ESTRATÉGICAS BIOCLIMÁTICAS PARA A CIDADE DE PALMAS–TO

Cassandra Silva Maia (1); Liliane Flávia Guimarães das Silva (2)
(1) Engenheira Civil, Pós-Graduanda em Projeto, Desempenho e Construção de Estruturas e Fundações, cassandra.silma@gmail.com, Instituto de Pós-Graduação e Graduação – ACSU-NO 10, av. Teotônio segurado, conj. 1, lote 6 – Plano Diretor Norte, Palmas–TO, 77001-004, tel.: (63) 3322-9985.
(2) Doutora, Arquiteta, Professora da área de Construção Civil, lilianeg@ifto.edu.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, AESE 34 (AE 310 Sul), av. LO-05, s/n, Plano Diretor Sul, Palmas–TO, 77021-090, tel.: (63) 3236-4000.

RESUMO
O clima na cidade de Palmas–TO é caracterizado como tropical, com dois períodos distintos, quente e úmido e quente e seco, com altas temperaturas o ano todo. No entanto, ainda existem muitas lacunas no estudo do clima da cidade, especialmente em seu aspecto genético e dinâmico. Além disso, percebeu-se a necessidade de soluções de projeto que proporcionem melhorias para o conforto térmico às edificações na cidade. Frente a tal problemática, este estudo tem como objetivo recomendar a aplicação de estratégias bioclimáticas adaptadas ao clima da cidade de Palmas–TO, a partir de recomendações normativas e *softwares* aplicados, incluindo a técnica de análise rítmica. Por fim, verificou-se que somente a aplicação das diretrizes de projeto das normas não corresponde totalmente às necessidades para o conforto térmico no clima de Palmas–TO, assim como a aplicação geral dos *softwares* utilizados. Em geral, os *softwares* destacaram o uso das estratégias "sombreamento", "resfriamento evaporativo", "ventilação" e "alta massa térmica". A avaliação do ritmo anual de tais recomendações auxiliou na correta aplicação das estratégias bioclimáticas, como a indicação da orientação solar apropriada para os elementos de alta inércia térmica, o uso de sombreamento sobre tais elementos construtivos para evitar o sobreaquecimento dos mesmos, e aberturas para ventilação com possibilidade de vedação total.

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

ABSTRACT
The climate in the city of Palmas, state of Tocantins, Brazil, is characterized as tropical, with two distinct period, hot and humid period and hot and dry one, with high temperatures all year round. However, there are many gaps in the study of the climate of Palmas, especially in its genetic and dynamic aspect. In addition, there was a need for design solutions that provide improvements for thermal comfort to buildings in this city. Faced with such problems, this study aims to recommend the application of bioclimatic strategies adapted to the climate of Palmas, based on Brazilian normative recommendations and applied software, including the technique of rhythmic analysis. In conclusion, it was found only the application of the design guidelines of standards does not fully correspond to the needs of the thermal comfort in the climate of Palmas, as well as the general application of the software used. In general, the software indicated the use of the strategies "sun shading", "evaporative cooling", "ventilation" and "high thermal mass". The evaluation of the annual rhythm of such recommendations helped in the correct application of bioclimatic strategies, such as the indication of the proper solar orientation for the elements with high thermal inertia, the use of sun shading on such elements to avoid overheating them, and the openings for ventilation with the possibility of sealing.

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

1. INTRODUÇÃO

Com o progresso nos estudos bioclimáticos, a partir da segunda metade do século XX, os irmãos Olgyay iniciaram o desenvolvimento da carta bioclimática, criada através de dados de temperatura e umidade locais, que aponta a zona de conforto e as estratégias bioclimáticas, tornando-se essencial para soluções de projetos arquitetônicos que visam o conforto térmico. Na década de 1960, Givoni e outros pesquisadores aprimoraram essa carta, desenvolvendo a carta bioclimática da edificação (tendo como base a carta psicrométrica), incluindo mais estratégias bioclimáticas. 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).

Algumas pesquisas foram desenvolvidas com a utilização de *softwares* para o emprego de tais estratégias, como o Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e o *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), facilitando a aplicação das estratégias bioclimáticas. No Brasil, com base na carta de Givoni, foi desenvolvida a NBR 15220 (ABNT, 2003) que apresenta diversas estratégias direcionadas à adaptação climática dos edifícios, estruturadas de acordo com um zoneamento bioclimático (FROTA; SCHIFFER, 2001). De acordo com Walsh, Cóstola e Labaki (2017), o zoneamento climático (primeiro passo para indicação de estratégias bioclimáticas) é peça fundamental em muitos programas e políticas para aprimorar o desempenho térmico das edificações.

Palmas, capital do Tocantins, mais novo estado da federação, possui temperaturas elevadas (FREITAS, 2015), contudo, com clima pouco estudado, sobretudo quanto ao estudo dinâmico do clima voltado à análise rítmica (SILVA, 2018), o que intensifica a necessidade de estabelecer estratégias adaptadas a estudos aplicados ao clima da cidade. Esta pesquisa discute as estratégias bioclimáticas para aplicação em projetos arquitetônicos na cidade de Palmas–TO, avaliando também se a aplicação da norma NBR 15220 (ABNT, 2003) e de *softwares* específicos de estratégias bioclimáticas atende às diretrizes projetuais da cidade e à necessidade de associação do clima ao projeto.

2. OBJETIVO

Elaborar recomendações para aplicação de estratégias bioclimáticas adaptadas ao clima da cidade de Palmas – TO, a partir da NBR 15220 (ABNT, 2003) e de estratégias recomendadas nos *softwares* Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), inseridos na técnica da análise rítmica.

3. MÉTODO

Para a elaboração da pesquisa foram realizadas as seguintes etapas:

I. Pesquisa exploratória sobre estratégias bioclimáticas, referenciada a partir de literaturas sobre conforto térmico e climatologia e da NBR 15220 (ABNT, 2003);

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), e aplicação no gráfico de análise rítmica selecionado;

III. Análise da comparação das recomendações da norma, dos resultados obtidos nos programas citados, concomitantemente à análise rítmica, e proposição de recomendações de estratégias bioclimáticas para a cidade de Palmas–TO.

3.1. Instrumentos e dados

Os instrumentos utilizados foram a NBR 15220 (ABNT, 2003), os *softwares* Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *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 observar a distribuição dos dados climáticos ao longo do ano por meio do uso de um arquivo TRY (*Test Reference Year* – Ano Climático de Referência), que possibilita escolher períodos diferentes do ano, inclusive dia a dia. Além disso, exibe um relatório de porcentagem de horas em que cada estratégia é mais adequada. Foi utilizado o TRY da cidade de Palmas–TO elaborado por Ferraz e Dominiqui (2019), por meio da metodologia utilizada pela ASHRAE (1993), caracterizada por Goulart, Lamberts e Firmino (1998). O ano de referência utilizado pelas autoras foi o ano de 2015, com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O *software Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018) também apresenta os resultados na carta psicrométrica, baseados em gráficos, que ajudam os profissionais a entender o clima local. Ele utiliza dados

climáticos anuais no formato EPW de 8760 horas. Foi usado o arquivo EPW acessível no *site* do *Energy Plus*, que é produzido com dados do INMET, utilizando o método de conforto da Norma *Standard* 55 e o modelo atual do *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE.

A construção do gráfico de análise rítmica se dá através da transformação numérica de fatores climáticos em gráficos, com o uso de editor de planilhas, visando facilitar a observação do ritmo climático. No gráfico são ilustradas, conjuntamente, as variações diárias dos elementos do clima e a sucessão diária dos tipos de tempo de um lugar, originando uma associação. Foi utilizado o gráfico de análise rítmica do ano de 2013, elaborado por Silva (2018) com dados do INMET do ano de 2013.

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

3.2. Procedimentos

Primeiramente, a NBR 15220 (ABNT, 2003) foi consultada quanto à zona bioclimática da cidade de Palmas–TO. Em seguida, foram aplicados os dados climáticos nos *softwares* selecionados, para obter uma visão geral da aplicação das recomendações estratégias em cada *software*.

No entanto, para estudo em conjunto com o gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas, é preciso uma análise de dados diários. Por isso, foram produzidas 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 do ano, formando dois gráficos de colunas empilhadas.

Esses gráficos de coluna empilhada foram introduzidos no gráfico de análise rítmica, para se examinar juntamente com os gráficos de elementos climáticos: 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) e Sistema atmosférico atuante (MEA–Massa Equatorial Atlântica, MEC–Massa Equatorial Continental, MTA–Massa Tropical Atlântica, ZCAS–Zona de Convergência do Atlântico Sul, FPA–Frente Polar Atlântica, FPA-DIS–Frente Polar Atlântica em Dissipação, REP-FPA–Repercussão da Frente Polar Atlântica).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo os procedimentos apontados, foram obtidos os resultados seguintes.

4.1. As recomendações da NBR 15220

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003), em sua Parte 3, que abarca o zoneamento bioclimático brasileiro, a cidade de Palmas encontra-se na zona bioclimática 7 (Figura 1). A recomendação são aberturas pequenas para ventilação (10 a 15% da área de piso), com sombreamento. As vedações devem ser pesadas, tanto paredes como cobertura. As principais estratégias recomendadas são resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, além de ventilação seletiva, ou seja, apenas nos períodos quentes.

Segundo a norma, paredes pesadas são aquelas cuja transmitância térmica seja igual ou inferior a 2,2W/m²K e coberturas igual ou inferior a 2,0W/m²K, com atraso térmico igual ou superior a 6,5horas e fator solar igual ou inferior a 3,5%, no caso de paredes, e 6,5%, no caso de coberturas.

A referida norma apresenta ainda em seus anexos alguns exemplos de vedações que atendem a estas especificações. Dentre os exemplos, as paredes com tais características são geralmente paredes duplas, de 26cm a 46cm de largura, com tijolos de 6 furos, circulares, ou de tijolos maciços. As coberturas que atendem a estas especificações são as de telha de barro com espessura de 1,0cm, ou telhas de fibrocimento, sempre com laje de concreto, de 20 a 25cm de espessura.

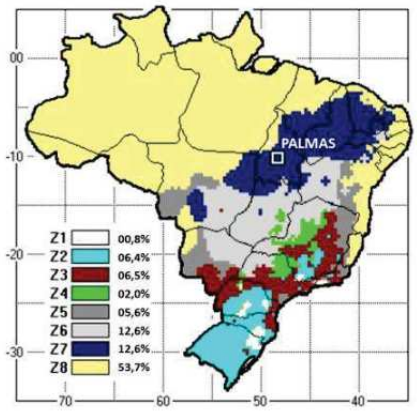

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro – Localização de Palmas–TO na zona bioclimática 7. Fonte: adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2003).

4.2. As recomendações dos *softwares* aplicados

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 2Figura 1. 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%.

Segundo o Analysis Bio® (LABEEE, 2010), os dados indicam 27,3% de horas de conforto sem necessidade de nenhuma estratégia, sendo recomendado 36,7% de horas com necessidade de ventilação, 4,73% de horas de resfriamento evaporativo e 99,5% de horas de sombreamento. Assim, as edificações necessitariam de uma pequena porcentagem de 1,94% de uso de ar condicionado.

O relatório geral da carta bioclimática gerada no *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), ilustrada na Figura 3, indicou a possibilidade de 100% de conforto interno, utilizando as estratégias indicadas. De acordo com este *software*, os dados climáticos de Palmas – TO indicam apenas 8% de horas de conforto sem uso de nenhuma estratégia, sendo 44,8% de horas com necessidade de desumidificação, 35,4% de horas de resfriamento e desumidificação e 26,5% de horas de sombreamento.

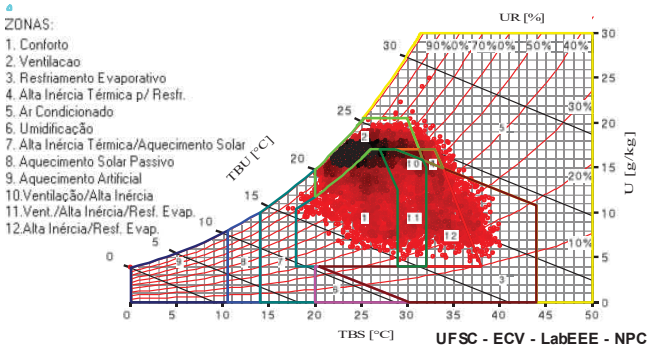

Figura 2 – Carta Bioclimática da cidade de Palmas–TO (Analysis Bio®). Fonte: LABEEE (2010) com TRY de Ferraz e Dominiqui (2019), organizado pelas autoras (2021).

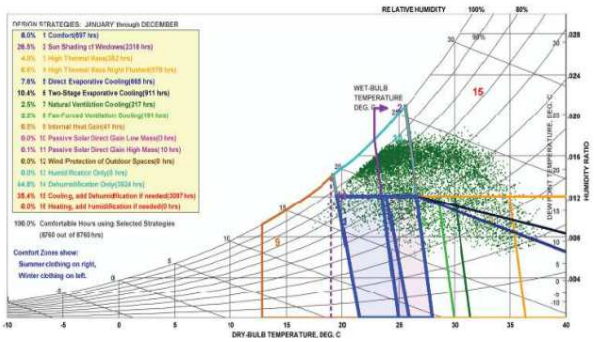

Figura 3 – Carta Bioclimática da cidade de Palmas–TO (*Climate Consultant*®). Fonte: Liggett e Milne (2018), organizado pelas autoras (2021).

4.1. O ritmo anual das estratégias bioclimáticas

No gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas (ver Figura 4), é possível verificar o comportamento de todos os elementos climáticos em paralelo aos resultados diários do Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e do *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018). Verifica-se uma clara distinção em três períodos do ano, cada um com características semelhantes: um período inicial, de janeiro a meados de maio; um período central, de meados de maio a meados de outubro; e um período final, de meados de outubro a dezembro.

O período inicial foi caracterizado por menor amplitude térmica, maior umidade relativa, precipitação mais frequente e menor insolação devido à alta nebulosidade. Os dias com baixas temperaturas máximas nesse período apresentaram predominância da MTA e da MEA, e os dias em que a temperatura máxima esteve acima da média (acima de 34°C), apresentaram variações entre a MTA, a MEA e a MEC.

As estratégias bioclimáticas diárias do *software* Analysis Bio® predominantes foram "sombreamento" e "ventilação". O "sombreamento" foi indicado durante todo o dia, em todos os dias desse período. Também apresentaram pequenos percentuais as estratégias "resfriamento evaporativo", "alta inércia para resfriamento", em torno de 16% e 12%, respectivamente, e "conforto", próximo de 10%, além de um pequeno percentual indicando a necessidade de "ar condicionado".

As estratégias bioclimáticas diárias do *Climate Consultant*® obtiveram predominância das estratégias: "desumidificação", "resfriamento, com desumidificação, se necessário" e "sombreamento de janelas". Relacionando-o aos outros elementos do clima contidos no gráfico de análise rítmica e comparando ao gráfico das estratégias bioclimáticas dos dois *softwares* nesse mesmo período, observaram-se recomendações semelhantes quanto às estratégias ligadas ao sombreamento e resfriamento. No entanto, a ventilação não foi indicada nesse período pelo *Climate Consultant*®, e a desumificação não foi indicada pelo Analysis Bio®.

Ao longo desse primeiro período, percebeu-se algumas variações nas estratégias no Analysis Bio®, com pequenas sequências das estratégias "resfriamento evaporativo", "alta inércia para resfriamento" e "ar condicionado". Já nas estratégias do *Climate Consultant*®, apenas nos dias 10 e 11 de janeiro verificou-se uma pequena porcentagem das estratégias "resfriamento evaporativo em dois estágios", "resfriamento evaporativo direto", "resfriamento por ventilação forçada" e "resfriamento por ventilação natural".

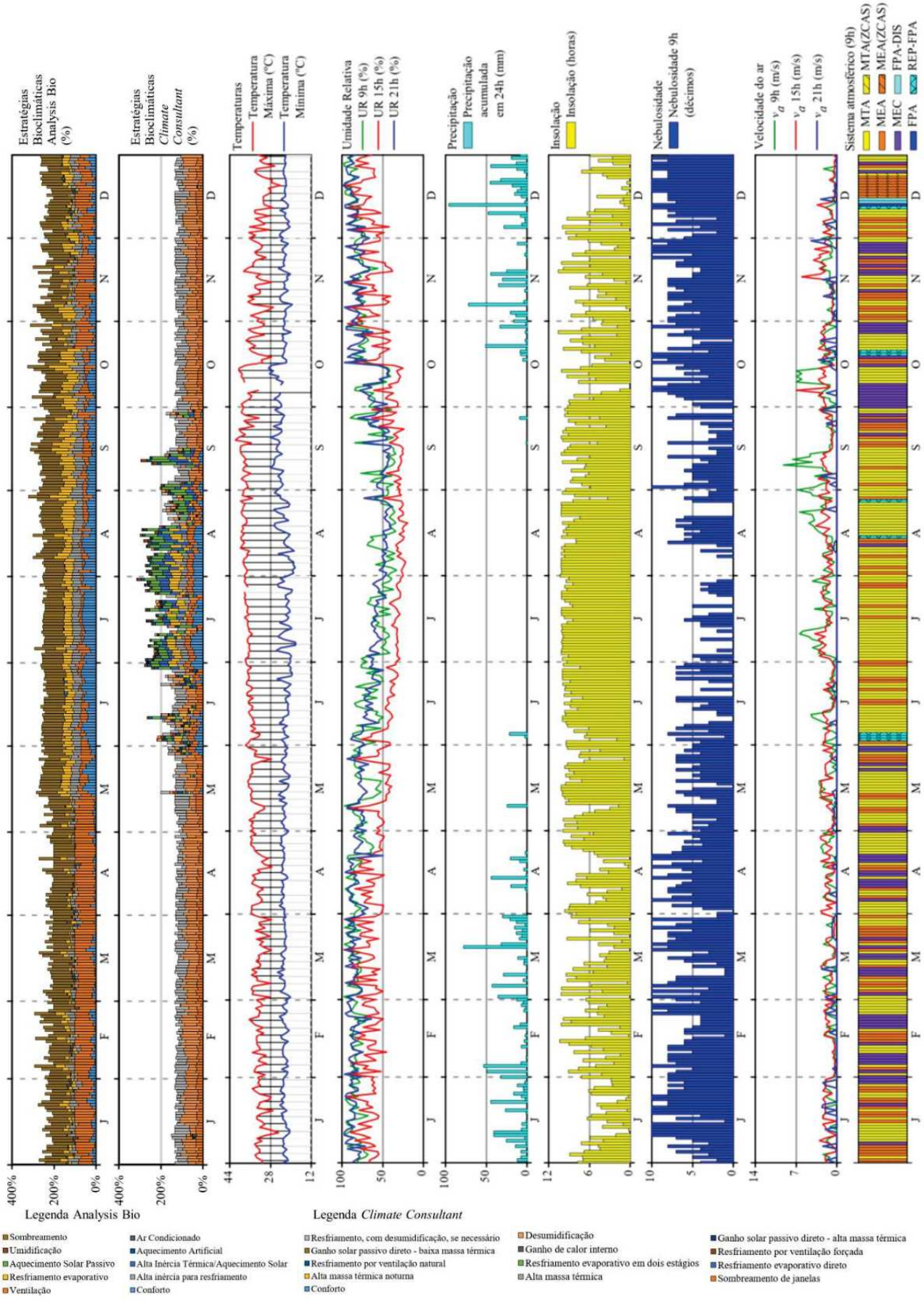

Figura 4 – Gráfico de Análise rítmica da cidade de Palmas (TO), do ano de 2013. Fonte: Dados climáticos do INMET (2017), organizado por Silva (2018); Dados do Analysis Bio® do LABEEE (2010) com TRY de Ferraz e Dominiqui (2019), organizado pelas autoras (2021); Dados do *Climate Consultant*® de Liggett e Milne (2018), com EPW do *site* do *Energy Plus* (2019), organizado pelas autoras (2021).

No período seguinte, as massas de ar atuantes variaram um pouco entre MEA e MEC e contando com alguns raros episódios de REP-FPA, porém, com forte predominância da MTA de julho a meados de setembro. A temperatura máxima do ar aumentou, e a mínima diminuiu, aumentando a amplitude térmica, resultado da queda da umidade relativa, com precipitação praticamente nula, alta insolação e menor nebulosidade. A predominância da MTA, com o centro do anticiclone mais próximo do continente, aumenta a velocidade do ar, dificultando a formação de nuvens, mantendo maior estabilidade dos tipos de tempo neste período.

No Analysis Bio®, as porcentagens na zona de "conforto" aumentaram, assim como as estratégias "resfriamento evaporativo" e "alta inércia para resfriamento", todos com uma média entre 40 e 50%, enquanto a porcentagem de "ventilação" diminui e "ar condicionado" foi quase nula. A estratégia "sombreamento" permaneceu ao longo deste período, todos os dias, mas nem sempre o dia todo, como no período anterior, e surgiram percentuais em alguns dias da estratégia "alta inércia térmica/aquecimento solar", mesmo que mínimo.

Nas estratégias do *Climate Consultant*®, na parte mais central deste período, entre os dias 29 de maio e 28 de junho aproximadamente, observou-se a primeira sequência de dias com "conforto", e os primeiros dias com pequena porcentagem da estratégia "ganho de calor interno". Em seguida, de 29 de junho a 19 de agosto, a porcentagem em "conforto" e das estratégias "alta massa térmica", "alta massa térmica noturna", "resfriamento evaporativo em dois estágios" e "resfriamento evaporativo direto" aumentaram, enquanto a porcentagem de "desumidificação" diminuiu, semelhante ao que ocorreu neste mesmo período com as estratégias do Analysis Bio®. Entre 20 de agosto e 29 de setembro, percebeu-se que a porcentagem de "conforto" diminuiu e a estratégia de "resfriamento evaporativo em dois estágios" aumentou. As estratégias do *Climate Consultant*® apresentaram grande variação, mas abarcando apenas o período dos meses mais secos, julho e agosto, e em menor proporção nos meses de junho e setembro.

Neste período central, pode ser percebido que ambos os *softwares* apresentaram mais estratégias comuns em climas quentes e secos, apontando para mais alta massa térmica e resfriamento evaporativo, mas sem indicação de umidificação de forma isolada. Nesses meses, o conforto tornou-se mais expressivo em ambos os gráficos, entretanto, presume-se que ele seja noturno, pois esse período foi o que demonstrou as menores temperaturas mínimas, que ocorrem comumente às madrugadas, mas também apresentou as temperaturas máximas mais elevadas. Além disso, os gráficos apresentaram, mesmo que em percentuais muito baixos, alguma necessidade de ganho de calor, com percentuais maiores indicados pelo *Climate Consultant*®.

Por fim, no último período, com o retorno da precipitação e elevação da umidade relativa, as características se assemelham ao primeiro período do ano, no entanto, com alguns contrastes. A velocidade do ar mantém-se um pouco mais elevada, a umidade relativa à tarde um pouco mais baixa, e as temperaturas máximas um pouco mais elevadas que no início do ano. A atuação das massas de ar variou mais que no início do ano, ocorrendo inclusive, episódios, mesmo que escassos, de influência da ZCAS na MTA e MEA, além dos episódios isolados da FPA, sua repercussão (REP-FPA) e dissipação (FPA-DIS).

As porcentagens das estratégias desse último período foram semelhantes às do primeiro, e praticamente idênticas no *Climate Consultant*®, predominando neste as estratégias: "desumidificação", "resfriamento, com desumidificação, se necessário" e "sombreamento de janelas". No Analysis Bio®, as porcentagens na zona em "conforto" voltaram a cair, mas ainda ficou maior que no início do ano (quase o dobro daquele), assim como as estratégias "resfriamento evaporativo" e "alta inércia para resfriamento", enquanto a porcentagem de "ar condicionado" ficou um pouco maior que no primeiro período. A estratégia "sombreamento" permaneceu ao longo deste período, todos os dias, durante todo o dia.

De uma forma geral, verificou-se que as estratégias bioclimáticas voltadas ao sombreamento foram constantes durante o ano inteiro nos dois *softwares*, porém, em maior proporção no Analysis Bio®, sendo indicada em todos os dias e praticamente o dia todo. Também foi constante a porcentagem de algum tipo de resfriamento, sendo o "resfriamento evaporativo" no Analysis Bio®, enquanto no *Climate Consultant*®, foram indicados o "resfriamento, com desumidificação, se necessário" na época mais úmida, e o "resfriamento evaporativo em dois estágios" e o "resfriamento evaporativo direto" na época mais seca. As principais diferenças foram nas zonas em "conforto" e nas estratégias "ventilação" e "desumidificação". No Analysis Bio®, o percentual em "conforto" foi o triplo do *Climate Consultant*®. A indicação da estratégia "ventilação" foi uma das mais altas no Analysis Bio®, principalmente nos períodos úmidos (início e final do ano), só perdendo para a frequência do "sombreamento", enquanto no *Climate Consultant*®, a estratégia em destaque nestes mesmos períodos foi a "desumidificação". No entanto, uma das formas de desumidificar o ambiente é a partir da ventilação.

4.3. Recomendação de aplicação das estratégias construtivas

Após analisar os resultados obtidos na NBR 15220 (ABNT, 2003) e nos programas Analysis Bio® (LABEEE, 2010) e *Climate Consultant*® (LIGGETT; MILNE, 2018), constatou-se que as estratégias bioclimáticas mais adequadas para a cidade de Palmas–TO são "sombreamento" e "resfriamento evaporativo", e com certa flexibilidade, "ventilação" e "alta inércia térmica". A estratégia "ventilação" deve ser controlada nos meses de junho a setembro, pois nesses meses de baixa umidade, a ventilação pode desumidificar mais ainda o ambiente. Da mesma forma, no período úmido não é recomendado o uso de "alta inércia térmica", apenas na época seca do ano. Como esta estratégia não possibilita muita flexibilidade para utilização parcial, a possibilidade de utilização de alta massa térmica pode ser recomendada com sombreamento, priorizando o uso de vegetação, evitando o sobreaquecimento destes elementos construtivos, como será visto nas recomendações a seguir.

4.2.1. Sombreamento

A estratégia Sombreamento é sugerida durante todo o ano, mas, deve-se observar para que essa forma construtiva não obstrua 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. O uso de toldos e venezianas são exemplos de solução para esse caso.

Para o sombreamento das fachadas, é essencial 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. Ademais, é fundamental levar em conta a orientação solar para planejamento das proteções necessárias, pois em Palmas–TO, o período de mais alta insolação (em horas) concentra-se nos meses de junho a agosto, quando o sol está com declinação norte.

Para fachadas norte e sul, as proteções verticais são mais eficientes, enquanto nas fachadas leste e oeste, há maior necessidade de proteção horizontal. O ideal, na realidade, é uma combinação de proteções horizontais e verticais nas fachadas, que podem ser compostas com brises, ou até com o próprio beiral da cobertura da edificação. Outro sistema de sombreamento horizontal muito eficiente é o pergolado, pois também facilita a circulação de ar, indicado para direção oeste e construções térreas. Nas orientações leste e oeste, pela baixa altura solar, é recomendado o uso conjunto de elementos construtivos para sombreamento com a vegetação (no caso de edificações térreas), o que ainda contribui com o resfriamento evaporativo.

4.2.2. Resfriamento Evaporativo

O resfriamento evaporativo pode ocorrer de diversas formas, como o uso direto da água, por microaspersão, uso de água na cobertura e superfícies, fontes, entre outros, ou da vegetação, como o uso do teto jardim, etc. O uso de água na cobertura aumenta sua capacidade térmica, impedindo ganhos excessivos de calor no período diurno. Podem ser por escoamento ou em forma de tanques. O uso de proteções solares sobre o tanque de água e sua exposição aos ventos proporciona resfriamento pela evaporação da água e reduz os ganhos de calor na cobertura. Dessa forma, a cobertura absorve calor do ambiente interno, para liberá-lo no exterior, durante o período noturno. É essencial a ventilação do espaço interno no período noturno para tornar o processo de eliminação da energia térmica armazenada mais rápido.

O escoamento de água na coberta é um tipo de resfriamento por aspersão. O resfriamento de um elemento construtivo ou de superfície da edificação utiliza 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, sendo assim, 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 e aspersão de água em telhados, são exemplos de resfriamento evaporativo indireto. O resfriamento evaporativo direto através 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.

Em caso de utilização de tanque na cobertura ou em fontes, espelhos d'água, etc., deve-se alertar aos riscos à saúde, em virtude da proliferação de fungos e larvas de mosquitos, responsável por epidemias de dengue frequentes na região, por isso, a manutenção adequada é indispensável.

O teto jardim é um sistema mais conhecido, fruto dos princípios da arquitetura moderna difundido por Le Corbusier. Ele oferece benefícios tanto no verão quanto no inverno. A vegetação contida no teto jardim retém a maior parte da radiação, e através da irrigação dessa vegetação acontece a dissipação de calor. Além do resfriamento evaporativo, a massa térmica da cobertura de terra também amortece as variações de temperatura diárias, tanto no verão quanto no inverno. Todos estes sistemas devem considerar não só a impermeabilização do local, como a sobrecarga na cobertura, devendo ser previstos em sua estrutura.

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

4.2.3. Ventilação

A ventilação adequada promove a renovação do ar, e com isso a redução do excesso de umidade interno, e acelera as trocas de calor por convecção do ambiente interno com o externo. O volume de fluxo de ar que passa através da estrutura é determinado pelo tamanho das aberturas.

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

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. Nestes casos, também deve ser considerado o contraventamento da estrutura da cobertura e o tipo de telha a ser utilizada, pois a cidade de Palmas–TO pode ter fortes rajadas de vento, acima de 10 m/s.

Segundo Lima, Barbosa e Silva (2014), é desejável que os fechamentos internos sejam vazados ao máximo, uma alternativa construtiva que proporciona a ventilação cruzada natural, é a utilização de cobogós, que além da ventilação facilita também a iluminação natural.

Na cidade de Palmas–TO, a indicação do uso de ventilação foi indicada apenas na época mais úmida, de outubro a maio, mas não é recomendada no período seco, de maio a setembro, por este motivo, recomenda-se que as aberturas para ventilação tenham maior possibilidade de controle de fechamento, ou seja, não sejam utilizadas apenas aberturas fixas para ventilação.

4.2.4. Alta massa térmica

Vedações de alta inércia térmica aumentam a capacidade térmica e o atraso térmico, agindo como absorvedoras de calor o ano todo. Materiais cerâmicos não esmaltados são ideais para esse tipo construtivo, mas materiais reciclados como concreto ou tijolos de reuso também podem ser utilizados. É recomendável a utilização de isolamento externo nesse tipo de parede, como sombreamento e cobertura verde, para reduzir os ganhos solares, principalmente. Além disso, devem ter um isolamento mais elaborado, pois quanto melhor o isolamento, mais eficaz será a massa térmica.

Deve-se ter maior atenção às paredes a oeste e norte, pois como já foi citado, o sol está declinado ao norte no período mais seco do ano na cidade de Palmas–TO. As paredes de alta massa térmica serão mais eficientes se estiverem orientadas nestas duas direções, especialmente na fachada norte, que recebe insolação durante todo o dia na época seca da cidade. Caso seja necessário a utilização nas paredes ao sul, deve-se ter maior sombreamento, favorável à redução de suas temperaturas superficiais na época úmida do ano.

Para aumentar a eficiência das paredes de alta inércia térmica, estas não devem ser cobertas internamente com materiais isolantes térmicos, para permitir a absorção do excesso de calor interno.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em contraste com os *softwares* utilizados, verificou-se que a NBR 15220 (ABNT, 2003) sugere que as aberturas para ventilação devem ser pequenas e as vedações externas devem ser pesadas, ou seja, com alta massa térmica para resfriamento. Os *softwares* também indicaram certa proporção de alta massa térmica, mas ao analisar o gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas–TO, pode-se verificar que tal estratégia só é aplicável em alguns meses do ano. Ou seja, o ritmo, a distribuição das recomendações ao longo dos meses, foi essencial para determinar que estratégias devem e como podem ser utilizadas.

Examinando o gráfico de análise rítmica da cidade de Palmas–TO, observou-se que a aplicação do conceito dinâmico do clima, ou seja, os sistemas atmosféricos atuantes, influenciam na indicação de sugestões das estratégias construtivas conforme influenciam os elementos climáticos (variação da temperatura do ar diária, a umidade relativa, a precipitação e insolação diárias).

Tendo em vista 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 também alteram suas características. Nesse período que a temperatura mínima diminui, a porcentagem da zona de conforto

aumenta, contudo, as temperaturas mínimas são no período noturno, logo, supõe-se que o conforto também, pois no período diurno as temperaturas são máximas. Devido à alta amplitude térmica, típica de climas secos, as porcentagens das estratégias "sombreamento", "resfriamento evaporativo" e "alta inércia térmica" também aumentaram.

Os *softwares* indicaram, sobretudo, o uso das estratégias sombreamento e resfriamento evaporativo, ou seja, estratégias típicas de climas quentes, pois auxiliam na redução das altas temperaturas. O sombreamento deve ser utilizado o ano todo, sendo indispensável para obtenção do conforto térmico. O uso da ventilação e alta inércia térmica são opostos tanto como o clima da cidade. Verificou-se que a norma brasileira apresentou recomendações típicas de climas secos (pequenas aberturas e alta massa térmica), no entanto, Palmas–TO possui clima quente-seco em apenas cinco dos doze meses do ano, com maior concentração em apenas dois meses, julho e agosto, com certa variação de um ano para outro, tendo em vista as características de anos mais chuvosos e mais secos, por influência do *El Ñino*, etc. Dessa forma, a simples aplicação da norma, sem uma avaliação sequencial e rítmica, não atende aos requisitos construtivos para a cidade.

Dentre as estratégias recomendadas, 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, etc. É recomendável tetos altos e se possível com aberturas para saída do ar quente, mas com janelas passíveis de controle de ventilação. Usar materiais de construção leves e isolantes (cerâmicas), adotar projetos de cobertura com telhados frescos, assim como, cores claras e reflexivas também trazem grandes ganhos para o conforto térmico.

Entretanto, a alta inércia térmica, que pode ser obtida através de paredes mais grossas ou paredes duplas, não é uma estratégia muito flexível, e por ser recomendada somente para a época seca, e não recomendada no restante do ano, não se torna tão vantajosa. Há como amenizar tal aplicação, com vedações de alta massa térmica com sistemas de resfriamento evaporativo, utilizando a vegetação ou sistemas de resfriamento utilizando água, e a correta orientação de tais vedações, devendo estar voltadas para o norte.

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. Entretanto, o gráfico gerado através do Analysis Bio® apresentou uma melhor consistência nos dados. Isso pode ter ocorrido pelo fato do Analysis Bio® ser um programa desenvolvido no Brasil e possuir uma caracterização dos dados meteorológicos locais mais adequada para o clima brasileiro, posto que o *Climate Consultant*® é um programa desenvolvido nos EUA e utiliza um o modelo de conforto da norma americana ASHRAE Standard 55.

As sugestões de estratégias construtivas apresentadas nesta pesquisa têm o propósito de auxiliar no projeto de ambientes que utilizem as características do clima local em prol de um maior conforto térmico. Para isso se tornar habitual, os profissionais da cadeia construtiva devem se conscientizar e projetar com o conceito sustentável, assim como, o leque de estudos do clima local deve ser expandido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ENERGYPLUS. **Weather Data by Region**. Disponível em: https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_TO_Palmas.866070_INMET. Acesso em: 14 ago. 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.; DOMINIQUI, 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.

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

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.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas**. 2017. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas. Acesso em: 15 fev. 2017.

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.

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.

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.

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

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