

CONFORTO TÉRMICO HUMANO EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS EM CIDADE DE CLIMA TROPICAL QUENTE E ÚMIDO: O CASO DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO

Juarez Mota Pinheiro

Universidade Federal do Maranhão

Maria Iranilde Almeida Costa Pinheiro

Universidade Estadual do Maranhão

RESUMO

A cidade de São Luís, capital do estado do Maranhão, situada em clima tropical úmido, tem registrado crescimento urbano acelerado, impactando seu conforto térmico. Utilizando o índice PET (1999), a pesquisa analisou dois espaços urbanos distintos: Centro e Avenida Litorânea. Os resultados indicaram que seu modelo de planejamento urbano está prejudicando o conforto térmico humano da cidade. O índice PET registrou médias de 30,7°C no Centro e 26,0°C na Avenida Litorânea, evidenciando condições de desconforto térmico na área urbana central. Outro indicativo significativo para o conforto térmico constatado foi a velocidade do vento no Centro, onde a média foi de 0,5 m/s, enquanto na Avenida Litorânea foi de 3,5 m/s. O estudo reforça que o vento é essencial para o conforto térmico em cidades tropicais úmidas como São Luís.

Palavras-chave: São Luís; Conforto Térmico Humano; Vento; Temperatura

ABSTRACT

The city of São Luís, capital of the state of Maranhão, located in a humid tropical climate, has experienced accelerated urban growth, impacting its thermal comfort. Using the PET index (1999), the research analyzed two distinct urban spaces: the Downtown area and Avenida Litorânea. The results indicated that its urban planning model is harming the city's human thermal comfort. The PET index recorded average values of 30.7°C in the Downtown area and 26.0°C on Avenida Litorânea, highlighting thermal discomfort conditions in the central urban area. Another significant indicator of thermal comfort observed was wind speed in the Downtown area, where the average was 0.5 m/s, while on Avenida Litorânea it was 3.5 m/s. The study reinforces that wind is essential for thermal comfort in humid tropical cities such as São Luís.

Key words: São Luis; Human Thermal Comfort; Wind; Temperature

INTRODUÇÃO

Estudos da qualidade ambiental e sua relação com a saúde e o bem-estar da população humana sempre despertaram interesse para a sociedade. Pesquisas de Hipócrates, no século I a.C., propuseram, segundo Ronney (2012), que o principal fator para a qualidade da saúde

humana é a homeostase, isto é, a resultante do equilíbrio entre o homem e seu meio. Também Batistella (2008) afirma que a relação com o ambiente é um traço característico do pensamento hipocrático do fenômeno saúde-doença. Os médicos gregos, que também eram filósofos naturais, mais do que lidarem com os problemas de saúde, procuravam entender as relações entre o homem e seu ambiente (ROSEN, 1994). Entre estas preocupações estava a explicação de que as condições de saúde ou de doença resultam de processos naturais e não premissas ligadas ao sagrado (BATISTELLA, 2008). Portanto, a atenção com a qualidade ambiental, com destaque para as condições climáticas, deveria sempre estar no centro das atenções humanas para proporcionar condições de saúde equilibrada e saudável à população.

No final do séc. XX e início do XXI, os estudos de conforto ambiental em espaços abertos passaram a ter maior atenção dos pesquisadores em função, principalmente, do crescimento exponencial das cidades, visto que o efeito direto do aumento das atividades econômicas urbanas (verticalização urbana acentuada, aumento da poluição pelas atividades industriais e automotivas, diminuição de áreas verdes e outros) teve como consequência ambiental o surgimento de muitas doenças na população urbana (ASHRAE, 2004). Assim, os estudos climáticos urbanos ligados à qualidade da saúde, passaram a ter maior destaque no meio científico, principalmente com estudos de conforto térmico humano em ambientes abertos e de poluição atmosférica nas cidades.

Ainda segundo Ashrae (2004), o conforto térmico humano é definido como a condição da mente de um indivíduo que expressa satisfação como o meio ambiente termal onde se encontra. O ser humano é um animal homeotérmico, isto é, procura manter a temperatura corporal constante, variando entre 36°C e 37°C. Na proporção em que as temperaturas corporais se afastam destes valores vão ocorrendo desconfortos, cujos limites extremos inferiores podem causar a morte por hipotermia, enquanto os limites extremos superiores de temperatura, a morte por hipertermia.

É fundamental que as pesquisas sobre conforto térmico humano avaliem tanto os fatores urbano-ambientais quanto as variáveis físico-humanas que determinam os níveis de conforto térmico. O estado de conforto humano é influenciado não apenas pelas características sociais e culturais dos indivíduos, mas também pelo ambiente urbano, cujas particularidades de urbanização desempenham um papel crucial. Entre esses fatores, destacam-se a geometria urbana, as características da atividade econômica, a presença de corpos hídricos, a vegetação, a altitude, a latitude, a umidade do ar, a velocidade do vento e a temperatura. Esses elementos podem influenciar positiva ou negativamente os microclimas urbanos, uma vez que o conforto térmico dos habitantes resulta da complexa inter-relação entre diversos parâmetros.

É importante ressaltar que estudos sobre conforto térmico humano devem adotar metodologias distintas para ambientes fechados e abertos, pois as características de cada um exigem a aplicação de um modelo preditivo adequado ao seu objeto de análise. Modelos que não consideram, em suas variáveis de cálculo, formas de quantificação tanto das condições urbano-ambientais quanto das físico-humanas tendem a gerar resultados inadequados na avaliação dos níveis de conforto térmico humano para espaços abertos urbanos.

A partir desta concepção de interdependência entre aspectos urbanos e humanos determinando os níveis de Conforto Térmico Humano, a pesquisa se guiou por desenvolver estudos em uma cidade localizada em baixa latitude, numa faixa climática tropical quente e úmida, na qual poucos estudos de conforto térmico foram desenvolvidos.

A cidade de São Luís, assim como todas as cidades localizadas na faixa tropical quente e úmida, é um ambiente propício a desenvolver condições inadequadas de conforto térmico humano aos seus habitantes. A Normal Climatológica (1991 a 2020) do INMET (2024) para São Luís apresenta uma temperatura média anual compensada, sempre elevada, de 26,8°C, com variabilidade térmica anual de apenas 1,4°C, uma alta umidade do ar anual, variando apenas de 77,6% no mês de dezembro e 87,7% no mês de abril. Portanto, condições de temperatura e umidade do ar sempre elevadas, o que indica índices inadequados de conforto térmico humano, com repercussões diretas na saúde da população. Estudos como esse permitem auxiliar nas ações dos gestores públicos responsáveis por decisões ligadas ao planejamento urbano e à saúde da população da cidade.

LOCALIZAÇÃO E DINÂMICA CLIMÁTICA DA CIDADE DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO

A cidade de São Luís apresenta características típicas de áreas de clima tropical, o que lhe confere condições geográficas próprias desse ambiente. Primeiramente, está localizada em baixa latitude, aproximadamente a 2°30' Sul, fator que favorece elevadas temperaturas ao longo do ano. Em segundo lugar, sofre forte influência da maritimidade por situar-se em uma ilha costeira, o que contribui para uma alta umidade do ar e de ventos constantes da brisa marítima, promovendo uma forte regulação térmica. Além disso, possui baixa altitude, alcançando em seu ponto mais elevado cerca de 70 metros (SILVA, 2012).

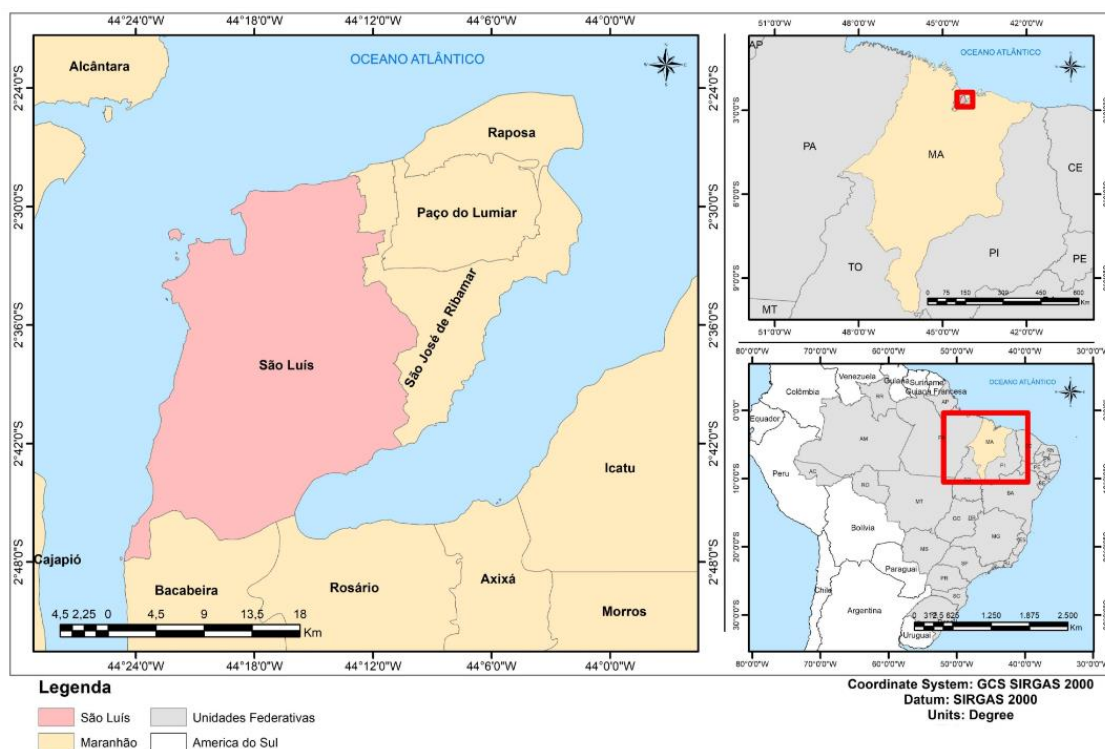


Figura 1 – Mapa de Localização de São Luís do Maranhão.

Fonte: Elaborado pelos autores

Ainda sobre a caracterização da dinâmica climática de São Luís, merecem destaque as apontadas por Pinheiro (2018):

[...] os principais sistemas atmosféricos presentes e atuantes no município de São Luís são, em destaque, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) responsável pela determinação anual do período chuvoso e de estiagem, e a influência dos Ventos Alísios responsáveis pela atuação dos ventos constantes de origem regional e carregados de umidade. Em nível secundário de atuação, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), gerando períodos de estabilidade atmosférica com estiagem; a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e as Linhas de Instabilidade (LI) com a geração de períodos curtos de chuvas na região e, em uma escala local de influência, a brisa marítima com ventos diários e chuvas ocasionais por sistemas convectivos. (PINHEIRO, 2018 p.98)

Destaca-se também a perpendicularidade dos raios solares atuantes na superfície do município, fazendo predominar a pouca variabilidade térmica e a ausência dos ciclos sazonais das estações climáticas. Como afirma Pinheiro (2018), São Luís possui apenas duas estações: uma estação chuvosa e uma estação seca ou de estiagem.

Ainda segundo Pinheiro, Araújo e Garcês Junior (2025), as temperaturas máximas absolutas, no litoral maranhense, ocorrem entre os meses de novembro e janeiro, apresentando média aproximada de 38,5°C, enquanto as temperaturas máximas médias alcançam valores de 35,3°C entre outubro e novembro. O comportamento térmico das temperaturas máximas e mínimas reflete-se igualmente na variação da temperatura média compensada, cuja amplitude térmica registra seu pico no mês de novembro, com aproximadamente 29°C, e seus menores valores entre março e julho, em torno de 24°C. Tal elevação térmica está associada à influência da alta pressão subtropical, que favorece a subsidência atmosférica e a predominância de condições de estabilidade e de bom tempo na região. Apesar dessas variações sazonais, não se observam alterações expressivas no comportamento intra-anual da temperatura, uma vez que a diferença máxima entre as médias térmicas anuais não ultrapassa 5°C.

A ESCOLHA DO MODELO PET (1999) DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO

Nos estudos de conforto térmico humano, compreende-se que há grandes variações culturais, fisiológicas e psicológicas para cada indivíduo, o que gera dificuldades significativas de se encontrar o padrão mais adequado para se determinar um modelo universal de conforto térmico humano. Apesar desta dificuldade, várias tentativas de criação de modelos preditivos de conforto térmico humano universal foram desenvolvidas, tais como: Temperatura Efetiva (TE), de Houghten *et al.* (1923) e Vernon; Warner (1932); Temperatura Operativa (OT), de Winslow e Gagge (1937); Temperatura Efetiva/Índice de Desconforto (TE), de Thom e Bosen (1959); PMV / PPD, de Fanger (1970); Physiological Equivalent Temperature (PET), de Hoppe (1999), Universal Thermal Climate

Index (UTCI), da COMMISSION 6 OF INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY (2010); Thermal Sensation (TS), de Givoni e Noguchi (2000); New Wind Chill Temperature (NWCT), de Bluestein e Osczevski (2002); Actual Sensation Vote (ASV), de Nikolopoulou (2004); e até um índice desenvolvida por pesquisadores brasileiros denominada Temperature of Equivalent Perception (TEP), de Monteiro e Alucci (2008). Observa-se que têm sido várias as tentativas de se criar um modelo capaz de representar com maior qualidade preditiva as sensações de conforto humano.

A escolha de um modelo preditivo de índice de conforto térmico humano para ambientes externos deve conter as características ambientais urbanas e climáticas, além dos fatores fisiológicos mais significativos das pessoas nas suas variáveis de modelagem. Nesta perspectiva, o índice que vem sendo adotado com mais eficácia para identificar as condições de conforto térmico humano em espaços abertos, dentro das várias opções de modelos preditivos, é o modelo Physiological Equivalent Temperature (PET) de Hoppe (1999), cuja adoção, nesse estudo, justifica-se por possibilitar a conjugação dos vários componentes ambientais e dos fatores fisiológicos do indivíduo na determinação dos níveis de conforto humano em espaços abertos.

Citamos alguns trabalhos que foram desenvolvidos em diversos países, utilizando o índice de conforto térmico PET (C°) para estudos de conforto térmico humano em espaços abertos, em destaque, as pesquisas de Chirag e Ramachandraiah (2010), na Índia; Katzschner (2010), na Alemanha; Krüger et al (2013), na Holanda; Li e Chi (2014), na China; Taleghani *et al.* (2015), na Inglaterra, entre outros.

No Brasil, o índice PET, após as adaptações de calibragem do modelo às condições climáticas locais, passou a se destacar em trabalhos produzidos de conforto térmico em ambientes abertos. Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009); Dacanal et al. (2009); Brusantin e Fontes (2009); Fontes *et al.* (2010); Souza (2010); Nince *et al.* (2013) e Labaki et al (2012) obtiveram resultados satisfatórios em estudos para diferentes cidades do país.

Hoppe (1999) observou que o índice PET de conforto térmico humano utiliza uma condição ambiental integral e o balanço térmico do corpo humano é mantido com sua temperatura corporal (interna) e superficial (pele) iguais às submetidas em condições do ambiente-referência, sendo denominado de Ambiente Padrão (P). Segundo Andrade *et al.* (2016), o Ambiente Padrão (P) é estabelecido a partir da Temperatura Radiante Média (Trm) em °C, que é igual à temperatura do ar (Ta) em °C, da velocidade do ar (V) é igual a 0,1m/s, e da pressão de vapor d'água (Pv) igual a 12hPa. Para se encontrar a Temperatura Radiante Média (Trm) para os cálculos do índice PET, utilizou-se a seguinte equação:

$$Trm = \left[(Tg + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times V^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} \times (Tg - Ta) \right]^{1/4} - 273$$

Onde:

Trm = Temperatura radiante média (°C)

Tg = Temperatura de globo (°C)

Ta = Temperatura do ar (°C)

V = Velocidade do vento (m/s)

ε = Emissividade do globo, adotando-se 0,9 (OKE, 1978).

D = Diâmetro do globo (m)

Um fator também importante para a escolha do modelo PET de contorto térmico para a pesquisa deveu-se à possibilidade de adaptação e ajustamento dos parâmetros das faixas categorizadas dos índices de conforto às condições ambientais e fisiológicas do lugar.

Para as faixas do índice PET, utilizadas na pesquisa e aplicadas nos estudos de conforto térmico humano para a cidade de São Luís, foram utilizados como parâmetro os índices desenvolvidos para a cidade de Salvador - BA por Andrade *et al.* (2016). Avaliou-se que a interpolação das condições de conforto humano da cidade de São Luís do Maranhão e da cidade de Salvador na Bahia é possível porque, além de serem cidades litorâneas e estarem dentro de uma mesma região geográfica de clima tropical, quente e úmido, possuem condições de organização urbana e social similares.

Para se chegar às categorias identificadas no índice PET da cidade de Salvador – BA, Andrade *et al.* (2016) aplicou 1.435 questionários em quatro campanhas distribuídas, ao longo de um ano, para abranger as quatro estações, em dois lugares da cidade de grande fluxo de pessoas: a Praça Piedade e a Praça Cairu, com a instalação simultânea de duas estações meteorológicas portáteis. Com os dados coletados aplicaram-se cálculos estatísticos através do modelo Árvore de Decisão – AD, onde obteve o limite inferior para o Índice PET (°C) $\geq 34,1^\circ\text{C}$ para Muito Calor, e foi possível definir os intervalos do Índice PET (°C) de 29,4 a 34,1°C e de 26,8 a 29,4°C, respectivamente, para Calor e Pouco Calor. Quanto à categoria Conforto Térmico, a AD de 30% estabeleceu como limite superior para o Índice PET (°C) $\leq 26,8^\circ\text{C}$, sendo que o limite inferior não foi estabelecido (ANDRADE *et al.*, 2016).

Ao final da pesquisa chegou-se à criação do seguinte quadro de calibração dos índices de conforto térmico humano em espaços abertos para a cidade de Salvador – BA (Quadro 1).

Parâmetros do Índice PET	
$\geq 34,1^\circ\text{C}$	Muito Calor
29,4 - 34,1 °C	Calor
26,8 - 29,4 °C	Pouco Calor
$\leq 26,8^\circ\text{C}$	Conforto

Quadro 1 - Calibração do índice PET (°C) estabelecido para a cidade de Salvador – BA.

Fonte: Andrade *et al.* (2016)

Deste modo os valores de calibragem do índice PET (°C) identificados na Quadro 1, foram os utilizados na pesquisa para a cidade de São Luís do Maranhão.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados atmosféricos foi utilizada uma estação meteorológica portátil, com os seguintes equipamentos: um termo-higrômetro digital, um termômetro de globo digital na cor cinza (15 cm de diâmetro) utilizado para os cálculos da Temperatura Radiante Média (TRM) e um anemômetro digital que mediu a direção e velocidade do vento, todos acoplados a um *data logger*, da marca Onset-Hobo.



Figura 2: Foto da estação meteorológica portátil.
Foto: autores

A escolha dos locais para a instalação dos equipamentos de medição de conforto térmico em espaços abertos é fundamental para garantir a precisão e a representatividade dos dados coletados. A localização escolhida dos equipamentos pretendeu atender a dois pontos estratégicos que captassem as variações microclimáticas de dois ambientes distintos dentro da cidade de São Luís, identificando sua exposição solar, corredores de vento, fluxo de pessoas e superfícies que influenciam a temperatura e a umidade. Considerou-se que uma distribuição adequada dos sensores assegura que os dados reflitam as condições reais vivenciadas pelos usuários, evitando distorções causadas por medições pontuais ou mal posicionadas.

Deste modo, foram definidos dois locais significativos para a pesquisa. O primeiro local escolhido foi no Centro da cidade, na área externa da Biblioteca Pública Benedito Leite, chamado de Ponto 1, local aberto e cercado por grades, próximo da principal praça do centro da cidade, a Praça Deodoro. O segundo local escolhido foi na Avenida Litorânea, no Círculo Militar, chamado de Ponto 2, o local pertence ao 24º Batalhão de Infantaria Leve, é amplo, distando cerca de 20 metros da linha de praia, com poucas construções no local.

Sobre a localização dos pontos de coleta de dados, destaca-se também a sua posição direcional em relação aos ventos, isto é, como em São Luís a predominância é de ventos nordeste (PINHEIRO e GALVANI, 2018) a posição dos equipamentos permitiu que também houvesse a identificação de como chega o vento na sua condição de intensidade na Avenida Litorânea, de frente para o mar, e no centro da cidade. Os dois pontos ficaram a uma distância, em linha reta, de 6.250 metros, nas seguintes coordenadas geográficas e altitude:

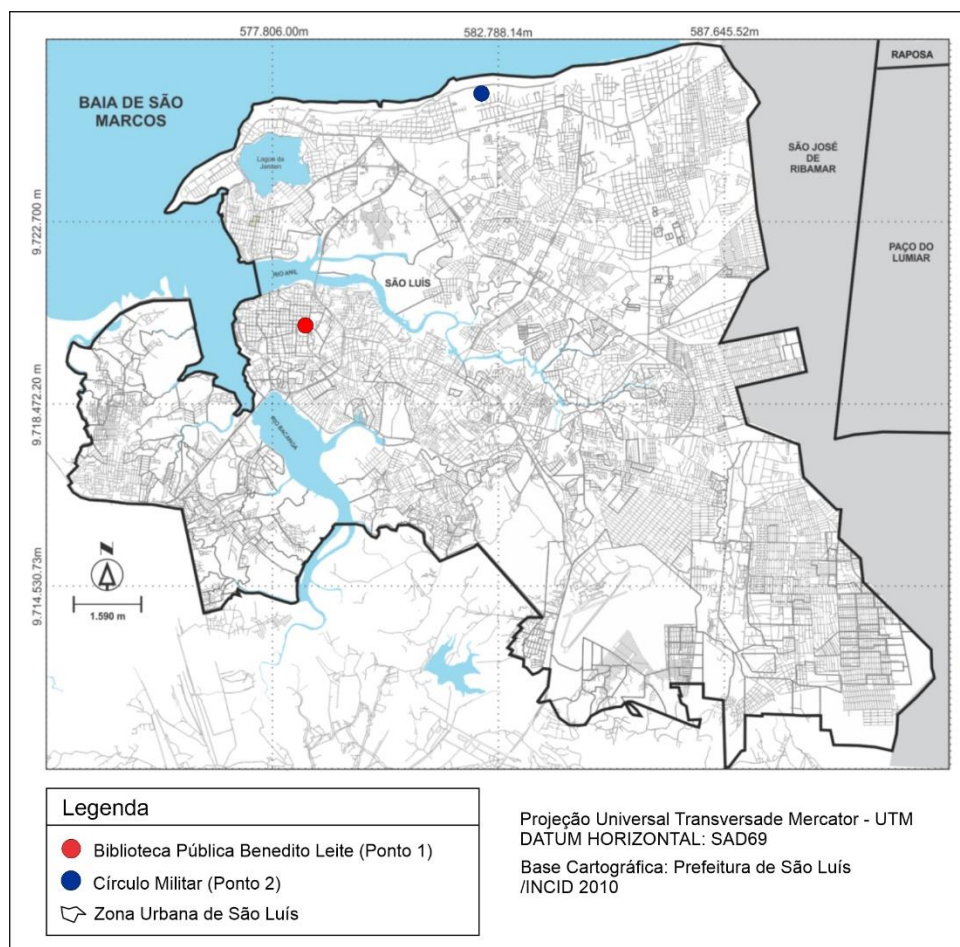


Figura 3: Mapa de localização dos locais de instalação dos equipamentos dentro da Zona Urbana de São Luís.

Fonte: Prefeitura de São Luís – Org. autores

Ponto	Local	Coordenadas Geográficas		Altitude
1	Biblioteca Pública Benedito Leite - Centro	2°29'3.47"S	44°15'40.10"W	10 metros
2	Círculo Militar – Av. Litorânea	2°31'45.80"S	44°17'42.89"W	50 metros

Quadro 2: Coordenadas geográfica dos pontos de coleta de dados.

Foram realizadas cinco campanhas de coleta de dados nos pontos 1 e 2 em dias e meses alternados no ano de 2020. Em cada campanha, as estações ficaram por 24 horas, coletando dados meteorológicos a cada 30 minutos, totalizando 48 registros para cada 24 horas, os quais foram inseridos posteriormente, junto com outras informações no programa RayMan Pro V2.1 para serem gerados os valores do índice PET para a cidade de São Luís. As cinco campanhas consideradas aceitas para a pesquisa ocorreram nos seguintes dias:

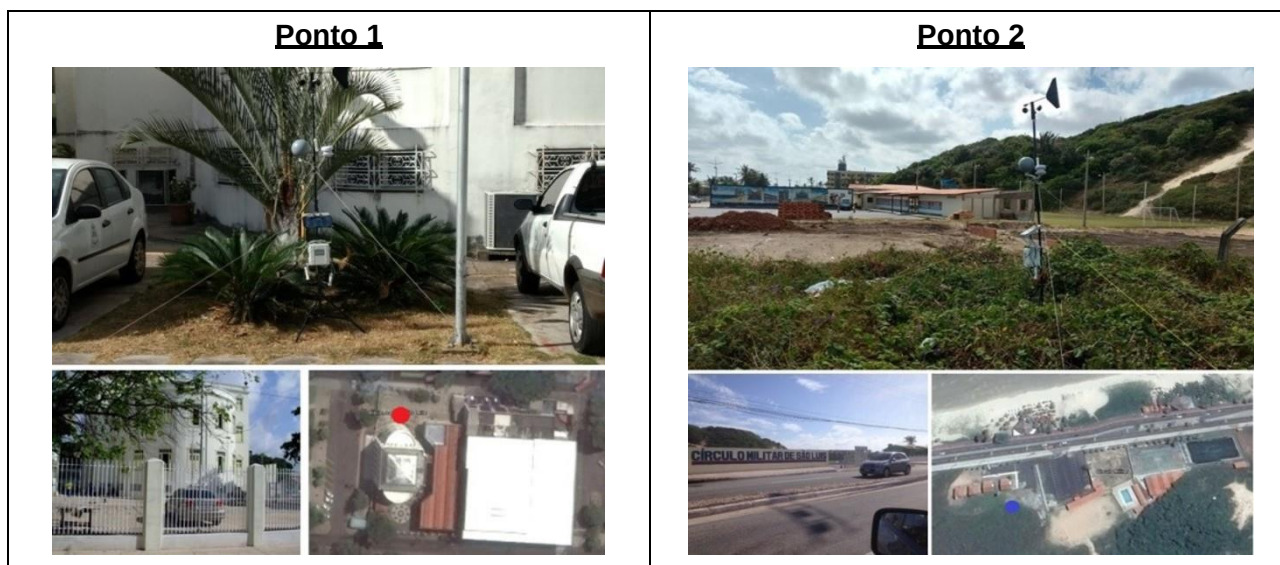


Figura 4: Foto das estações meteorológicas instaladas na Biblioteca Pública Benedito Leite (Ponto 1) no Centro e no Círculo Militar (Ponto 2) na Av. Litorânea da cidade de São Luís do Maranhão.

Foto: autores.

Campanhas	Biblioteca Benedito Leite (Ponto 1)	Círculo Militar (Ponto 2)
1	21/03/2020	22/03/2020
2	29/06/2020	30/06/2020
3	20/09/2020	21/09/2020
4	24/08/2020	25/08/2020
5	25/10/2020	26/10/2020

Quadro 3: Data das campanhas de coleta de dados

O Software RayMan Pro V.2.1 (Figura 5), desenvolvido por MATZARAKIS e RUTZ (2010), é uma ferramenta especializada para a análise e modelagem de parâmetros bio-meteorológicos e de conforto térmico em ambientes urbanos e naturais. Ele foi desenvolvido por pesquisadores ligados à Universidade de Freiburg, na Alemanha, e é bastante utilizado em estudos de climatologia urbana e conforto térmico. Este programa permitiu realizar os cálculos e determinar os valores preditivos do modelo PET.

Nele foram inseridos os dados de coordenadas geográficas, altitude (m), hora UTC /MA (-3), temperatura do ar (T_a) °C, umidade relativa do ar (UR) %, velocidade do vento (v) m/s, temperatura radiante média (T_{rm}) em C° já calculada, o índice vestuário (CLO), atividade metabólica (W) e atividade corporal. Assim foram gerados quarenta e oito índices PET, para cada dia de campanha nos dois pontos de coleta de dados.

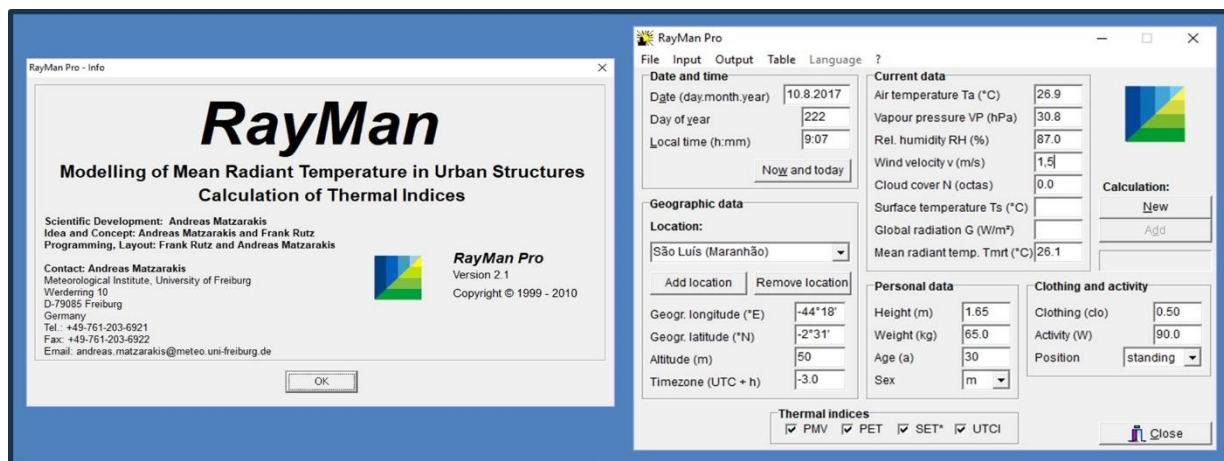


Figura 5: Software RayMan Pro Version 2.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Givoni (1998), o conforto térmico é um fator essencial para a qualidade de vida nas cidades, influenciando diretamente o bem-estar físico e emocional da população, a saúde pública e a sustentabilidade ambiental. Em um contexto de urbanização acelerada e mudanças climáticas, identificar e melhorar as condições térmicas nos espaços urbanos tornou-se uma prioridade para garantir cidades mais habitáveis, resilientes e inclusivas.

O conforto térmico está intrinsecamente ligado à saúde e ao bem-estar das pessoas. Condições extremas de calor ou frio podem causar desconforto, estresse térmico e até mesmo problemas de saúde graves, como insolação, desidratação ou hipotermia. Populações vulneráveis, como idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas, são as mais afetadas por essas condições. Além disso, o desconforto térmico pode impactar a produtividade e o desempenho das pessoas em suas atividades diárias, seja no trabalho, estudo ou lazer (OKE, 1982). Portanto, garantir ambientes urbanos com temperaturas adequadas é fundamental para promover uma vida saudável e ativa.

Devemos lembrar que a relação entre conforto térmico e sustentabilidade urbana é necessária. Como afirma Santamouris (2013), as cidades, com sua alta concentração de superfícies impermeáveis e pouca vegetação, são frequentemente afetadas pelo fenômeno das ilhas de calor urbanas, que elevam as temperaturas locais e exacerbam o desconforto térmico. Afirma ainda Santamouris (2013) que, para mitigar esse problema, é necessário adotar estratégias de planejamento urbano que priorizem a criação de áreas verdes, corredores de ventilação e o uso de materiais reflexivos em construções e pavimentações. Essas medidas não apenas melhoram o conforto térmico, mas também contribuem para a redução do consumo de energia, uma vez que diminuem a necessidade de sistemas de climatização artificial, como ar-condicionado e aquecimento.

Além disso, o conforto térmico desempenha um papel crucial na adaptação às mudanças climáticas. Com o aumento das temperaturas globais, as cidades precisam se preparar para enfrentar eventos climáticos extremos, como ondas de calor e secas prolongadas. O planejamento urbano que incorpora o conforto térmico como uma prioridade pode ajudar a criar infraestruturas mais resilientes e adaptadas a esses desafios. Por exemplo, a implementação de telhados verdes, a

ampliação de parques e a preservação de áreas naturais são práticas que não apenas melhoram o microclima urbano, mas também aumentam a capacidade das cidades de resistir aos impactos das mudanças climáticas.

A questão do conforto térmico também está diretamente relacionada à inclusão social e à equidade urbana, uma vez que as condições ambientais das cidades não se distribuem de forma homogênea entre os diferentes grupos sociais. Em muitas áreas urbanas, especialmente nas periferias e comunidades de baixa renda, observa-se maior exposição a condições térmicas adversas, como temperaturas elevadas, baixa circulação de ar, reduzida arborização e intensa impermeabilização do solo. Esses fatores contribuem para o agravamento das chamadas ilhas de calor urbanas, fenômeno caracterizado pelo aumento da temperatura em áreas densamente construídas em comparação com as zonas periféricas mais vegetadas (OKE, 1987).

A desigualdade socioespacial presente nas cidades brasileiras faz com que populações socialmente vulneráveis sejam também as mais vulneráveis climaticamente. A ausência de planejamento urbano adequado, associada à ocupação irregular do solo e à carência de infraestrutura básica, intensifica os impactos do desconforto térmico, afetando diretamente a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar da população. Segundo Monteiro (1975), o clima urbano deve ser compreendido como resultado das transformações promovidas pela sociedade sobre o espaço natural, sendo a cidade um ambiente que modifica profundamente os elementos climáticos locais.

Além disso, a escassez de áreas verdes nas regiões periféricas reduz significativamente a capacidade de amenização térmica do ambiente urbano. A vegetação desempenha papel fundamental no controle microclimático, contribuindo para o sombreamento, a redução da temperatura superficial e o aumento da umidade relativa do ar. Lombardo (1985) destaca que a arborização urbana constitui um dos principais mecanismos de mitigação das ilhas de calor, sendo essencial para a melhoria do conforto ambiental nas cidades tropicais.

Outro aspecto importante refere-se ao padrão construtivo das habitações em áreas populares, frequentemente marcadas pelo uso de materiais inadequados ao clima local, como telhas de fibrocimento e ausência de ventilação cruzada, o que intensifica o acúmulo de calor no interior das residências. Essa realidade demonstra que o conforto térmico não se restringe ao espaço público, mas também envolve as condições de moradia e o direito à habitação digna, tornando-se uma questão de saúde pública e de justiça socioambiental.

Com os dados coletados e transformados em índice PET foram elaborados gráficos que representassem as cinco campanhas de coleta de dados. Esses gráficos constituem um forte indicativo das condições de conforto térmico na cidade de São Luís. A Figura 6 apresenta os gráficos correspondentes a cada dia da campanha, que começa às 0:hs e termina às 23:30h, apresentando os índices de conforto térmico identificados nos dois pontos onde foram coletados os dados. Para facilitar a visualização e, conseqüentemente, a interpretação dos resultados, foram utilizadas cores distintas para cada índice de conforto térmico.

Foi possível identificar que em todas as campanhas realizadas, os valores registrados, indicaram que o Centro da cidade é o local que apresenta a maior quantidade de horas de desconforto térmico e a menor quantidade de horas de conforto térmico registrado em todas as campanhas, enquanto que a Avenida Litorânea indica possuir o maior número de horas com os melhores valores de conforto térmico. A exceção ocorreu durante as campanhas 1 e 2, e em pouco espaço de tempo,

quando houve a inversão, a Avenida Litorânea apresentou condições piores de conforto térmico que o Centro.

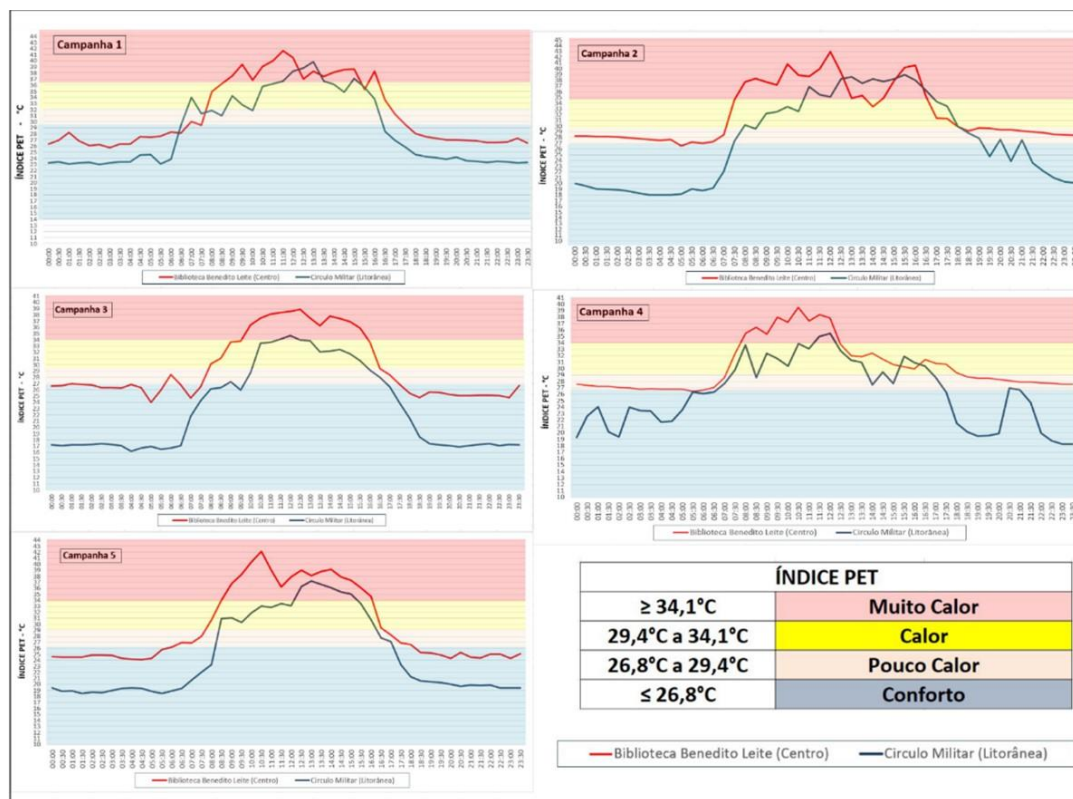


Figura 6: Gráficos dos valores de conforto térmico registrados utilizando-se do índice PET para no Centro da cidade (Biblioteca Benedito Leite) e Av. Litorânea (Círculo Militar) nas Campanhas 1, 2, 3, 4 e 5.
Organização: autores

Destacamos também que, em todos os dias que foram realizadas as campanhas, o Centro da cidade permaneceu sempre com as temperaturas mais elevadas em comparação à Avenida Litorânea.

Com o objetivo de síntese de todos os experimentos realizados nas cinco campanhas, produzimos uma representação gráfica (figura 7), na qual são identificados o padrão médio das condições de conforto térmico humano registrados.

A média dos dados registrados nas cinco campanhas realizadas identificou que o Centro da cidade possui mais horas do dia em condições de “calor” e “muito calor” e que a Avenida Litorânea apresenta menor quantidade de horas nesta condição. Somente no horário das 13h00min ocorre uma confluência de valores, registrando 36,2°C de índice PET nos dois locais. A média de vinte horas registrada para o Centro da cidade foi de 30,7°C de índice PET de conforto térmico, o que o coloca em condições de “calor”, enquanto que na Avenida Litorânea apresentou uma média de 26,0°C de PET, portanto uma diferença de 4,7°C de PET.

O maior valor do índice registrado ocorreu no Centro da cidade com 39,6°C de PET às 12h00min, enquanto que na Avenida Litorânea foi identificado o maior valor de 36,2°C de PET às 13h00min, portanto uma diferença de 3,4°C de índice PET. Identificou-se também o menor valor

médio no Centro da cidade de 26,3°C de PET no intervalo de 3h00min e 4h00min, enquanto que na Avenida Litorânea foi identificado o menor valor médio de 19,7°C de PET no horário entre às 23h00min e 23h30min.

Destaca-se também, que a condição de conforto térmico de “muito calor” se iniciou sempre primeiro no Centro, começando já no horário próximo das 8h da manhã e seu término entre 16h e 16h30min, indicando que esta condição permanece quase que o dia inteiro para o Centro da cidade.

Estudos desenvolvidos por Olgyay (1963), já mostravam que a relação do design urbano e arquitetônico são fatores fundamentais para se criar ambientes mais confortáveis e sustentáveis e que a falta de planejamento urbanístico de uma cidade poderia lhe causar sérios problemas de conforto térmico para seus cidadãos. A cidade de São Luís que tem o seu Plano Diretor aprovado pela Câmara Municipal e posteriormente sancionada pelo prefeito e publicado como Lei nº 7.122, no dia 12 de abril de 2023 que também estabelece a Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano passou a permitir a construção de prédios de até 15 andares na cidade, anteriormente o máximo de altura dos prédios era de 10 andares. O planejamento da cidade realizado até agora, como se constatou, está influenciando negativamente no conforto térmico da cidade e de acordo com a nova proposta de zoneamento a situação deve se agravar.

Para também auxiliar na análise e compreensão da dinâmica das condições de conforto térmico para a cidade de São Luís, foi gerado o gráfico síntese das cinco campanhas, da velocidade do vento nos pontos de coleta de dados, (Figura 8).

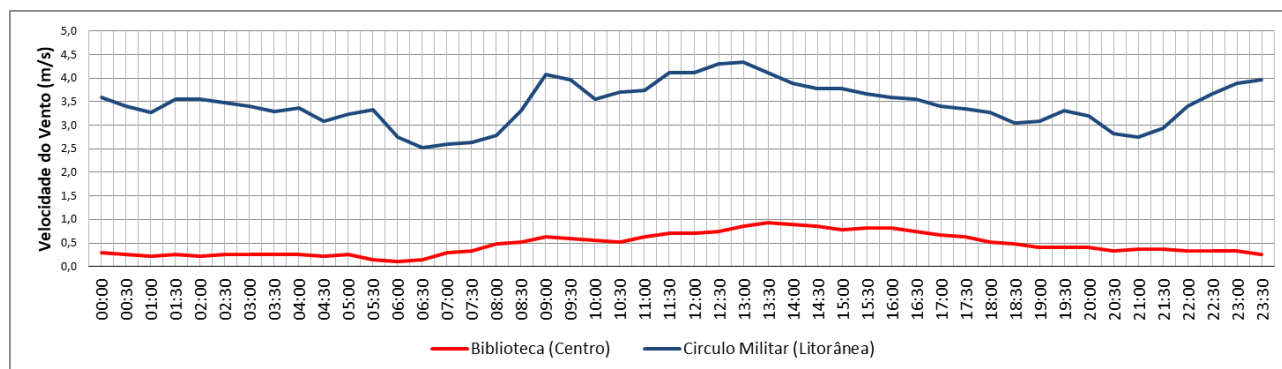


Figura 8: Gráfico com a média de velocidade do vento (m/s) registrada nas cinco campanhas realizadas.

Fonte: Autores

Com relação à velocidade do vento nos dias das campanhas, verificou-se que a média dos dados coletados aponta que o vento ocorre em velocidade maior na Avenida Litorânea. A média identificada foi de 3,5 m/s na Avenida Litorânea enquanto no Centro a média de velocidade ficou em 0,5 m/s. Portanto, uma diferença significativa de 3 m/s. Afirma Oke (1982), que o vento é um fator crítico para o conforto térmico humano porque regula a troca de calor, influencia a sensação térmica, melhora a qualidade do ar e ajuda a mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas. Sua presença (ou ausência) pode transformar a percepção de um ambiente, tornando-o mais agradável ou desconfortável. Entender e considerar o vento no planejamento urbano e no design arquitetônico é essencial para criar espaços que promovam o bem-estar e a saúde dos cidadãos.

Para também auxiliar na análise e identificação das condições de conforto térmico na cidade de São Luís foi produzido a tabela 3, que expressa o número de horas em que foram registrados os valores de índice PET em cada faixa de tipo de conforto.

	Biblioteca (Centro)	Circulo Militar (Litorânea)	Diferença em horas
Muito Calor	08h00min	03h30min	+04h30min
Calor	02h00min	04h30min	-02h30min
Pouco Calor	06h00min	02h00min	+4h00min
Conforto	08h00min	14h00min	-6h00min

Quadro 4: Síntese com o número de horas em cada faixa das condições de conforto identificados nas cinco campanhas realizadas.

As horas identificadas em cada índice de conforto térmico humano permitem quantificar as condições em que se apresenta o conforto térmico entre o Centro da cidade e a Avenida Litorânea. O Centro da cidade apresenta uma quantidade de horas total de “muito calor” de 08h00min e na Avenida Litorânea de 3h30min. Uma diferença significativa de 4h30min na média.

Quando analisamos as condições de índice de “conforto”, o Centro registrou uma média de 08h00min enquanto na Avenida Litorânea registrou valores de 14h00min, são valores muito significativos, indicando uma diferença de 6h00, revelando uma grande diferença na condição de “conforto” de índice PET. Os dados corroboraram que o bairro Centro possui as piores condições de conforto térmico humano em comparação com a Avenida Litorânea.

CONCLUSÃO

A pesquisa permitiu comprovar, na capital São Luís, cidade de clima tropical quente e úmido, que os ventos que chegam ao Centro da cidade são sempre em menor velocidade em comparação a Avenida Litorânea, o que leva a inferir que a forma urbana da cidade está influenciando a intensidade com que os ventos chegam aos locais centrais da cidade. Foi também possível identificar a enorme importância que o vento exerce como fator preponderante para a geração de melhores condições de conforto térmico humano para a cidade de São Luís, e por analogia, a todas as cidades localizadas na faixa tropical quente e úmida.

A pesquisa identificou diferenças significativas de velocidade do vento na cidade de São Luís, nos dois pontos de coleta de dados. O Centro da cidade possui uma velocidade média dos ventos de 0,5 m/s enquanto na Avenida Litorânea foi de 3,5 m/s, estas diferenças de velocidade do vento impactam diretamente os índices de conforto térmico em grande parte da área urbana da cidade.

A pesquisa também revelou que o Centro da cidade de São Luís possui mais horas do dia em condições de “muito calor” de conforto térmico humano quando comparado à Avenida Litorânea.

O Centro apresentou uma quantidade de horas de 08h00min e na Avenida Litorânea, 3h30min. São 4h30min em média de diferença, o que é expressivo.

Constatamos que o Centro da cidade apresentou valores médios de 30,7°C de índice PET, enquanto na Avenida Litorânea apresentou valores médios de 26,0°C de índice PET, portanto uma diferença de 4,7°C, são valores também significativos de que as condições de conforto térmico no Centro da cidade são muito mais negativas que na Avenida Litorânea e isto afeta a qualidade de vida e bem-estar da população que frequenta ou mora nesse espaço.

O conforto térmico tem implicações econômicas e turísticas. Cidades que oferecem condições térmicas agradáveis são mais atrativas para turistas e investidores, gerando receita e impulsionando a economia local. Parques, praças e áreas públicas bem planejadas, com temperaturas adequadas, tornam-se pontos de interesse e convivência, fortalecendo a identidade e a vitalidade urbana.

Os resultados alcançados com a pesquisa também comprovam que estudos de conforto térmico em espaços abertos são extremamente importantes para o planejamento da cidade em toda a sua condição de ordenamento e ocupação. O crescimento da cidade, que é inevitável, deve estar em conformidade com as condições de sustentabilidade dos seus recursos naturais e de qualidade de vida para todos os seus cidadãos.

Assim, o conforto térmico é um elemento-chave para o desenvolvimento de cidades sustentáveis, saudáveis e inclusivas. Sua importância vai além do simples bem-estar individual, abrangendo questões de saúde pública, eficiência energética, adaptação climática e equidade social. Portanto, investir em estratégias que promovam o conforto térmico é essencial para construir cidades mais resilientes e preparadas para os desafios do século XXI.

Submetido em 14 de fevereiro de 2025.

Aceito para publicação em 22 de maio de 2026

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55-004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004. <http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf> acesso em 22/01/2024.

ANDRADE, T. C.; NERY, J.; MIRANDA, S.; PITOMBO, C.; MOURA, T.; KATZSCHNER, L. **Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto PET usando a técnica árvore de decisão**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 4, n. 2, p. 278–296, 2016. DOI <<https://doi.org/10.9771/gesta.v4i2.16821>> acesso em 02/03/2024.

BATISTELLA, C. **As primeiras explicações racionais: a medicina hipocrática**. In: O território e o processo saúde-doença. Fiocruz – Versão hipermídia, 2008. Acesso em: 16 ago. 2023. <https://www.epsv.fiocruz.br/pdtsip/includes/header_pdf.php?ext=.pdf&id=504&utm_source=chatgpt.com> acesso em 15/04/2023.

CHIRAG, D.; RAMACHANDRAIAH, A. **The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET): outdoor thermal comfort studies**. International Journal of Engineering Science and Technology, v. 2, n. 7, p. 2825-2828, 2010. < https://www.researchgate.net/publication/50315274_The_significance_of_Physiological_Equivalent_Temperature_PET_in_outdoor_thermal_comfort_studies?utm_source=chatgpt.com> acesso em 26/01/2024.

DACANAL, C.; RIBEIRO, B.; RANCURA, R. L.; LABAKI, L. C. *Conforto térmico em espaços livres públicos: estudo de caso em Campinas, SP*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 563–572. < https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134931?show=full&utm_source=chatgpt.com> acesso em 22/05/2023.

FONTES, M. S. G. F. et al. **Thermal Comfort in Open Public Spaces: studies in green areas in cities of the São Paulo State, Brazil**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3., 2010, Rhodes. Proceedings... Rhodes, 2010. < https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/24026/ROBERTO%20NACIF.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com> Acesso em 25/06/2023

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Wiley, 1998.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG. 2010**. 225 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) — Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. < https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MMMD-8QMHSZ?utm_source=chatgpt.com> Acesso em 27/03/2024.

HÖPPE, P. **The Physiological Equivalent Temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment**. International Journal of Biometeorology, Lisse, v. 43, n. 2, p. 71-75, 1999. DOI <<https://doi.org/10.1007/s004840050118>>

KRÜGER, E.; DRACH, P.; EMMANUEL, R.; CORBELL, O. **Assessment of daytime outdoor comfort levels in and outside the urban area of Glasgow – UK**. International Journal of Biometeorology, v. 57, n. 4, p. 521-533, 2013. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s00484-012-0578-y>>

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; DACANAL, C. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 167-183, jan./mar. 2012. DOI <<https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100003>> Acesso em 26/04/2023

LI, R.; CHI, X. **Thermal comfort and tourism climate changes in the Qinghai-Tibet Plateau in the last 50 years**. Theoretical & Applied Climatology, v. 117, n. 3/4, p. 613-625, 2014. DOI <<https://doi.org/10.1007/s00704-013-1027-5>> Acesso em 26/04/2023

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. **Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature**. International Journal of Biometeorology, v. 43, p. 76-84, 1999. DOI <<https://doi.org/10.1007/s004840050119>> Acesso em 28/04/2023

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology, v. 51, n. 4, p. 323-334, 2007. DOI <<https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>> Acesso em 28/04/2023.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Software Rayman**, v. 1/2 Pro. Copyright © 2010. Disponível em: <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/>>. Acesso em: 22 set. 2019.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas: parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos**. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 1231-1240.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1975 (Série Teses e Monografias nº 25).

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **An outdoor thermal comfort index for the subtropics**. In: PLEA 2009 – 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June, 2009.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. **Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces**. Energy and Buildings, v. 35, n. 1, p. 95-101, 2003. DOI <[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1)> Acesso em 22 set. 2012

NINCE, P. C. C.; MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A. **Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto térmico no campus da UFMT em Cuiabá-MT**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 9, n. 9, p. 2026–2036, fev. 2013. <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/7701?utm_source=chatgpt.com> Acesso em 28/04/2023.

OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

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

PINHEIRO, J. M. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. 2018. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. DOI <<https://doi.org/10.11606/T.8.2019.tde-13022019-160256>> Acesso em: 06/07/2023.

PINHEIRO, J. M.; ARAÚJO, R. R.; GARCÊS JUNIOR, A. R. **Dinâmica climática no Maranhão: integração dos biomas amazônico, cerrado e caatinga, identificando sua classificação climática e cenários futuros diante das mudanças climáticas globais**. In: FALCÃO SOBRINHO, J.; OLIVEIRA, L. J. de (org.). Os semiáridos brasileiros: múltiplas paisagens. Sobral: Sertão Cult, 2025. p. 139-178.

PINHEIRO, J. M.; GALVANI, E. **Caracterização da direção e velocidade do vento na cidade de São Luís – MA**. In: GALVANI, E.; GOBO, J. P. A.; LIMA, N. G. B. Climatologia Aplicada II. Curitiba: Ed. CRV, 2018. p. 95-113.

ROONEY, A. **A história da medicina**. São Paulo: M Books, 2012. 216 p.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública**. São Paulo; Rio de Janeiro: Hucitec; Unesp; Abrasco, 1994.

SHIMAKAWA, A. H.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente – SP: estudo de caso: Parque do Povo**. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 543-552. < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134931>> Acesso em: 06/07/2023.

SOUZA, S. H. M. **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2010. <<https://repositorio.usp.br/item/003167799>> Acesso em: 06/05/2020.