VERTICALIZAÇÃO E MICROCLIMAS EM CIDADES TROPICAIS: BREVE REVISÃO DA LITERATURA RECENTE

Anne K. N. Oliveira (1); Emanuel D. Medeiros (2); Luiza M. C. Silva (3); Ricardo V. R. Barbosa (4)
(1) Estudante, Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, anne.oliveira@fau.ufal.br
(2) Estudante, Graduando em Arquitetura e Urbanismo, emanuel.medeiros@fau.ufal.br
(3) Estudante, Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, luiza.silva@fau.ufal.br
(4) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, rvictor@fau.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió/AL, 57072-900, Tel.: +55 (82) 3214 1283

RESUMO
A bioclimatologia aplicada às cidades relaciona-se com a influência do clima urbano no conforto e na saúde, desempenhando necessidades de estudos que demonstrem o impacto das diferentes geometrias urbanas no microclima, especialmente sobre a temperatura do ar e a ventilação natural na promoção de bem-estar aos habitantes. Esta pesquisa objetivou realizar breve revisão da literatura sobre verticalização e microclimas em cidades tropicais. Para isso, foi feita busca na plataforma *Scopus* resultando em 47 artigos, dos quais foram selecionados 25 a partir dos critérios de seleção estabelecidos. Foram selecionados apenas artigos publicados na língua inglesa. Os artigos foram organizados por país de realização do estudo, ano de publicação, periódico ou evento em que foram publicados. Os resultados indicaram que as pesquisas sobre verticalização e microclimas em cidades tropicais concentram-se, especialmente, no continente asiático, cujos trabalhos foram realizados, em sua maioria, entre os anos 2010 e 2020, publicados majoritariamente no periódico *Building and Environment*. Além disso, concluiu-se que a geometria urbana é o fator mais estudado nas pesquisas realizadas, correlacionado com as condições climáticas e as variáveis de conforto térmico.

Palavras-chave: Conforto térmico externo, Geometria urbana, Ilha de calor urbano.

ABSTRACT
The bioclimatology applied to cities is related to the influence of the urban climate on comfort and health, performing needs of studies that demonstrate the impact of different urban geometries on the microclimate, especially on air temperature and natural ventilation in promoting well-being to inhabitants. This research aimed to conduct a brief review of the literature on verticalization and microclimates in tropical cities. For this, a search was made on the Scopus platform resulting in 47 articles, of which 25 were selected based on the established selection criteria. Only articles published in English were selected. The articles were organized by country of study, year of publication, journal, or event in which they were published. The results indicated that research on verticalization and microclimates in tropical cities is concentrated, especially, in the Asian continent, whose studies were mostly carried out between the years 2010 and 2020, published mostly in the journal Building and Environment. In addition, it was concluded that urban geometry is the most studied factor in the researches, correlated with climatic conditions and the variables of thermal comfort.
Keywords: Outdoor thermal comfort, Urban geometry, Urban heat island.

1. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas, (ONU, 2019) destaca que, atualmente, 55,3% da população mundial reside em áreas urbanas. Essa ocupação em massa do meio urbano tem modificado a geometria das urbes e formado diversos cenários nas cidades, como o adensamento da verticalização de edifícios para suprir à necessidade de moradias para a crescente urbanização.

Nesse processo, um dos mecanismos do sistema cidade-atmosfera mais afetado pela mudança do uso e cobertura do solo é o balanço de energia (PEREZ et al., 2001; AZEVEDO e TARIFA, 2001; ARAÚJO e SANT´ANNA NETO, 2002; KALNAY e CAI, 2003; MONTEIRO e MENDONÇA, 2003) Assim, o clima urbano é uma modificação substancial de um clima local, resultado das condições particulares do meio ambiente urbano, seja pela sua rugosidade, ocupação do solo, orientação, permeabilidade e propriedades dos materiais constituintes, entre outros fatores (OKE, 1996).

As condicionantes térmicas são questionadas e relacionadas diariamente de acordo com a morfologia urbana e desenvolvimento das cidades. As tipologias diferenciadas de ocupação do solo urbano podem impactar o ambiente de maneiras distintas e influenciar o desempenho do conforto térmico. Para a promoção do conforto é necessário o estudo em conjunto da influência dos espaços livres e das áreas verdes na redução do rigor térmico dos ambientes urbanos.

O ambiente térmico urbano influencia na termorregulação e a regulação circulatória, que podem levar à sobrecarga do organismo e ao comprometimento da saúde, podendo levar até mesmo à morte em casos extremos (SILVA; RIBEIRO; SANTANA, 2014). Assim, sabe-se que o estresse térmico não causa apenas desconforto, mas é responsável, também, pela formação de ambientes urbanos insalubres que afetam a saúde humana. Estas variáveis ambientais urbanas podem, até certo ponto, ser controladas pela atividade de planejamento e projeto, em ambas as escalas, da cidade e do edifício, por meio das legislações de uso e ocupação do solo, códigos de edificações, entre outras (DUARTE, 2015).

Nesse contexto, tendo o planejamento urbano fundamentado na bioclimatologia, entende-se como necessário a realização de pesquisas acerca das consequências dessas medidas nas condições de sensação térmica em cidades de clima tropical, onde as condicionantes térmicas são naturalmente elevadas em razão da incidência solar no nível dos trópicos. No entanto, embora seja reconhecida a importância desses estudos para subsidiar a compreensão dos fatores ligados à cidade, que podem estar relacionados às mudanças climáticas (CHANDLER, 1976; ASSIS, 1990), existem dificuldades na aplicação efetiva dessas informações no planejamento e nos projetos urbanos, constituindo uma lacuna entre a climatologia urbana e o planejamento das cidades e das edificações.

As revisões de literatura são importantes para obter uma ideia precisa, embasada em evidências científicas, sobre o cenário atual de determinado tema. O intuito da presente revisão foi registrar, relacionar e integrar temas que envolvam a verticalização e microclimas em cidades tropicais, como o Fator de Céu Visível, geometria urbana e fluxo de ventos.

2. OBJETIVO

Esse artigo teve como objetivo realizar revisão de literatura acerca da temática verticalização e microclima em cidades tropicais, com vistas a analisar pesquisas recentes sobre o tema e identificar os métodos de pesquisa mais recorrentes e os resultados obtidos em diferentes cidades localizadas no contexto climático tropical.

3. MÉTODO

Foi feito revisão sistematizada (GRANT; BOOTH, 2009) dos artigos encontrados, na plataforma *Scopus*, em fevereiro de 2021. A plataforma unificada e multidisciplinar *Scopus* inclui periódicos científicos de alta qualidade, de todo o mundo. A pesquisa foi realizada a partir dos termos de busca "*URBAN CLIMATE, URBAN GEOMETRY, TROPICAL CLIMATE"* combinadas no título, resumo e nas palavras-chave. A consulta resultou em 47 artigos, dos quais 25 foram selecionados para esta revisão. Foram descartados os artigos que não tinha como objeto principal de pesquisa a verticalização e/ou não apresentavam resultados sobre o impacto da verticalização no microclima urbano. Cabe destacar que fazem parte da revisão apenas artigos publicados na língua inglesa.

4. RESULTADOS

As palavras-chave (figura 1) presentes nos artigos demonstram a relação dos estudos de diversos fatores que influenciam na verticalização e microclimas em cidades tropicais, tendo como destaques as palavras "*URBAN GEOMETRY, URBAN HEAT ISLAND, OUTDOOR THERMAL COMFORT"*.

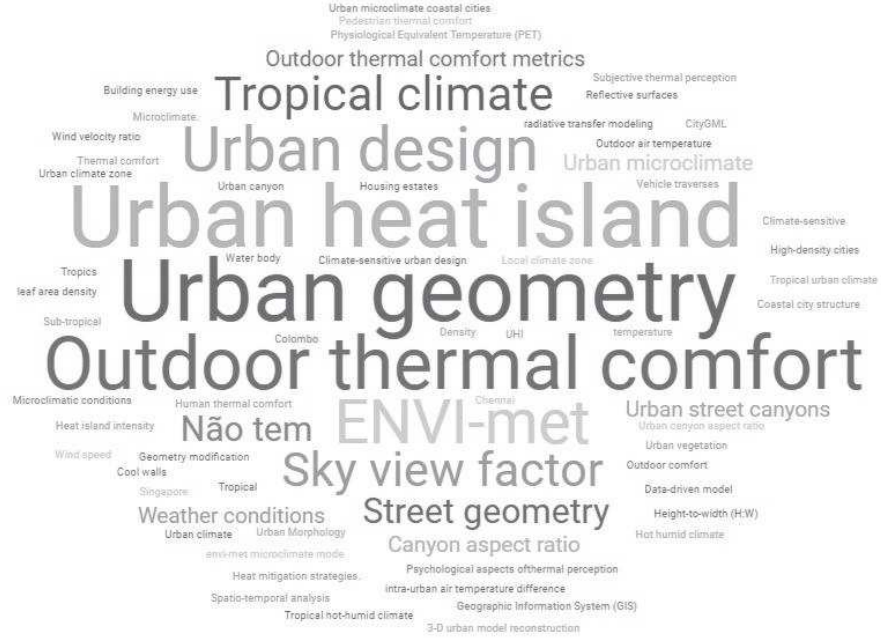

Figura 1 – Palavras-chave dos 25 artigos revisados.

A classificação dos artigos por país estudado (figura 2), indicou que as pesquisas se concentram no continente asiático, sendo a cidade de Cingapura a mais estudada sobre verticalização e microclimas em cidades tropicais, em razão do aumento populacional (GOH; CHANG, 1999) e da limitação de terra (ACERO et al., 2021) encontradas na cidade-estado.

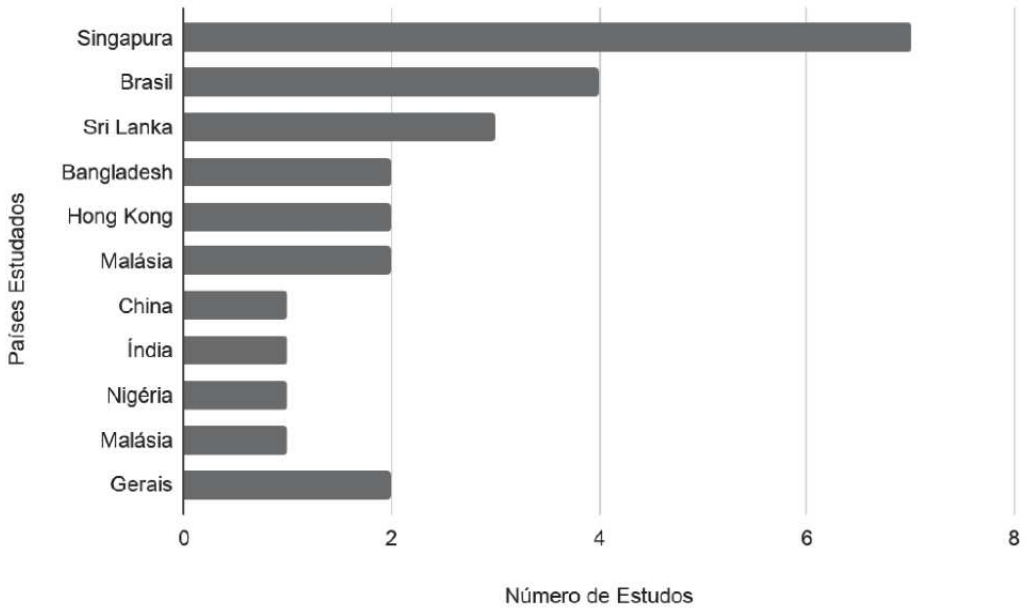

Figura 2 - Países onde se localizam as cidades dos estudos sobre Verticalização em Cidades de Clima Tropical.

Verifica-se que o número de estudos mais que dobrou no período de 2010-2020, em comparação ao período de 1999-2009 (figura 3). Este fato sugere uma maior preocupação com cidades tropicais e subtropicais em países em desenvolvimento, onde o processo de urbanização tem se intensificado.

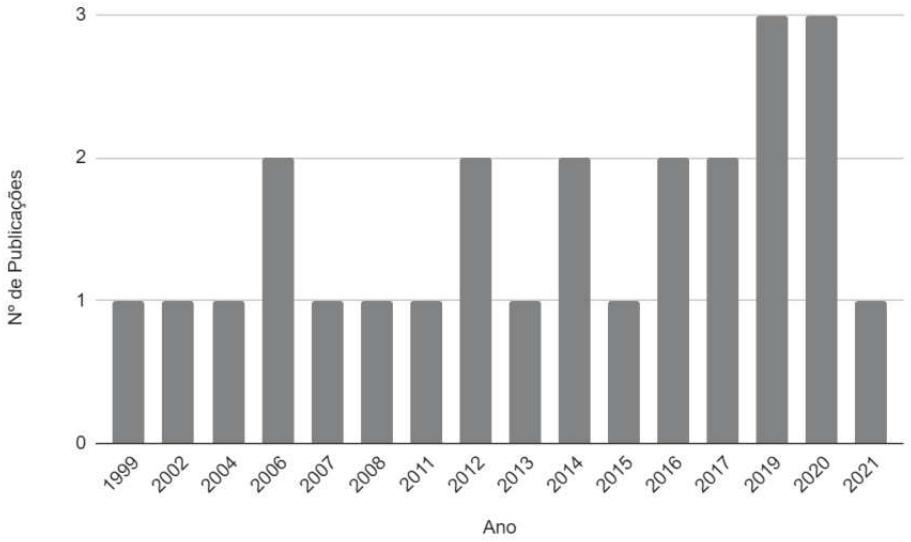

Figura 3 - Ano de publicação dos artigos selecionados.

Dos 17 periódicos e eventos científicos levantados na revisão da literatura (figura 4), nota-se que 52% dos artigos foram publicados em revistas ou eventos distintos, enquanto 20% dos artigos estão contidos no periódico *Building and Environment,* o qual possui o maior número de artigos publicados sobre os impactos da verticalização no microclima em cidades de clima tropical. A *Building and Environment* publica artigos de pesquisa originais e artigos de revisão relacionados à ciência da construção, física urbana e interação humana com o ambiente interno e externo. Os demais 28% estão divididos em 3 outros periódicos que enfatizam o clima urbano. O uso da simulação computacional como método de pesquisa aparece em 44% dos artigos, principalmente nos artigos publicados nos últimos 10 anos. Este resultado sugere que o uso dos *softwares* vem crescendo nessa área de estudo, podendo assim expandir os resultados com dados simulados e dados medidos, além de poder fazer uma comparação entre os cenários.

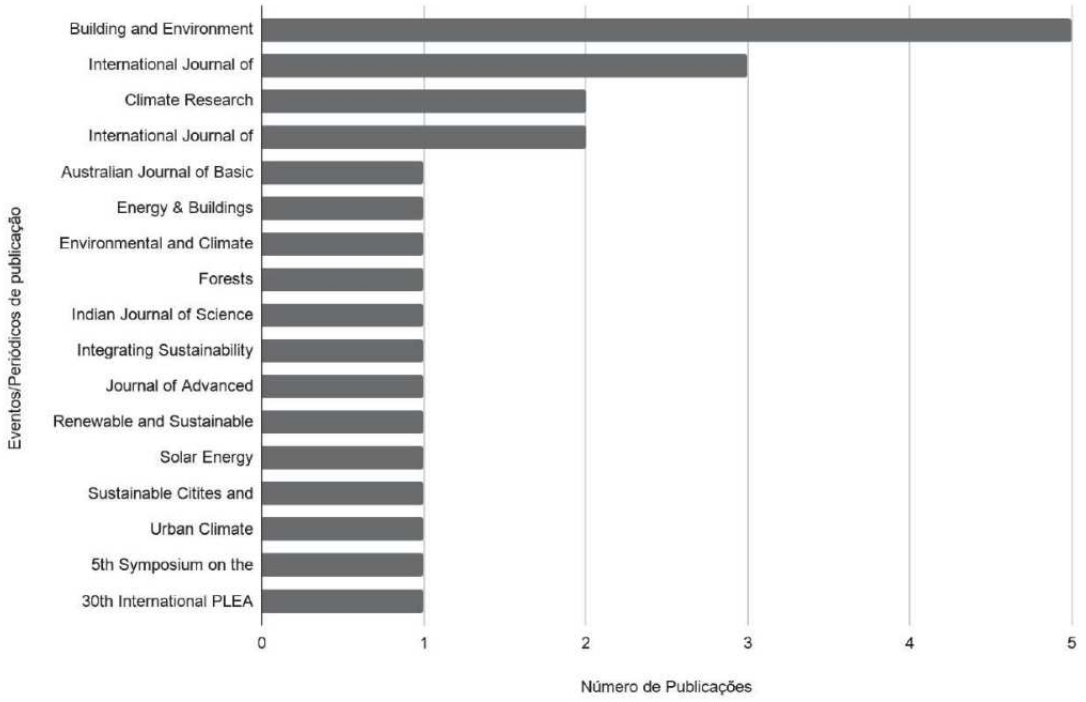

Figura 4 - Número de publicações por revista ou evento.

De acordo com Shafaghat et al. (2016) as condições climáticas são raramente consideradas no planejamento e design urbano. Identifica-se a importância da geometria das ruas para mitigar os impactos negativos do microclima em cidades costeiras de regiões tropicais. Há diversos fatores que influenciam o microclima urbano e, por consequência, interferem na sensação de conforto. O uso de *softwares* como o ENVI-met, permite a modelagem e simulação de dados para análise de condições climáticas de áreas (SHARMIN; STEEMERS; MATZARAKIS, 2017).

Analisando a relação entre o ambiente urbano construído e a variação espacial da temperatura do ar e umidade em Chennai, India, Horrison e Amirtham (2016), afirmam que a cobertura dos solos, orientação e geometria urbana tem grande impacto na sensação térmica da cidade, além da influência do fator de céu visível no desenvolvimento de ilhas de calor urbano. Configurações urbanas compactas ou verticalizadas são associadas com sensações térmicas quentes. A presença de árvores no meio urbano contribui para redução significativa da radiação absorvida pelos edifícios e solos (DISSEGNA et al., 2019). Zonas de climas locais de regiões com prédios de altura média apresentam as piores condições de conforto, devido ao sombreamento precário dos espaços urbanos (LAU; CHUNG; REN, 2019). Além disso, a envoltória de edifícios tem influência na disponibilidade de irradiação nas superfícies (MARTINS; ADOLPHE; BASTOS, 2014). Paredes reflexivas diminui a temperatura do ar do dossel urbano, mas o impacto é marginal (± 0,1 ° C) em comparação com outros parâmetros de projeto urbano (NAZARIAN et al., 2019).

Manatsa, Chingombe e Matarira (2008), em estudo da dinâmica temporal da ilha de calor urbano no nível da coberta em Singapura durante um ano, concluem que a combinação de fatores específicos como calor antropogênico, quantidade de espaços verdes e distância a corpos de água pode explicar melhor a intensidade de ilhas de calor urbano do que a relação entre a geometria do cânion urbano.

No entanto, discordando desses, Jamei et al. (2020) pesquisando sobre técnicas de mitigação do calor que aliviam seus efeitos em cidades tropicais, notaram que o uso do sombreamento e/ou ventilação urbana tem sido mais promissor do que o uso extensivo de vegetação, corpos d'água, ou modificações no albedo na redução da temperatura em cidades tropicais, onde existe um alto nível de humidade. Cânions com alta razão H/W aumentam a velocidade do vento e o sombreamento de edifícios, deste modo melhorando o conforto térmico a nível dos pedestres (MUNIZ-GÄAL et al., 2020). Sharmin, Steemers e Matzarakis (2015) afirmam que as formas urbanas mais variáveis com tamanho de lotes e altura de edifícios irregulares (alta rugosidade) tem respostas positivas em relação ao clima tropical. Maiores condições de conforto no nível do pedestre podem ser alcançadas a partir da configuração variada das alturas dos edifícios (MANTEGHI; SHUKRI; LAMIT, 2019). Além disso, o aumento da densidade é uma opção viável para mitigação das ilhas de calor urbano em áreas construídas de cidades com clima quente (EMMANUEL; FERNANDO, 2007).

Johansson e Emmanuel (2006), em estudo da influência da geometria do cânion da rua no conforto térmico externo em Colombo, Sri Lanka, apresentou que ruas largas com prédios baixos e sem árvores de sombras apresentaram as piores condições de conforto. As circunstâncias mais confortáveis foram encontradas em ruas estreitas com altos prédios, especialmente com árvores de sombras presentes, assim como em áreas próximas à costa, onde a brisa marítima tem um efeito positivo. Complementando, Chen et al. (2020) afirma que a temperatura diurna é inversamente proporcional à proporção das ruas do cânion urbano. Em climas tropicais, a vegetação pode ser usada como medida de resfriamento.

O Fator de Céu Visível (FCV), que é definido a partir da razão H/W, tem relação com as intensidades das ilhas de calor (GOH; CHANG, 1999). O FCV pode modificar a relação de sensação térmica a partir da diferença entre densidade urbana (KRÜGER; DRACH; BROEDE, 2017). O impacto do FCV na temperatura é mais alto em pontos ao longo de cânions estreitos (IBRAHIM et al., 2011). Chen et al. (2012) perceberam uma proporção inversa entre o fator de céu visível e a diferença de temperaturas diurnas intraurbanas. Acero et al. (2021) em análise dos efeitos da orientação e geometria no conforto térmico ao ar livre, perceberam que os melhores níveis de conforto térmico externo são observados em ruas com razão H/W entre 2,5 – 3 e nas ruas com orientação Norte-Sul. Entretanto, a análise da relação entre o FCV, orientação dos cânions urbanos e o consumo de energia elétrica em bairros residenciais da cidade de Bauru, São Paulo, revelou que cânions com 60º para orientação Norte são consumidores mais quentes e mais elevados, enquanto 150º para orientação Norte são sempre consumidores mais frios e mais baixos, não importando qual valor do FCV apresenta (SOUZA; PEDROTTI; LEME, 2004). Assim, o sombreamento é proposto como a principal estratégia para baixar as temperaturas do ar e da radiação; isso pode ser alcançado por cânions mais profundos, passarelas cobertas e árvores de sombra. Também é sugerido abrir corredores de vento perpendiculares ao mar para facilitar a penetração mais profunda da brisa do mar (EMMANUEL; JOHANSSON, 2006).

A ventilação é uma variante de extrema importância para a garantia do conforto, sofre influência da geometria urbana e, em consequência, influencia outras variantes, como a temperatura. Yang; Qian; Lau

(2013) chegaram à conclusão que a razão da velocidade do vento (RVV) a nível do pedestre é significativamente correlacionado com o "grau envoltório" contribuído por edifícios e/ou vegetação, quantificado pelo Fator do céu visível (FCV), Fator de visualização de árvore (FVA) e Razão do gráfico verde (RGV). Isso sugere que dentro do intervalo prático, o aumento do FCV em 10% pode aumentar a RVV em 7 e 8%. Sob o ambiente de vento fraco observado, o FCV pode indicar um intervalo de fluxo de ar impulsionada por flutuabilidade térmica que é determinada pelo aquecimento da radiação solar. Uma discussão sobre o ambiente de vento fraco observado sugere uma abordagem de projeto urbano que opta por um ambiente de vento "diverso" em vez de "uniforme" que oferece suporte a vários usuários e atividades. Em contrapartida, Rajagopalan; Lim; Jamei (2014) notam que a distribuição uniforme do vento em uma configuração urbana onde a altura do edifício contrário ao vento é menor que a altura do edifício a favor do vento tornou possível o alcance até mesmo ao lado sotavento de cada edifício. Além disso, Lee et al. (2012) chegaram à conclusão que tendências podem ser utilizadas e apoiam a alta possibilidade de desenvolvimento de um modelo de potencial de ventilação usando várias variáveis morfológicas (na forma de índices) como variáveis independentes de entrada.

A subdivisão do foco de estudo dos artigos (Quadro 1) sintetiza as variantes estudadas e correlacionam os temas com a verticalização e microclimas em cidades tropicais, suas influências e o impacto no conforto térmico dos pedestres.

Quadro 1 – Artigos separados por foco de estudo.

Geometria do Cânion Urbano
Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh (Sharmin; Steemers; Matzarakis, 2015)
DOE sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar irradiation on buildings envelope in the Brazilian tropical context. (Martins; Adolphe; Bastos, 2014)
Effectiveness of cool walls on cooling load and urban temperature in a tropical climate. (Nazarian et al., 2019)
Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. (Emmanuel; Johansson, 2006)
Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. (Sharmin; Steemers; Matzarakis, 2017)
Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. (Lau; Chung; Ren, 2019)
Role of built environment on factors affecting outdoor thermal comfort - A case of T. Nagar, Chennai, India. (Horrison; Amirtham, 2016)
Street geometry factors influence urban microclimate in tropical coastal cities: A review. (Shafaghat et al., 2016)
Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore (Manatsa; Chingombe; Matarira, 2008)
Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. (Emmanuel; Fernando, 2007)
3-D reconstruction of an urban landscape to assess the influence of vegetation in the radiative budget. (Dissegna et al., 2019)

Fator de Céu Visível
An assessement of the impact of sky view factor (SVF) on the micro-climate of Urban Kano. (Ibrahim et al., 2011)
Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. (Krüger, Drach; Broede, 2017)
Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach. (Chen et al., 2012)
Urban geometry and electrical energy consumption in a tropical city. (Souza; Pedrotti; Leme, 2004)
Relação H/W
Combining CityGML files and data-driven models for microclimate simulations in a tropical city. (Chen et al., 2020)
Modelling the influence of high-rise urban geometry on outdoor thermal comfort in Singapore. (Acero et al., 2021)
Street geometry and river width as design factors to improve thermal comfort in Melaka City. (Manteghi; Shukri; Lamit, 2019)
The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. (Johansson; Emmanuel, 2006)
The relationship between height to width ratios and the heat island intensity at 22:00 h for Singapore. (Goh; Chang, 1999)
Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. (Muniz-Gäal et al., 2020)
Ventilação
The study of variation in Gross Building Coverage Ratio on estate-level outdoor ventilation. (Lee et al., 2012)
Urban design parameters for heat mitigation in tropics. (Jamei et al., 2020)
Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. (Yang; Qian; Lau, 2013)
Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. (Rajagopalan; Lim; Jamei, 2014)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão da literatura, pode-se observar que o estudo da geometria urbana é consideravelmente um fator indispensável para o projeto urbano e principal fator a ser estudado nas pesquisas sobre verticalização e microclimas urbanos. As variáveis climáticas estão diretamente ligadas às condições da geometria implantadas na região. O fator de céu visível (FCV) é uma das principais variáveis encontradas em regiões verticalizadas, o impacto do FCV pode causar grandes variações de temperatura externa, quanto maior o FCV, menor será a amplitude térmica, podendo gerar um ambiente confortável climaticamente. Em regiões de clima quente com desenvolvimento mais denso, as ilhas de calor urbano (ICU) são amenizadas com melhorias na temperatura média radiante.

A razão de altura/largura é uma condicionante importante em regiões de clima tropical, uma vez que que abrir corredores de vento perpendiculares ao mar facilitam a penetração mais profunda da brisa. A falta de vegetação aumenta ainda mais a temperatura em cânions de menor razão altura/largura, já que diante dos artigos levantados, percebe-se que quanto maior a razão altura largura (entre 2-3) haverá um melhor desempenho das variáveis térmicas. Nota-se, também, a relevância das estratégias climáticas para redução da temperatura a nível pedestre, como o uso do sombreamento por vegetação, modificações no albedo, absorção de parte da irradiação solar pelos edifícios.

Por fim, constata-se que as estratégias apontadas nos estudos sobre verticalização em cidades de clima tropical podem ser aplicadas em diferentes regiões do mundo, independente de qual foi a cidade analisada. Assim, esta revisão confirma a relevância dos estudos acerca da verticalização e microclimas em cidades de clima tropical para adotar estratégias bioclimáticas no adensamento urbano.

Diante do exposto, percebe-se que a geometria urbana é o principal fator que norteia as condições climáticas e correlaciona as variáveis. O fator de céu visível está diretamente ligado com a temperatura externa, mas não possui ligação direta com a umidade. Estratégias como sombreamento, ventilação, aumento da razão altura-largura, cobertura verde e orientação perpendicular ao mar, diminuem a amplitude térmica, gerando menos ilhas de calor e um ambiente mais confortável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO J. A., KOH, E. J. Y., RUEFENACHT, L. A., & NORFORD, L. K. (2021). Modelling the influence of high-rise urban geometry on outdoor thermal comfort in Singapore. **Urban Climate**, 36(January), 16. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100775.

ARAÚJO, R.R.; SANT´ANNA NETO, J.L. O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luiz-MA. In: SANT´ANNA NETO, J.L. **O clima das cidades brasileiras**. João Lima Sant´anna Neto (org). – Presidente Prudente: [s/n], 2002.

ASSIS, E. S. (2000) Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AZEVEDO, T.R.; TARIFA, J.R. O ritmo semanal das atividades humanas e o clima da região metropolitana de São Paulo. **Laboratório de Climatologia e Biogeografia**. Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Série TA – Texto 008, 2001.

CHEN, L., NG, E., AN, X., REN, C., LEE, M., WANG, U., & HE, Z. (2012). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach. **International Journal of Climatology**, 32(1), 121–136. https://doi.org/10.1002/joc.2243.

CHEN S., ZHANG, W., HIEN, N., & IGNATIUS, M. (2020). Combining CityGML files and data-driven models for microclimate simulations in a tropical city. **Building and Environment**, 185(September), 15. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107314.

DISSEGNA, M. A., YIN, T., WEI, S., RICHARDS, D., & GRÊT-REGAMEY, A. (2019). 3-D reconstruction of an urban landscape to assess the influence of vegetation in the radiative budget. **Forests**, 10(8), 1–19. https://doi.org/10.3390/f10080700.

EMMANUEL, R., & FERNANDO, H. J. S. (2007). Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. **Climate Research**, 34(3), 241–251. https://doi.org/10.3354/cr00694

EMMANUEL, R., & JOHANSSON, E. (2006). Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. **Climate Research**, 30(3), 189–200. https://doi.org/10.3354/cr030189.

GOH, K. C., & CHANG, C. H. (1999). The relationship between height to width ratios and the heat island intensity at 22:00 h for Singapore. **International Journal of Climatology**, 19(9), 1011–1023.https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199907)19:9<1011:AID JOC411>3.0.CO;2-U.

GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Information and Libraries Journal, v.26, p.91-108, 2009.

HORRISON, E., & AMIRTHAM, L. R. (2016). Role of built environment on factors affecting outdoor thermal comfort - A case of T. Nagar, Chennai, India. **Indian Journal of Science and Technology**, 9(5), 3–6. https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i5/87253.

IBRAHIM, A. A., NDUKA, I. C., IGUISI, E. O., & ATI, O. F. (2011). An assessement of the impact of sky view factor (SVF) on the micro-climate of Urban Kano. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 5(7), 81–85.

JAMEI, E., OSSEN, D. R., SEYEDMAHMOUDIAN, M., SANDANAYAKE, M., STOJCEVSKI, A., & HORAN, B. (2020). Urban design parameters for heat mitigation in tropics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 134(June), 110362. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110362.

JOHANSSON, E., & EMMANUEL, R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, 51(2), 119–133. https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6.

KALNAY, E.; CAI, M. Impact of urbanization and land-use change on climate. **Nature**, Londres, v.432, n.6939, p.528-531, May. 2003.

KRÜGER, E., DRACH, P., & BROEDE, P. (2017). Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. **International Journal of Biometeorology**, 61(3), 463–475. https://doi.org/10.1007/s00484-016-1226-8.

LAU, K. K. L., CHUNG, S. C., & REN, C. (2019). Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. **Building and Environment**, 154(March), 227–238. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.005.

LEE, R. X., WONG, N. H., TAN, A. Y. K., & JUSUF, S. K. (2012). The study of variation in Gross Building Coverage Ratio on estate-level outdoor ventilation. **ICSDC 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry - Proceedings of the International Conference on Sustainable Design and Construction** 2011, 255–264. https://doi.org/10.1061/41204(426)33.

MANATSA, D., CHINGOMBE, W., & MATARIRA, C. H. (2008). temporal dynamics of the urban heat island of singapore. **International Journal of Climatology**, 2029(March 2008), 2011–2029. https://doi.org/10.1002/joc.

MANTEGHI, G., SHUKRI, S. M., & LAMIT, H. (2019). Street geometry and river width as design factors to improve thermal comfort in Melaka City. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, 58(1), 15–22.

MARTINS, T., ADOLPHE, L., & BASTOS, L. (2014). DOE sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar irradiation on buildings envelope in the Brazilian tropical context. **30th International PLEA Conference: Sustainable Habitat for Developing Societies: Choosing the Way Forward - Proceedings**, 1(December), 508–515.

MONTEIRO, C.A de F.; MENDONÇA, F. (Org.) Clima Urbano. São Paulo: **Contexto**, 2003, 192p.

MUNIZ-GÄAL, L. P., PEZZUTO, C. C., CARVALHO, M. F. H. DE, & MOTA, L. T. M. (2020). Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, 169(October 2019). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547.

NAZARIAN, N., DUMAS, N., KLEISSL, J., & NORFORD, L. (2019). Effectiveness of cool walls on cooling load and urban temperature in a tropical climate. **Energy & Buildings**, 187(April 2002), 144–162. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.022.

OKE, T. R. Boundary layer climates, 2. ed., New York: **Routledge**, 1996.

PEREZ, J.C; SÁNCHEZ, M.A.V.; BARRADAS, V.L. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico. **Red Nacional de Investigación Urbana**, Puebla, México, Ciudades 51, jun-set. 2001.

RAJAGOPALAN, P., LIM, K. C., & JAMEI, E. (2014). Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. **Solar Energy**, 107, 159–170. https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042.

SHAFAGHAT, A., MANTEGHI, G., KEYVANFAR, A., BIN LAMIT, H., SAITO, K., & OSSEN, D. R. (2016). Street geometry factors influence urban microclimate in tropical coastal cities: A review. **Environmental and Climate Technologies**, 17(1), 61–75. https://doi.org/10.1515/rtuect-2016-0006.

SHARMIN, T., STEEMERS, K., & MATZARAKIS, A. (2015). Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh**. Building and Environment**, 94, 734–750. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.007.

SHARMIN, T., STEEMERS, K., & MATZARAKIS, A. (2017). Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. **Sustainable Cities and Society**, 34(February), 293–308. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.006.

SILVA, Edelci Nunes da; RIBEIRO, Helena; SANTANA, Paula. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**. v. 19, n. 1092, 2014.

SOUZA, L. C. L., PEDROTTI, F. S., & LEME, F. T. (2004). Urban geometry and electrical energy consumption in a tropical city. **5th Symposium on the Urban Environment**, 215–222.

YANG, F., QIAN, F., & LAU, S. S. Y. (2013). Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. **Building and Environment**, 70, 122–137. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica no ciclo PIBIC 2020-2021.

A INFLUÊNCIA DA VESTIMENTA NOS MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES NO CLIMA TROPICAL

Rafael Ponce de Leon Amorim (1); Solange Maria Leder (2)
(1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/ UFPB, professor de Design de Interiores/ IFPB, rafael.ponce@ifpb.edu.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
(2) PhD, Professora de Arquitetura e Urbanismo, solangeleder@yahoo.com.br, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental

RESUMO
A escolha da vestimenta é uma das principais estratégias passivas de adequação do usuário em relação ao seu ambiente térmico por influenciar diretamente nas trocas de calor por condução, radiação, convecção e evaporação. No ambiente residencial, onde as restrições sociais são mais brandas, os moradores gozam de maior liberdade de composição, podendo ajustar-se facilmente as variações climáticas diárias e sazonais. Nesse sentido, este estudo buscou avaliar a contribuição do nível de isolamento da vestimenta nos modelos de conforto térmico adaptativo e PMV/PPD para a verificação da necessidade de resfriamento ou aquecimento de habitações em climas tropicais ao longo do ano. Foram analisados os dados climáticos horários de oito cidades paraibanas com auxílio do *software Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* e do *plugin LadyBug* 1.2 de acordo com os modelos propostos pela norma americana de conforto térmico ASHRAE 55/ 2017. Constatou-se que o modelo PMV/PPD, quando considerado uma faixa de aceitabilidade térmica ampliada com valores de isolamento de vestimenta entre 0,15 e 3,55 *clo*, permitiu uma verificação mais aproximada do comportamento real dos usuários, além de possibilitar a simulação do período noturno, com ajustes na taxa de atividade metabólica e inclusão do efeito do isolamento do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir. Os valores referentes aos percentuais anuais de horários em que o usuário considera o ambiente termicamente aceitável teve variação entre as cidades estudas de 38,6% a 84,5% para 90% de aceitabilidade e de 57,3% a 95,6% para 80% de aceitabilidade de acordo com o modelo adaptativo, enquanto com o método PMV/PPD a variação foi de 83,3% a 99,9%.

Palavras-chave: Isolamento da vestimenta, conforto térmico, desempenho térmico.

ABSTRACT
The choice of clothing is one of the most effective passive strategies for occupant adapting to the thermal environment. Clothing influences heat transfers through conduction, radiation, convection, and evaporation. In dwellings, social restrictions are more flexible, residents enjoy greater freedom in the clothing composition, and they can easily adjust to daily and seasonal climatic variations. Therefore, this research analyzed the contribution of the clothing insulation level in the adaptive model and the PMV / PPD model to verify the need for annual cooling or heating of dwellings in tropical climates. The hourly climatic data from eight cities in Paraíba were analyzed using the thermal comfort models proposed by ASHRAE standard 55/ 2017. For this purpose, the software Rhinoceros 5 / Grasshopper and the pluggin LadyBug 0.0.65 was used. It was found that the use of an expanded range of thermal acceptability, with clothing insulation values between 0.15 and 3.55 clo in the PMV / PPD model, allowed a closer verification of the real behavior of users, besides allowing the simulation at the nighttime, with adjustments in the rate of metabolic activity and bedding systems consisting of bed, bedding and sleepwear. Among the cities evaluated, the annual percentage of hours in which the environment is thermally acceptable varied from 38.6% to 84.5%, for 90% of acceptability and from 57.3% to 95.6% for 80% of acceptability for the adaptive model, while with the PMV / PPD method the variation was from 83.3% to 99.9%.

Keywords: Clothing insulation, thermal comfort, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos preditivos de conforto térmico possibilitam a estimativa da sensação térmica dos ocupantes de um determinado ambiente com base em equações matemáticas que quantificam a influência das variáveis ambientais e pessoais envolvidas. Por permitir avaliações quantitativas, estes modelos podem ser incorporados às avaliações de desempenho termo energético de edifícios realizadas por simulações computacionais e assim gerar informações relevantes que auxiliam a tomada de decisão em diferentes etapas de projeto.

As soluções arquitetônicas com maior impacto termo energético são propostas na etapa inicial de projeto. Nesse sentido, Olgyay (2010) indica que a análise dos elementos climáticos do local é o primeiro passo para adequação ambiental do edifício, sendo necessária a compreensão sobre as variações diárias e sazonais do clima. Esta análise pode ser realizada a partir dos dados horários constantes em um arquivo climático do local de estudo, ao se adotar modelos preditivos de conforto desenvolvidos para o ambiente interno. É válido ressaltar que, para este fim, os resultados gerados serão apenas valores de referência, pois os dados avaliados referem-se ao ambiente externo e não consideram a influência do microclima urbano, as trocas de calor do edifício com seu entorno e as atividades realizadas em seu interior, que podem atenuar ou potencializar os efeitos do clima local no ambiente interno.

As equações que compõem os modelos preditivos são simplificações de fenômenos reais que permitem estimar a influência das interrelações que ocorrem entre os aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos e, para o intuito aqui investigado, gerar informações úteis que auxiliem a tomada de decisão projetual. Estas simplificações possuem restrições e geram limitações que devem ser observadas durante a escolha do modelo preditivo a ser utilizado em cada análise, tais como as faixas aplicáveis das variáveis: temperatura, umidade e velocidade do ar, isolamento da vestimenta e atividade metabólica, além de outros elementos pontuais que podem influenciar a percepção do ambiente térmico.

No Brasil, os modelos preditivos PMV/PPD e adaptativo, propostos pela norma americana ASHRAE 55/2017[1], são frequentemente utilizados como referência em estudos e simulações computacionais de desempenho térmico das edificações. Nas simulações de edifícios naturalmente ventilados, o modelo adaptativo tem sido mais utilizado por ser considerado um índice dinâmico que incorpora ao processo de análise a contribuição da aclimatação dos ocupantes, referente às adaptações fisiológicas que ocorrem em resposta às variações climáticas sazonais, assim como, as oportunidades de adaptação que os usuários têm disponível em seu ambiente térmico, ao considerar desde o ajuste da vestimenta quanto os ajustes no ambiente, como a abertura de janelas.

Porém, por se tratar de um índice elaborado a partir de dados obtidos em estudos realizados em espaços que possuem códigos de vestimenta, sejam estes rígidos ou flexíveis, como escritórios e ambientes acadêmicos, o modelo adaptativo restringe a escolha das vestimentas para uma faixa estreita de isolamento entre 0,5 clo e 1,0 clo, enquanto o PMV/PPD, considerado um índice estático por exigir a especificação fixa das variáveis analisadas, não delimita uma faixa de valores de isolamento da vestimenta.

O isolamento resultante da escolha da vestimenta influencia diretamente as trocas de calor por condução, radiação, convecção e evaporação, tornando-se uma das variáveis mais influente na sensação de conforto térmico. Newsham (1997) argumenta que a adequação da vestimenta é o mais importante ajuste térmico disponível para os ocupantes de um edifício. De acordo com a ASHRAE55/ 2017 o efeito da alteração da vestimenta na temperatura operativa ótima é de 6°C por clo para ocupantes exercendo atividades sedentárias de aproximadamente 1,2 met, o que resulta em um acréscimo (ou redução) da temperatura operativa ótima de 0,6°C a cada 0,1 clo.

A existência de códigos de vestimenta bem mais flexíveis nos ambientes residenciais permite a escolha livre de composições de roupas para um ajuste mais adequado às condições do ambiente térmico. Nesse sentido, a utilização do índice PMV/PPD possibilita uma análise menos restritiva quanto a adaptação da vestimenta ao admitir a verificação da sensação térmica dos indivíduos a partir da composição mais refinada da sua vestimenta, como exemplo, um indivíduo utilizando um conjunto composto por chinelo, roupa íntima e short de caminhada apresenta isolamento de apenas 0,15 clo.

Outro ponto importante que deve ser considerando na avaliação térmica de ambientes residenciais é a diversidade e flexibilidade de uso dos espaços. Nesta perspectiva, Faria (1999) ressalta que os requisitos higrotérmicos em uma residência varia de acordo com requisitos funcionais de cada cômodo e que mesmo

[1] Norma utilizada como referência para a reformulação da norma brasileira ABNT NBR 16401-2, referente ao conforto térmico.

em uma casa projetada com estratégias bioclimáticas, ocorrerá em seu interior diversos microclimas em função da interação dos diferentes elementos da envoltória com os elementos climáticos locais.

Por sua vez, Roriz (2003) presume que as temperaturas de conforto oscilam ao longo das horas do dia, fundamentado em dois pontos principais: o isolamento da vestimenta (durante a noite, a utilização de colchões e roupas de cama dificultam as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente, exigindo ambientes com temperaturas mais baixas) e o ciclo circadiano (o relógio biológico responde aos estímulos externos da natureza, como temperatura e luz, durante as 24 horas do dia).

2.1 Adequação da vestimenta às variações diárias e sazonais do clima

Os climas tropicais registram pouca variação de temperatura sazonal ao longo do ano, sendo a amplitude de temperatura anual média inferior a amplitude térmica diária. Abarca climas quentes, úmido ou seco, com temperaturas médias do ar superiores a 18°C em todos os meses do ano, conforme a classificação climática de Koppen.

As edificações naturalmente ventiladas em climas tropicais mantêm a temperatura interna próxima a temperatura externa. Nas habitações, o ajuste da vestimenta é a alternativa mais utilizada para adequação dos ocupantes ao ambiente térmico. Nesse sentido, destaca-se o estudo realizado por Indraganti (2010) em edifícios habitacionais naturalmente ventilados localizados em Hyderabad/ Índia, que buscou compreender a sensação, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes durante o período de verão. Neste estudo foi observado que o isolamento da vestimenta entre os cem participantes avaliados variava entre 0,15 clo e 0,8 clo, enquanto a atividade metabólica variava entre 0,7 e 2,0 met.

Durante o período noturno, quando há maior ocorrência de desconforto por frio, as possibilidades de adequação da vestimenta são ainda maiores devido ao isolamento propiciado pelo conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir, como demonstrado por um estudo realizado por Lin e Deng (2008) em Hong Kong. O estudo analisou o isolamento térmico do conjunto composto por diferentes combinações a partir de dois tipos de cama, quatro tipos de cobertores (e oito variações relacionadas ao percentual de recobrimento, com variações entre 23,3% e 100%) e dois tipos de roupas de dormir. Foi constatado que o isolamento total desses conjuntos variava entre 0,9 e 4,89 clo, tornando aceitáveis ambientes com uma faixa ampla de temperatura de 8,9°C a 30,1°C.

Diversos outros estudos vêm demonstrando a necessidade de aprofundamento sobre a dinâmica de uso das vestimentas. Considerando que as variações sazonais do clima são progressivas, Schiavon e Lee (2013) propuseram uma equação preditiva que ajusta o valor de isolamento da vestimenta considerando o valor da temperatura externa medida às 6 horas da manhã para cada dia do ano. Posteriormente, o método proposto foi incorporado a norma ASHRAE 55/2017 possibilitando ajuste automático da variável "vestimenta" nas simulações de desempenho térmico e nos sistemas de controle de edifícios.

A partir destas considerações, é importante examinar a validade da adoção dos métodos preditivos disponibilizados pela norma ASHRAE 55 (2017) como referências para a avaliação das habitações considerando as variações diárias e sazonais do clima. Apesar de não considerar a variação climática do ambiente externo, o método PMV/PPD permite diversas composições da vestimenta, enquanto o método adaptativo considera uma faixa limitada de 0,5 clo a 1 clo.

3. OBJETIVO

Considerando as particularidades do uso residencial, o presente estudo parte do pressuposto que a avaliação termo energética de habitações deve implicar em exigências menores de controle do ambiente térmico do que aquelas estabelecidas para ambientes comerciais e acadêmicos. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo avaliar a contribuição do nível de isolamento da vestimenta nos modelos preditivos de conforto térmico disponíveis na norma ASHRAE 55/ 2017 para verificação da necessidade de resfriamento ou aquecimento de habitações em climas tropicais ao longo do ano a partir dos dados disponíveis em arquivos climáticos, do tipo TMY[2], de oito cidades paraibanas.

[2] *Typical Meteorological Year* é um dos formatos existentes de arquivos climáticos que compilam dados horários para uso em simulação computacional.

3. MÉTODO

Este estudo foi realizado em duas etapas sequenciais considerando os dados climáticos de oito cidades localizadas no estado da Paraíba e que possuem arquivos climáticos no formato TMY disponibilizados na plataforma climate.onebuilding.org. As cidades escolhidas são representativas da diversidade climática do nordeste brasileiro. De acordo com a classificação climática de Köppen: Areia, Campina Grande, João Pessoa, Sousa e Mataraca são caracterizadas pelo clima tropical de savana enquanto Patos, Monteiro e Cabaceira são caracterizadas pelo clima semiárido quente, conforme demonstrado na Figura 1.

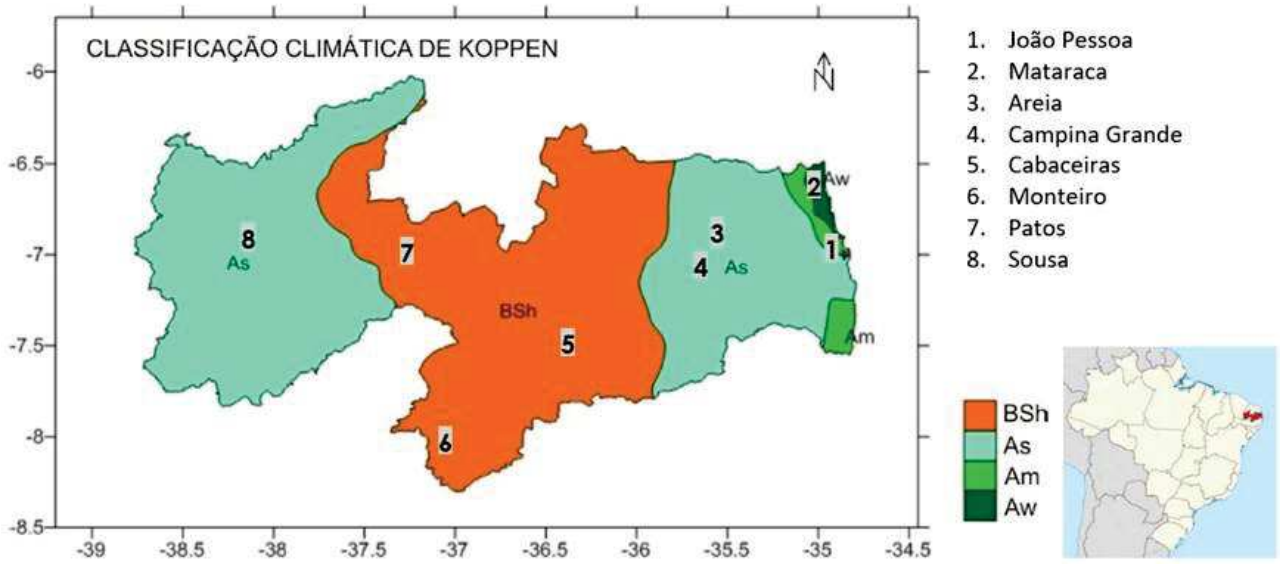

Figura 1: Classificação climática de Köppen.
Fonte: Climatologia do Estado da Paraíba (2017).

Na primeira etapa, foi avaliado o percentual anual de horas em que um ambiente térmico hipotético[3] pode ser considerado termicamente aceitável. Esta suposição permitiu uma compreensão generalizada sobre o comportamento das variáveis climáticas de cada cidade a partir do arquivo TMY, desconsiderando a influência do edifício e do seu entorno. Para análises específicas, o mesmo procedimento pode ser adotado considerando os dados obtidos por simulação térmica de edifícios naturalmente ventilados, estes dados serão representativos do desempenho térmico do edifício simulado e fornecerá informações relevantes sobre a necessidade de resfriamento e/ou aquecimento.

Para a análise de aceitabilidade térmica, foram adotados os dois modelos preditivos de conforto térmico disponibilizados pela ASHRAE 55/2017, o modelo adaptativo e o modelo PMV/PPD. A avaliação foi realizada com auxílio do *software Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* com auxílio do *plugin LadyBug* 1.2, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

[3] Considera-se que o edifício analisado não troca calor com o entorno, não tem ganho de calor por radiação solar, não tem inércia térmica e não possui fontes internas de calor, dessa forma a temperatura operativa é igual a temperatura do ar externo.

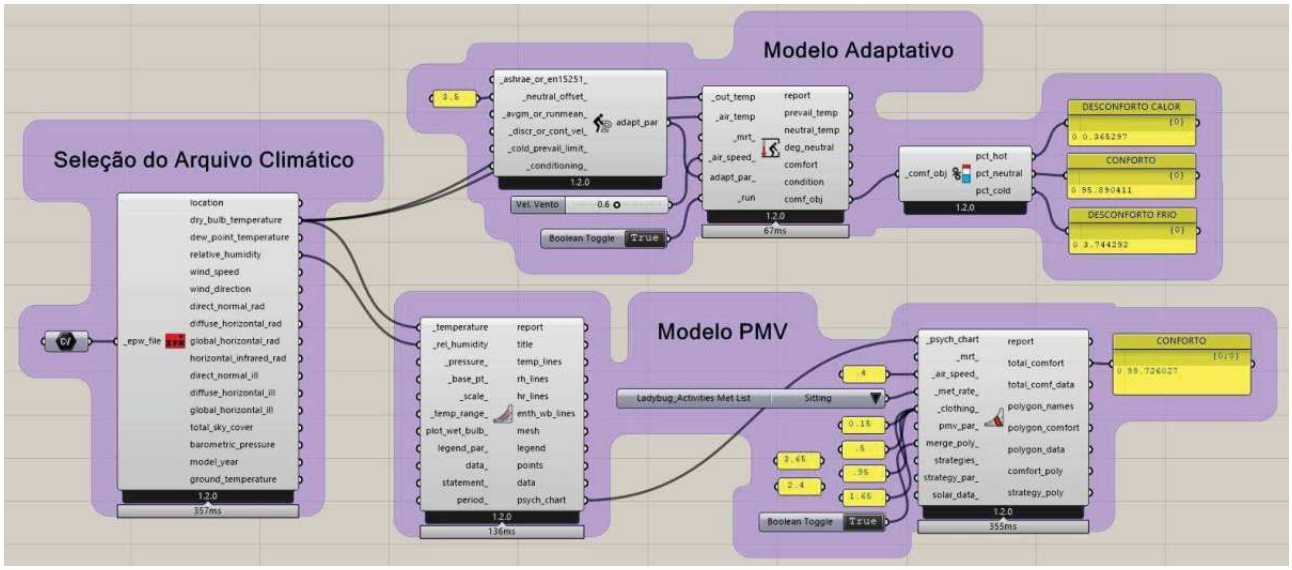

Figura 2: Programação visual dos algoritmos de avaliação de aceitabilidade térmica no *software Rhinoceros* 7 e *plugin Ladybug 1.2*.

Para o modelo adaptativo adotou-se os percentuais de 90% e 80% de aceitabilidade térmica do ambiente, que tem limites de ±2,5°C e ±3,5°C em relação a temperatura neutra. A zona de conforto térmico foi ampliada em 1,2°C no limite superior devido à possibilidade de ajuste da velocidade do ar para até 0,6 m/s.

Para o modelo PMV, considerando que os climas analisados são predominantemente quentes, adotou-se uma velocidade fixa do ar com 0,4 m/s[4]. Quanto ao isolamento da vestimenta, a zona de conforto térmico foi ampliada considerando quatro opções de composição que totalizam 0,15 clo, 0,5 clo, 0,95 clo e 1,65 clo, conforme pode ser verificado na Tabela 1. Estes valores foram adotados visando possibilitar uma avaliação mais aproximada da dinâmica real do comportamento dos ocupantes nos diferentes horários do dia ao longo do ano, considerando que o residente da edificação tem maior autonomia para ajustar a vestimenta às necessidades térmicas sem a preocupação com os limites impostos por "*dress codes*"[5] comuns em ambientes de trabalho. Também foi incluído o valor de isolamento resultante do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir durante os horários noturnos. Na Figura 3 é apresentada a carta psicométrica com o agrupamento das quatro zonas de conforto, com PMV entre -0,5 e 0,5, para os diferentes valores de isolamento térmico referente às composições da vestimenta contidas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de isolamento da vestimenta e composição da vestimenta.

CLO	COMPOSIÇÃO DA VESTIMENTA
0,15	chinelo + roupa íntima + short de caminhada
0,5	meia + roupa íntima + calça fina + camisa fina de manga longa
0,95	meia + roupa íntima + calça grossa + camisa de manga longa + casaco fino
1,65[6]	colchão + lençol simples + 79.9% de corpo coberto

Fonte: Composto a partir dos valores disponíveis na norma ASHRAE 55/2017 e em Ling e Deng (2008).

[4] A velocidade do ar foi fixada em 0,4 m/s devido à limitação do software em permitir apenas a utilização simultânea de múltiplos valores para apenas uma das variáveis: velocidade do ar ou isolamento da vestimenta. Dessa forma, considerando que a sensação de desconforto ocorre predominantemente por calor, optou-se por estabelecer metade do valor máximo permitido para velocidade do ar, que é de 0,8 m/s para o modelo utilizado.

[5] São códigos de vestimenta que indicam a maneira mais adequada para se vestir.

[6] Considerando que as temperaturas mínimas ocorrem no período entre 22:00h e 05:00, optou-se por utilizar os valores de isolamento da vestimenta considerando o conjunto composto pelo colchão e roupa de cama proposto por Lin e Deng (2008).

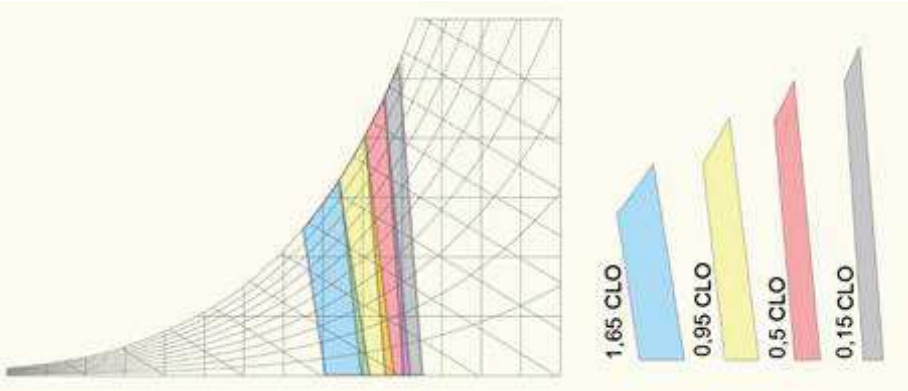

Figura 3: Carta psicométrica com zonas com PMV entre -0,5 e 0,5, delimitadas para velocidade do ar com 0,4 m/s e isolamento da vestimenta de 0,15, 0,5, 0,95 e 1,65 clo.
Fonte: Produzido a partir dos dados gerados com auxílio do software *Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* e do *plugin Ladybug* 1.2.

Na segunda etapa, buscou-se identificar as condições de conforto térmico durante os meses com maior e menor temperatura média. Com este intuito, foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados climáticos contidos nos arquivos TMY para as oito cidades estudadas. Foram identificadas as médias anuais dos valores de temperatura média, máxima e mínima do ar, além das médias mensais de temperatura máxima e mínima do ar para cada cidade.

Em seguida, foram identificados os trimestres com maior média de temperatura máxima e menor média de temperatura mínima com o intuito de investigar a possibilidade de ampliação do percentual total de horas em que o ambiente pode ser considerado termicamente aceitável nos períodos com condições térmicas extremas. Para esta análise, o modelo PMV foi escolhido por não limitar a faixa de isolamento térmico das vestimentas que podem ser utilizadas. Nas situações de calor, foi avaliada o aumento da velocidade do ar para 0,8 m/s, e, nas situações de frio, a redução da velocidade do ar para 0,05 m/s e o aumento do isolamento da vestimenta para até 3,55 clo conforme indicado nas composições propostas na Tabela 2 e que podem ser melhor compreendidas a partir das imagens da Figura 4.

Tabela 2: Valores de isolamento da vestimenta e composição da vestimenta considerando o conjunto composto pelo colchão e roupa de cama proposto por Lin e Deng (2008).

CLO	COMPOSIÇÃO DAVESTIMENTA
2,40	colchão + lençol simples + pijama de algodão manga curta + 94.1% de corpo coberto
3,65	colchão + edredom simples + pijama de algodão manga curta + 94.1% de corpo coberto

Fonte: Composto a partir de Ling e Deng (2008).



Figura 4: Vestimenta e roupa de cama utilizados como referência. A esquerda: tipos de cobertores, no centro: pijama e a direita: proporção do corpo coberta.
Fonte: Composição elaborada a partir das imagens disponíveis em Ling e Deng (2008).

É válido ressaltar que no estudo proposto por Lin e Deng (2008) foram avaliadas diversas combinações entre diferentes tipos de cama, cobertores e roupas de dormir, considerando também o percentual de recobrimento do corpo. No presente estudo, optou-se por selecionar apenas as composições leves de vestimentas que são mais comumente utilizadas na região nordeste.

4. RESULTADOS

A etapa inicial teve como objetivo a verificação do percentual anual de horas em que um ambiente térmico hipotético seria termicamente aceitável nas oito cidades paraibanas estudadas. Na Figura 5, são apresentados os percentuais referentes ao modelo adaptativo com 80% e 90% de aceitabilidade e ao modelo PMV/PPD com voto predito entre -0,5 e 0,5 e 10% de insatisfação para cada cidade.

Observa-se que os resultados obtidos com o modelo adaptativo são mais rigorosos que os resultados obtidos com o modelo PMV ajustado para múltiplas vestimentas, apontando menor aceitação do ambiente térmico mesmo quando o percentual de aceitabilidade térmica é reduzido de 90% para 80%. Ao aplicar o modelo PMV os percentuais de horas em que o usuário considera o ambiente termicamente aceitável variou entre 82,3% e 99,7% para as oito cidades, enquanto no modelo adaptativo variou entre 38,6% e 84,5%, para 90% de satisfação, e entre 57,3% e 95,9%, para 80%.

É válido ressaltar que com a utilização do modelo PMV, observou-se que os menores percentuais de aceitação do ambiente térmico foram obtidos em cidades com climas quente e seco e maior amplitude térmica diária. Porém, com a utilização do modelo adaptativo, o maior percentual de insatisfação foi obtido na cidade de Areia, predominando o desconforto por frio.

Apesar de ser considerado um índice dinâmico por incorporar a variação sazonal da temperatura e permitir ajustes comportamentais, quando considerado o uso residencial, o modelo adaptativo é bastante restritivo quanto às possibilidades de ajuste da vestimenta às variações diárias de temperatura. Nesse sentido, a avaliação com o modelo PMV demonstrou ser mais adequada para ambientes residenciais por possibilitar a delimitação de uma faixa mais ampla para o ajuste da vestimenta, entre 0,15 clo a 1,65 clo.

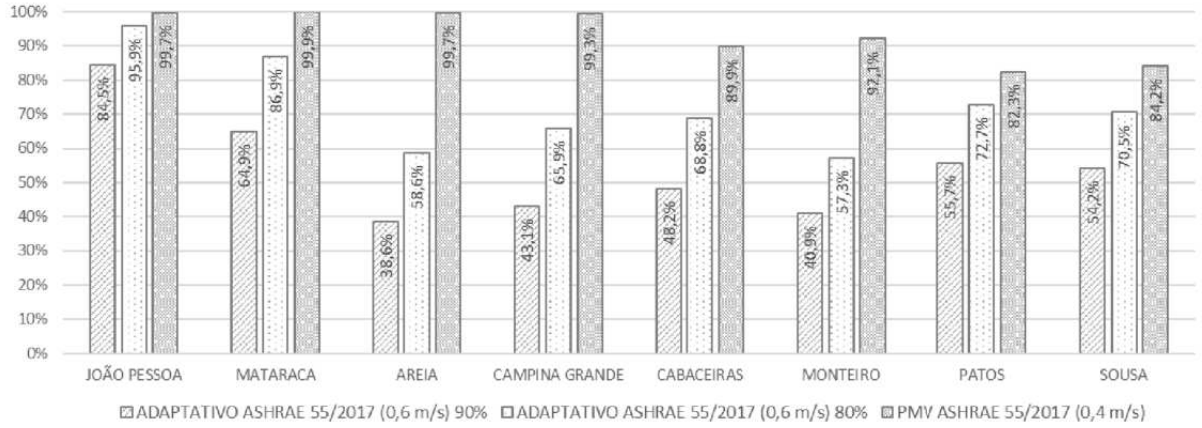

Figura 5: Percentual de horas anuais em satisfação com ambiente térmico de acordo com o modelo adaptativo e o modelo PMV proposto pela ASHRAE55/ 2017.

Nas Figura 6 e 7 foram plotados gráficos do tipo boxplot com os valores referentes às medias anuais de temperatura e umidade relativa do ar mínima (primeiro quartil), máxima (terceiro quartil) e média (segundo quartil) e a maior (limite superior) e menor (limite inferior) média mensal de temperatura do ar para todas as cidades avaliadas.

É interessante observar que dentre as cidades com menor amplitude térmica (João Pessoa, Mataraca, Areia e Campina Grande), Areia e Campina Grande apesar de registrarem temperaturas mais amenas, apresentam um baixo percentual de horas em que o ocupante considera o ambiente termicamente aceitável quando avaliados pelo modelo adaptativo. Nestas cidades, o percentual de horas em desconforto por frio é elevado, superando o percentual de desconforto por calor, porém os valores mais baixos de temperatura são registrados no período noturno entre 23:00 e 6:00, horário em que os ocupantes têm maior possibilidade de ajustar o isolamento do conjunto da vestimenta, que será composto pela roupa de cama e pela roupa de dormir, acrescido do valor de isolamento da cama.

Nas cidades com maiores amplitudes térmicas diárias (Cabaceiras, Monteiro, Patos e Sousa) o modelo adaptativo também indica um percentual elevado de horas em que o usuário estaria insatisfeito com o ambiente térmico. As cidades com médias mínimas baixas, como Cabaceiras e Monteiro, registram uma alto percentual de horas em desconforto para o frio e para o calor. Por sua vez, em Patos e Sousa, cidades localizadas na região do Sertão Paraibano onde as temperaturas médias máximas ultrapassam 35°C durante o trimestre mais quente e 30°C no trimestre mais frio, ainda é observada a necessidade da adoção de sistemas de resfriamento (passivo ou ativo) mesmo quando considerada a avaliação pelo modelo PMV ajustado com a zona de conforto ampliada pelas diversas possibilidades de isolamento da vestimenta.

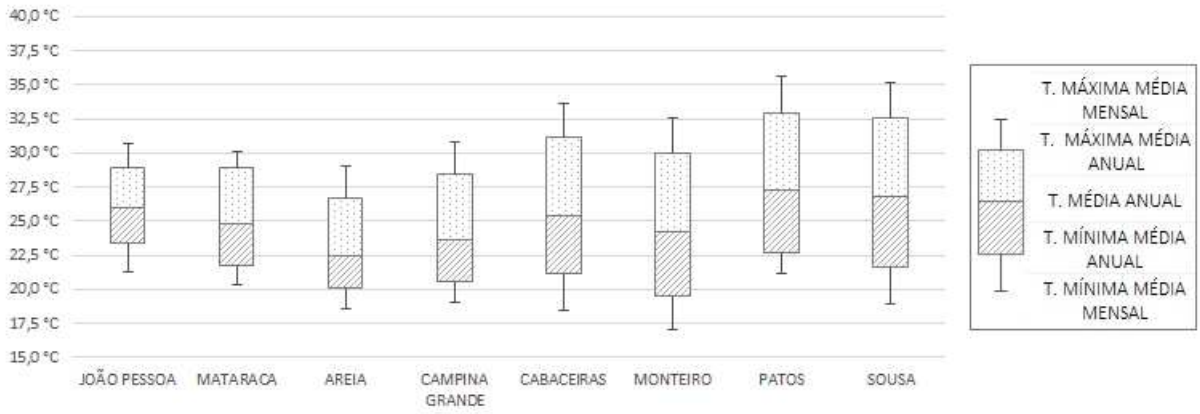

Figura 6: Médias anuais de temperatura do ar (mínimas, máximas e médias) e maior média mínima e maior média máxima mensal.

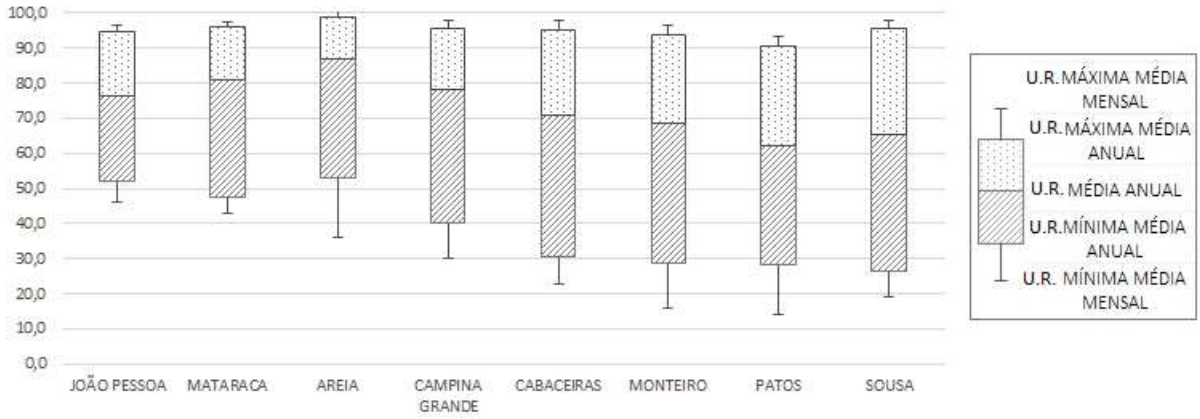

Figura 7: Médias anuais de umidade relativa do ar (mínimas, máximas e médias) e maior média mínima e maior média máxima mensal.

A segunda etapa teve como objetivo investigar a possibilidade do aumento do percentual de horas em que o ambiente hipotético seria termicamente aceitável a partir da adição de mais opções de ajuste no isolamento da vestimenta e na velocidade do ar, direcionados as situações térmicas mais severas de frio e de calor. Para este fim, procedeu-se a análise das cidades com menor temperatura mínima média no trimestre mais frio e com maior temperatura máxima média no trimestre mais quente.

Conforme pode ser observado na Figura 6, a cidade de Monteiro registrou as menores temperaturas médias mínimas (mensal e anual), enquanto Patos registrou as maiores temperaturas médias máximas (mensal e anual), dessa forma assume-se que as soluções aqui investigadas também poderão ser consideradas eficientes quando aplicadas às demais cidades.

A cidade de Monteiro registrou média mínima anual de temperatura do ar de 19,5°C, enquanto a menor média mínima mensal alcançou 17°C. O trimestre com menor temperatura média mínima corresponde aos meses de junho, julho e agosto, respectivamente, 17,1°C, 17,0°C e 17,9°C. Em relação aos horários de ocorrência, o período em que as temperaturas do ar são inferiores à 20°C tem início às 23:00h e estende-se até às 06:00h. Por se tratar do período noturno, para esta análise adotou-se a redução da velocidade do ar para 0,05 m/s e o ajuste da taxa de atividade metabólica do usuário de 1,0 met para 0,7 met, referente à uma pessoa em repouso. Quanto aos ajustes do nível de isolamento da vestimenta, foram acrescentadas as combinações com 2,4 clo e 3,65 clo, conforme indicado na Tabela 2. Após estes ajustes, a satisfação térmica durante o trimestre mais frio foi alcançada em todos os horários avaliados.

A cidade de Patos registrou média máxima anual de temperatura, 32,9°C, a maior média mensal alcançou 35,7°C. O trimestre com maior temperatura média máxima do ar corresponde aos meses de outubro, novembro e dezembro, respectivamente, 35,6°C, 35,7°C e 35,4°C. Neste período, mesmo ao considerar o isolamento da vestimenta com 0,15 clo, o percentual de aceitação do ambiente térmico pelo método PMV foi de apenas 65,8%, enquanto o percentual anual foi 82,3%. Considerando que as temperaturas do ar superam 30°C a partir das 9:00h e permanecem acima deste valor até aproximadamente 20:00h, optou-se por ajustar a velocidade do ar de 0,4m/s para 0,8 m/s como alternativa para redução do desconforto térmico. Quanto ao isolamento da vestimenta, optou-se por não reduzir o valor mínimo utilizado,

já bastante reduzido. Com o aumento da velocidade do ar, o percentual de satisfação com o ambiente térmico no trimestre mais quentes aumentou de 65,8% para 75,6%. Dessa forma, verifica-se que em 24,4% dos horários avaliados, mesmo após as soluções adotadas, ainda se faz necessária a adoção de um sistema de resfriamento, seja ele passivo ou ativo.

5. CONCLUSÕES

Apesar de ser considerado um modelo dinâmico por incorporar tanto a capacidade de aclimatação do usuário quanto alguns ajustes comportamentais, o modelo adaptativo tem limitações que devem ser consideradas quando empregado em ambientes residenciais e que podem levar a conclusões equivocadas sobre as condições climáticas do local. Nesse sentido, a delimitação de uma faixa estreita para o nível de isolamento da vestimenta, entre 0,5 clo e 1,0 clo, tem forte influência na severidade das avaliações por não refletir a dinâmica de ocupação dos espaços residenciais.

Por sua vez, o modelo PMV que é considerado um índice fixo por avaliar situações estáticas, quando empregado com múltiplas possibilidades de isolamento da vestimenta, permite incorporar a dinâmica de adequação da vestimenta de forma mais aproximada ao comportamento real dos usuários, em especial, nas habitações localizadas em climas quentes. Outro destaque se faz a possibilidade de simulação do período noturno, a partir dos ajustes na taxa de atividade metabólica e do nível de isolamento da vestimenta, incorporando os valores do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir.

Utilizando o método PMV, com apenas ajustes realizados na vestimenta e velocidade do ar, foi possível alcançar quase a totalidade de satisfação com o ambiente térmico nas cidades com menor amplitude térmica: João Pessoa, Mataraca, Areia e Campina Grande, enquanto as cidades com maior amplitude térmica: Cabaceiras, Monteiro, Patos e Sousa obtiveram percentual entre 82,3% e 92,1% de satisfação, valor bastante expressivo se considerarmos que as adequações ao ambiente térmico adotadas foram apenas relacionadas ao ajuste da velocidade do ar com até 0,8 m/s e à possibilidade de ajuste da vestimenta entre 0,15 e 3,65 clo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55-2017 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. USA, Atlanta: 2017.

FARIA, J. R. G. Givoni, Fanger: uma comparação. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. *Anais*... ANTAC, 1999.

INDRAGANTI, Madhavi. Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India. Applied Energy, v. 87, n. 3, p. 866-883, 2010.

LIN, Zhongping; DENG, Shiming. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics. Building and Environment, v. 43, n. 5, p. 905-916, 2008.

OLGYAY, V. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 6. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2010. 203p.

NEWSHAM, G. R. Clothing as a thermal comfort moderator and the effect on energy consumption. Energy and Buildings, v. 26, n. 3, p. 283-291, 1997.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. *Anais*... ANTAC, 2003.

SCHIAVON, Stefano; LEE, Kwang Ho. Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures. Building and Environment, v. 59, p. 250-260, 2013.