de Palmas possui clima com moderada insuficiência hídrica e elevadas temperaturas por um período de três meses, no mínimo. A temperatura, é o fator climático que menos apresenta variabilidade anual, mantendo-se elevada em maior parte do ano, sobretudo, no período seco, relacionado a baixa umidade, alta evapotranspiração e insolação e baixa precipitação (FREITAS, 2015).

Ainda segundo o autor, Palmas 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. A Figura 3 ilustra as normais parciais de temperatura de Palmas – TO. Observa-se que essa apresenta altas temperaturas, em torno dos 35°C, com mínimas em torno dos 20°C, gerando uma amplitude média 15°C no período seco (maio a setembro).

Figura 3 - Normais parciais de temperatura máxima e mínima anual em Palmas

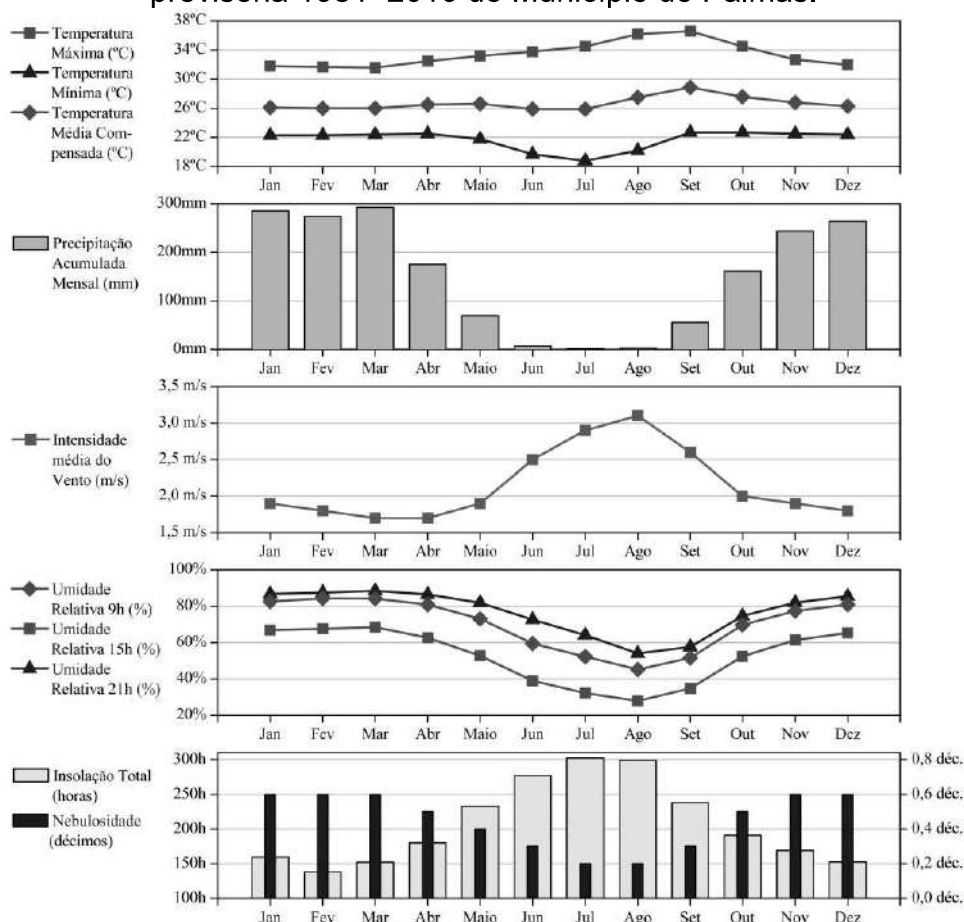


Fonte: Freitas (2015, p. 53).

A cidade de Palmas possui temperaturas altas no decorrer de todo o ano, com máximas que ultrapassam os 40°C, e mínimas sempre maiores que 15°C, de acordo com os dados diários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017 citado por SILVA, 2018). Outro aspecto marcante é a sazonalidade da precipitação e da umidade relativa. A precipitação é constantemente nula na estação seca e ultrapassa a faixa de 80mm a 100mm diários na estação úmida em casos extremos, enquanto a umidade relativa do ar normalmente superior a 90% na estação úmida, pode ficar abaixo de 20% na estação seca (SILVA; SOUZA, 2017).

De acordo com Silva (2018) a normal climatológica provisória 1981–2010, divulgada recentemente, expõe os principais parâmetros para a cidade de Palmas: a variação mensal das temperaturas máxima, mínima e média compensada, da precipitação, da umidade relativa, da velocidade média dos ventos, da insolação total e da média de nebulosidade, ilustrados na Figura 4.

Figura 4 - Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas.



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

A normal climatológica provisória 1981–2010 apresenta: média anual das temperaturas máximas 33,4°C; média anual das temperaturas mínimas 21,7°C; média da temperatura compensada anual 26,7°C; médias das máximas temperaturas mensais 36,6°C, em setembro; médias das mínimas temperaturas mensais 18,8°C, em julho; amplitude máxima de temperatura 16,0°C em agosto; amplitude mínima de temperatura 9,2°C em março; média máxima de umidade relativa 88,4%, em março, à noite; média mínima de umidade relativa 28,0% em agosto, à tarde; velocidade média dos ventos 3,1m/s; máximas velocidades em agosto 3,1m/s; e velocidades mínimas em março a abril, com 1,7m/s (SILVA, 2018).

Baseada em Lima, Barbosa e Silva (2014), resumidamente, a autora descreve que o clima de Palmas se divide em dois períodos diferentes, sendo um quente e úmido entre os meses de outubro e abril, com elevada pluviosidade, altas temperaturas, baixas amplitudes térmicas e menores velocidades médias do vento; e outro quente e seco (maio a setembro), com as temperaturas mais elevadas do ano nos meses de agosto e setembro, alta amplitude térmica, precipitação praticamente nula e velocidades médias do vento maiores.

Segundo Silva (2018), a cidade de Palmas situa-se na parte central do Estado, por conta disso, as dificuldades para reconhecer as condições atmosféricas aumentam, principalmente na primavera-verão, quando há o retrocesso do anticiclone da MTA para o Atlântico Sul e a uma maior probabilidade de atuação da MEC e demais sistemas de baixa pressão. Ocasionalmente, torna-se necessário pesquisar os dados de outros locais, sobretudo ao sul do Tocantins, para observar a atuação geral das massas de ar no estado.

Paz (2009) citado por Silva (2018), diante da perspectiva intraurbana da cidade de Palmas, analisou alguns gradientes climáticos em função da variável temperatura e identificou, em sua pesquisa, ilhas de calor em áreas mais densamente construídas (área central) da cidade, e ilhas de frescor, em vista da presença de vegetação (áreas próximas às áreas verdes preservadas e aos córregos).

O trabalho de Freitas (2015) verificou indicativos de gradientes térmicos em Palmas, de maneira diferente nos episódios de primavera-verão (fevereiro/março) e outono-inverno (agosto/setembro). No primeiro episódio, averiguou-se que as amplitudes térmicas e as variações espaciais foram menores, devido aos tipos de tempo característicos desse período do ano. No segundo episódio, a temperatura

atingiu uma elevação em pontos de maior adensamento urbano, assim como uma baixa na umidade, falta de ventilação e amplitudes térmicas maiores (SILVA, 2018).

2.2.4 Análise rítmica

A análise rítmica nada mais é que “uma nova estratégia metodológica que encara o clima como sendo um sistema complexo, dinâmico, com enorme número de variáveis, o que desaconselha o uso de modelo em termos de ‘estados médios’”, conforme Ribeiro (2000, p. 48) citado por Silva (2018, p. 102).

Segundo Silva (2018, p. 103), análise rítmica é

“a forma de representação diária e concomitante da sequência dos tipos de tempo sobre um lugar, acompanhada de todas os atributos atmosféricos mensuráveis possíveis (temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, precipitação etc.), por meio de gráficos”.

Os tipos de tempo devem ser visualizados em “cadeias”, sendo verificados em sequências, ou seja, em “cadeias de tipos de tempo”, dessa maneira é possível alcançar o “ritmo climático”, “capaz de exibir a tendência habitual, sem esquecer os desvios extremos” (MONTEIRO, 2015, p. 70 citado por SILVA, 2018). De acordo com Zavattini e Boin (2013, p. 90 citado por SILVA, 2018), nos gráficos de análise rítmica “são representadas, ao mesmo tempo, as variações diárias (ou horárias) dos elementos do clima e a sucessão diária (ou horária) dos estados atmosféricos, numa associação genética”.

Através da análise rítmica dos tipos de tempo, Monteiro (1962; 1969; 1971), citado por Silva (2018) sugere um estudo do clima pelos seus elementos integrados na unidade “tempo”, exibindo toda a variabilidade do clima em sucessão diária. O ritmo dessa sucessão normalmente depende da atuação dos fluxos atmosféricos, tais quais, são definidos por centros de pressão, indicando, a origem dos fenômenos climáticos.

Segundo Monteiro (1971), citado por Silva (2018), a análise rítmica evidencia-se como uma análise qualitativa (concepção do clima) e ao mesmo tempo quantitativa, entretanto, o autor enfatiza o seu modo de distribuição no aspecto quantitativo (análise de dados climáticos mensuráveis).

Ogashawara (2012) propôs a criação de um manual para efetuar a análise rítmica, sendo o primeiro tópico a espacialização temporal dos dados, tanto dos estados atmosféricos como dos elementos meteorológicos. Segundo o autor, em

relação a espacialização dos dados, a proporção temporal mínima deve ser diária, visto que a definição do ritmo climático “exige decomposição cronológica, dos estados atmosféricos que em contínua sucessão, se produzem em unidades bem menores”.

Além das informações meteorológicas, a realização da classificação dos tipos de tempo atuantes para cada dia ou período torna-se necessária. Cada tipo de tempo é determinado a partir da variação dos elementos meteorológicos indicados no gráfico de análise rítmica que engloba uma série de outros gráficos. À vista disso, o uso de ferramentas geotecnológicas, que permitem a obtenção de imagens de satélite a cada 15 minutos, simplifica a escolha de um determinado tipo de tempo. Além do apoio propiciado pela utilização de imagens de satélite, pode-se também usar as cartas sinóticas geradas manualmente, assim como as cartas elaboradas pela Marinha do Brasil (OGASHAWARA, 2012).

De acordo com Silva e Souza (2017), a técnica de análise rítmica também se aplica a variados estudos climáticos, assim como os estudos em conforto térmico. Entretanto, o conforto térmico com utilização de índices de conforto ainda não é comum nas pesquisas em climatologia, principalmente nos estudos que envolve análise rítmica. Além disso, a análise rítmica é uma técnica que se coloca como “substituição” à utilização de médias, portanto, não é recomendável esse uso em nenhum dos elementos, inclusive no índice de conforto térmico.

Conforme Monteiro (1971) citado por Silva (2018, p. 102), para se adotar a técnica de análise rítmica, é preciso averiguar a influência dos sistemas atmosféricos presentes em determinado local, através da “representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias”, observados ao mesmo tempo. Ocasionalmente, em períodos menores, é possível realizar análise horária, ou até mesmo em minutos.

Conforme Silva (2018), o desenvolver da técnica começa pelo levantamento de dados climáticos e reconhecimento das massas atuantes. Os dados são ordenados e tabelados em *softwares* de planilhas eletrônicas. Apesar do pesquisador ter um certo grau de liberdade na escolha dos elementos a serem representados, geralmente a temperatura e a umidade relativa do ar, a precipitação, a direção e a velocidade do vento são elementos de suma importância, principalmente por serem básicos para a caracterização dos sistemas atmosféricos atuantes. Esses elementos podem ser obtidos através de informações de uma base de dados existente (estações meteorológicas).

Torna-se necessário a concomitância na visão dos elementos climáticos, sob a atuação de determinado sistema atmosférico, por isso, os gráficos geralmente são bem maiores que os tradicionais, reivindicando dimensões cartográficas para sua apresentação. Essa formatação é indispensável para o entendimento do ritmo e sua sucessão, que não seria possível caso houvesse uma descontinuidade da ilustração. A configuração deste gráfico compara-se a uma fusão de um gráfico cartesiano com um cronograma (linha do tempo), tendo o tempo como eixo horizontal e os elementos em estudo na vertical. A elaboração dos gráficos, pode ser realizada através de *softwares* específicos de computação gráfica vetorial, ou *softwares* de apresentação de planilhas (SILVA, 2018).

2.2.5 Bioclimatologia

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a bioclimatologia é a aplicação do estudo do clima relacionada aos seres vivos. Conforme Bogo *et al.* (1994), bioclimatismo é um termo que pode ser definido como: "Princípio que pretende utilizar por meio da arquitetura, os elementos benéficos do clima com intuito de satisfazer as exigências de bem-estar higrotérmico".

A bioclimatologia aplicada às edificações sugere soluções arquitetônicas conforme o clima do local a ser edificado e especifica duas metodologias de projeção, a direta e a indireta. A primeira analisa e interpreta quantitativamente os elementos climáticos, com propósito de dimensionar e estimar as estratégias de intervenção arquitetônica em nível de projeto. A segunda analisa e interpreta qualitativamente o clima (BOGO *et al.*, 1994).

2.2.6 Arquitetura Bioclimática

De acordo com Maragno (2002), a Arquitetura Bioclimática é fundamentada na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, visando melhorias para o conforto térmico das construções.

De forma mais precisa, a Arquitetura Bioclimática pode ser entendida como a procura por maior integração e adaptação da construção ao seu ambiente físico, socioeconômico e cultural, através do uso de materiais locais, formas e técnicas tradicionais, reduzindo o impacto ambiental e o consumo energético durante o

desenvolvimento da construção. Para isso, o projeto deve se adequar ao clima, ao sol, aos ventos, à topografia e à vegetação, e aproveitar esses dados para geração de conforto físico no espaço interno integrado à paisagem (SERRADOR, 2008).

Em concordância com Arantes (2013), entende-se que é crescente a preocupação da população de fazer uso dos índices de conforto ambiental para propor soluções de condicionamento que não sejam artificiais, pois estes geram grande consumo de energia. Sendo assim, a Arquitetura Bioclimática, através de estudos das características do clima local e suas consequências sobre a edificação, se mostra como importante ferramenta para a obtenção de ambientes termicamente mais confortáveis e econômicos energeticamente.

O processo de criação de um edifício climaticamente equilibrado, ou seja, com uma análise bioclimática, consiste em quatro etapas consecutivas e correlacionadas. A primeira baseia-se no estudo dos elementos climáticos locais (temperatura, umidade relativa, radiação e ventos); a segunda analisa biologicamente as sensações humanas, procurando as condições de conforto térmico em qualquer período do ano; a terceira busca por soluções tecnológicas aplicadas após os passos anteriores que envolvem a seleção do local, a orientação, os cálculos de sombra, as formas da construção, os movimentos do ar e o equilíbrio interno da temperatura. Na última e quarta etapa, o foco é na representação da arquitetura resultante, ou seja, nos seus aspectos morfológicos (FERNANDES, 2009).

Tratando-se da Arquitetura Bioclimática, o conceito primordial é a harmonia entre o homem, o meio natural e o espaço construído, tornando-se também o seu grande diferencial em termos de qualidade. Nessa arquitetura, é a edificação que define o conforto do ser humano, pois determina uma relação com o clima de modo que proporcione as melhores condições internas e satisfação do usuário, tanto nos aspectos higrotérmicos, quanto visuais, acústicos, emocionais e culturais (FERNANDES, 2009).

Pesquisas elaboradas em países em desenvolvimento verificaram que os usuários afirmam estarem confortáveis mesmo sob condições de temperatura acima da zona de conforto estabelecida pela ASHRAE, apresentando assim aclimação às condições locais. A neutralidade do corpo ao ambiente, relacionada ao conforto térmico, acontece quando o fluxo de perda de calor corporal permanece no nível ótimo. Esse nível, entretanto, é variável para cada pessoa, visto que cada organismo se adapta às condições a que está submetido na maior parte do tempo. De acordo

com Givoni (1998) citado por Pereira e Batista Junior (2018), de forma geral, pessoas que vivem em locais com climas mais quentes, preferem temperaturas mais elevadas, assim como, pessoas que vivem em ambientes com climas frios preferem temperaturas menores.

2.3 Eficiência Energética

A eficiência energética na arquitetura pode ser compreendida com uma característica própria da edificação que representa seu potencial em proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos habitantes com baixo consumo de energia. Logo, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando propicia as mesmas circunstâncias ambientais com um consumo de energia mais baixo. Em vista disso, o triângulo conceitual clássico de Vitruvius é determinado pelos aspectos estruturais, funcionais e formais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Arantes (2013), considera o desempenho ambiental da arquitetura ligado ao conforto e à eficiência energética, incluindo a definição de sustentabilidade. Alguns aspectos de projetos, quando vistos em conjunto, exercem efeitos no desempenho térmico do edifício, por terem um papel decisivo no uso das estratégias de ventilação natural, reflexão da radiação solar direta, sombreamento, resfriamento evaporativo, isolamento térmico e inércia térmica. Esses aspectos são:

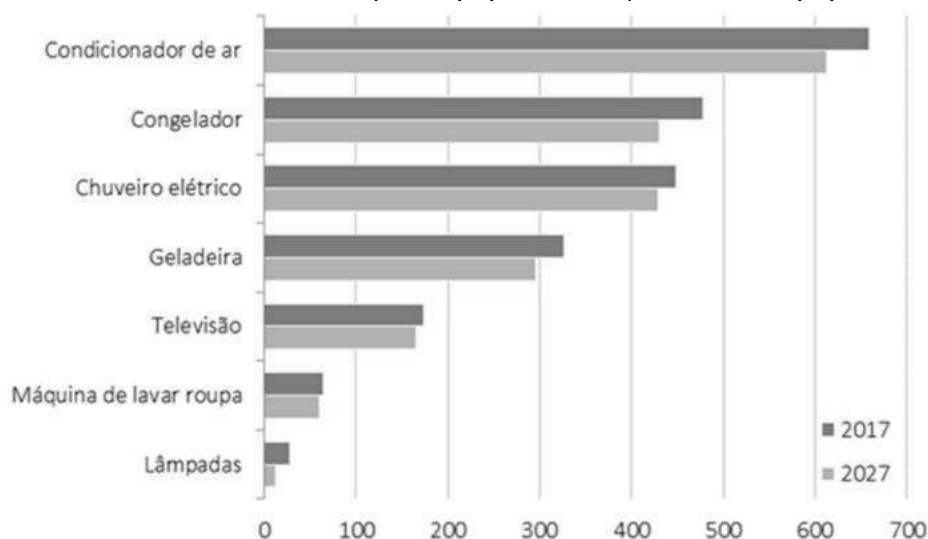
- Orientação solar e aos ventos;
- Forma arquitetônica, arranjos espaciais, zoneamento dos usos internos do edifício e geometria dos espaços internos;
- Características, condicionantes ambientais (vegetação, corpos d'água, ruído, etc.) e tratamento do entorno imediato;
- Materiais da estrutura, das vedações internas e externas, considerando desempenho térmico e cores;
- Tratamento das fachadas e coberturas, de acordo com a necessidade de proteção solar;
- Áreas envidraçadas e de abertura, considerando a proporção quanto à área de envoltória, o posicionamento na fachada e o tipo do fechamento, seja ele vazado, transparente ou translúcido;
- Detalhamento das proteções solares considerando tipo e dimensionamento;

- Detalhamento das esquadrias.

Além desses aspectos, há também as metas da reabilitação tecnológica, que contemplam a diminuição da busca por climatização e iluminação artificiais, suprimindo-a tanto quanto possível por meios passivos: aquecimento passivo direto e indireto, ventilação noturna, iluminação natural e demais estratégias, complementando o restante por meio de tecnologias energeticamente efetivas. Sobretudo, projetar para a eficiência energética e para minimizar o impacto ambiental por parte da climatização requer duas tomadas de decisão, a primeira é reduzir a demanda do edifício por energia, modelando a arquitetura para isso, utilizando inúmeros aspectos de projeto. A segunda é estudar os possíveis usos 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 natural (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), as fontes de energia predominantemente usadas nas residências brasileiras são: eletricidade, GLP e lenha. Todavia, a energia elétrica é a fonte que apresenta maior oportunidade de conservação de energia desse setor entre os anos de 2017 e 2027. Almeja-se que o estoque de eletrodomésticos das famílias cresça, em consequência do aumento da renda média das famílias e do número de novos domicílios. O aumento da posse de equipamentos insere aparelhos novos mais eficientes nas residências, ocasionando a redução do consumo médio do estoque (ver Gráfico 1) e, assim, o aumento da conservação de energia elétrica.

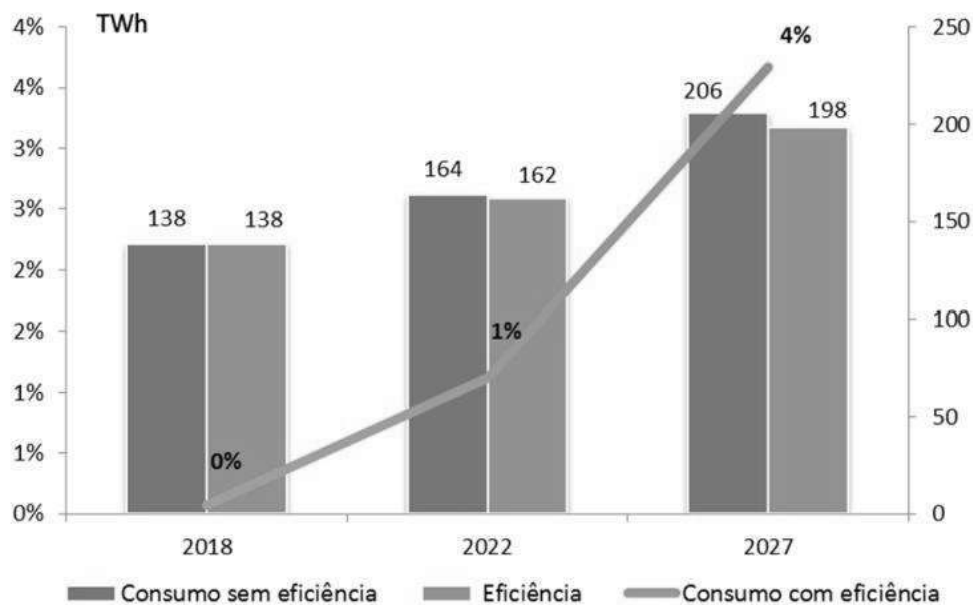
Gráfico 1 - Consumo médio por equipamento (kWh/ano/equipamento).



Fonte: EPE (2019)

Nessa lógica, a conservação de energia elétrica no âmbito residencial seria 4% do consumo total em 2027, mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Consumo de eletricidade no setor residencial.



Conforme a EPE (2019), a conservação de energia considerada para o período é, em grande parte, consequência das políticas de revisão de índices mínimos de eficiência energética dos equipamentos de ar condicionado, refrigerador e congelador (estabelecidos pelas portarias interministeriais MME/MCT/MDIC nº 1 e nº 2 de 31 de julho de 2018), que serão implementados até 2020.

Afinal, em relação ao aquecimento de água, além da expansão do uso de gás natural em substituição aos chuveiros elétricos, espera-se um avanço na utilização de sistemas de aquecimento solar (SAS), para, assim, atingir aproximadamente nove milhões de domicílios em 2027, resultado conjunto do progresso de um mercado autônomo e do uso de sistema em programas de habitação de interesse social. Dessa maneira, em função do número de domicílios que substituirão a eletricidade por gás natural e aquecimento solar entre 2016 e 2026, o consumo poupado de eletricidade para aquecimento de água seria 2,8 TWh em 2027 (EPE, 2019).

2.4 Métodos e softwares de Avaliação Bioclimática

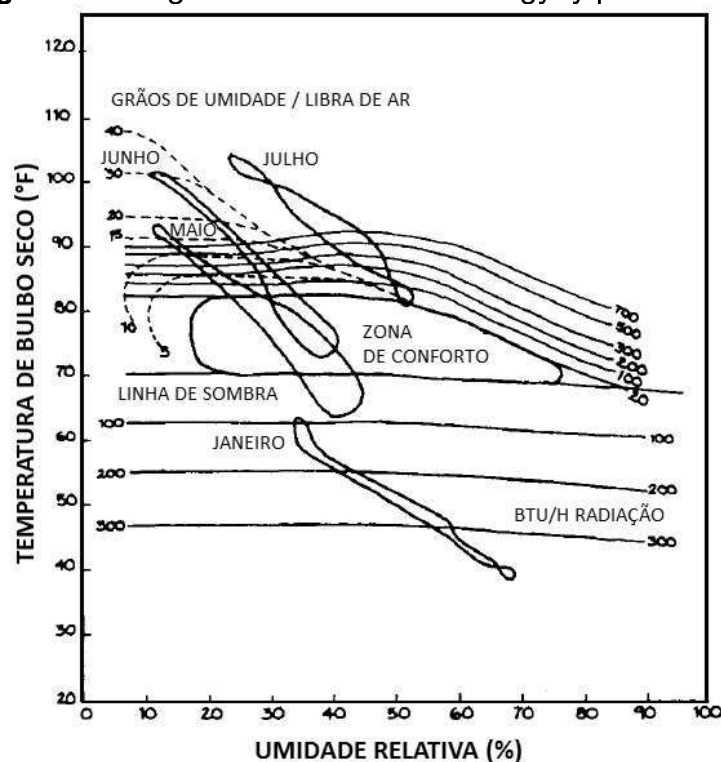
2.4.1 Cartas Bioclimáticas

Segundo Schmid (2015), os diagramas bioclimáticos simplificam a análise das características climáticas de um local, do ponto de vista do conforto humano, na medida que apresentam num diagrama psicrométrico a relação de temperatura e umidade em qualquer instante. Eles também podem determinar princípios de projeto de edifícios para potencializar condições de conforto quando o interior do edifício não é condicionado mecanicamente. Esses diagramas são construídos em função da zona de conforto e se referem a ela.

2.4.1.1 Diagrama bioclimático de Olgyay

Segundo Givoni (1976), Olgyay foi o pioneiro no estudo e desenvolvimento dos diagramas bioclimáticos ou “cartas bioclimáticas” (ver Figura 5). O diagrama tem a umidade relativa como abscissa e temperatura como ordenada, as temperaturas abaixo do limite inferior da faixa de conforto são definidas como condições “subaquecidas” e acima como “sobreaquecidas”.

Figura 5 - Diagrama bioclimático de Olgyay para Phoenix.



Fonte: Schmid (2015, p. 04).

Conforme Bogo *et al.* (1994), esse método é limitado na sua aplicabilidade, pois é embasado no clima externo e não naquele previsto para dentro da edificação e os valores da temperatura, utilizados no gráfico ajustaram a temperatura média da pele ao índice correspondente. Com isso, os limites da zona de conforto vistos como ideal, estão compreendidos entre as umidades relativas de 30% e 65%.

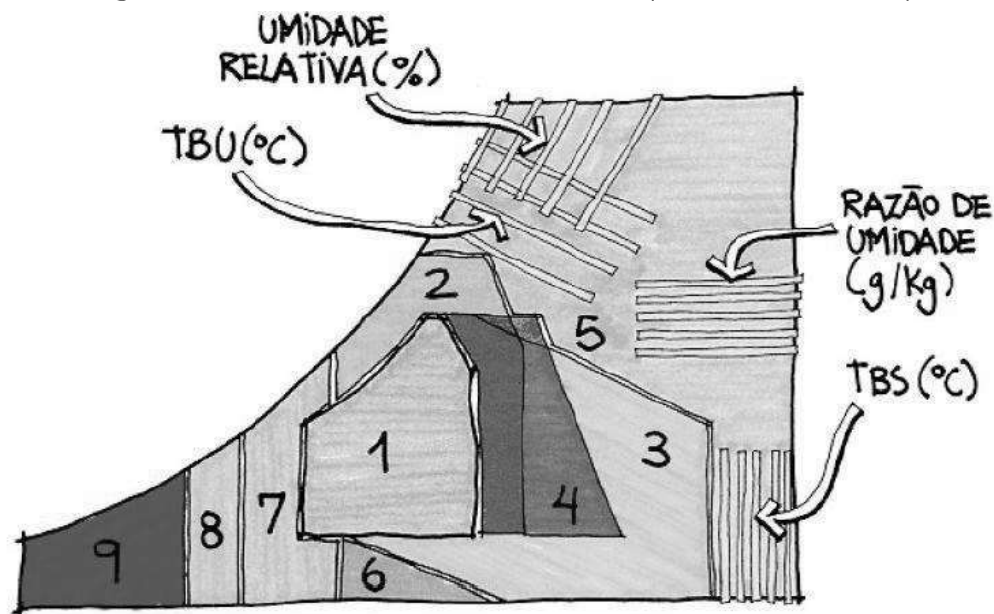
Para fazer uma avaliação regional de uma situação climática, deve-se aplicar ao gráfico bioclimático dados de temperatura e umidade relativa a intervalos regulares. Com isso, obtém-se a caracterização geral de uma região. Este método pode ser aplicado para quaisquer dados, sejam eles de condições médias, máximas ou mínimas. A partir disso, analisa-se o número de pontos que caem nas diferentes zonas da carta. Assim, estima-se a importância dos diferentes elementos climáticos em cada região, ou seja, se necessita de sombra, radiação, ventos, etc. para reprodução de um gráfico anual com essas necessidades (BOGO *et al.*, 1994).

Embora o diagrama de Olgyay seja para contornos externos, as estratégias de projeto sugeridas no diagrama são para o interior das edificações.

2.4.1.2 Diagramas bioclimáticos do edifício de Givoni

A carta bioclimática para o edifício foi desenvolvida e aprimorada por Givoni, considerando os efeitos da aclimatização para países em desenvolvimento, para corrigir as limitações do diagrama bioclimático elaborado por Olgyay (ver Figura 6). A principal diferença entre estes dois métodos é que o diagrama de Olgyay é projetado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas de bulbo seco e o eixo horizontal o das umidades relativas; enquanto que a carta bioclimática de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica. A carta é subdividida em zonas, tais quais, zona de conforto (1), zona de ventilação (2), zona de resfriamento evaporativo (3), zona de massa térmica para resfriamento (4), zona de ar condicionado (5), zona de umidificação (6), zona de massa térmica para aquecimento (7), zona de aquecimento solar passivo (8) e zona de aquecimento artificial (9) (MACIEL, 2002).

Figura 6 - Carta bioclimática de Givoni (adotada no Brasil).



Fonte: Bello (2013, p. 19).

Uma carta psicrométrica nada mais é que a demonstração gráfica dos parâmetros psicrométricos (propriedades termodinâmicas das misturas de ar seco e vapor d'água), que são: pressão atmosférica, umidade absoluta, umidade relativa, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de orvalho, volume específico e entalpia (COUTINHO, 1998, citado por SILVA, 2018).

De acordo com Bogo *et al.* (1994), outra distinção nos sistemas é que Givoni fundamenta-se em temperaturas internas ao edifício, as quais foram obtidas através de cálculos, que projetam as temperaturas previstas para o interior, considerando essas temperaturas para um edifício sem climatização artificial e projetado adequadamente para o local onde está construído, ou seja, considerando que o edifício é inerte termicamente, protegido eficientemente contra a radiação solar e com ventilação adequada.

2.4.2 Tabelas de Mahoney

O método das tabelas ou quadros de Mahoney consiste em um método gerado através de uma pesquisa de dados climáticos para obter informações básicas sobre o efeito do clima no conforto e projeto durante diferentes meses do ano de determinado local, a partir da interpretação dos dados são obtidas recomendações de elaboração de projeto para edificações não climatizadas. Esse método foi desenvolvido a priori para climas de transição, sendo uma das primeiras metodologias

a considerar os efeitos da amplitude térmica sobre o conforto térmico dos habitantes (MACIEL, 2002; FERNANDES, 2009).

2.4.3 Analysis Bio®

Conforme Bortoli (2013), o Analysis Bio® (LABEEE, 2010) é um *software* que foi criado com o propósito de gerar dados bioclimáticos detalhados, designado a auxiliar no processo de adequação de edificações ao clima local e colaborar para a melhoria das soluções arquitetônicas e urbanísticas projetadas. Consequentemente, utiliza arquivos climáticos horários, contidos no ano climático de referência, e arquivos resumidos na forma de normais climatológicas.

As normais climatológicas equivalem a séries históricas de dados climáticos padronizados, que abrangem informações sobre: médias mensais de temperatura do ar, médias das máximas de temperatura atmosférica, média das mínimas de temperatura atmosférica, temperaturas máximas e mínimas absolutas, médias mensais de umidade relativa do ar, de pressão atmosférica, das horas de insolação e dos índices pluviométricos, além de dados sobre velocidade e direção predominante dos ventos (INMET, 2011, citado por BORTOLI, 2013).

Já o ano climático de referência pode ser conseguido a partir do tratamento dessa série de dados climáticos incluídos nas normais climatológicas. Com este propósito, efetua-se um processo de eliminação sucessiva dos anos que apresentam extremos de temperatura até sobrar apenas um caracterizado como o ano típico. Logo, torna-se possível avaliar seu comportamento em termos horários para cada uma das horas de um ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para cidades que possuem arquivos horários, o programa possibilita gerar:

- A carta bioclimática das horas totais de um ano, assim como avaliar sua situação por estação climática, dias e horas específicos, médias diárias, médias mensais, ou máximas e mínimas de cada mês;
- O histograma de temperaturas, com a frequência de ocorrências ao longo do período considerado;
- Relatórios com as porcentagens de horas confortáveis e desconfortáveis, as porcentagens de desconforto por frio e/ou por calor e as porcentagens de horas em que são recomendadas cada estratégia bioclimática.

Por outro lado, as cidades que possuem apenas arquivos com as normais climatológicas, é possível observar o quadro das normais e a carta bioclimática decorrente desse quadro, além do relatório criado pelo programa, que exhibe as porcentagens de estratégias bioclimáticas indicadas por mês, o programa também permite cadastrar as normais de uma nova cidade em seu banco de dados. Sendo assim, o programa possibilita que se tenha uma rápida percepção das estratégias necessárias para se promover o conforto térmico dos usuários em localidades com diferentes condições climáticas (BORTOLI, 2013).

2.4.4 Climate Consultant®

Climate Consultant® (LIGGETT; MILNE, 2018) é um *software* elaborado pelo *Energy Group Design* da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA). O programa funciona com base em gráficos, que ajuda interessados em construção a entender o clima local. Ele utiliza dados climáticos anuais no formato EPW, que podem ser acessados de forma gratuita na plataforma *online* da *Energy Plus*, para milhares de estações meteorológicas de todo o mundo. Esses dados estão disponíveis em concordância com as normais climatológicas de cada país, no entanto, o *software* também aceita informações de estações meteorológicas externas ao banco de dados da *Energy Plus*, desde que estas estejam compiladas em arquivos com formato equivalente ao *Climate Consultant*®.

O objetivo não é simplesmente “imprimir” dados climáticos, mas ordenar e reproduzir essas informações de forma fácil de entender, mostrando as propriedades sutis do clima e seu impacto na maneira construída. Ao explicar os dados de uma estação meteorológica, o programa oferece gráficos de diferentes fatores climáticos e sugere diretrizes de construção devidamente adequadas para o clima daquela localização. A intenção do *software* é possibilitar capacitação aos seus usuários para projetar edificações mais eficientes energeticamente e mais sustentáveis (ENERGY DESIGN TOOLS, 2019).

O *software* dá como alternativa para o usuário escolher qual modelo de conforto deseja seguir. Por tratar-se de um programa desenvolvido na Califórnia, recomenda-se o uso das regulamentações da ASHRAE ou do Código de Energia da Califórnia como modelos de conforto térmico a serem aderidos (ENERGY DESIGN TOOLS, 2019). Ademais, é admissível ao usuário modificar os valores de temperatura

indicativas de conforto térmico de forma a conciliar os aspectos da edificação com a sua utilização e seus ocupantes (PEREIRA; BATISTA JÚNIOR, 2018).

A funcionalidade do programa depende dos dados climáticos utilizados como entrada. Ao introduzir dados climáticos de estações meteorológicas localizadas no perímetro urbano, torna-se possível presumir quais diretrizes bioclimáticas são mais eficazes para uma determinada região.

A carta psicrométrica é um dos recursos mais evoluídos acessíveis no *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018). Cada ponto no gráfico, gerado na carta psicrométrica, indica a temperatura e a umidade de cada uma das 8760 horas do ano. Diferentes estratégias de design são representadas por zonas características neste gráfico. A porcentagem de horas que se encontra em cada uma das 16 zonas diferentes da estratégia de *design* viabiliza uma possível ideia das estratégias mais eficientes de aquecimento ou resfriamento passivo. O *Climate Consultant*® avalia a disposição desses dados psicrométricos em cada zona da estratégia de *design*, com a finalidade de elaborar uma lista exclusiva de diretrizes de *design* para uma localidade específica (ENERGY DESIGN TOOLS, 2019).

O *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) desenvolve uma lista com 15 estratégias bioclimáticas e a sua respectiva aptidão, em porcentagem, de gerar horas de conforto térmico durante o período de um ano, além de sugerir uma lista com 20 orientações de projeto que abrangem desde indicações de *design* a indicações de materiais a serem utilizados (PEREIRA; BATISTA JÚNIOR, 2018).

2.5 Zonas Bioclimáticas da ABNT NBR 15220 (2003)

Segundo Walsh, Cóstola e Labaki (2017b), uma zona climática é normalmente compreendida como região na superfície da Terra, onde variáveis climáticas têm pequena alteração, permitindo a utilização de recomendações uniformes ou valores obrigatórios para certos aspectos do edifício em toda a área dentro da zona climática.

O zoneamento climático, conforme Carpio *et al.* (2015) citado por Walsh, Cóstola e Labaki (2017a, p.118), geralmente implica que:

No contexto das regulamentações de construção, as zonas climáticas são regiões que apresentam condições meteorológicas semelhantes

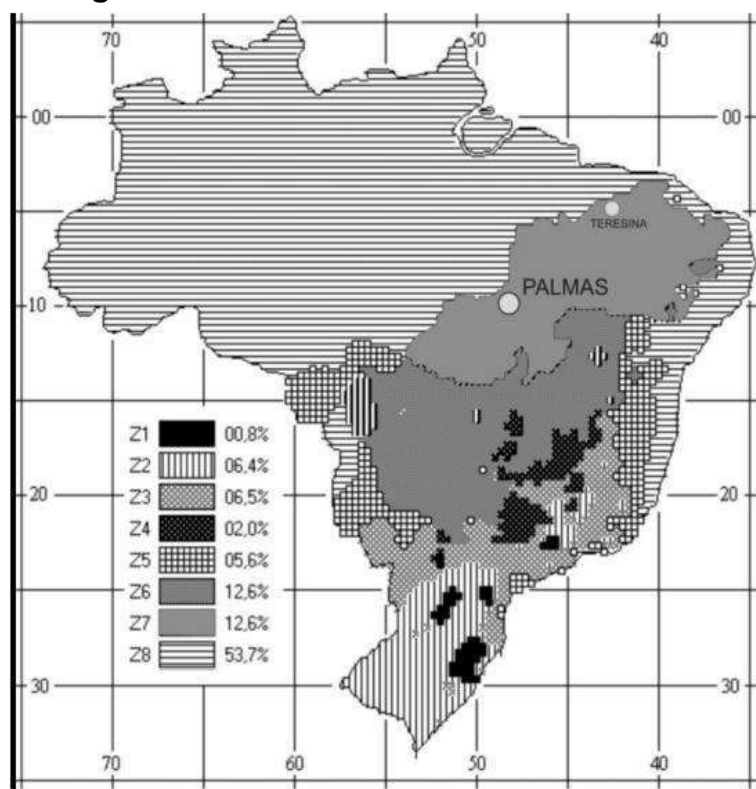
para os principais parâmetros climáticos que afetam os requisitos de energia de aquecimento e refrigeração dos edifícios.

Em alguns países tropicais, o zoneamento climático é movido por preocupações na melhoria do conforto térmico em muitos edifícios sem sistemas HVAC (sigla inglesa para aquecimento, ventilação e ar condicionado). Os limites das atuais metodologias de zoneamento climático são singularmente interessantes em climas tropicais, onde, em muitos casos, os edifícios não possuem sistemas de climatização. Esses edifícios normalmente são pouco isolados e têm uma relação mais forte com o clima do que os edifícios com sistemas de HVAC. Nesses países, o zoneamento climático apresenta desafios a mais, pois o desempenho da construção é medido principalmente usando a frequência de desconforto, em vez de usar o consumo de energia dos sistemas de HVAC (WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2017a).

O zoneamento climático normalmente é adotado para caracterizar construção ou metas de desempenho e relacionar diretrizes de projeto de forma adequada, aproveitando os recursos naturais para diminuir uso de energia em edificações. Essas diretrizes são geralmente associadas com a forma, orientação, envelope do edifício e estratégias passivas de aquecimento/refrigeração. Os índices de desempenho da construção e os limites de variação de desempenho variam significativamente de construção para construção, pois cada edificação tem sensibilidades diferentes para variáveis climáticas, conforme a sua geometria, aberturas e orientação particulares (WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2017a).

Conforme a ABNT NBR 15220 (2003), o zoneamento bioclimático brasileiro divide-se em oito diferentes zonas, como indica a Figura 7.

Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro.

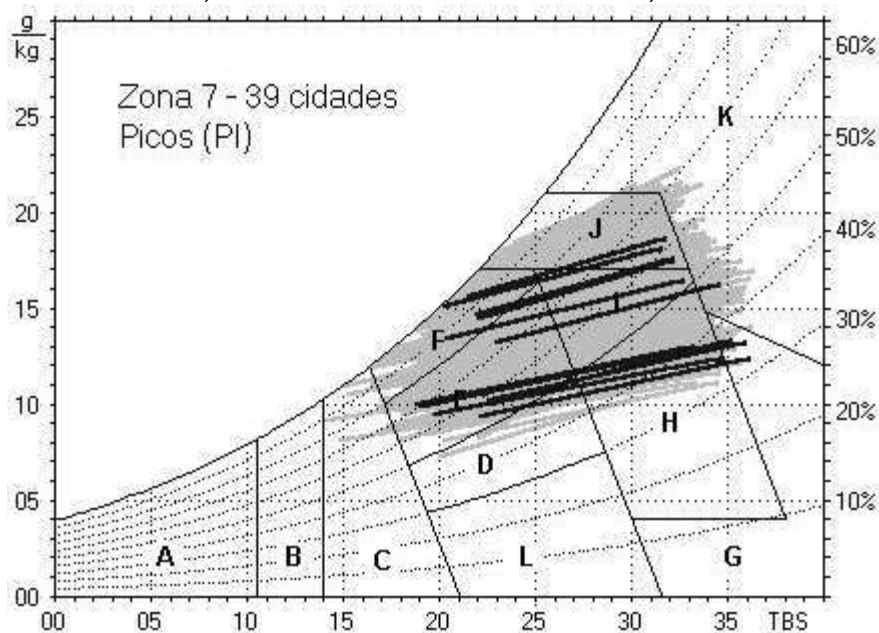


Fonte: Paz (2009, p.24), adaptado de ABNT (2003).

O Anexo A (normativo) da ABNT NBR 15220 (2003), insere a cidade de Porto Nacional – TO na zona 7, por proximidade, adota-se a mesma para Palmas - TO. As diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7 (ver Figura 8) devem ser atendidas da seguinte forma:

- As aberturas para ventilação devem ser pequenas e sombreadas;
- As vedações externas devem ser dos tipos paredes e coberturas pesadas;
- As estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas para a estação verão são resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa).

Figura 8 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI.



Fonte: ABNT NBR 15220 (2003).

Uma sugestão de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, elaborada por Mauricio Roriz, para a ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído) aponta que a cidade de Palmas pertence a uma das três zonas mais quentes do Brasil e com o aumento da temperatura global tem-se experimentado temperaturas cada vez mais altas, onde a utilização de sistemas de refrigeração tornam-se essenciais quando os edifícios não coincidem com as necessidades climatológicas da região (BANDEIRA; OLIVEIRA, 2017).

2.6 Estratégias Bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas são estudadas com base nas cartas bioclimáticas, para se projetar arquitetonicamente uma edificação visando o aumento do conforto térmico aos usuários. São baseadas na carta bioclimática da edificação de Givoni e aplicadas às zonas bioclimáticas da ABNT NBR 15220 (2003).

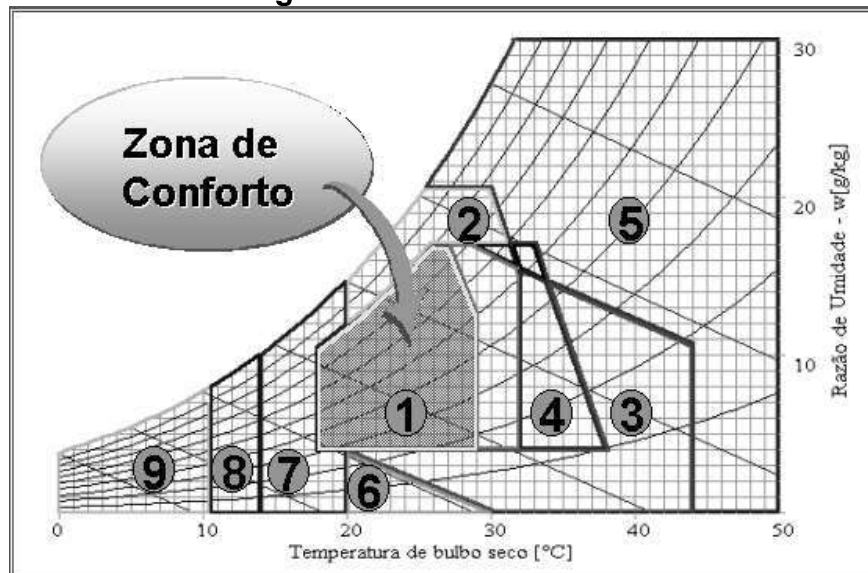
A seguir discorre-se uma rápida definição de cada estratégia bioclimática, segundo Duarte (2016):

a. Zona de conforto

Para situações climáticas que resultem em pontos demarcados por esta região, existe uma grande possibilidade das pessoas detectarem a sensação de conforto térmico. Desse modo, pode-se observar que a sensação de conforto térmico

pode ser alcançada para uma umidade relativa variando de 20% a 80% e temperatura entre 18°C e 29°C (ver Figura 9).

Figura 9 - Zona de conforto.

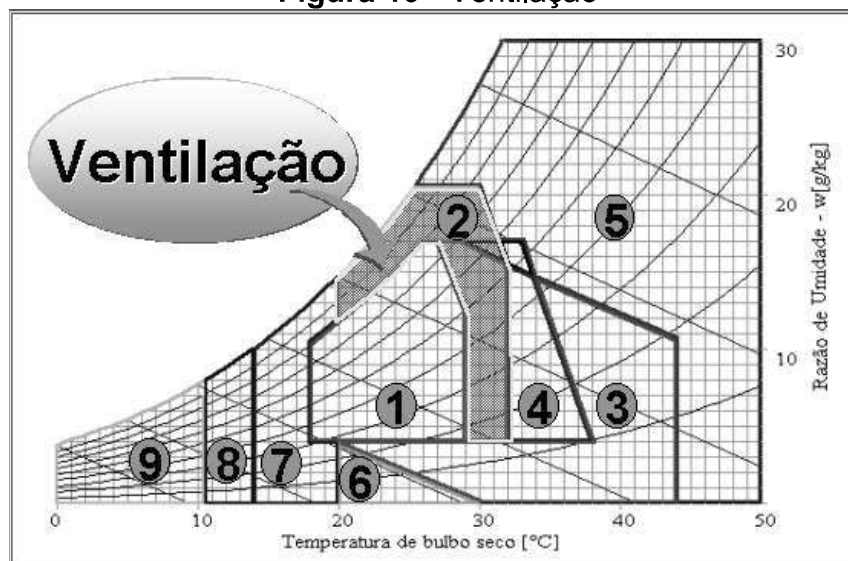


Fonte: Duarte (2016, p. 35).

b. Ventilação

De acordo com a plataforma Projeteer - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2019), a ventilação pode realizar diferentes funções em relação ao ambiente construído, tais como, a renovação do ar, o resfriamento psicofisiológico e o resfriamento convectivo (ver Figura 10).

Figura 10 - Ventilação

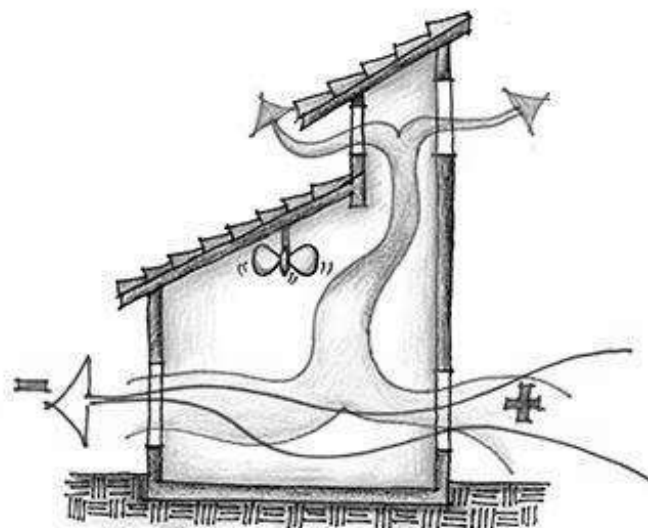


Fonte: Duarte (2016, p. 36).

Os sistemas passivos de ventilação fundamentam-se em diferenças de pressão para movimentar o ar fresco através dos edifícios. As diferenças de pressão podem ser ocasionadas pelo vento ou por diferenças de temperatura, o que caracteriza dois tipos principais de ventilação passiva: a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé. Estas estratégias também podem ser aplicadas conjuntamente em diferentes ambientes de uma mesma edificação.

Na ventilação por efeito chaminé, o ar mais frio (mais denso), exerce pressão positiva e o ar mais quente, por tornar-se menos denso, exerce baixa pressão e sobe, criando correntes de convecção (ver Figura 11).

Figura 11 - Ventilação por efeito chaminé.



Fonte: ProjetEEE (2019).

Na ventilação cruzada analisam-se os efeitos de pressão negativa e positiva que o vento exerce sobre a edificação ou qualquer outro anteparo. Para propiciar uma boa ventilação natural é preciso situar as aberturas em zonas de pressão oposta. A ventilação cruzada proporciona a remoção do calor por acelerar as trocas por convecção, além de contribuir para melhoria da sensação térmica dos ocupantes por elevar os níveis de evaporação.

A taxa na qual o ar flui através de um ambiente removendo o calor, é função da área de entrada e saída de ar, da velocidade do vento e da direção do vento em relação à posição das aberturas. A quantidade de calor retirada por determinada taxa de fluxo de ar depende da diferença de temperatura entre o interior e o exterior. Por esse motivo, a produção de calor interna também é decisiva no desempenho do edifício naturalmente ventilado.

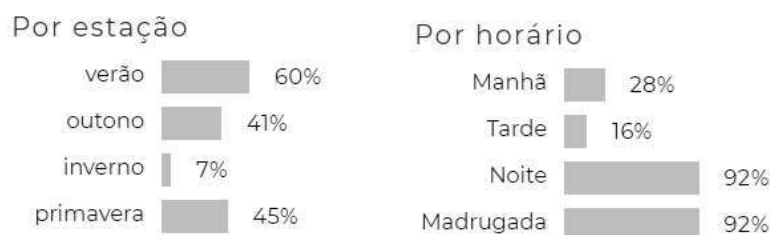
Os objetivos e o projeto de sistemas passivos de ventilação devem variar de acordo com o padrão de uso da edificação e com o clima local, respeitando a variação das condições de vento em função do relevo e obstáculos vizinhos.

Na edificação, a qualidade do projeto dos sistemas passivos de ventilação está essencialmente ligada ao projeto dos espaços internos e do tamanho e posicionamento das aberturas. É de suma importância enfatizar que a ventilação natural não é eficaz para reduzir a umidade do ar que penetra no ambiente. Isto limita a eficiência da utilização da ventilação natural em climas de umidade relativa do ar muito elevada (PROJETEEE, 2019).

A Figura 12 mostra a porcentagem da média geral de aplicabilidade da ventilação natural em relação às estações e horários.

Figura 12 - Aplicabilidade da ventilação natural em Palmas.

Média geral 36%

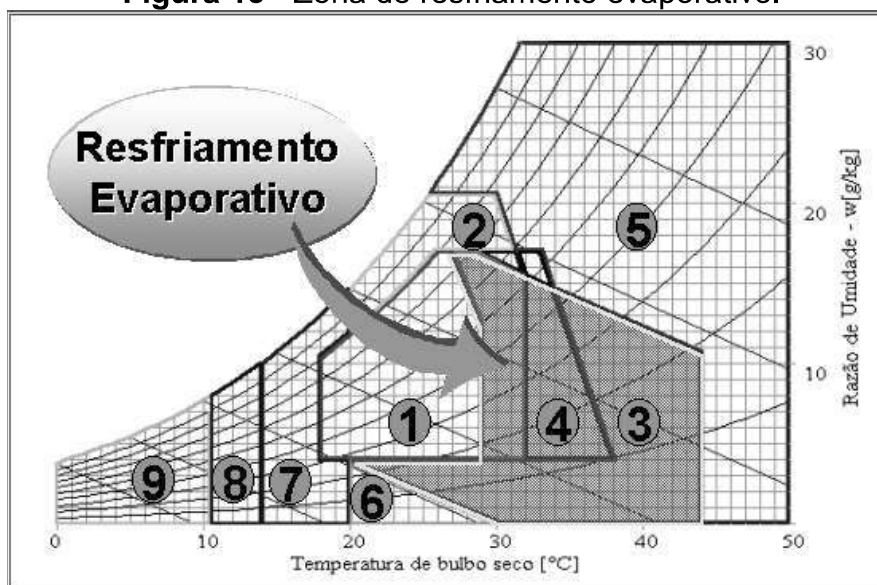


Fonte: ProjetEEE (2019).

c. Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo é uma estratégia usada para elevar a umidade relativa do ar e reduzir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser arranjado de forma direta ou indireta. A utilização de vegetação, de fontes d'água ou de outros meios que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar consiste em formas diretas de resfriamento evaporativo (ver Figura 13).

Figura 13 - Zona de resfriamento evaporativo.



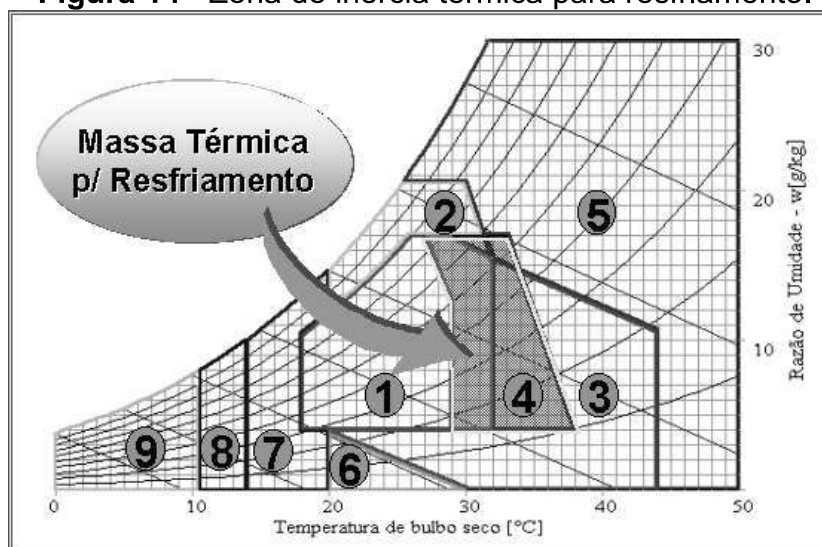
Fonte: Duarte (2016, p. 36).

d. Inércia térmica para resfriamento

Conforme a plataforma Projeteer (2019), uma edificação de alta inércia térmica permitirá uma redução das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta aptidão de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao externo. Nesse efeito, elementos de alta inércia térmica funcionam como uma espécie de bateria térmica: durante o verão absorvem o calor, mantendo a edificação confortável; no inverno, se bem orientado, pode conservar o calor para liberá-lo à noite, ajudando a edificação a manter-se aquecida. Essa característica é singularmente favorável em regiões de clima mais seco, onde há uma grande diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas externas (acima de 7°C), já em climas quentes e úmidos o resfriamento passivo normalmente é mais eficaz em edifícios com pequena inércia térmica.

A inércia térmica total da edificação depende das características do envelope (tipo de piso, parede e cobertura) que devem ser constituídos por materiais geralmente densos, de alta capacidade térmica (ver Figura 14). O uso dessa estratégia “no envelope” só tem êxito se a ventilação natural através dos ambientes internos for delimitada ao longo do dia, pois, com a ventilação, a temperatura interna se eleva, variando de acordo com o meio externo diretamente, sem o atraso térmico característico do fluxo de calor através das paredes e teto.

Figura 14 - Zona de inércia térmica para resfriamento.



Fonte: Duarte (2016, p. 37).

Deve-se atentar ao uso da estratégia de alta inércia térmica nos elementos de cobertura e de paredes a oeste, pois a alta exposição à radiação solar durante a maior parte do ano, pode transformar-se em acumuladores de calor e causar elevado desconforto térmico interno no período de verão. Este tipo de estratégia deve ser aplicado a estes elementos com muito critério, procurando diminuir os ganhos solares através de isolamento térmico externo ou sombreamento no período diurno.

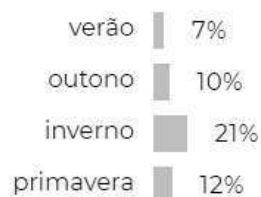
A capacidade térmica do material e seu respectivo atraso térmico são propriedades importantes na escolha do material a ser selecionado para os constituintes do envelope, de acordo com suas respectivas orientações solares e a resposta térmica desejada. O concreto e a alvenaria cerâmica são exemplos de materiais que apresentam capacidade térmica elevada (PROJETEEE, 2019).

A Figura 15 mostra a porcentagem da média geral de aplicabilidade de sombreamento em relação às estações e horários.

Figura 15 - Aplicabilidade de inércia térmica em Palmas.

Média geral 13%

Por estação



Por horário

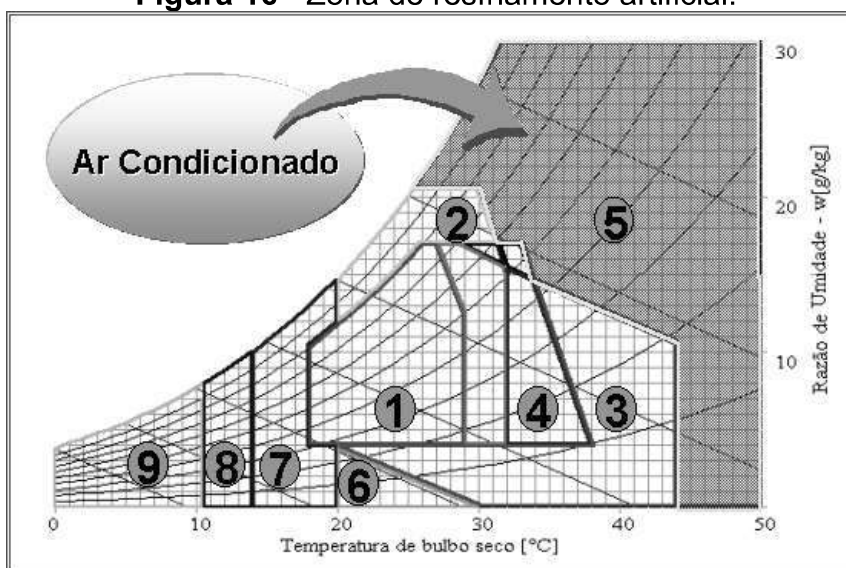


Fonte: ProjetEEE (2019).

e. Resfriamento artificial

O resfriamento artificial deve ser usado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não propiciam as condições almejadas de conforto (ver Figura 16). O uso de sistemas mecânicos para aumentar o fluxo de ar de um ambiente. Pode ser efetuada por ventiladores de teto, sistemas de pressão, sistemas de vácuo ou por exaustores (PEREIRA; BATISTA JUNIOR, 2018).

Figura 16 - Zona de resfriamento artificial.

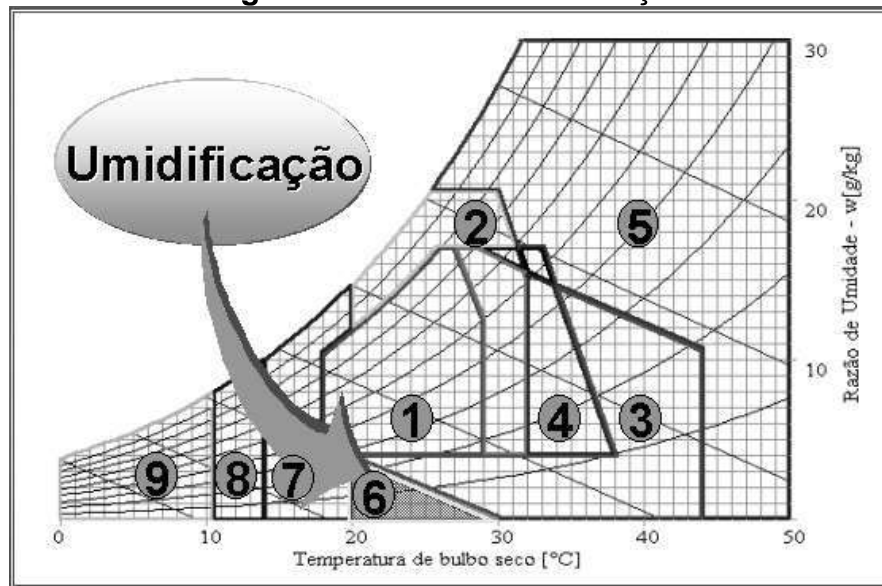


Fonte: Duarte (2016, p. 38).

f. Umidificação

Segundo Pereira e Batista Júnior (2018), a umidificação é obtida através da circulação de ar passante por uma superfície de água, natural ou mecânica (ver Figura 17). Métodos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno podem elevar a umidade relativa do ar. De mesmo modo, aberturas herméticas podem conservar esta umidade, além do vapor d'água gerado por plantas.

Figura 17 - Zona de umidificação.

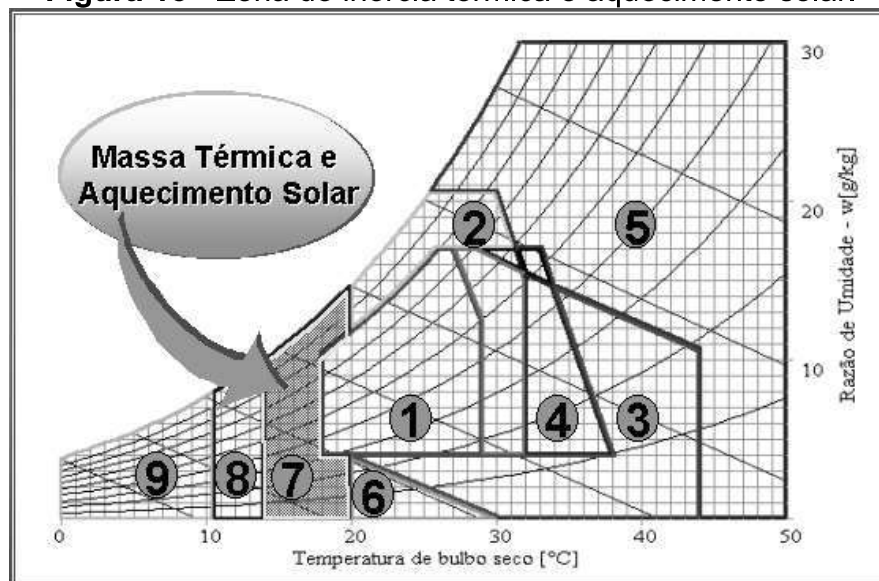


Fonte: Duarte (2016, p. 38).

g. Inércia térmica e aquecimento solar

Em edifícios construídos com materiais de alta inércia térmica, o aquecimento solar passivo direto colabora para que esses elementos conservem o calor absorvido, liberando-o vagarosamente para o ambiente (ver Figura 18). No verão, esses elementos devem ser abrigados da exposição solar (PEREIRA; BATISTA JUNIOR, 2018).

Figura 18 - Zona de inércia térmica e aquecimento solar.

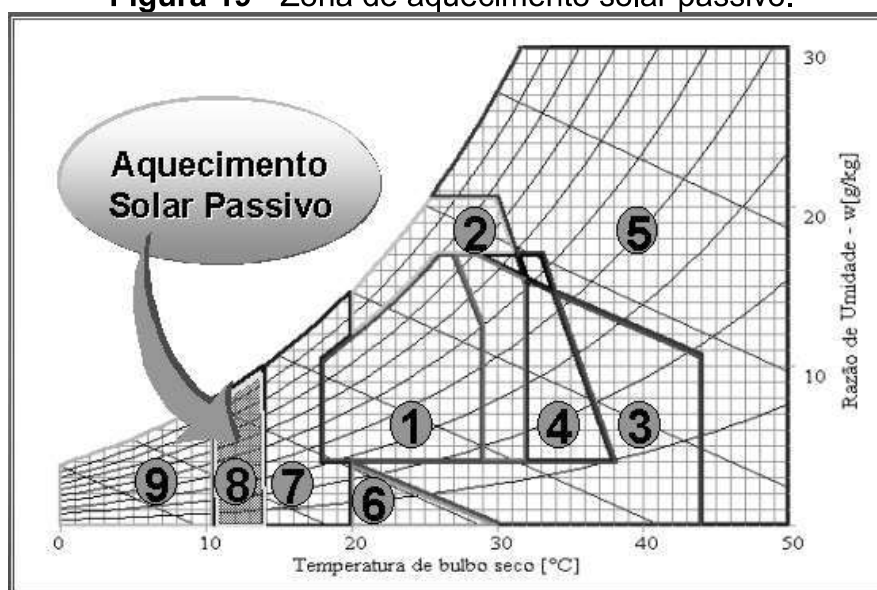


Fonte: Duarte (2016, p. 39).

h. Aquecimento solar passivo

O aquecimento solar passivo deve ser admitido para os casos com baixa temperatura do ar (ver Figura 19). Aconselha-se que o edifício tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas menores nas fachadas que não recebem insolação para dificultar perdas de calor. Esta estratégia pode ser obtida por meio de orientação adequada da edificação e de cores que majorem os ganhos de calor, a partir de aberturas zenitais, de coletores de calor dispostos no telhado e de isolamento para minimizar perdas térmicas (DUARTE, 2016).

Figura 19 - Zona de aquecimento solar passivo.

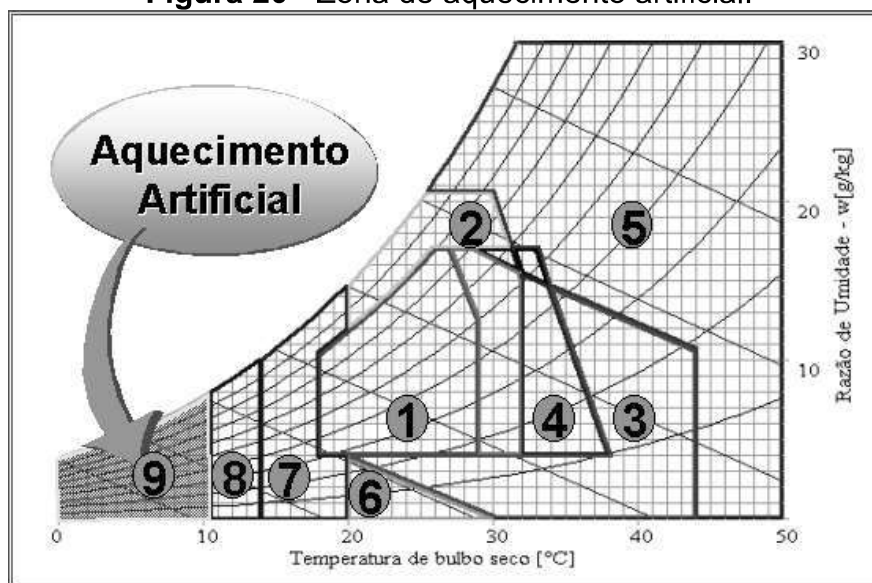


Fonte: Duarte (2016, p. 40).

i. Aquecimento artificial

De acordo com Duarte (2016), o aquecimento artificial deve ser usado apenas em locais muito frios, onde a estratégia de aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para gerar sensação de conforto (ver Figura 20). É necessário utilizar isolamento nas paredes e coberturas dos ambientes aquecidos para dificultar perdas de calor para o ambiente externo, além do uso de aparelhos de condicionamento de ar, caso necessário.

Figura 20 - Zona de aquecimento artificial.



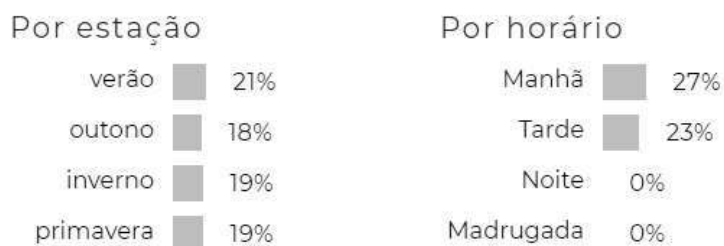
Fonte: Duarte (2016, p. 41).

Segundo Fernandes (2009), além dessas estratégias citadas acima, o sombreamento deverá ser usado concomitantemente à estratégia de resfriamento apontada pela carta bioclimática, seja esta ventilação, massa para resfriamento ou resfriamento evaporativo, quando a avaliação bioclimática do lugar indicar períodos de calor.

O sombreamento é uma estratégia indispensável para minimização dos ganhos solares através do envelope da edificação. Uma proteção solar projetada adequadamente deve esquivar-se dos ganhos solares nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem bloqueá-los no inverno e sem afetar a iluminação natural através das aberturas (PROJETEEE, 2019).

É imprescindível que o projetista conheça a geometria solar de inverno e verão em relação ao local de implantação do edifício, pois dependendo da localização do mesmo, a própria sombra causada por áreas construídas ou vegetação vizinha pode reduzir a exigência de sombreamento em certas fachadas. Ademais, é importante considerar o estudo da insolação no entorno da área edificada, para planejamento da orientação da edificação e as proteções necessárias às fachadas. Entre alguns exemplos de aplicação dessa técnica, podem-se citar brises, pérgulas, cobogós e até mesmo vegetação (PEREIRA; BATISTA JUNIOR, 2018).

A Figura 21 mostra a porcentagem da média geral de aplicabilidade de sombreamento em relação às estações e horários.

Figura 21 - Aplicabilidade de sombreamento em Palmas.**Média geral 19%**

Fonte: ProjetEEE (2019).

Fernandes (2009), sistematiza em um quadro esquemático (Quadro 2), as estratégias bioclimáticas classificadas por Givoni como passivas, e suas aplicações:

Quadro 2 - Sistematização das estratégias bioclimáticas passivas.

VARIÁVEL	APLICAÇÃO
Ventilação	Para situações onde a temperatura do ar ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa do ar for superior a 80%, aplicável até o limite de temperatura exterior de 32°C. A ventilação é uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído a partir da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio).
Resfriamento Evaporativo	Para situações onde a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima não exceda os 24°C e a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima não ultrapasse os 44°C. O resfriamento evaporativo é uma estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta. O uso de vegetação, de fontes d'água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo. Uma forma indireta pode ser obtida por meio de tanques d'água sombreados executados sobre a laje de cobertura.
Massa Térmica para Resfriamento	Para situações onde as condições de temperatura são elevadas e umidades relativas baixas ou intermediárias. A utilização de componentes construtivos com inércia térmica (capacidade térmica) superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação à exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente. Componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quente e seco onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento.
Umidificação	Quando a umidade relativa do ar for muito baixa (inferior a 20%) e a temperatura inferior a 27°C. Recursos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno podem aumentar a umidade relativa do ar. Da mesma forma, aberturas herméticas podem manter esta umidade, além do vapor d'água gerado por atividades domésticas ou produzido por plantas.

Continua

VARIÁVEL	APLICAÇÃO
Massa Térmica para Aquecimento	Para situações de temperatura entre 14°C e 20°C. Neste caso, pode-se adotar componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor.
Aquecimento Solar Passivo	Para situações com baixa temperatura do ar, entre 10,5°C e 14°C, com isolamento térmico mais rigoroso. Recomenda-se que a edificação tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. Esta estratégia pode ser conseguida a partir da orientação adequada da edificação e de cores que maximizem os ganhos de calor, por meio de aberturas zenitais ou de coletores de calor colocados no telhado.

Fonte: Fernandes (2009, p. 46).

Segundo a plataforma Projeteee, as estratégias bioclimáticas variam em função do clima, das técnicas construtivas e do tipo de uso, sendo possível obter de maneira natural, condições de conforto para os usuários de uma edificação. Além de orientar a construção de edifícios sustentáveis, a plataforma Projeteee apresenta dados de caracterização climática e soluções bioclimáticas, de mais de 400 cidades brasileiras, para projetar edificações energeticamente eficientes. Para a cidade de Palmas/TO a indicação das estratégias de projeto mais apropriadas são ventilação natural, sombreamento e Inércia térmica para resfriamento, o que não condiz totalmente com a norma ABNT NBR 15220 (2003), pois essa aponta também a estratégia resfriamento evaporativo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho tem uma abordagem quali-quantitativa, admitindo assim, uma possibilidade de maior apanhado sobre o tema desenvolvido. Qualitativa pois tem como propósito a produção de informações aprofundadas e explicativas, visando a geração de novas recomendações como resultado. Quantitativa, pois baseia-se em parâmetros climáticos tabelados através de médias e dados tratados. Portanto, a metodologia dessa pesquisa enfatiza-se como teórico-prática, pois tem finalidade propositiva baseada na literatura, em *softwares* e análises específicas.

Para a elaboração da pesquisa foram realizadas as seguintes etapas:

I. Pesquisa exploratória sobre estratégias bioclimáticas que se adaptem ao clima de Palmas – TO, referenciada a partir de literaturas sobre conforto térmico, climatologia e suas zonas, Arquitetura Bioclimática e seus métodos e eficiência energética.

II. Coleta de dados necessários para a avaliação do clima da região, assim como, o tratamento dos mesmos para obtenção de dados utilizados nos programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018).

III. Análise da comparação dos resultados obtidos nos programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) concomitantemente à análise rítmica e proposição de recomendações de estratégias bioclimáticas para a cidade de Palmas.

3.1 Instrumentos

Os instrumentos utilizados serão o *software* Analysis Bio® (LABEEE, 2010), o *software Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) e o gráfico de análise rítmica.

O *software* Analysis Bio® (LABEEE, 2010) sobrepõe os dados de temperatura e umidade sobre a Carta Bioclimática, para que se possa visualizar a disposição dos dados climáticos ao longo do ano por meio da utilização de um arquivo TRY (*Test Reference Year*). Ele também permite a sobreposição na Carta somente dos dados das normais climatológicas (médias mensais, portanto, segundo o conceito estático do clima), ressaltando as estratégias de projeto para edificações adequadas ao clima para cada mês, conforme as zonas identificadas na Carta Bioclimática, por

meio de diversas cores. Em ambos os casos, exibe um relatório de porcentagem de horas do ano em que cada estratégia é mais adequada. Com a utilização do arquivo TRY, é possível escolher períodos diferentes do ano, inclusive dia a dia.

O *software Climate Consultant*[®] (LIGGETT; MILNE, 2018) é semelhante ao *Analysis Bio*[®] (LABEEE, 2010), pois também apresenta os resultados na Carta Psicrométrica, mas possui diversos outros recursos, baseados em gráficos, que auxiliam os profissionais a entender o clima local. Ele usa dados climáticos anuais no formato EPW de 8760 horas, disponibilizados gratuitamente pelo Departamento de Energia para milhares de estações meteorológicas em todo o mundo. Além disso, apresenta quatro formas de utilização da carta, baseado em métodos diferentes de avaliação do conforto, o *California Energy Code Comfort Model*, de 2013 (tendo em vista que é um programa desenvolvido nos EUA, utiliza índices locais); o modelo atual da ASHRAE descrito na norma *Standard 55* de 2017; o modelo da ASHRAE descrito no *Handbook of Fundamentals* antes do ano de 2005; e o modelo adaptativo descrito na norma *Standard 55* da ASHRAE de 2010.

A elaboração do gráfico de análise rítmica se dá através da transformação numérica de fatores climáticos em gráficos, objetivando facilitar a visualização do ritmo climático, a partir do uso de editor de planilhas. Nele são ilustradas, conjuntamente, as variações diárias dos elementos do clima e a sucessão diária dos tipos de tempo de um lugar, originando uma associação. Logo, os gráficos geralmente são bem maiores que os tradicionais, sendo isso indispensável para o entendimento do ritmo e sua sucessão, que não seria possível caso houvesse uma descontinuidade da ilustração, a configuração deste gráfico compara-se a uma fusão de um gráfico cartesiano com um cronograma (linha do tempo).

Por fim, os dados foram tratados em um editor de planilhas, plotados e analisados diariamente.

3.2 Dados

Para o *software Analysis Bio*[®] (LABEEE, 2010) foi utilizado o TRY - Test Reference Year (Ano Climático de Referência) da cidade de Palmas- TO, desenvolvido por Ferraz e Dominiqui (2019) através da metodologia utilizada pela ASHRAE (1993), detalhada por Goulart, Lamberts e Firmino (1998), ambos citados

pelas autoras. O ano de referência utilizado pelas autoras foi o ano de 2015, com dados do INMET da estação automática.

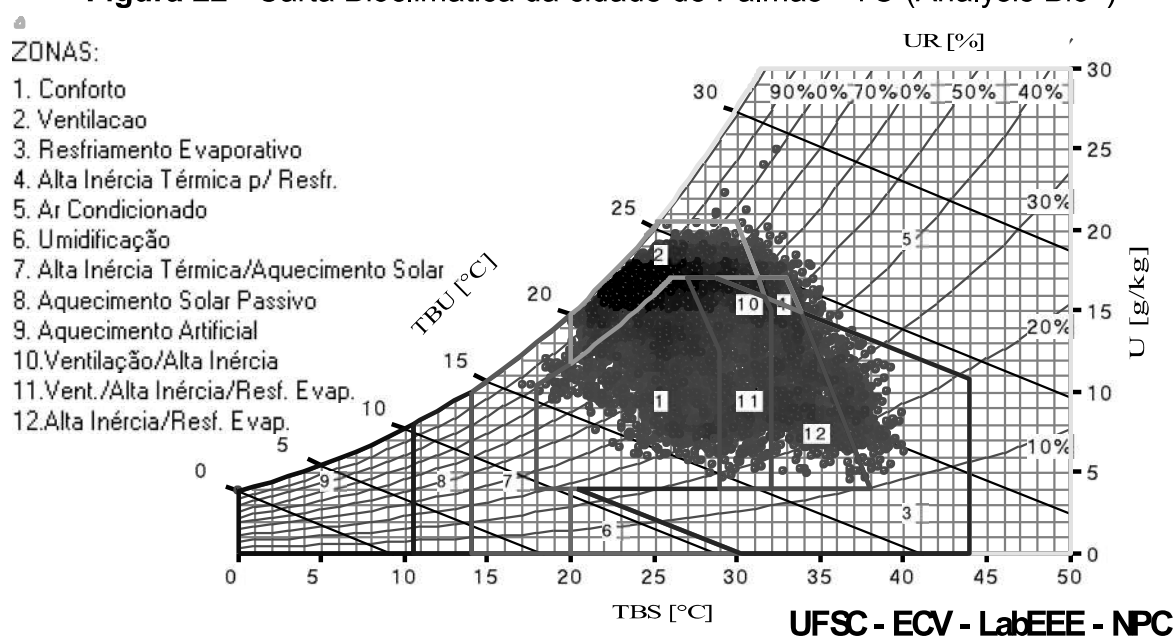
Para o *software Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), foi utilizado o arquivo EPW disponível no *site* do programa *Energy Plus*, fornecido gratuitamente pelo *Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO)*, e pelo *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, dos Estados Unidos. O arquivo é desenvolvido com dados do INMET, utilizando o método de conforto da Norma ASHRAE 55 e modelo atual do Manual de Fundamentos.

Para o gráfico de análise rítmica, foram utilizados os dados do INMET do ano de 2013, cujo gráfico foi desenvolvido por Silva (2018).

3.3 Gráficos

Primeiramente, foi gerada uma carta bioclimática com a opção “Ano Todo” no programa *Analysis Bio*® (LABEEE, 2010), utilizando o TRY da cidade de Palmas - TO, ilustrada na Figura 22.

Figura 22 - Carta Bioclimática da cidade de Palmas - TO (Analysis Bio®)



Fonte: LABEEE (2010) com TRY de Ferraz e Dominiqi (2019), organizado pela autora (2020).

A uma pressão de 101,13 KPa o relatório geral com as porcentagens de horas confortáveis resultou em 27,3% e desconfortáveis igual a 72,7%, sendo as porcentagens de desconforto por frio de 0,16% e por calor igual a 72,5% e as

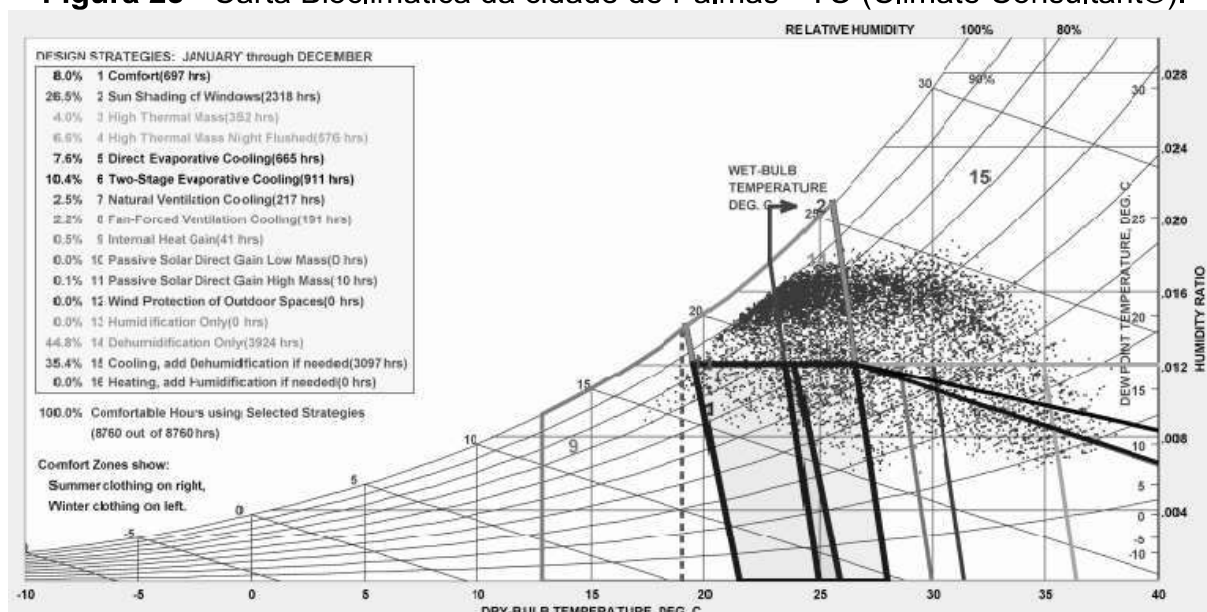
porcentagens de horas em que são recomendadas cada estratégia bioclimática são as seguintes:

- Ventilação: 36,7%;
- Ventilação/Alta Inércia: 1,52%;
- Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo: 14,8%;
- Alta Inércia Térmica p/ Resfriamento: 1,54%;
- Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo: 11,3%;
- Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar: 0,148%;
- Conforto: 27,3%;
- Aquecimento Artificial: 0,0114%;
- Aquecimento Solar Passivo: 0%;
- Ar Condicionado: 1,94%;
- Resfriamento Evaporativo: 4,73%;
- Umidificação: 0%;
- Sombreamento: 99,5%.

Essas porcentagens são consideradas, partindo da hipótese, que as estratégias bioclimáticas sejam utilizadas conjuntamente, aludindo uma construção “perfeita”. Sendo assim, se os projetos considerassem adequadamente estratégias construtivas como ventilação, resfriamento evaporativo e sombreamento, por exemplo, as edificações necessitariam de uma porcentagem pequena de uso de ar condicionado. Um exemplo desse tipo de construção é a *Passive House*, que é um padrão de construção verdadeiramente eficiente em termos energéticos, confortável e ecológico ao mesmo tempo, a Casa Passiva é um conceito de construção sustentável que fornece edifícios acessíveis e de alta qualidade, além de condições de vida saudáveis.

Para gerar a carta psicrométrica no *Climate Consultant*[®] (LIGGETT; MILNE, 2018) utilizou-se a opção de modelo de conforto Norma ASHRAE 55 e modelo atual do Manual de Fundamentos, cujo conforto térmico é baseado na temperatura do bulbo seco, no nível da roupa (clo), na atividade metabólica (alcançada), na velocidade do ar, na umidade e na temperatura radiante média. Selecionando as opções: Conforto dentro de casa, de hora em hora, todas as horas e todos os meses, com uma temperatura de -10°C a 40°C, obteve-se a carta bioclimática ilustrada na Figura 23.

Figura 23 - Carta Bioclimática da cidade de Palmas - TO (Climate Consultant®).



Fonte: Liggett e Milne (2018), organizado pela autora (2020).

Contudo, para compor o gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas, é necessária uma análise de dados diários. Sendo assim, foram elaboradas duas tabelas em um editor de planilhas com as porcentagens de cada estratégia bioclimática do Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) para cada dia de todo o ano. A partir dessas tabelas, dois gráficos foram obtidos de colunas empilhadas, destacando as estratégias bioclimáticas.

Esses gráficos de coluna empilhada foram inseridos no gráfico de análise rítmica, para se analisar juntamente com os gráficos: Temperaturas do ar diárias (máxima e mínima, em °C), Umidade Relativa (horária, em %); Precipitação diária (mm); Insolação diária (horas); Nebulosidade diária (décimos), Velocidade do vento (horária, em m/s); Direção do vento e Sistema atmosférico atuante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estratégias Bioclimáticas - Analysis Bio®

Após inserir o gráfico com as Estratégias Bioclimáticas diárias - Analysis Bio® (LABEEE, 2010) no gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas (ver Apêndice A), percebeu-se que, entre o dia 1 de janeiro e 13 de maio, as zonas em “Conforto” e as estratégias “Resfriamento evaporativo”, “Alta inércia para resfriamento” e “Ar condicionado” representam uma porcentagem pequena em relação às estratégias “Sombreamento” e “Ventilação”, que são predominantes nesse período. Analisando os dias com picos de queda de temperatura máxima nesse mesmo período, constatou-se uma relação diretamente proporcional com a insolação diária (com redução da insolação quando ocorreu redução da temperatura máxima), e indireta com a nebulosidade (sendo alta, de 8 a 10 décimos). Nas baixas temperaturas máximas, as massas de ar variaram entre MTA e MEA.

Nos dias em que a temperatura máxima está acima da média (acima de 34°C), verificou-se o contrário, insolação diária mais alta e nebulosidade mais baixa, porém as massas de ar variam mais entre MTA, MEA e MEC. A temperatura mínima diária não variou tanto quanto a máxima, nesse período. Todavia, essa variação de temperatura não causou mudanças significativas na disposição das estratégias bioclimáticas do Analysis Bio® (LABEEE, 2010).

Ao longo desse primeiro período (1 de janeiro a 13 de maio), nos dias 20 a 23 de janeiro e 21 a 24 de fevereiro, destacou-se uma certa constância das estratégias “Resfriamento evaporativo” e “Alta inércia para resfriamento” – dentre as estratégias “Sombreamento” e “Ventilação”, assim como a zona de “Conforto” – correlacionadas a uma baixa precipitação, baixa porcentagem de umidade relativa (à tarde) e insolação mediana. Nesses dias de janeiro, ocorreu o episódio de um dia de massa de ar MEC entre os outros de MEA e nos dias de fevereiro, a massa atuante foi a MEC.

Além disso, nos dias 28 a 31 de janeiro e 9 a 12 de fevereiro, houve também uma pequena constância da estratégia “Ar Condicionado”, juntamente com as estratégias citadas acima, associada à baixa precipitação, porcentagem de umidade relativa à tarde também baixa e troca de massas atuantes, de MTA para MEC nos dias de janeiro e de MEC para MTA em fevereiro.

Os dias 17 e 18 de março e 16 e 17 de abril apresentaram semelhanças quanto às porcentagens na zona em “Conforto” e das estratégias “Ventilação”, “Resfriamento evaporativo”, “Alta inércia para resfriamento” e “Sombreamento”, além de baixa precipitação, insolação medianamente baixa, nebulosidade média, e troca de massas atuantes, de MEC para MTA nos dias de março e de MEC para MEA em abril.

No decorrer do período de 14 de maio a 22 de outubro, as porcentagens na zona de “Conforto” e das estratégias “Resfriamento evaporativo” e “Alta inércia para resfriamento” aumentaram, enquanto a porcentagem de “Ventilação” diminuiu, sendo que o percentual da zona em conforto térmico foi bem superior que as estratégias, com uma média de 50%. Em relação aos outros elementos do clima, nesse período, a temperatura do ar diária começou a subir e ficar com uma amplitude maior, a umidade relativa teve uma queda, a precipitação tornou-se praticamente nula, a insolação elevou-se, a nebulosidade ficou variável. As massas de ar atuantes variaram um pouco entre MEA, MEC e contanto com alguns episódios (raros) de REP-FPA (Repercussão da Frente Polar Atlântica), porém a predominante foi a MTA.

As porcentagens das estratégias do período de 23 de outubro a 31 de dezembro assemelharam-se às do primeiro período, caracterizado anteriormente, assim como os outros gráficos da análise rítmica, porém, o que difere é a atuação das massas de ar, que variam bastante em relação aos outros períodos, ocorrendo inclusive, episódios (raros) de atuação das massas MTA(ZCAS), MEA(ZCAS), FPA (Frente Polar Atlântica) e FPA-DIS (Frente Polar Atlântica em Dissipação).

No gráfico Estratégias Bioclimáticas diárias – Analysis Bio® (LABEEE, 2010), a variação da porcentagem da estratégia “Sombreamento” foi constante durante o ano inteiro, a porcentagem da estratégia “Ventilação” diminuiu conforme a zona de “Conforto” e a estratégia de “Alta inércia para resfriamento” aumentaram. As estratégias “Alta inércia para resfriamento” e “Resfriamento evaporativo” tiveram percentuais mais altos no período de 14 de maio a 22 de outubro, enquanto a estratégia “Ventilação” teve percentuais mais altos no primeiro período de 1 de janeiro a 13 de maio e no terceiro período de 23 de outubro a 31 de dezembro.

4.2 Estratégias Bioclimáticas - *Climate Consultant*®

Analisando no Apêndice A, as Estratégias Bioclimáticas diárias - *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) traçadas no gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas, notou-se que durante o período de 1 de janeiro a 14 de maio, houve uma predominância das estratégias: “Desumidificação”, “Resfriamento, adicione desumidificação, se necessário” e “Sombreamento de janelas”. Associando-o aos outros elementos do clima, cujas características já foram citadas no tópico anterior e comparando ao gráfico das estratégias bioclimáticas do Analysis Bio® (LABEEE, 2010), nesse mesmo período, observaram-se recomendações semelhantes quanto às estratégias “Sombreamento”, “Resfriamento” e “Desumidificação”, no entanto, a “Ventilação” não foi indicada nesse período pelo *Climate Consultant*®.

Nos dias 10 e 11 de janeiro, além das estratégias “Desumidificação”, “Resfriamento, adicione desumidificação, se necessário” e “Sombreamento de janelas”, verificou-se uma pequena porcentagem das estratégias “Resfriamento evaporativo em dois estágios”, “Resfriamento evaporativo direto”, “Refrigeração por ventilação forçada por ventilador” e “Refrigeração por ventilação natural”. Analisando os demais gráficos nos mesmos dias, observou-se uma queda na temperatura máxima, velocidade do vento próximo de 0 m/s e calmaria o dia todo no dia 11, sendo o sistema atmosférico atuante a MTA.

No dia 15 de maio, a zona em “Conforto” e as estratégias bioclimáticas “Alta massa térmica” e “Noite de alta massa térmica nivelada” demonstram suas pequenas porcentagens pela primeira vez no gráfico do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), juntamente com “Desumidificação”, “Resfriamento, adicione desumidificação, se necessário”, “Sombreamento de janelas”, “Resfriamento evaporativo em dois estágios”, “Resfriamento evaporativo direto”, “Refrigeração por ventilação forçada por ventilador” e “Refrigeração por ventilação natural”. Nesse episódio, a umidade relativa teve uma baixa, a precipitação foi nula, insolação diária alta e houve troca da massa de ar atuante, de MEA para MTA.

Entre os dias 29 de maio e 28 de junho, notou-se a primeira sequência de dias com “Conforto” no gráfico das estratégias bioclimáticas do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), assim como, os primeiros dias com pequena porcentagem da estratégia “Ganho de calor interno”. Nesse período, a variação entre a temperatura máxima e mínima começa a aumentar, pois a temperatura do ar diária máxima

começou a elevar-se e a mínima diminuir, a umidade relativa começou a baixar e notou-se a primeira atuação da massa de ar REP-FPA, por três dias, após uma troca de MTA, MEC e MEA.

No decorrer do período de 29 de junho a 19 de agosto, a porcentagem em “Conforto” e das estratégias “Alta massa térmica”, “Noite de alta massa térmica nivelada”, “Resfriamento evaporativo em dois estágios” e “Resfriamento evaporativo direto” aumentaram, enquanto a porcentagem de “Desumidificação” diminuiu, semelhante ao que ocorreu, no mesmo período, com as estratégias do Analysis Bio® (LABEEE, 2010). Contudo, no gráfico do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) contou-se com as estratégias “Ganho de calor interno”, “Ganho solar passivo direto – alta massa” e “Ganho solar passivo direto – baixa massa”, mesmo que com porcentagens mínimas, que não apareceram no Analysis Bio®.

Em relação aos outros gráficos da análise rítmica, nesse período a temperatura do ar diária atingiu uma maior amplitude, a umidade relativa permaneceu baixa, a precipitação foi nula, insolação alta e a nebulosidade variável. As massas de ar atuantes variaram entre MTA e MEA, ocorrendo um episódio de MEC e um de REP-FPA, porém a predominante foi a MTA.

Durante o período 20 de agosto a 29 de setembro, percebeu-se que a porcentagem de “Conforto” diminuiu e a estratégia de “Resfriamento evaporativo em dois estágios” aumentou. A temperatura diária mínima e a umidade relativa começaram a aumentar, a precipitação continuou praticamente nula, assim como a insolação alta e a nebulosidade variável. A atuação das massas de ar variou entre MTA, MEA e MEC ocorrendo um episódio de REP-FPA, porém a predominante foi a MTA.

No último período do gráfico de estratégias bioclimáticas do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), compreendido entre 30 de setembro e 31 de dezembro, o formato das estratégias é similar ao do primeiro período, com predominância das estratégias “Desumidificação”, “Resfriamento, adicione desumidificação, se necessário” e “Sombreamento de janelas”. Essa similaridade entre o primeiro e último período também se verificou no gráfico do Analysis Bio® (LABEEE, 2010), apesar de ocorrer um pouco mais cedo, ainda em setembro. A temperatura diária máxima começou a cair e a umidade relativa a subir, a precipitação, insolação diária e nebulosidade foram bastante variáveis nesse período, assim como a troca das massas de ar atuantes. Nesse período, ocorreu a atuação dos oito tipos

de sistemas atmosféricos, sendo pela primeira vez a FPA, FPA-DIS, MEA (ZCAS) e MTA (ZCAS) e predominantemente a MTA.

No gráfico Estratégias Bioclimáticas diárias – *Climate Consultant*[®] (LIGGETT; MILNE, 2018), a variação da porcentagem da estratégia “Sombreamento de janelas” é constante durante o ano inteiro, assim como é constante a porcentagem de algum tipo de resfriamento, sendo o “Resfriamento, adicione desumidificação, se necessário” na época mais úmida e “Resfriamento evaporativo em dois estágios” e “Resfriamento evaporativo direto” na época mais seca. No período seco, a zona de “conforto” tornou-se bem perceptível, assim como a porcentagem das estratégias “Alta massa térmica” e “noite de alta massa térmica”, as porcentagens de “Refrigeração por ventilação forçada por ventilador” e “Refrigeração por ventilação natural” também foram significativas. Nesse período, as temperaturas noturnas foram as mínimas do ano e as diurnas, as máximas.

No período de 29 de maio a 16 de setembro, a porcentagem da estratégia “Desumidificação” diminuiu e ocorreram episódios com porcentagens mínimas das estratégias “Ganho de calor interno”, “Ganho solar passivo direto – alta massa” e “Ganho solar passivo direto – baixa massa”.

4.3 Recomendações de aplicação das estratégias Construtivas

Após analisar os resultados obtidos nos programas Analysis Bio[®] (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*[®] (LIGGETT; MILNE, 2018), identificou-se que as estratégias bioclimáticas mais adequadas para a cidade de Palmas – TO são “Sombreamento”, “Ventilação/Desumidificação” e “Resfriamento evaporativo”, porém, a estratégia “Ventilação/Desumidificação” deve ser controlada nos meses de junho a setembro, pois nesses meses de baixa umidade, a ventilação pode desumidificar ainda mais o ambiente.

Nesses meses, as estratégias “alta inércia para resfriamento” e “alta massa térmica” mostram sua relevância, mesmo que nesse período o conforto também se torne relevante nos gráficos, supõe-se que ele seja noturno, pois esse período é o mais crítico, com as temperaturas mais elevadas, mas com as temperaturas mínimas.

A ABNT NBR 15220 (2003) recomenda que as aberturas para ventilação devem ser pequenas e sombreadas, as vedações externas devem ser paredes e coberturas pesadas e as estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas

para a estação verão são resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa). Portanto, de acordo com os resultados obtidos através dos gráficos gerados no Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), apesar de algumas diferenças entre eles, a aplicação dessa norma atende, em parte, às diretrizes projetuais necessárias ao clima de Palmas, pois paredes e coberturas pesadas geram alta inércia/massa térmica.

Entretanto, esse tipo de estratégia construtiva não é recomendável para Palmas - TO, pois é relevante somente para a época seca do ano, entre os meses de junho a setembro, aproximadamente, e não proporciona flexibilidade para não utilização ou utilização parcial, como algumas outras estratégias, para quando não é favorável (épocas mais úmidas). A possibilidade do uso de alta massa térmica só é recomendada com alto sombreamento, de preferência de vegetação, evitando o sobreaquecimento destes elementos construtivos.

Em resumo, elaborou-se o Quadro 3 para destacar quais estratégias construtivas bioclimáticas são mais indicadas para cada período:

Quadro 3 - Quadro resumo das Estratégias para cada período.

Período (Meses)	Estratégias Construtivas Bioclimáticas
Período Seco (maio a setembro)	Sombreamento, Resfriamento Evaporativo e Alta Inércia Térmica.
Período Úmido (outubro a abril)	Sombreamento e Ventilação.

Fonte: Autoria Própria.

4.3.1 Sombreamento

A estratégia Sombreamento é recomendada para o ano todo, porém, deve-se atentar para uma forma construtiva que não impeça a entrada de iluminação natural e que seja, se possível, flexível, para evitar os ganhos solares no verão e não os impedir no período chuvoso. A utilização de toldos e venezianas como mostrado nas Figura 24 e Figura 25 são exemplos de solução para esse caso.

Figura 24 - Toldos retráteis.



Fonte: Guarujá Toldo (2020).

Figura 25 - Veneziana para Janela.



Fonte: Beatrice (2020).

Para o sombreamento das fachadas é de suma importância o estudo do local de implantação da edificação, pois as sombras causadas pelas construções vizinhas podem amenizar a necessidade de algumas aplicações construtivas de sombreamento. Além disso, é imprescindível considerar a orientação solar para planejamento das proteções necessárias.

Para fachadas norte e sul, o ideal é uma combinação de proteções horizontais e verticais (ver Figura 26), já para as fachadas em que os percursos

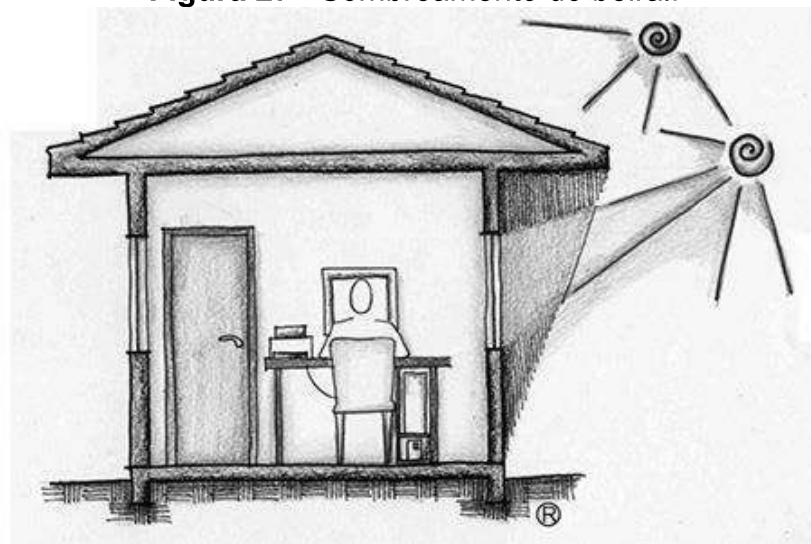
solares estão, na maior parte, na diagonal em relação à fachada (Nordeste, Sudoeste, Sudeste) as proteções verticais são mais eficientes. O elemento de proteção solar horizontal mais comum é o beiral da própria cobertura da edificação (ver Figura 27).

Figura 26 - Sombreamento com vegetação.



Fonte: Ichikawa (2020).

Figura 27 - Sombreamento do beiral.



Fonte: ProjetEEE (2020).

Alguns outros exemplos de proteção vertical que podem ser adotados como técnica de sombreamento são os brises (ver Figura 28), paredes cobogós (ver Figura 29) e vegetação (ver Figura 30).

Figura 28 - Brises Verticais.



Fonte: Viva Decora (2020).

Figura 29 - Parede de cobogós.



Fonte: Chalabi (2020).

Figura 30 - Sombreamento com vegetação arbustiva.



Fonte: ProjeTEEE (2020).

O pergolado é um sistema de sombreamento horizontal bastante eficiente, pois também favorece a circulação de ar, que reduz as transferências térmicas para o interior, indicado para direção oeste e construções térreas (ver Figura 31).

Figura 31 - Pergolado.



Fonte: Souza e Fontes (2020).

Além das técnicas construtivas citadas acima, a vegetação também pode ser utilizada como elemento externo de sombreamento, por meio de árvores de copa larga e densa que auxiliem no sombreamento inclusive da cobertura, no caso de

edificações residenciais ou vegetações arbustivas que protejam a fachada exposta à radiação oeste. Para isso, é necessário conhecimento de suas dimensões e áreas de sombra provocadas ao longo do ano, para planejamento das suas localizações.

4.3.1 Ventilação

- Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada ocorre através da diferença de pressão provocada pelo vento na edificação. Quanto maior for a diferença de pressão nas faces onde estão localizadas às aberturas, maior será o volume do fluxo de ar, sendo as aberturas em zonas de pressão oposta. O volume de fluxo de ar (número de trocas) que passa através da estrutura é definido pelo tamanho das aberturas.

Segundo Lima, Barbosa e Silva (2014), é desejável que os fechamentos internos sejam vazados ao máximo. Uma alternativa construtiva que exemplifica esse tipo de plano aberto, que promove a ventilação cruzada natural, é a utilização de cobogós, que além da ventilação propicia também a iluminação natural (ver Figura 32).

Figura 32 - Parede interna de cobogós.

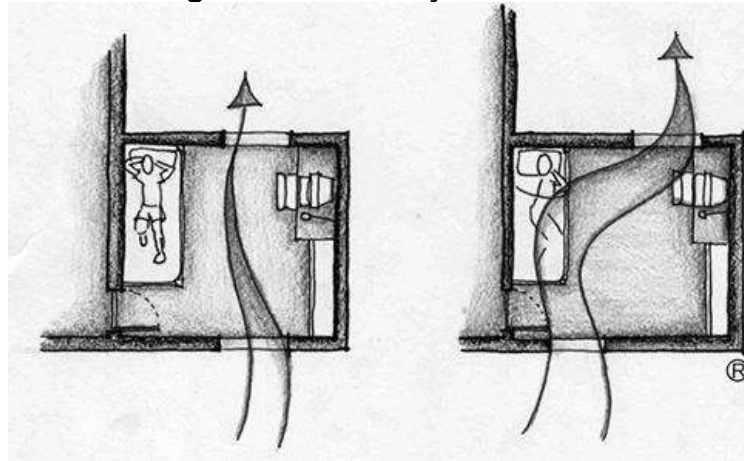


Fonte: Conte (2020).

As janelas direcionam o fluxo de ar, que é estabelecido pela posição das aberturas de entrada com relação ao exterior e das aberturas de saída com relação a

corrente de ar interna. Para que uma maior parcela do ambiente seja ventilada, deve-se obrigar o vento a mudar de direção dentro do mesmo (ver Figura 33).

Figura 33 - Ventilação cruzada.



Fonte: ProjetEEE (2020).

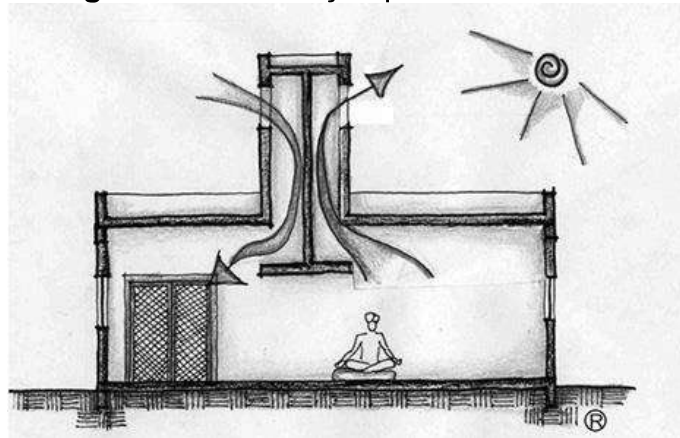
A forma de abrir das janelas também influencia o volume do fluxo de ar, as pivotantes e dobráveis provocam o redirecionamento da corrente de ar de entrada as de correr e de duplo deslizamento não redirecionam o ar de entrada, pois trabalham no plano da parede. A capacidade de rotação de janelas pivotantes pode ser usada para captar e redirecionar as correntes de ar.

- Torres de vento

As torres de vento captam os ventos acima do nível da cobertura direcionando-os para o interior do edifício, sendo bastante eficazes em edificações onde as janelas têm pouco acesso à ventilação. As torres de vento podem captar ventos em qualquer direção, mas devem ser projetadas de acordo com a variação da direção dos ventos predominantes de verão. Logo, a abertura dos coletores deve ser perpendicular à direção desses ventos.

Se os ventos variam entre direções opostas é necessário ter também o coletor nos dois lados opostos. Em alguns casos para evitar que os ventos cruzem o coletor é necessário colocar separações verticais no interior do coletor junto ao cume, e estas devem descer até o nível das aberturas de saída para evitar que os ventos percorram uma direção menor em direção ao outro lado da torre. Durante o dia, elas funcionam como coletoras dos ventos e à noite, o processo é invertido e ela passa a funcionar como uma chaminé para exalar o ar do quarto (ver Figura 34).

Figura 34 - Ventilação por torre de vento.

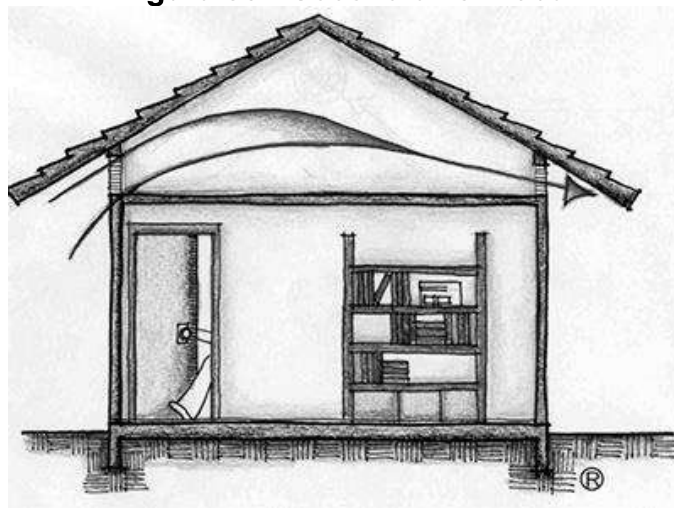


Fonte: ProjetEEE (2020).

- Cobertura Ventilada

A ventilação da cobertura é uma técnica simples e favorável para redução dos ganhos de calor, pois diminui consideravelmente a transferência deste aos ambientes internos. As aberturas são dispostas nas laterais entre a cobertura e o forro, no eixo dos ventos predominantes (ver Figura 35).

Figura 35 - Cobertura ventilada.



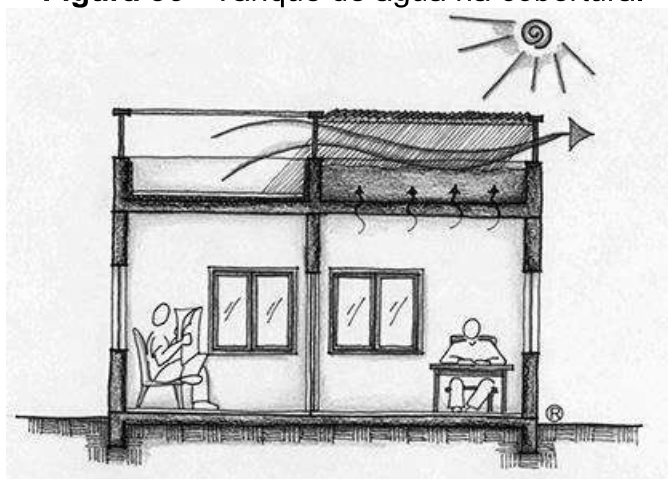
Fonte: ProjetEEE (2020).

4.3.1 Resfriamento Evaporativo

- Tanque de água na cobertura

A utilização de tanque de água na cobertura eleva sua capacidade térmica, evitando ganhos excessivos de calor no período diurno. Devem ser construídos sobre lajes não isoladas, nas quais a temperatura da superfície da cobertura acompanhe a temperatura de bulbo úmido ambiente (ver figura 36).

Figura 36 - Tanque de água na cobertura.



Fonte: ProjetEEE (2020).

O uso de proteções solares sobre o tanque de água (pérgulas) e sua exposição aos ventos proporciona resfriamento pela evaporação da água e reduz os ganhos de calor na cobertura. Desse modo, a cobertura absorve calor do ambiente interno, para liberá-lo no exterior, durante o período noturno. É fundamental a ventilação do espaço interno no período noturno para tornar o processo de eliminação da energia térmica armazenada mais rápido.

Segundo Fernandes, Krüger e Rossi (2017), verificou-se que o resfriamento evaporativo pode exercer um papel mais importante que o proposto pela carta bioclimática, minimizando as temperaturas nas horas mais quentes e consequentemente diminuindo a amplitude térmica, o que reflete na redução da necessidade de climatização artificial no período quente.

- Teto jardim

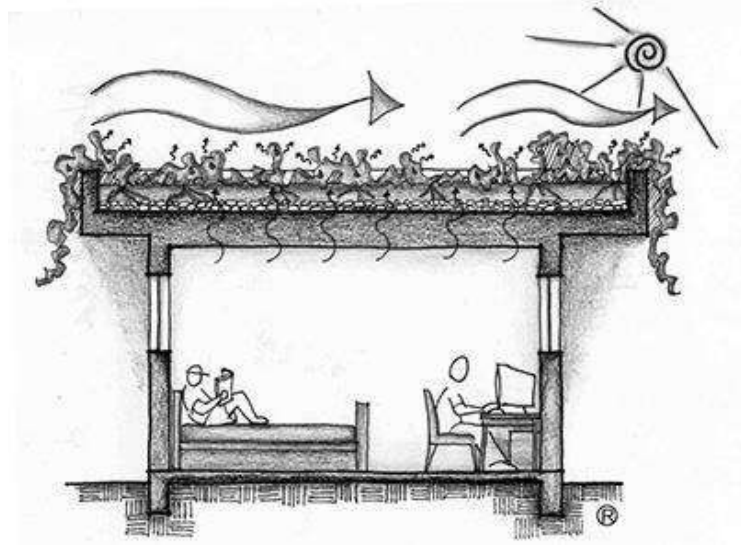
O teto jardim é um sistema mais difundido que o tanque de água na cobertura. Ele fornece benefícios tanto no verão quanto no inverno.

A vegetação contida nele retém a maior parte da radiação e através da irrigação dessa vegetação ocorre uma dissipação de calor por meio do fenômeno de resfriamento evaporativo e a camada de terra em consequência disso recebe um ganho de calor bastante reduzido.

Além do resfriamento evaporativo, a massa térmica da cobertura de terra também amortiza as variações de temperatura diárias, tanto no verão quanto no inverno (ver Figura 37). Com isso, a necessidade de isolamento pode ser

consideravelmente reduzida se comparada com coberturas convencionais, contudo, o projeto de teto-jardim deve incluir sistema de impermeabilização.

Figura 37 - Teto Jardim.

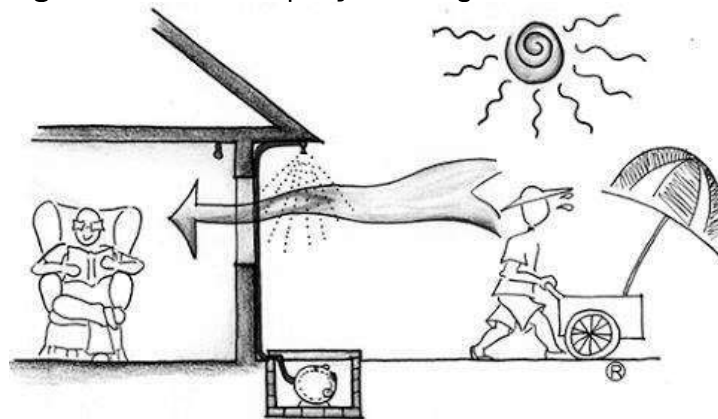


Fonte: ProjetEEE (2020).

- Microasperção da água diretamente no ar.

O resfriamento evaporativo direto por meio de microasperção da água diretamente no ar, é eficaz em regiões de clima que favorece a evaporação da água, sendo essa estratégia recomendada para ambientes externos (ver Figura 38).

Figura 38 - Microasperção da água diretamente no ar.



Fonte: ProjetEEE (2020).

- Resfriamento evaporativo indireto

O resfriamento evaporativo indireto se dá através do resfriamento de um elemento construtivo ou superfície da edificação, utilizando a água para reduzir a temperatura dos mesmos ao trocar de fase líquida para gasosa. O movimento da água

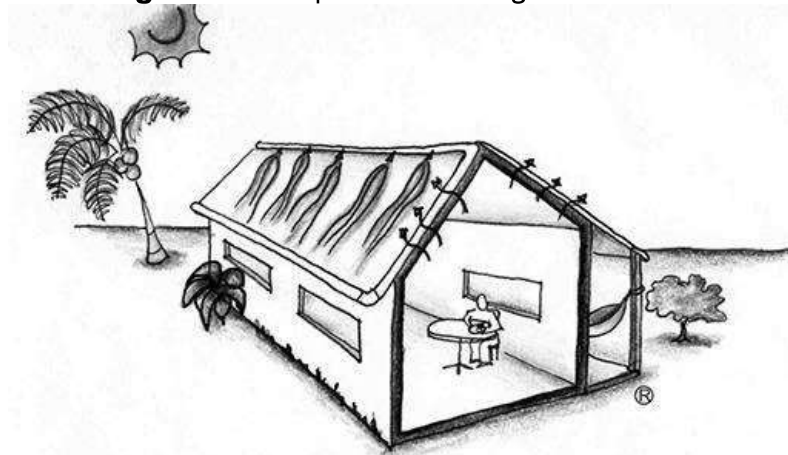
em estado líquido sobre o elemento construtivo facilita as trocas com o ar e, portanto, facilita a evaporação e o consequente resfriamento do elemento. Este, uma vez resfriado, irá retirar calor do ambiente interno, reduzindo a temperatura do ar interior. Cortinas de água (ver Figura 39) e aspersão de água em telhados (ver Figura 40), são exemplos de resfriamento evaporativo indireto.

Figura 39 - Cortina de água em vidro.



Fonte: Coccarelli (2020).

Figura 40 - Aspersores de água em telhado.



Fonte: ProjeetEEE (2020).

4.3.1 Alta massa térmica

- Parede com inércia térmica para resfriamento.

Paredes de alta inércia térmica aumentam a capacidade térmica e o atraso térmico, agindo como absorvedoras de calor durante todo o ano. Materiais cerâmicos não esmaltados são ideais para esse tipo construtivo (ver Figura 41), mas materiais reciclados como concreto ou tijolos de reuso podem ser utilizados também. É recomendável a utilização de isolamento externo nesse tipo de parede, como sombreamento e cobertura verde (ver Figura 42), para reduzir os ganhos solares, sobretudo, nas paredes a oeste e também a sul, que devem ter um isolamento mais elaborado, pois quanto melhor o isolamento, mais eficaz será a massa térmica.

A exposição destas paredes a fontes de resfriamento evaporativo, tais como aspersores, é favorável à redução de suas temperaturas superficiais, potencializando a absorção de calor interno. Para uma maior eficiência, as paredes de alta inércia térmica não devem ser cobertas internamente com materiais isolantes térmicos, como papéis de parede emborrachados, para permitir a absorção do excesso de calor interno.

Figura 41 - Parede dupla.



Fonte: Habitissimo (2020).

Figura 42 - Parede verde.



Fonte: ProjetEEE (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os resultados obtidos nos gráficos gerados através dos dados adquiridos nos programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), inseridos no gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas e a comparação desses resultados com os dados meteorológicos locais e a ABNT NBR 15220 (2003). Foi fundamentado na pesquisa sobre estratégias construtivas bioclimáticas que se adaptem ao clima de Palmas – TO, referenciada a partir da norma ABNT NBR 15220 (2003) e de literaturas sobre climatologia, Arquitetura Bioclimática e desempenho térmico.

Comparando os gráficos das estratégias bioclimáticas do Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), constatou-se que a variação das estratégias era semelhante em períodos similares. Contudo, o *Climate Consultant*® apresenta uma variedade maior de estratégias bioclimáticas, mesmo que algumas sejam bem parecidas entre si, isso fez com que o gráfico gerado através do Analysis Bio® aparentasse ter uma melhor consistência nos dados. Também é possível que essa diferença de consistência nos gráficos seja pelo fato do Analysis Bio® ser um programa desenvolvido no Brasil, e por isso ter uma caracterização dos dados meteorológicos locais mais adequada para o clima Brasileiro, visto que o *Climate Consultant*® é um programa desenvolvido na Califórnia e utiliza um o modelo de conforto da Norma ASHRAE Standard 55.

Analisando o gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas, verificou-se que a aplicação do conceito dinâmico do clima, ou seja, os sistemas atmosféricos atuantes, influenciam na determinação para recomendações das estratégias construtivas na medida em que influenciam os elementos climáticos, pois a variação da temperatura do ar diária, a umidade relativa, a precipitação e insolação diárias influenciaram diretamente na determinação das estratégias.

Mesmo considerando que a temperatura do ar diária é elevada o ano inteiro, nos meses que a amplitude da temperatura aumenta (junho a setembro), percebe-se que as estratégias bioclimáticas, a umidade relativa, a precipitação e insolação diárias também alteram suas configurações. Nesse período que a temperatura mínima diminui, a porcentagem da zona de “conforto” aumenta, porém, as temperaturas mínimas são no período noturno, portanto, supõe-se que o conforto também, pois durante o período diurno a temperatura e a insolação se elevam e a

precipitação é nula, por isso, as porcentagens das estratégias “sombreamento”, “resfriamento evaporativo” e “alta inércia térmica” também aumentam.

De uma forma geral, os *softwares* indicaram o uso das estratégias de “Sombreamento”, “Ventilação”, “Resfriamento evaporativo” e “Alta inércia térmica” para a cidade de Palmas. A ventilação e o resfriamento evaporativo possuem técnicas que permitem a flexibilidade construtiva, como abrir e fechar aberturas para ventilação, acionar ou desligar sistemas de resfriamento com água, dependendo da época do ano. Entretanto, algumas estratégias construtivas são permanentes, dificultando a sua aplicação sazonal, por exemplo, a alta inércia térmica que pode ser obtida por materiais de maior espessura e densidade, que retém calor, como paredes mais grossas ou paredes duplas. No entanto, essa estratégia é recomendada para a época seca do ano, entre os meses de junho a setembro, aproximadamente, não sendo recomendada no restante do ano. A utilização desta estratégia é um fator indesejável nas épocas mais úmidas.

Nesse caso, recomenda-se o uso da estratégia sombreamento durante todo o ano, imprescindível à obtenção do conforto térmico na cidade de Palmas, e técnicas mais flexíveis para as estratégias ventilação e resfriamento evaporativo a serem utilizadas em épocas específicas do ano, evitando-se a alta massa térmica como estratégia para obtenção do conforto. A possibilidade do uso de alta massa térmica só é recomendada com alto sombreamento, de preferência de vegetação, evitando o sobreaquecimento destes elementos construtivos.

Nas épocas mais secas do ano, os ventos são mais quentes e carregados de partículas em suspensão, o que torna a ventilação indesejável. No caso da cobertura ventilada, há um fator limitante devido à velocidade do vento e das rajadas. A cidade de Palmas pode ter fortes rajadas de vento, acima de 10 m/s, chegando a ultrapassar 15m/s em episódios de forte precipitação, segundo dados do INMET (2020), devendo ser considerado o contraventamento da estrutura da cobertura e do tipo de telha a ser utilizado.

No caso de tanque de água na cobertura, deve-se atentar ao fato de riscos à saúde, devido à proliferação de fungos e larvas de mosquitos, responsável por epidemias de dengue frequentes na região, por isso, a manutenção adequada é imprescindível. Todos os sistemas de resfriamento evaporativo por massa térmica, como tanques de água e teto jardim, devem considerar não só a impermeabilização do local, como a sobrecarga na cobertura, devendo ter uma previsão em sua estrutura.

É recomendável o uso mínimo de vidros voltados para o oeste, reduzindo assim o ganho de calor, porém, podem ser utilizados desde que orientados em sua maior parte para o sul e sombreados. Além disso, tetos altos e se possível com aberturas para saída do ar quente, janelas passíveis de controle de ventilação, como as basculantes e maxim-ar e varandas protegidas por balanços profundos. Usar materiais de construção leves e isolantes (cerâmicas), adotar projetos de cobertura com telhados frescos (com alta emissividade) para minimizar o ganho de calor conduzido, assim como, cores claras e reflexivas também trazem grandes ganhos para o conforto térmico.

Ademais, se o terreno permitir, a utilização de plantas longas e estreitas e a construção dos edifícios forem o mais baixo possível, isso maximizará a ventilação cruzada e diminuirá o gasto com refrigeração, pois quanto mais baixo for o prédio, menos intensa será a insolação recebida e assim a necessidade de uso refrigeração também será menor.

As recomendações de estratégias construtivas citadas nesse trabalho têm o intuito de auxiliar na projeção de ambientes que utilizem as características do clima local em prol de um maior conforto térmico e desempenho energético, consumindo assim, uma menor quantidade de energia. Para isso se tornar mais frequente, os profissionais da cadeia construtiva devem se conscientizar e projetar mais o conceito sustentável, assim como, o leque de estudos do clima local deve se expandir.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **ABNT NBR 15575**: Edifícios Habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social: um estudo de caso**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. **Weather Data and Design Conditions**. In: ASHRAE Handbook - Fundamentals, New York, cap. 24, 1993.

BANDEIRA, F. B.; OLIVEIRA, M. C. A. Decisões projetuais a favor da arquitetura bioclimática. In: Seminário de Conforto no Ambiente Construído e Mudanças Climáticas: Clima urbano na dinâmica das cidades, 1., 2017, Palmas. **Anais....** Palmas: Ulbra, 2017. p. 106 - 112.

BEATRICE, M. **Little Owl Preschool**. Architecture M Inc. Long Beach, California, United States. Disponível em: <http://www.2030palette.org/solar-shading/>. Acesso em: 13 fev. 2020.

BELLO, L. G. **Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco, PR**. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BORTOLI, K. C. R. de. **Analysis Bio**: principal objetivo: adequação ao clima local. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3024143-Analysis-bio-principal-objetivo-adequacao-ao-clima-local.html>. Acesso em: 19 set. 2019.

CHALABI, E. **Parede de cobogós**. Disponível em: <https://www.archdaily.com/778980/white-house-studio-mk27-plus-eduardo-chalabi/56725520e58ece101800011b-white-house-studio-mk27-plus-eduardo-chalabi-photo>. Acesso em: 15 fev. 2020.

COCCARELLI, J. **Cortina de água em vidro**. Disponível em: <https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/instalacao-painel-borbulhador/>. Acesso em: 15 fev. 2020.

CONTE, M. **Parede interna de cobogós**. Disponível em: <https://casaclaudia.abril.com.br/inspiracao-do-dia/cozinha-e-separada-da-sala-de-jantar-por-parede-de-cobogos/>. Acesso em: 15 fev. 2020.

DUARTE, V. C. P. (Org.). **Desempenho térmico de edificações**. 7. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 239 p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-332/topico-432/09%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa_Texto.pdf. Acesso em: 10 nov. 2019.

ENERGY DESIGN TOOLS. Página institucional. Disponível em <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>. Acesso em 15 de nov. 2019.

FERNANDES, L.; KRÜGER, E.; ROSSI, F. A. Análise de Desempenho Térmico de células teste dotadas de Teto Reservatório em clima subtropical. In: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2017. p. 1 - 10.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. 2009. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FERRAZ, A. M. M.; DOMINIQUE, M. C. A. de O. Construção de arquivo bioclimático para a cidade de Palmas - Tocantins. In: VI Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura e XV Seminário de Iniciação Científica, 6., 2019, Palmas. **Anais...** Palmas: UFT, 2019. p. 1–6.

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.

FREITAS, T. P. F.; SOUZA, L. B. e. O clima urbano de Palmas–TO em um episódio de inverno. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 12., 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Climatologia, 2016. p. 1588–1598.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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

GONÇALVES, J. C. S. e 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.

GOULART, S. V.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras** – Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GUARUJÁ TOLDOS. **Toldos retráteis**. Disponível em: <http://guarujatoldos.com.br/toldo-retratil-1/>. Acesso em: 15 fev. 2020.

HABITISSIMO. **Parede dupla**. Disponível em: https://fotos.habitissimo.com.br/foto/parede-dupla-com-isopor_1409400. Acesso em: 15 fev. 2020.

ICHIKAWA, K. **Factory on the Earth**. Ryuichi Ashizawa Architect & Associates. Johor, Malaysia. Disponível em: <http://www.2030palette.org/solar-shading/>. Acesso em: 13 fev. 2020.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas**. 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 15 fev. 2020.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Analysis Bio**. Versão 2.2. Florianópolis: UFSC, 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>. Acesso em: 7 ago. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, M. B. de; BARBOSA, D. da C.; SILVA, L. F. G. da. Arquitetura Bioclimática: Recomendações para Palmas/TO. In: X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica V Simpósio Paranaense de Climatologia e Reunião da COC-UGI, 10., 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2014. p. 186 - 198.

MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios**. 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARAGNO, G. V. Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul. **Ensaio e Ciências**, Campo Grande, v. 6, n. 003, p. 13-37. 2002.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

OGASHAWARA, I. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Eletrônica Georaguia**, Barra do Garças, v. 2, n. 2, p.57-72, dez. 2012.

PAZ, L. H. F. **A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO**. 2009. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PEREIRA, N. H. G.; BATISTA JUNIOR, S. L. **Geração de estratégias bioclimáticas para edificações em função de diferentes zonas climáticas locais de uma metrópole**. 2018. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PROJETEEE – PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. **Aspersores de água em telhado**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/implementacao/agua-na-cobertura/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. **Estratégias Bioclimáticas**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 28 out. 2019.

_____. **Microaspersão da água diretamente no ar**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/implementacao/microaspersao/microaspersao-2/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. **Parede verde**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/implementacao/parede-verde/?cod=itr>. Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. **Sombreamento do beiral**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/estrategia/sombreamento/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. **Tanque de água na cobertura**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/estrategia/inercia-termica-para-resfriamento/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. **Ventilação por efeito chaminé**. Disponível em: <http://projeteeee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

SCHMID, A. L. Tradução comentada do clássico artigo que lança a ideia do diagrama bioclimático do edifício. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 12., 2015, Curitiba. **Anais....** Curitiba: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2015. p. 1–13.

SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura**: referências para projeto. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SILVA, L. F. G. da. **Análise de fatores determinantes de conforto térmico ambiental em conjuntos habitacionais de baixa renda**: o caso dos apartamentos de Mangabeira VII, João Pessoa - PB. 2000. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2000.

SILVA, L. F. G. da. **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. da; SOUZA, L. B. e. Seleção de anos-padrão para análise rítmica em estudos de conforto térmico: uma proposta de “confortogramas” a partir de índices. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 20, n. 13, p.52–70, jul. 2017.

SOUZA, A. C.; FONTES, C. **Pergolado**. Disponível em:
<https://www.instagram.com/p/BXNSK4qAT0B/>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SOUZA, L. B. e. Ritmo climático e tipos de tempo no estado do Tocantins, Brasil. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 12., 2016, Goiânia. **Anais....** Palmas: Associação Brasileira de Climatologia, 2016. p. 2266–2277.

SOUZA, L. B. e; GOMES, L. P. O.; ROCHA, E. M. C. Participação dos sistemas atmosféricos no estado do Tocantins: o exemplo do ano habitual de 2001. In: X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica V Simpósio Paranaense de Climatologia e Reunião da COC-UGI, 10., 2014, Curitiba. **Anais....** Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2014. p. 1533– 1544.

LIGGETT, R.; MILNE, M. **Climate Consultant**. Versão 6.0. [S.l.]: UCLA, 2018. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>. Acesso em: 7 ago. 2019.

VIVA DECORA. **Brises Verticais**. Disponível em:
<https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/o-que-e-brise/>. Acesso em: 15 fev. 2020.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Comparison of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 146, p.111-121, jul. 2017a.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. **Building and Environment**, [s.l.], v. 112, p.337-350, fev. 2017b.

ZAVATINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.

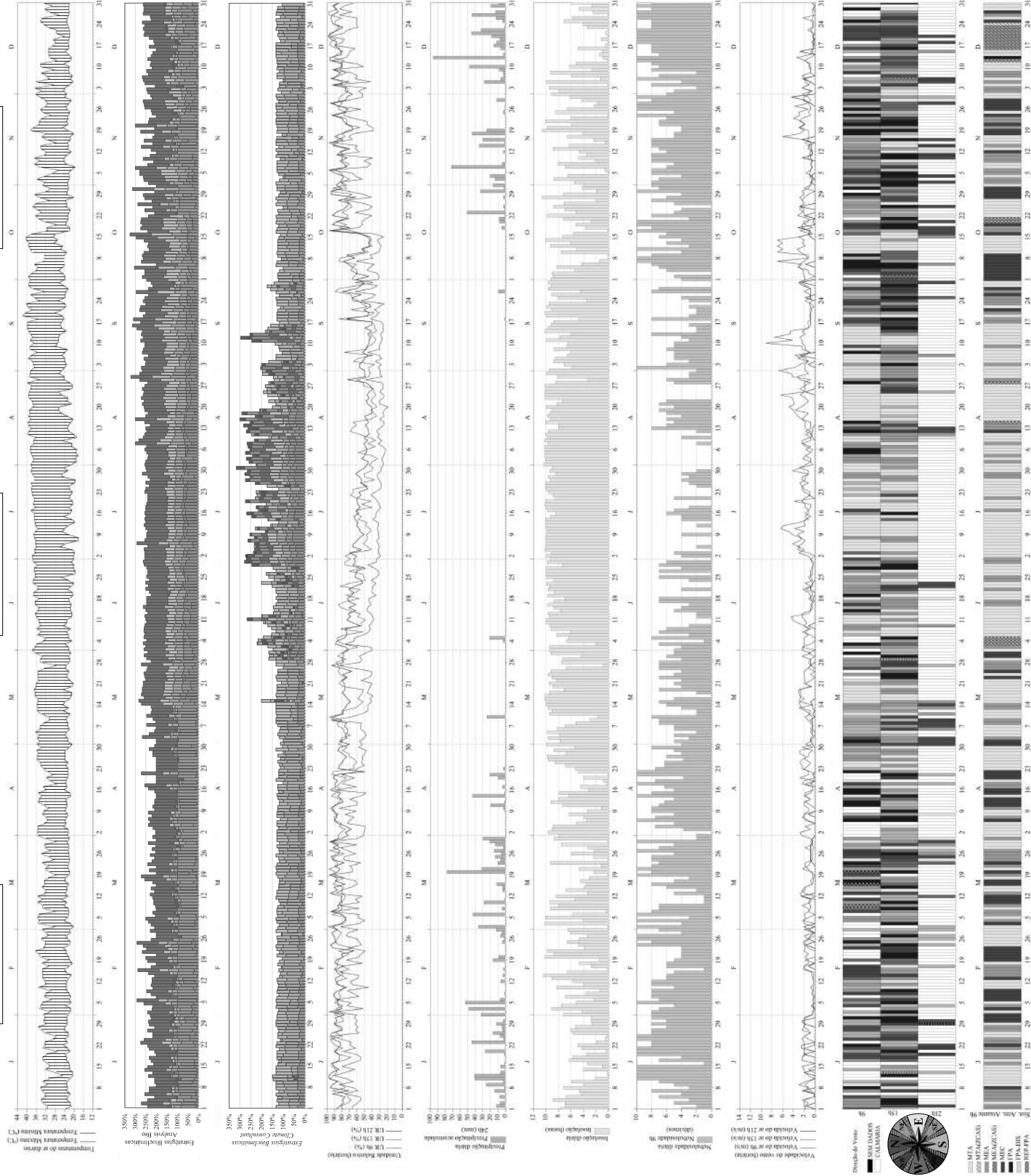
APÊNDICE A – Gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas, ano 2013.

GRÁFICO DE ANÁLISE RÍTMICA DA CIDADE DE PALMAS, ANO 2013

PERÍODO-PADRÃO I: 1 jan. a 23 abr.

PERÍODO-PADRÃO 2: 24 abr. a 14 set.

PERÍODO-PADRÃO 3: 15 set. a 31 dez.



APÊNDICE A
GRÁFICO DE ANÁLISE RÍTMICA DA CIDADE DE
PALMAS, ANO 2013



Este apêndice é parte integrante do TCC:
MAIA, Cassandra Silva. Recomendações para aplicação de estratégias construtivas bioclimáticas em Palmas - TO, 2020, 86 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, Palmas, 2020.

Fonte: INMET (2017), organizado por Silva (2018); LABEEE (2010) com TRY de Ferraz e Dominiqui (2019), organizado pela autora (2020); Liggett e Milne (2018), organizado pela autora (2020).