XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Conforto térmico em cânions urbanos verticalizados de cidade litorânea em clima tropical quente e úmido

Thermal comfort in high-rise urban canyons of coastal city in hot and humid tropical climate

Limber Patric Santos Leal
Universidade Federal de Alagoas | Arapiraca | Brasil | limber.leal@arapiraca.ufal.br
Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | rvictor@fau.ufal.br

Resumo

A pesquisa objetivou compreender a influência da verticalização no conforto térmico ao ar livre em cidade litorânea de clima quente e úmido a partir de simulações computacionais. Os cenários foram simulados no software ENVI-met, do qual foram extraídos dados microclimáticos necessários para o cálculo do índice PET no software RayMan. Os resultados gráficos e estatísticos demonstraram que a temperatura média radiante e a temperatura do ar apresentaram maior influência no índice PET que a velocidade do ar, o que contribuiu para obtenção de melhores condições de conforto térmico urbano, principalmente em cânions de orientação norte-sul e nos espaços intralotes.

Palavras-chave: Microclima urbano. Conforto térmico ao ar livre. Temperatura Fisiológica Equivalente. Simulação computacional. ENVI-met.

Abstract

The research aimed to understand the influence of verticalization on outdoor thermal comfort in a coastal city with a hot and humid climate from computer simulations. The scenarios were simulated in the ENVI-met software, from which microclimatic data necessary for the calculation of the PET index in the Rayman software were extracted. The graphical and statistical results showed that the average radiant temperature and air temperature had a greater influence on the PET index than air velocity, which contributed to obtaining better conditions of urban thermal comfort, mainly in canyons with a north-south orientation and in the intralots spaces.

Keywords: Urban microclimate. Outdoor thermal comfort. Physiological Equivalent Temperature. Computer simulation. ENVI-met.

Como citar:
LEAL, L. P. S.; BARBOSA, R. V. R. Conforto térmico em cânions urbanos verticalizados de cidade litorânea em clima tropical quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

INTRODUÇÃO

O processo de expansão desordenada das cidades, aliado ao adensamento de algumas áreas centrais, provoca alterações no microclima urbano e sua qualidade ambiental, comprometendo, principalmente, as condições de conforto térmico humano. Atualmente, essa preocupação tem ganhado força devido à pandemia do Novo Coronavírus, elevando a importância dos espaços urbanos que propiciem o bem-estar e saúde da população. A necessidade de desenvolvimento urbano sustentável, como observado no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11 das Nações Unidas (ODS11), almeja a obtenção de cidades inclusivas, resilientes e sustentáveis [1-3]. Essa questão trata-se de uma meta que tem feito parte das agendas de pesquisas e políticas urbanas atuais.

Segundo Oke [4], o clima urbano é resultado das variações provocadas pelo processo de urbanização na superfície terrestre e das características da atmosfera de um determinado local. Esse processo provoca uma série de efeitos adversos sobre o clima local das cidades tropicais, como o aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa, a ocorrência frequente de chuvas e enchentes, a concentração de ar poluído e a diminuição da ventilação natural [5].

Desta forma, a configuração urbana deve ser planejada de forma que seus componentes construtivos amenizem o desconforto térmico, pois as características dos materiais são responsáveis pela recepção, absorção e transmissão do calor. Além de gerar desconforto, o estresse térmico proveniente das más condições microclimáticas também é responsável pela formação de ambientes urbanos insalubres que geram um impacto negativo na saúde humana, bem como o aumento do uso de ar condicionado e, consequentemente, a custos de energia mais elevados para os moradores urbanos [6].

A percepção térmica em espaços ao ar livre é um problema complexo que pode ser afetado tanto pelas características climáticas das regiões, quanto pela geometria e forma urbana. Com base em um estudo realizado em contextos urbanos de alta densidade, três elementos afetam significativamente a sensação térmica ao ar livre de um indivíduo: condições climáticas (radiação solar, umidade e velocidade do vento); fatores de saúde pessoal; e parâmetros psicológicos [7-9]. Logo, é necessário trabalhar com um índice que incorpore as variáveis ambientais e individuais que possam expressar a percepção térmica do indivíduo.

Optou-se por utilizar neste trabalho o índice de conforto térmico PET (*Physiological Equivalent Temperature*) porque trabalha com uma unidade conhecida (°C), produzindo resultados mais compreensíveis aos planejadores urbanos. PET é definida como a temperatura fisiológica equivalente à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com as temperaturas da pele e do corpo iguais àquelas das condições em avaliação [10].

Neste sentido, o presente estudo visa compreender a influência da verticalização de uma cidade litorânea de clima quente e úmido no conforto térmico humano utilizando

o índice PET a partir de simulações computacionais de cenários hipotéticos parametrizados para a cidade de Maceió/AL.

MÉTODO

A presente pesquisa foi realizada por meio de simulações computacionais utilizando o *software* ENVI-met 4.0 para a simulação de cenários urbanos hipotéticos, a fim de analisar o desempenho térmico dos mesmos. Desta forma, a pesquisa caracteriza-se como preditiva, pois utiliza modelos estatísticos para observar como os dados se comportarão em cenários hipotéticos futuros sob condições diversas.

Foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: Descrição do objeto de estudo, Elaboração e simulação dos cenários hipotéticos no *software* ENVI-met e Determinação do Índice PET para os cenários simulados.

DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O município de Maceió está localizado na faixa costeira do Nordeste brasileiro, entre a latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste, às margens do Oceano Atlântico. Possui relevo composto por planícies e tabuleiros costeiros, com altitudes entre 100 e 200 m. O clima é caracterizado como As', de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, no qual apresenta um clima quente e úmido com duas estações definidas: verão com altas temperaturas e pouca pluviosidade e o inverno com temperaturas amenas e alta pluviosidade. É característico do clima da cidade as pequenas variações térmicas diárias de temperatura, bem como a incidência de radiação solar intensa devido à baixa latitude [11].

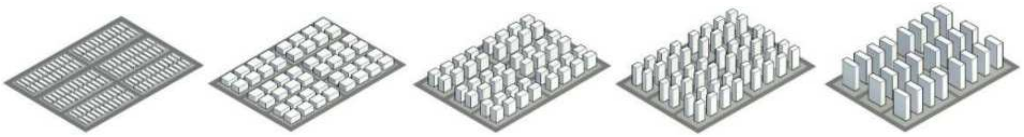
Maceió apresenta temperatura média anual de 25,4°C, com média máxima de 26,8°C, no mês de março, e média mínima de 23,6°C, nos meses de julho e agosto. A média anual da umidade relativa do ar é de 78,4%, com média mínima de 74,9%, no mês de dezembro (quadra seca), e média máxima de 83,1°C, no mês de junho (quadra chuvosa). A alta umidade no município deve-se à sua proximidade com o Oceano Atlântico e à presença do complexo lagunar Mundaú-Manguaba. Maceió está sob influência dos ventos alísios oriundos do quadrante leste, sendo os do sudeste predominante durante grande parte do ano.

ELABORAÇÃO E SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS NO *SOFTWARE* ENVI-MET

Para elaboração dos cenários hipotéticos buscou-se compreender o padrão recorrente de ocupação nessa região, com base no desenho das quadras e dos lotes e na largura das vias e passeios. Desta forma, adotou-se no cenário de referência seis quadras com 24 lotes de 12m de frente por 30m de profundidade e dois tipos de vias: vias com 12m de largura (8m de leito carroçável e 2m de cada passeio) e vias com 16m de largura (12m de leito carroçável e 2m de cada passeio). Esse cenário possui edificações de 1 pavimento e os recuos iniciais adotados foram mínimos: 3m de recuo frontal e 1,5m de recuos laterais e de fundo.

A partir do cenário de referência foram elaborados outros quatro cenários hipotéticos verticalizados com 5, 10, 15 e 20 pavimentos. Nesses cenários foram adotados os recuos progressivos conforme o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió [12], para isso, foi necessário realizar o remembramento de lotes. Além disso, as medidas foram adaptadas às dimensões do *grid* adotado no *software*: 2m x 2m x 3m (x, y, z), logo, todas as dimensões tiveram que ser múltiplas de 2 para obter precisão na modelagem dos cenários. A Figura 1 mostra a volumetria dos cinco cenários hipotéticos.

Figura 1: Cenários urbanos hipotéticos



Nota: Da esquerda para a direita: cenário de 1 pavimento (01P), cenário de 5 pavimentos (05P), cenário de 10 pavimentos (10P), cenário de 15 pavimentos (15P), cenário de 20 pavimentos (20P).
Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos revestimentos adotados na elaboração dos cenários no ENVI-met 4.0, foram utilizados materiais da própria biblioteca do *software* que mais se aproximassem do padrão construtivo da região. Para as edificações, utilizaram-se paredes de tijolos queimados e telhas cerâmicas. Para o revestimento do solo, adotou-se asfalto para as vias e concreto usado para os passeios e interior dos lotes. Na Tabela 1 é possível observar os valores do albedo e emissividade para cada material utilizado na elaboração dos modelos.

Tabela 1: Materiais usados na elaboração dos cenários hipotéticos

Revestimento	Código	Albedo	Emissividade
Asfalto (vias)	ST	0,20	0,90
Concreto usado (passeios e interior dos lotes)	PP	0,40	0,90
Tijolo queimado (paredes)	B2	0,40	0,90
Telha cerâmica (coberta)	R2	0,50	0,90

Fonte: Elaboração própria.

Além do arquivo de área, o *software* ENVI-met necessita de um arquivo contendo os dados climáticos que serão utilizados na simulação. Esses dados foram obtidos a partir da estação automática (A303) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado na cidade de Maceió/AL. O dia escolhido foi 20 de março de 2019, no qual foi observada maior regularidade no comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, indicando que foi um dia típico, com céu limpo, sem a presença de nuvens. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados de entrada adotados para simulação dos modelos.

Para a obtenção dos dados climáticos foram inseridos três receptores em diferentes pontos dos cenários: o receptor 1, localizado no eixo da via com orientação Leste-Oeste; o receptor 2, localizado no eixo da via com orientação Norte-Sul; e o receptor 3, localizado no recuo lateral entre duas edificações.

Tabela 2: Dados de entrada usados para simulação no software ENVI-met

Informações	Dados	Informações	Dados
Data do início da simulação	18/03/2019	Rugosidade	0,001
Hora do início da simulação	21:00	Temperatura atmosférica (K)	302,28
Total de horas simuladas	75	Umidade relativa do ar a 2m (%)	83
Direção do vento	135	Velocidade do vento a 10m (m/s)	2,0
Umidade específica do ar a 2500m (g/kg)²	9		

Fonte: Elaboração própria.

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE PET PARA OS CENÁRIOS SIMULADOS

Os dados microclimáticos dos cenários hipotéticos simulados no ENVI-met foram obtidos a partir dos receptores considerando a altura de 1,5m do solo, correspondente à altura do pedestre, e foram utilizados para determinar o índice PET através do *software* RayMan Pro, desenvolvido por Andreas Matzarakis que calcula os fluxos de radiação de ondas curtas e longas que afetam o corpo humano. Para o cálculo dos índices térmicos com base no balanço energético humano, são necessários dados meteorológicos (temperatura do ar, velocidade do vento, umidade do ar e fluxos de radiação de ondas curtas e longas) e termofisiológicos (atividade e vestuário) [13-15].

Os dados termofisiológicos utilizados correspondem a um indivíduo do sexo masculino de 35 anos, altura 1,70 e massa 75kg, em atividade metabólica de 80W e vestimenta de 0,9 clo, conforme orienta o manual do RayMan para o cálculo do PET. O índice PET (°C) teve sua faixa de conforto térmico inicialmente estabelecida entre os valores de 22 a 24°C [10]. Esses valores foram definidos inicialmente para a Alemanha e, desde então, estudos têm sido realizados em populações aclimatadas em diferentes regiões para verificação ou calibração dessa faixa de conforto proposta [16-20].

Pela ausência de calibração do índice PET para a cidade de Maceió e demais cidades alagoanas, foi utilizada neste trabalho a calibração para Salvador/BA, realizada por Andrade *et al.* [16]. Os autores utilizaram a técnica de mineração de dados Árvore de Decisão, associando intervalos desse índice à percepção térmica relatada em uma escala de sete categorias, porém o limite inferior do intervalo conforto e as categorias de frio não puderam ser determinados devido à inexistência de condições de estresse térmico negativo na região. Dessa forma, os valores de PET gerados para os cenários hipotéticos da cidade de Maceió foram classificados em quatro categorias: muito calor (PET ≥ 34,1), calor (34,1 > PET > 29,4), pouco calor (29,4 > PET > 26,8) ou conforto (PET ≤ 26,8).

RESULTADOS

Para a análise dos dados considerou-se a variação das alturas dos cenários hipotéticos simulados e os respectivos dados obtidos nos diferentes receptores inseridos nos cinco modelos. Em seguida, os dados foram submetidos a uma análise de correlação com o fim de analisar o nível de influência de cada uma das variáveis climáticas nos valores gerados do índice PET. Foram adotados os seguintes horários para as análises: às 9h,

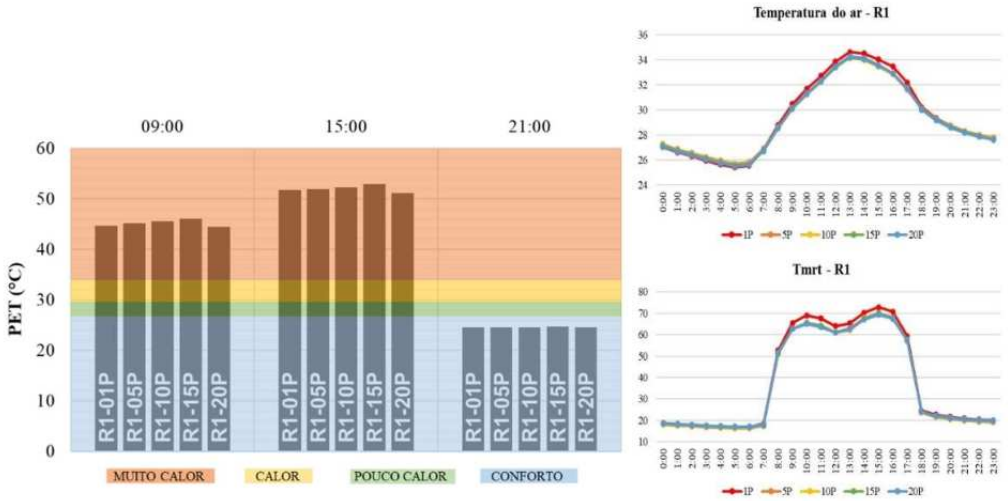
às 15h e às 21h, conforme indicação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para análises climáticas, considerando o dia 20/03/2019, dia de equinócio de outono na cidade de Maceió/AL.

Para análise do índice PET, optou-se por trabalhar com gráficos de barras devido a melhor comparação entre os cenários. Para facilitar a classificação dos mesmos, foram delimitados no eixo vertical os valores de cada intervalo de percepção térmica do índice, onde as áreas rosa, amarela e verde representam os intervalos de muito calor, calor e pouco calor, respectivamente, e a área azul representa o intervalo de conforto, onde não há estresse térmico. No eixo horizontal, os cenários foram organizados em função da variação das alturas (01P, 05P, 10P, 15P e 20P) e dos receptores (R1, R2 e R3).

ANÁLISE DO ÍNDICE PET NO CÂNION LESTE-OESTE

O receptor 1 (R1) foi inserido no eixo da via com orientação Leste-Oeste e os dados obtidos para a altura de 1,5m, correspondente à altura do usuário. Como observado na Figura 2, o comportamento do índice PET não apresentou diferenças significativas com a variação das alturas dos cenários nos três horários analisados. Tanto às 9h, quanto às 15h, os cinco cenários foram classificados no intervalo de muito calor (PET ≥ 34,1), conferindo extremo estresse térmico positivo aos usuários do ambiente urbano externo, principalmente durante a tarde. Por sua vez, no horário noturno todos cenários atingiram o intervalo de conforto (PET ≤ 26,8) pela ausência de radiação solar. Os gráficos de temperatura do ar e temperatura média radiante (Tmrt) também demonstram comportamento similar entre os cenários, com valores ligeiramente superiores para o cenário não verticalizado (01P).

Figura 2: Gráfico com os valores do índice PET no receptor 1 (à esquerda); gráfico da temperatura do ar no receptor 1 (à direita superior) e gráfico da temperatura média radiante no receptor 1 (à direita inferior)

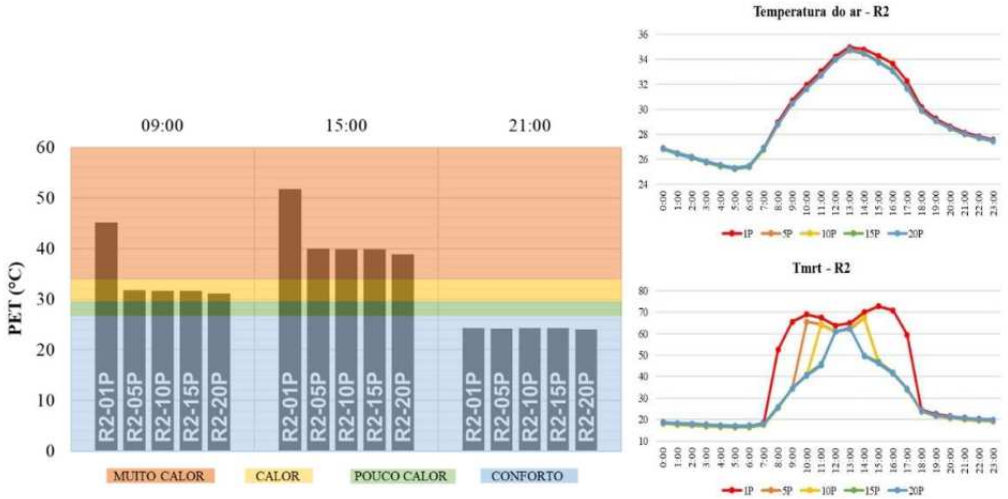


Fonte: Elaboração própria.

ANÁLISE DO ÍNDICE PET NO CÂNION NORTE-SUL

O receptor 2 (R2) foi inserido no eixo da via com orientação Norte-Sul. Nota-se, a partir da Figura 3, que houve uma redução considerável no valor do Índice PET com a verticalização dos cenários, resultando em diferenças de 15,6°C às 9h e 13,3°C às 15h, entre os cenários 01P e 20P. Porém, mesmo com essa redução, os cenários verticalizados não atingiram a faixa de conforto durante o dia, apenas saíram da faixa de muito calor para calor (34,1 > PET > 29,4), às 9h. No horário de 21h, o comportamento dos cenários foi praticamente o mesmo dentro da faixa de conforto.

Figura 3: Gráfico com os valores do índice PET no receptor 2 (à esquerda); gráfico da temperatura do ar no receptor 2 (à direita superior) e gráfico da temperatura média radiante no receptor 2 (à direita inferior)



Fonte: Elaboração própria.

A diferença observada entre o índice PET dos cenários verticalizados e o cenário 01P pode ser explicada pelo gráfico de Tmrt, devido aos elevados valores gerados pelo cenário horizontal. A temperatura média radiante é a variável que expressa as trocas radiativas entre o corpo humano e o ambiente em que se encontra, ou seja, os efeitos térmicos a que o homem está submetido no ambiente real (heterogêneo) ou ideal (homogêneo) [21]. Por esta razão, a Tmrt influencia mais no índice de conforto PET que as demais variáveis ambientais.

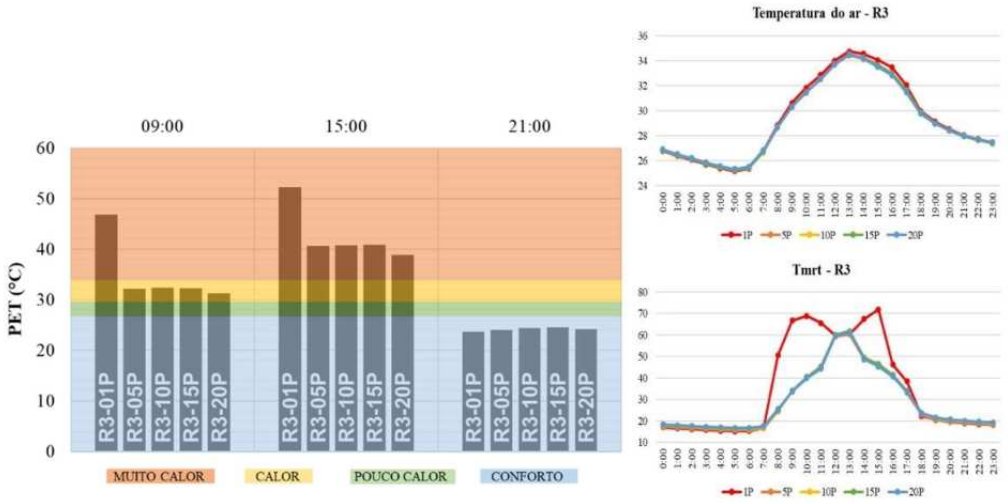
ANÁLISE DO ÍNDICE PET NO INTRALOTE

O receptor 3 (R3) foi inserido no recuo lateral entre duas edificações para observar a percepção térmica dos usuários dentro do lote, de acordo com a variação das alturas dos cenários. É possível observar na Figura 4 que os valores do Índice PET são muito semelhantes aos que foram encontrados no R2, demonstrando também que a verticalização dos cenários tende a propiciar uma redução na percepção de calor dos usuários situados no intralote. Neste sentido, no que tange ao conforto térmico urbano, o padrão de ocupação horizontal se mostrou através dos resultados como o mais problemático, chegando a atingir valor de PET de 52,2°C no horário da tarde.

Nota-se ainda que o comportamento dos cenários verticalizados de 5, 10, 15 e 20 pavimentos é muito similar, indicando que, no equinócio, uma verticalização baixa

proporciona a mesma percepção térmica aos usuários que a verticalização média e alta.

Figura 4: Gráfico com os valores do índice PET no receptor 3 (à esquerda); gráfico da temperatura do ar no receptor 3 (à direita superior) e gráfico da temperatura média radiante no receptor 3 (à direita inferior)



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 apresenta uma síntese da classificação do índice PET gerados às 9h, 15h e 21h a partir dos três pontos analisados nos cinco cenários hipotéticos simulados.

Figura 5: Síntese da classificação do índice PET para os cenários simulados

	VIA LESTE-OESTE (R1)			VIA NORTE-SUL (R2)			INTRALOTE (R3)		
CENÁRIO	09:00	15:00	21:00	09:00	15:00	21:00	09:00	15:00	21:00
01P									
05P									
10P									
15P									
20P									

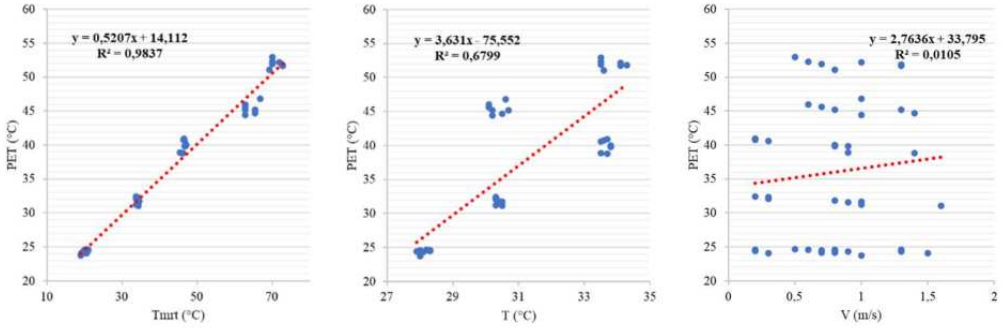
LEGENDA:	MUITO CALOR	CALOR	POUCO CALOR	CONFORTO
	PET ≥ 34,1	34,1 > PET > 29,4	29,4 > PET > 26,8	PET ≤ 26,8

Fonte: Elaboração própria.

ANÁLISE DE REGRESSÃO E CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE PET E AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para verificar o grau de influência das variáveis ambientais na classificação do índice PET, foram calculados os coeficientes de determinação a partir da associação entre as variáveis ambientais geradas pelos cenários hipotéticos simulados (temperatura do ar, temperatura média radiante e velocidade dos ventos) e os valores do índice PET de cada cenário. Os gráficos de dispersão, bem como os coeficientes de determinação (R^2) foram obtidos a partir da ferramenta *Excel*, e são apresentados na Figura 6.

Figura 6: Gráficos de dispersão e regressão linear entre PET e temperatura média radiante (à esquerda), PET e temperatura do ar (ao meio) e PET velocidade do vento (à direita)



Fonte: Elaboração própria.

A regressão linear simples constitui uma tentativa de estabelecer uma equação matemática linear que descreva o relacionamento entre duas variáveis. A correlação é maior quanto mais os pontos se concentram, com pequenos desvios, em relação a reta do gráfico. O coeficiente de determinação (R^2) varia de zero a um e é a medida da proporção da variância da variável dependente em torno de sua média que é explicada pelas variáveis independentes ou preditoras. Quanto maior o valor de R^2, maior o poder de explicação da equação de regressão [22]. Os coeficientes apresentados nos gráficos demonstram que os valores do Índice PET são explicados em 98% pelos valores de Tmrt, 68% pela temperatura do ar e 1% pela velocidade do vento.

Também foi calculada a correlação (R) entre os valores de PET (variável dependente) e as variáveis ambientais (variáveis independentes). O resultado foi correlação muito forte com a Tmrt (R=0,99), correlação forte com a temperatura do ar (R=0,82) e muito fraca com a velocidade do ar (R=0,10). Logo, nota-se que a temperatura média radiante foi a variável que mais influenciou nos valores do índice PET, seguida pela temperatura do ar, e que a velocidade do vento praticamente não teve influência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou compreender como a verticalização influencia no conforto térmico na cidade de Maceió/AL. Após o embasamento teórico necessário para fundamentar os procedimentos metodológicos, chegou-se aos resultados que foram observados e submetidos à análise estatística. Ao analisar a relação entre os dados climáticos e os valores de PET gerados para diferentes pontos dos cenários hipotéticos, considerando as variações nas alturas, foi possível identificar que a verticalização proporcionou melhores condições climáticas de acordo com o índice de conforto térmico PET na via de orientação Norte-Sul e no intralote. Todavia, o comportamento dos quatro cenários verticalizados foi muito semelhante, indicando que a verticalização de 5, 10, 15 ou 20 pavimentos geraram percepções térmicas semelhantes, considerando como dia de análise o equinócio de outono.

A hipótese que se tinha inicialmente sobre a verticalização auxiliar no conforto térmico urbano foi confirmada a partir dos dados analisados, pois o sombreamento proporcionado pelas edificações verticalizadas e a redução do fator de céu visível, oriundo da maior obstrução da abóbada celeste, contribuíram para a redução do

desconforto. Entretanto, é importante destacar que a verticalização por si só não foi suficiente para que os cenários atingissem a zona de conforto, demonstrando a importância de se pensar em estratégias conjuntas que reduzam o rigor térmico em ambientes urbanos, como o uso de materiais construtivos e revestimentos que amenizem os ganhos térmicos e o resfriamento evaporativo por meio de massas vegetadas e corpos d'água.

A partir da análise estatística identificou-se que as variáveis climáticas que mais influenciaram no resultado do índice PET dos cenários hipotéticos foram a temperatura média radiante e a temperatura do ar, já a velocidade do ar não influenciou significativamente. Por esse motivo, o cenário horizontal de um pavimento ocasionou na elevação do desconforto ao permitir maior incidência da insolação no tecido urbano e, consequentemente, elevação dos valores de Tmrt e T.

Os resultados desta pesquisa apontam para a importância do sombreamento proporcionado pelos cenários verticalizados enquanto estratégia bioclimática que auxilia diretamente nas condições de conforto térmico em ambientes externos de cidades tropicais. O objetivo inicial foi alcançado, mas vale destacar a necessidade de novas pesquisas para complementar a temática trabalhada, considerando algumas limitações dos cenários e a importância de realizar a análise também para o período de solstício.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Alagoas pela concessão de bolsa de Iniciação Científica no âmbito do Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC) que proporcionou a realização da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas de urbanização mundial 2018**. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais: ONU. New York, USA, 2019.

[2] ASSEMBLEIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Nova Agenda Urbana - Declaração de Quito sobre Cidades Sustentáveis e Assentamentos Humanos para Todos**. Disponível em: https://habitat3.org/the-new-urban-agenda. Acesso em: 14 de agosto de 2022.

[3] MADUREIRA, H.; MONTEIRO, A. Going Green and Going Dense: A Systematic Review of Compatibility and Conflicts in Urban Research. **Sustentabilidade**. 2021, 13.

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

[5] ASSIS, E. S. Estudo integrado da ilha de calor em áreas urbanas e sua contribuição ao planejamento: o caso de Belo Horizonte, MG. **Fórum Mudanças Climáticas**. v.4. n.1. 2011.

[6] SHAFAGHAT, A.; MANTEGHI, G.; KEYVANFAR, A.; BIN LAMIT, H.; SAITO, K.; OSSEN, D. R. Street Geometry Factors Influence Urban Microclimate in Tropical Coastal Cities: A Review. **Environmental and Climate Technologies**, vol.17, no.1, 2016, p. 61-75.

[7] ABDOLLAHZADEH, N.; BILORIA, N. Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid

subtropical climate of Sydney. **Frontiers of Architectural Research**, V.10, Issue 2, 2021, P. 394-409.

[8] INDRAGANTI, M. Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. **Energy Building**, 42, 2010, p. 1019-1025.

[9] SHARMIN, T.; STEEMERS, K. Effects of microclimate and human parameters on outdoor thermal sensation in the high-density tropical context of Dhaka. **International Journal of Biometeorology**, 64, 2020, p. 187-203.

[10] HOPPE, P. The physiological equivalente temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Journal of biometeorology**. 43. p.71-75. 1999.

[11] MELO, J. D. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídio a decisões de planejamento.** 2009. 157f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

[12] MACEIÓ. Lei Municipal nº 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. **Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió.** Disponível em: http://www.maceio.al.gov.br. Acesso em: set. 2021.

[13] MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. RayMan: a tool for research and education in applied climatology. In: 8th Conference on Meteorology-Climatology-Atmospheric Physic, 05, Athens. **Anais** [...]. Athen, Greece, 2006.

[14] MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology.** 51(4), 2007, p. 323–334.

[15] _____. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology.** 54(2), 2010, p. 131–139.

[16] ANDRADE, T. C. Q.; NERY, J. M. F. G.; SOUZA, S. H. M.; PITOMBO, C. S.; FREIRE, T. M. M.; 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 (GESTA)**. v.4. n.2. 2016.

[17] KATZSCHNER, L. Avaliação de conforto térmico para o planejamento urbano sob a consideração da mudança climática global. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável** (UFMG, Online), v. 4, 2010, p. 1-14.

[18] FÉ, D. S.; ANDRADE, T. C. Q.; SANTANA, M. J. A.; NERY, J.; FREIRE, T. M. M.; OLIVEIRA, I. B. Índices de conforto térmico: avaliação para clima quente e úmido. **Anais da Biblioteca Nacional***,* v. 1, 2007, p. 697-706.

[19] HIRASHIMA, S. **Calibração do Índice de Conforto Térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte**. 2010. 225 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

[20] SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E. de. An Integrated Approach for Ventilation's Assessment on Outdoor Thermal Comfort. **Building and Environment**, v. 87, 2015, p. 59-71.

[21] RIBEIRO, K. F. A. **Calibração do Índice de Conforto Térmico PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) em espaços abertos para a cidade de Cuiabá-MT**. 2019. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

[22] HAIR, J. F.; BLACK; W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados.** 6 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 699p.