



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

CALIBRAÇÃO DE MAPA CLIMÁTICO URBANO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB APOIADA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Vladimir S. de Souza (1); Lutz Katschner (2); Caio F. e Silva (3); Ellen L. T. de Souza (4)

(1) M. Sc., Professor do curso de Arquitetura e Urbanismo - Unipê, vladimir.souza@unipe.edu.br

(2) D.Sc., Professor do Depto. de Paisagem e Planejamento Urbano - UniKassel, katzschn@uni-kassel.de

(3) PhD, Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - UnB, caiosilva@unb.br

(4) Graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo - Unipê, ellen_alcazar123@hotmail.com

RESUMO

Mapas climáticos urbanos são ferramentas de apoio à tomada de decisão para o planejamento urbano. Neles, as áreas da cidade podem ser agrupadas em classes climáticas urbanas que representam o impacto da estrutura urbana no conforto higrotérmico da população. Devido às constantes transformações do espaço urbano, as classes climáticas devem regularmente serem revisadas e calibradas. Neste trabalho, descreve-se um método de calibração para uma classe empregada no mapa climático urbano da cidade de João Pessoa – Paraíba. A área de estudo analisada é representada por uma praça do centro da cidade, da qual se utilizaram informações de sensação térmica dos transeuntes, características físicas-espaciais e dados de clima. O comportamento termo-higrométrico é analisado com base em simulações computacionais desenvolvidas no modelo micrometeorológico ENVI-met® versão 4.4.2, buscando compreender a dinâmica destes elementos climáticos de forma espacial e temporal. Sequencialmente, com estes dados é utilizado o software *Rayman*® versão 1.2 para estimar o índice de temperatura fisiológica equivalente – PET, amplamente empregado em estudos de sensação térmica. Com os valores de PET obtidos foi aplicada uma classificação de sensação térmica adequada às regiões de clima quente-úmido. Os resultados obtidos demonstram que a área estudada apresenta uma sensação térmica de muito calor coerente com o encontrado no mapa climático. Este estudo apresenta-se como uma alternativa a pesquisas futuras que busquem a calibração de classes climáticas em mapas de clima urbano.

Palavras-chave: mapa climático, sensação térmica, simulação computacional.

ABSTRACT

Urban climate maps are tools to support decision-making for urban planning. In them, city areas can be grouped into urban climatic classes that represent the impact of the urban structure on the hygrometric comfort of the population. Due to the constant transformations of the urban space, the climatic classes must be regularly reviewed and calibrated. In this work, the calibration method for a climatic class of the urban climate map of the city of João Pessoa - Paraíba is described. The study area is represented by a square in the centre of the city, using thermal sensation information from passers-by, physical-spatial characteristics and climate data. The thermo-hygrometric behaviour is analysed based on computational simulations developed in the micrometeorological model ENVI-met® version 4.4.2, seeking to understand the dynamics of these climatic elements in a spatial and temporal way. With this data, *Rayman*® software version 1.2 is used sequentially to estimate the equivalent physiological temperature index - PET, widely used in thermal sensation studies. With the PET values obtained, a thermal sensation classification was applied to the hot-humid climate regions. The results obtained demonstrate that the studied area presents a very hot thermal sensation consistent with that found in the climatic map. This study presents as an alternative to future researches that seek the calibration of climatic classes in urban climate maps.

Keywords: climatic map, thermal sensation, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Intervenções humanas no espaço físico-geográfico impactam o clima local e, conseqüentemente, o conforto térmico individual. Desse modo, um planejamento urbano consciente do clima precisa garantir um menor impacto ambiental decorrente das transformações urbanas, buscando por meio de suas ferramentas de ordenamento do município, adequar o ambiente construído às exigências de conforto humano, proteger e desenvolver os recursos naturais, promover a redução do consumo de energia, ordenar adequadamente o padrão urbano e adaptar-se às mudanças climáticas (OKE et al, 2017).

Uma ferramenta prática de apoio à tomada de decisão para o planejamento das cidades são os Mapas Climáticos Urbanos (MCUs). Desenvolvidos inicialmente na Alemanha, o conceito destes mapas temáticos de clima urbano, empregados em diversas cidades do mundo, consiste em uma série de camadas de dados espaciais (mapas analíticos) que contém informações do clima, dados geográficos do terreno, informações sobre vegetação, parâmetros de conforto humano e diretrizes de planejamento (KATZSCHNER; MÜLDER, 2007). Governos de cidades europeias e asiáticas têm aplicado a metodologia quali-quantitativa de MCUs em seus planos diretores (REN et al, 2010).

No Brasil, estudos com esta metodologia são realizados nas cidades de Salvador (NERY et al, 2006), João Pessoa (SOUZA, 2010), Campinas (PRATA-SHIMOMURA et al, 2015), Belo Horizonte (FERREIRA et al, 2016) e Aracaju (ANJOS, 2017). Todos estes trabalhos são desenvolvidos em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) que auxiliam no tratamento e gestão dos inúmeros parâmetros usados para associar informações de climatologia urbana, de estrutura urbana e de gestão urbana.

Especificamente na cidade de João Pessoa-PB, Souza (2010) adaptou parte da metodologia de MCUs desenvolvida para a cidade de Hong Kong e, baseado em aspectos climáticos e físicos-geográficos do local, desenvolve um mapa com informações do clima urbano classificado em 8 classes climáticas. As classes climáticas são porções de uma região que foram agrupadas e categorizadas segundo suas características topoclimáticas e seus efeitos no balanço de energia térmica. Distingue-se dessa forma quais são as áreas de um ambiente urbano que apresentam uma implicação negativa ou positiva no balanço de energia urbano e, conseqüentemente, no conforto térmico da população. Posteriormente, Silva (2017) elabora um índice ambiental urbano para a cidade, de modo a definir a melhor relação entre as variáveis ambientais, a morfologia urbana e o conforto térmico urbano. Esta pesquisa apoia-se em dados do mapa climático, pesquisas de campo e entrevistas com habitantes.

Parte fundamental de desenvolvimento dos mapas climáticos é a caracterização da sensação de conforto humano em espaços abertos, uma vez que esta informação é parâmetro de construção das classificações climáticas das áreas da cidade (NG; REN, 2015). Para tanto, são empregados índices de conforto desenvolvidos para avaliar a relação entre os seres humanos e o ambiente ao qual estão expostos. Dos diversos índices de conforto térmico existentes destaca-se o *Physiological Equivalent Temperature* (PET), apresentado por Höppe (1997). O valor calculado de PET relaciona-se às categorias de sensação térmica humana numa escala sete pontos, variando de “muito quente” a “muito frio”. Dentre as razões para seu uso está a aplicabilidade às diferentes escalas espaciais, o empregado em unidades Celsius (°C), a sua recomendação pelas normas alemãs, a sua aplicação em pesquisas na região Nordeste do Brasil e a possibilidade de ser calculado por modelos numéricos, permitindo a sua representação gráfica (espacialização) na forma de mapas (ANJOS, 2017).

Algumas pesquisas demonstram que devido à diversidade climática do Brasil, há a necessidade de estudos específicos nas diferentes localidades (MONTEIRO, 2008; SOUZA, 2010; HIRASHIMA et al, 2017), determinando assim as categorias de sensação térmica adequadas dos habitantes. Estes trabalhos enfatizam ainda que todo o balanço de calor do corpo humano deve ser considerado, o que requer informações meteorológicas sobre a temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção do vento, turbulência e radiação de ondas curtas e longas, além de componentes pessoais dos usuários do espaço urbano como o nível de atividade, o tipo de roupa e a adaptação fisiológica a um ambiente particular.

Como forma de facilitar o entendimento e espacializar estes inúmeros dados, são empregadas tecnologias que decodificam a natureza urbana, como os programas de simulação computacional que fazem o uso de arquivos climáticos, muitas vezes disponíveis em bancos de dados (SILVA, 2013). Destes, dois programas se destacam: o modelo ENVI-met® desenvolvido pelo Departamento de Geografia da Universidade de Bochum na Alemanha, que se apresenta como um software de modelagem tridimensional do microclima urbano e que requer informações climáticas locais (BRUSE, 1999); e o software *Rayman*® capaz de estimar valores de índices de conforto térmico, entre eles o PET, desenvolvido no Instituto Meteorológico da Universität Freiburg para estudos do clima urbano (MATZARAKIS; MAYER; IZIOMON, 1999).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar um método de calibração para as classes climáticas empregadas no mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB, utilizando-se de entrevistas com usuários de um espaço urbano e de simulações computacionais bioclimáticas realizadas nos softwares ENVI-met® e Rayman®.

3. MÉTODO

A pesquisa apresentada é experimental, apoiada em coleta de dados de campo e por simulação computacional via programas ENVI-met® e Rayman®. A pesquisa pode ser organizada em 6 etapas:

1. Caracterização do contexto urbano e climático da área de estudo;
2. Entrevistas com usuários do espaço estudado;
3. Modelagem da área de estudo em ambiente computacional;
4. Calibração do modelo ENVI-met® para as condições climáticas locais;
5. Aplicação do modelo Rayman® para determinação dos valores do índice PET;
6. Análise dos resultados obtidos.

3.1. Contexto urbano e climático da área de estudo

A área de estudo é a Praça Vidal de Negreiros localizada no bairro Centro da cidade de João Pessoa-PB. Conta com uma área aproximada 5200 m², cercada por um misto de edifícios de arquitetura moderna e eclética de uso predominantemente comercial e com um gabarito em altura diversificado variando de 7m a até 51m. A vegetação arbórea é escassa, localizada no lado nordeste e oeste da praça, com algumas árvores alcançando 15 m de altura, o que fornece um bom sombreamento. O piso da área é composto em grande parte por concreto armado impermeável, blocos intertravados em seu perímetro e pequena parcela de solo permeável abaixo das árvores. Há uma movimentação significativa de transeuntes e veículos ao longo de todo o dia. O recorte da área de estudo é demonstrado na Figura 1.

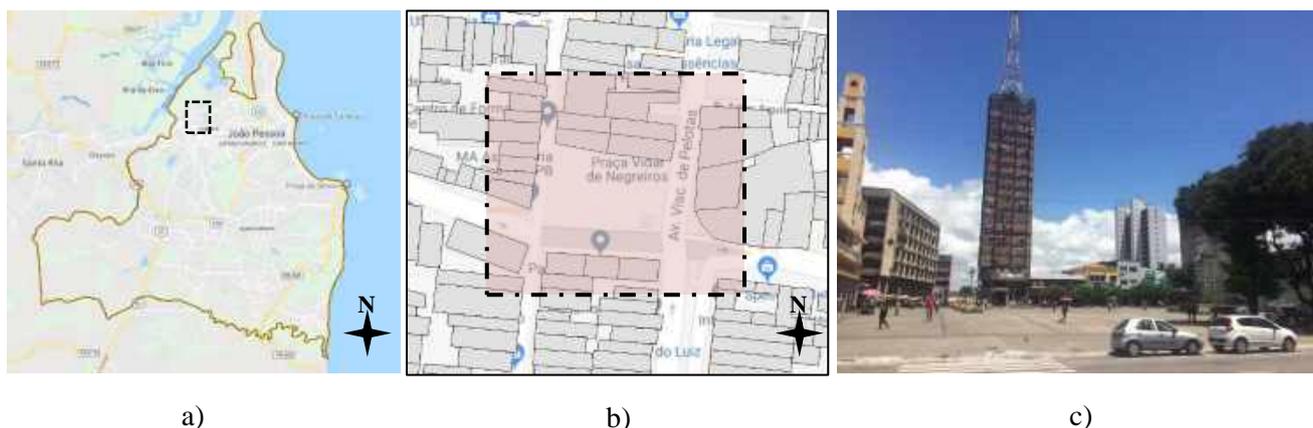


Figura 1 – Localização da área de estudo – Mapa de João Pessoa (a); Delimitação área estudo (b); e Fotografia do local (c).

A cidade de João Pessoa localiza-se próxima à linha do Equador (coordenadas geográficas 7°6'54"S, 34°51'47.02"W) recebendo uma radiação solar próxima das 3000 horas anuais (Silva, 1999). Este fato determina um clima quente, caracterizado por uma temperatura média anual de 25,81 °C, sem variações significativas e um regime de ventos predominantemente diário correspondendo durante todo o ano aos ventos alísios de sudeste (direção média de 150 % e velocidade média de 3,6 m/s). No período compreendido entre junho a agosto têm-se as temperaturas mais baixas - média de 24,39 °C - e no período de janeiro a março as temperaturas mais altas – média de 26,97 °C. A umidade relativa média alcança o maior valor no mês de junho (86,03 %) e menor valor no mês de dezembro (76,18%), com uma média anual registrada de 80,85% (CARVALHO, 2001).

Com base na classificação do MCU de João Pessoa, a praça Vidal de Negreiros enquadra-se na classe climática 8. Esta classe agrupa áreas da cidade com possibilidade de formação do fenômeno “Ilha de Calor Urbano” e que apresentam um impacto negativo muito forte no conforto térmico da população. Fatores físicos-geográficos da região como o alto adensamento urbano, elevado volume de edificações, a escassez de áreas verdes, a baixa altitude e constituição dos materiais da superfície do solo levam a esta classificação.

Com relação ao valor do índice PET da área, em estudo desenvolvido por Silva (2017) sobre o conforto higro-térmico em espaços abertos da região, observou-se que a sensação de conforto era de “muito calor” alcançando o valor máximo do índice PET de 44 °c (cenário 1).

3.2. Variáveis pessoais de usuários da praça

As variáveis pessoais relacionadas à sensação térmica dos usuários da área de estudo foram obtidas através de questionários em 3 campanhas de quatro horas no período das 8:00 às 13:00h, realizadas nos dias 16, 22 e 23 de março de 2019. As variáveis pessoais levantadas foram: idade, sexo, reside no bairro (fator de aclimatação), local da entrevista e tipo de atividade que vinha realizando até o momento da entrevista. Quanto ao “local da entrevista” teve-se o cuidado de tentar realizar parte na sombra e parte no sol (meia sombra considera-se no sol, mas com interferência do sombreamento causado por nuvens) para averiguar as respostas em distintos cenários. Por fim, o quesito “atividade desenvolvida até o momento da entrevista” foi estruturado a partir das questões: sentado, em pé parado e andando no plano.

3.3 Parâmetros de modelagem da área de estudo e simulação climática

Para a modelagem da área de estudo e simulação dos elementos climáticos que interferem no conforto térmico dos transeuntes foi utilizado o modelo microclimático ENVI_met® versão 4.4.2 Winter (BRUSE, 2007). O modelo ENVI_met® permite modelar áreas urbanas em três dimensões espaciais, com um “entorno” composto, no plano horizontal e um perfil vertical de mesoescala, que vai até a altitude de 2500 m acima do nível do mar. O modelo é organizado sobre uma grade constituída por células ortogonais de mesmo tamanho. Inicialmente, faz-se necessário dimensionar a célula da grade nas direções horizontais x e y. A resolução é uma média dentro dos valores sugeridos (de 0,5 m a 10 m) e é um ajuste adequado entre a precisão e o tempo de processamento.

Quanto à entrada de dados no modelo devem ser construídos dois arquivos de configuração básica: configuração de áreas (modelo tridimensional) e configuração de dados climáticos. Nesta versão do ENVI_met® é apresentada a extensão de software MONDE®, que é um editor de vetores que permite ao usuário importar dados geográficos em formato vetorial e editar o modelo usando os métodos estabelecidos conhecidos de modelos Computer Aided Design (CAD) e Geographic Information System (GIS) (Figura 2).

Para a digitalização da área de estudo utilizou-se uma resolução de grid de 2 m×2 m×4 m, totalizando uma área de 100×100×35 grids, a qual corresponde à composição do recorte de estudo de 200 m × 200 m (Figura 2). A resolução de 2 m foi escolhida para manter uma boa representatividade da área. Foram inseridos cinco grids de borda ao redor do modelo com o objetivo de manter a estabilidade. A altura total do modelo foi de 140 m a qual se mostrou adequado, uma vez que é recomendado uma altura mínima de duas vezes a altura do edifício mais alto (51 m). O método de geração do grid vertical foi a equidistante.

Após a vetorização da área é possível inserir informações de materiais dos elementos constituintes do espaço urbano: tipo solo (materiais e superfícies), edificações (materiais e superfícies) e vegetação (rasteira e/ou arbórea). Finalizado este procedimento o arquivo é exportado para o SPACE®, outra extensão do modelo ENVI_met® que permite a visualização e parametrização dos dados do espaço modelado.



Figura 2 – Vetorização na extensão Monde® e modelo tridimensional na extensão Space®.

Para a configuração de dados climáticos é necessário um conhecimento prévio sobre particularidades do programa. O modelo não assimila dados, ou seja, há uma única entrada de dados que descrevem as interações nas suas três camadas: atmosfera, superfície (incluindo as várias coberturas de superfície, edificações e vegetação) e solo (BRUSE, 2017);

Na camada da atmosfera o modelo faz o prognóstico da dinâmica de ar (velocidade e direção), temperatura potencial, umidade relativa e absoluta, e fluxos de radiação de onda curta e longa com base nas leis fundamentais da dinâmica e termodinâmica de fluidos, usando a forma incompressível não-hidrostática das equações de Navier-Stokes, apropriada para terrenos diversos, o que permite a simulação de processos de trocas térmicas do ar horizontais desejável para lidar com o ambiente urbano (ASSIS, 2013). Na camada da superfície o modelo considera a radiação incidente de ondas longas e curtas. Avalia o albedo das superfícies,

o sombreamento em função do caminho solar, a evaporação do vapor d'água da vegetação e transpiração do solo, observando o efeito modificador do fluxo de ar da vegetação. A temperatura das folhagens e seu balanço térmico, com base em parâmetros fisiológicos e meteorológicos também são calculados (AMBROSINI *et al.*, 2014). E na última camada, o solo, são consideradas três subcamadas até a profundidade de 1,75 m avaliando a combinação das superfícies naturais e artificiais da estrutura urbana.

Para a realização da simulação computacional são necessários dados do período simulado (dias 14 a 16 de março de 2019) como a temperatura e a umidade relativa do ar, além da velocidade e direção do vento dominante. Estes dados foram obtidos a partir das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (BRASIL, 1992). Houve uma preocupação em calibrar estes dados coletados com os da área de estudo. Contudo, os dados médios utilizados foram semelhantes aos dados médios da estação meteorológica de referência para o mês de março de 2019, conforme Tabela 1. Como o programa solicita temperatura e umidade relativa do ar média horária, esses dados foram obtidos a partir da metodologia de Alucci (1992), que propôs um procedimento para gerar a variação horária a partir de dados médios de temperaturas e umidades máximas, médias e mínimas, a partir das Normais Climatológicas de 1992.

O ENVI_met® tem como característica gerar a curva de temperatura a partir de um impulso inicial, processo conhecido por iteração¹. Nesse processo é necessário um tempo inicial até que os resultados possam se estabilizar e sejam gerados dados mais concisos. A simulação foi configurada para ter início às 21h00 do dia 14.03.19 com o objetivo de isolar a influência do aporte de radiação solar no início das simulações. O tempo simulado equivale a dois dias (dois ciclos), total de 48 h, descartando-se as 24 h iniciais, recomendadas pelos desenvolvedores do software. Desta forma, os dados analisados são do dia 16.03.19, especificamente os horários das 06:00h às 18:00h.

Tabela 1 – Configuração de dados climáticos para simulação microclimática no ENVI_met®

Dados da simulação		Dados empregados (14 a 16.03.19)	
Período	Tempo simulado	48h (2 ciclos)	
	Horário de início	21h – 14.03.2019	
Variáveis climáticas (unidade)		Valores	
Configuração de entrada	Vv - Velocidade do vento a 10 m altura (m/s)	1.83	
	Dv - Direção do vento (graus)	144	
	Ta - Temperatura do ar (°C)	Min. = 23,8	Máx. = 31,3
	Ur - Umidade relativa do ar (%)	Min. = 57,0	Máx. = 89,0
	Rs - Rugosidade da superfície do solo	0.010	

3.4 Cálculo do índice de conforto PET

Empregou-se o software *Rayman*® para calcular o índice PET. Neste programa devem ser inseridas também informações da estrutura urbana (edifícios e árvores decíduas e/ou coníferas), assim como o dia e a hora da análise, localização geográfica da cidade, dados climáticos locais (Ta, Ur, Temperatura Radiante Média e Padrões de Vento) e dados pessoais: gênero, idade, altura, peso, vestimenta (clo) e metabolismo (Met). Os dados da estrutura urbana e das variáveis climáticas utilizadas foram os similares ao do modelo ENVI_met®. Quanto às variáveis pessoais foram consideradas as recomendadas pela ISO 8996, além de uma taxa metabólica de 165 W/m² ou 2,8 Met (correspondente à caminhada em superfície plana sem carga a 4 km/h) e isolamento térmico das roupas utilizadas (Clo) de 0.6.

3.5 Categorias de estresse térmico previstas pelo índice PET

Os resultados obtidos por meio das simulações do modelo *Rayman*® devem ser enquadrados numa escala de 7 classes de estresse térmico definido pelo índice PET, que varia de “muito quente” a “muito frio”. Para este estudo optou-se por utilizar a escala de sensação térmica proposta por Souza (2010) para a população da cidade de Salvador/BA, uma vez que esta cidade apresenta condições climáticas semelhantes às da cidade de João Pessoa, além do estudo também ser desenvolvido em uma praça. Estes valores de classificação serão apresentados na sessão 4.3.

¹ Iteração é um processo da álgebra de resolução de uma equação mediante operações em que sucessivamente o objeto de cada uma é o resultado da que a precede.

4. RESULTADOS

A seguir serão descritos os resultados obtidos na pesquisa:

4.1 Questionários aplicados aos usuários da praça

Na tabela 2 pode ser visto o resultado por variável pessoal dos questionários aplicados aos usuários da praça. Em sua maioria os entrevistados têm idade superior a 25 anos (32), são do sexo feminino (29) e não residentes do bairro (38). Quanto ao local da entrevista na área de estudo foram realizadas 20 na sombra, 7 a meia sombra e 16 em pleno sol. Referente à atividade desenvolvida pelos usuários até o momento da entrevista, estavam sentadas 16 pessoas, estavam em pé 3 pessoas e as que andavam no plano eram 24 pessoas.

Tabela 2 – Número de respostas por variáveis pessoais

Nº Respos. s.	Idade		Sexo		Reside no Bairro		Entrevista realizada			Atividade*		
	Menos 25 anos	Acima 25 anos	M	F	Sim	Não	Somb ra	Meia Somb ra	Pleno Sol	A	B	C
	11	32	14	29	5	38	20	7	16	16	3	24

*OBS: No campo Atividade, as letras A, B e C correspondem a, respectivamente: sentado, em pé parado e andando no plano.

No caso das variáveis sobre percepção térmica (Como você está se sentindo neste momento?), as respostas foram categorizadas em 7 pontos conforme a ISO 10551 (1995) : (+3) Com muito calor; (+2) Com calor; (+1) Levemente com calor; (0) Neutro; (-1) Levemente com frio; (-2) Com frio; e (-3) Com muito frio. Em relação à aceitação pessoal (De que maneira você se encontra nesse momento?), as respostas foram: confortável, razoavelmente confortável e desconfortável. Na pesquisa constatou-se que 75% dos entrevistados responderam que naquele momento sentiam muito calor, mesmo os que estavam na sombra. Quanto à aceitação pessoal, 42% dos entrevistados responderam que estavam desconfortáveis. Na figura 3 são apresentadas as respostas dos usuários da praça às perguntas de sensação térmica e nível de conforto.

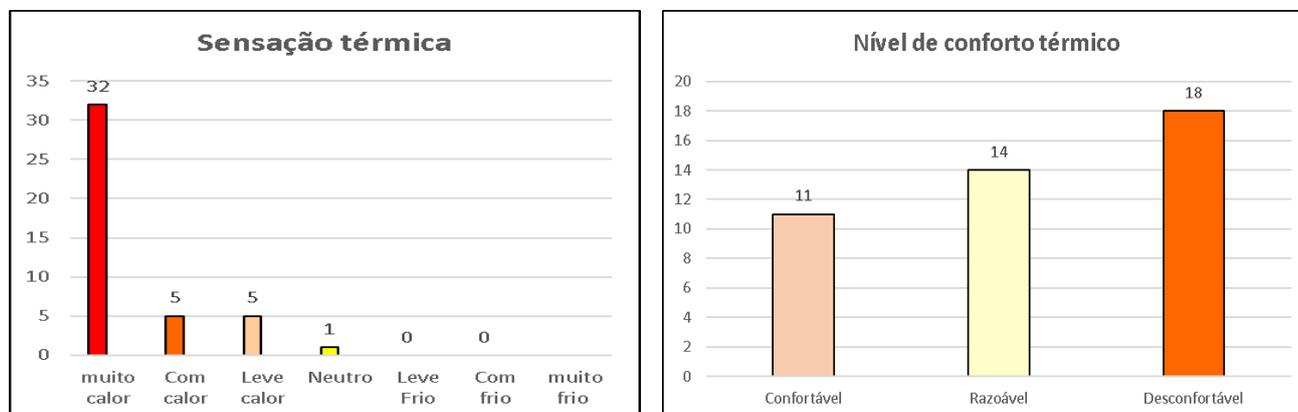


Figura 3 – Número de respostas dos usuários as questões de sensação térmica.

4.2 Temperatura do ar

Foram realizadas simulações no modelo ENVI_met® para os elementos climáticos, entre eles a temperatura do ar. Para este elemento geraram-se mapas temáticos e tabelas-síntese por meio da extensão LEONARDO® (BRUSE,2017) para os horários de 06:00h (hora do dia com o mais baixo valor de temperatura do ar), de 09:00h (meio da manhã e que apresenta uma movimentação significativa de transeuntes) e de 13:00h (hora do dia com o maior valor de temperatura do ar). A altura considerada para a leitura dos dados no modelo foi de 1,20 m que é próxima à altura padrão de medição das estações meteorológicas da rede OMM (Organização Mundial de Meteorologia).

Ao longo dos horários analisados nos mapas temáticos relativos à temperatura do ar, os resultados da simulação apresentaram valores distintos com uma considerável amplitude térmica (10,30°C). Os dados encontrados partiram de 23,73°C e alcançaram 34,03°C, durante as sete horas de registro. Isto pode ser devido às características térmicas dos materiais constituintes da área, em sua grande maioria piso de concreto com poucas áreas permeáveis (blocos intertravados nas extremidades) e edificações com paredes de alvenaria, que retém grande quantidade de calor ao longo das horas, além da pouca vegetação.

No mapa referente à espacialização da temperatura do ar às 06:00h da manhã (Figura 4a), encontram-se valores de 23,73°C a 25,19°C. Como o horário do nascer do sol ocorre por volta das 05:48h da manhã, a área não recebe uma quantidade de radiação solar significativa, o que resulta em valores baixos de temperatura do ar. Para coletar os dados no centro da praça para uma comparação horária utilizou-se de um receptor no modelo, que gera relatórios com as mais diversas informações climáticas. Desse modo, o valor registrado para o centro da praça foi de 24,64°C.

Os valores médios de temperatura do ar são encontrados no horário das 09:00h (Figura 4b). Têm-se temperaturas entre 27,22°C e 29,28°C. Em sua maioria as temperaturas estão na casa dos 28,0°C contudo, um trecho da área representada pela cor laranja contém temperaturas da ordem dos 29,0°C. Neste trecho situa-se a via asfaltada e que não recebe nenhum sombreamento das edificações adjacentes, o que pode justificar este valor mais elevado do mapa. No receptor 1 a temperatura do ar registrada é de 28,33°C.

Por fim, na figura 4 (c) é apresentada a espacialização da temperatura do ar às 13:00h, onde se encontram as temperaturas mais altas. Os valores registrados estão entre 30,92°C a 34,03°C, ocasionando a maior amplitude térmica entre horários analisados (3,11°C). O centro da praça (receptor 1) apresenta temperatura de 32,73°C e trechos da via asfaltada (cor escura do mapa) tem valores superiores a 34°C. Um dado interessante no mapa é registrado pela cor vermelha. Esta área pode estar recebendo influência do sombreamento causado pelo edifício mais alto da praça (51 m), diferente dos demais que tem altura mais baixa (média de 12 m).

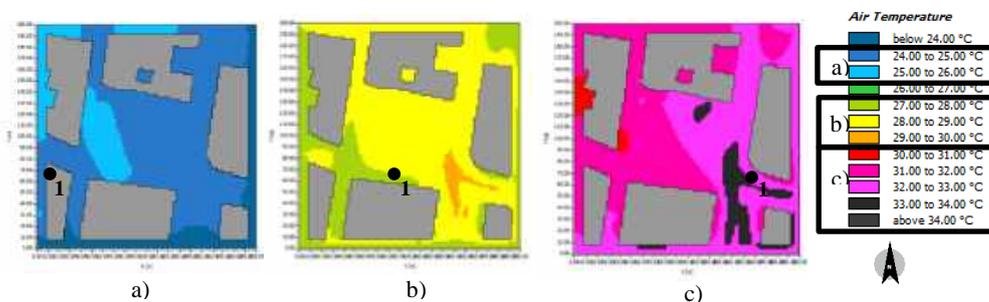


Figura 4 – Mapas de temperatura do ar (°C) da área de estudo. Horários: a) 06:00h; b) 09:00h; e c) 13:00h.

4.3 Umidade relativa do ar

Os valores da simulação da umidade relativa do ar são expressos em porcentagem (%) e estão apresentados na figura 5. O maior valor registrado foi de 90,01% e o menor registro de 50,34%, uma diferença de 39,67 pontos percentuais. Estes valores percentuais encontram-se dentro da faixa considerada ideal pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

No mapa temático referente a umidade relativa do ar às 06:00h da manhã (Figura 5d), encontram-se valores de 83,08% a 90,01%. O início das manhãs tende a ter valores superiores da umidade relativa devido à pouca ação da radiação solar nas superfícies e no ar atmosférico. No receptor 1 o valor registrado para o centro da praça foi de 85,54%.

Os valores médios da umidade do ar são encontrados no horário das 09:00h (Figura 5e). Tem-se a umidade relativa alcançando valores entre 66,83% e 74,68%. No mapa observa-se que a umidade relativa tem valor acima de 70% e que representa grande parte da área de estudo. Valores abaixo dos 70% são observados ao longo da via asfaltada, que já deve começar a acumular calor a ponto de interferir rapidamente na redução da umidade do ar ao longo de seu trecho. No receptor 1 do mapa a umidade relativa é de 70,53%.

Na figura 5 (f) é apresentada a umidade do ar às 13:00h, onde se registram os valores mais baixos. Os números estão entre 50,34% e 59,57%. O centro da praça (receptor 1) apresenta valor de umidade relativa de 55,29% (a maior parte da praça está com valores próximos a esta ordem) e trechos da via asfaltada (cor rosa do mapa) tem valores abaixo dos 55.00 %.

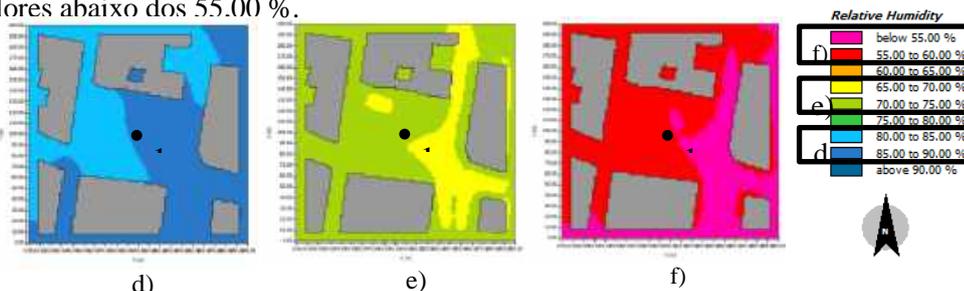


Figura 5 – Mapas de umidade relativa (%) da área de estudo. Horários: d) 06:00h; e) 09:00h; e f) 13:00h.

4.4 Análise do Índice PET

Para a determinação do índice PET com o uso do software Rayman® foram necessárias informações locais (dia, mês, ano, hora, latitude, longitude e altitude), assim como informações climáticas das simulações e variáveis pessoais. Para as informações climáticas foram utilizados os dados da temperatura e umidade relativa do ar encontrados nas simulações anteriores, especificamente os dados do receptor 1. Com isso, o software estimou os dados de pressão de vapor (hPa) e temperatura radiante média (°C), necessários para determinação do índice. Além destes, o isolamento térmico das roupas utilizadas (clo) foi estimado em 0.6 e a taxa metabólica (Met) foi considerada de 165 W/m². Na figura 6 são apresentados os valores de temperatura e umidade do ar para o receptor 1 ao longo do dia.

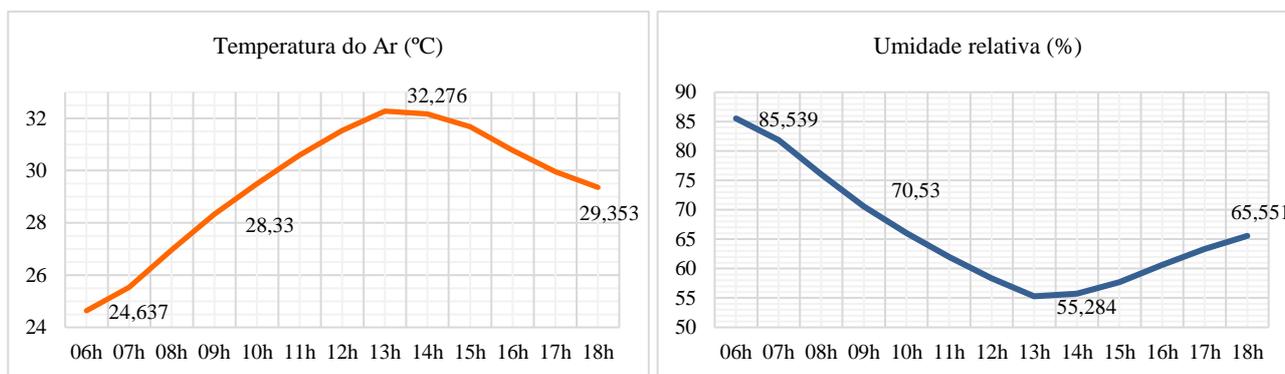


Figura 6 – Gráficos do comportamento da temperatura do ar e da umidade relativa.

Os valores de PET resultantes da análise são informados na tabela 4. As horas extremas da simulação apresentam os menores valores de PET-17,9°C e 24,5°C. Isto pode decorrer da reduzida ou inexistente quantidade de radiação solar na área de estudo. Os demais horários apresentam valores muito superiores - 37,9°C, 43,6°C e 42,3°C. Observa-se também que a temperatura do ar e a temperatura radiante média também seguem a mesma lógica de comportamento ao longo das horas.

Tabela 4 – Análise do índice PET ao longo das horas.

Data	Dia Ano	Hora h:m	Ta °C	Trm °C	PET °C
16.3.2019	75	06:00	24,6	16,3	17,9
		09:00	28,3	56,2	37,9
		13:00	32,3	59,7	43,6
		15:00	31,7	58,4	42,3
		18:00	29,4	21,0	24,5

4.5 Relação da sensação térmica com a classe climática urbana.

Aplicando-se a classificação de sensação térmica proposta por Souza (2010) à cidade de Salvador nos valores encontrados do índice PET desta pesquisa (Tabela 5), pode-se perceber que na hora inicial e final da análise, onde a incidência solar é quase nula, temos valores de PET abaixo de 27°C, levando a uma sensação térmica de conforto e enquadramento na classe 0. Contudo, para os demais horários, que são os mais utilizados pelos transeuntes da praça, os valores de PET foram superiores a 34°C, ocasionando a sensação térmica de muito calor e classificação +3.

Tabela 5 – Índice PET (°C) do estudo e a correspondente classificação proposta por Souza (2010) para Salvador/BA.

Data	Hora h:m	PET °C	Classificação Souza (2010)		
			PET (°C)	Sensação Térmica	Classes
16.3.2019	06:00	17,9	< 27	Conforto	0
	09:00	37,9	>34	Muito Calor	+3
	13:00	43,6	>34	Muito Calor	+3
	15:00	42,3	>34	Muito Calor	+3
	18:00	24,5	< 27	Conforto	0

Com esta classificação é possível fazer um comparativo com o determinado pelo mapa climático urbano da cidade de João Pessoa (tabela 6). Na classificação proposta do mapa, a praça Vidal de Negreiros enquadra-se na classe climática 8, que define áreas com impacto muito forte no conforto térmico de forma negativa. Desse modo, para iniciar a comparação tomou-se a classe de sensação de conforto neutra (valor 0)

em ambas classificações como idênticas, uma vez que não interferem no equilíbrio do conforto térmico dos transeuntes.

Na sequência, as categorias de PET propostas por Souza (2010) de valor +2 e +3 foram correlacionadas às classes climáticas 6 e 8 do mapa climático, respectivamente. Isto foi necessário devido aos seguintes aspectos:

- A classificação proposta para Salvador emprega uma escala menor de sensações, justificada por ser difícil quantificar as sensações do tipo “moderada ou forte”;
- As classes climáticas de João Pessoa decorrem do agrupamento de áreas da cidade com características físicas e climáticas homogêneas, e devido à vasta quantidade de informação, gera-se uma classificação com escala maior.

Quanto às classes relacionadas à sensação térmica frio, não há registros suficientes encontrados por Souza (2010) para determiná-lo, assim as duas últimas classes do mapa não podem ser comparadas.

Uma vez que a área de estudo se enquadra na classe +3 (muito calor) das categorias de PET de Salvador, de acordo com o comparativo das classes dos estudos a praça continua a ser enquadrada na classe climática 8 (muito calor) do MCU.

Tabela 6 – PET e a correspondente classe climática proposta para o MCU de João Pessoa/PB.

Categorias de PET proposta por Souza (2010) para Salvador/BA.									
	+3		+2		+1	0	-1	-2	-3
Sensação térmica	Muito Calor	-	Calor	-	Leve Calor	Conforto	Leve Frio	Frio	Muito Frio
PET (°C)	>34	-	29 - 34	-	27 - 29	< 27	-	-	-
Classes climáticas proposta por Souza (2010) para o MCU de João Pessoa/PB.									
Classes	8	7	6	5	4	3	2	1	-
Sensação térmica	Muito Calor	Forte Calor	Calor Moderado	Moderado Calor	Leve Calor	Neutro	Leve Frio	Frio	-

5. CONCLUSÕES

A calibração de mapas de clima urbano requer um número significativo de dados climáticos e físico-geográficos locais, conhecimento a respeito da sensação térmica da população, tempo expressivo para tratamento e processamento das informações e recursos computacionais adequados. É um processo que se torna contínuo, visto a complexa dinâmica do clima, das sensações humanas e das transformações urbanas.

O local analisado mostrou-se favorável a elevação da temperatura do ar, a redução da umidade relativa do ar e ao desconforto térmico de seus usuários em grande parte do dia. As entrevistas de sensação térmica constataram que a maioria dos usuários sente muito calor mesmo em áreas sombreadas, contudo um número significativo de pessoas respondeu que se sentia confortável ou neutro, o que pode indicar uma certa tolerância do corpo à situação de estresse térmico.

O emprego das ferramentas de simulação computacional mostrou-se eficaz, o que facilitou o entendimento da dinâmica dos elementos climáticos ao longo do tempo e espaço, assim como para a obtenção de informações necessárias a pesquisa. Diante do método empregado, as variáveis termohigrométricas foram utilizadas como parâmetro de referência e os resultados foram tratados como indicadores de tendências. Desse modo, observou-se que o desconforto térmico acontece em momentos onde se registram valores de temperatura do ar acima dos 28°C e de umidade relativa do ar abaixo dos 60%.

A sensação térmica dos transeuntes pôde ser valorada pelo índice PET e apresentou uma grande amplitude. Ainda que se encontrem horários com uma situação climática adequada ao conforto (06:00h e 18:00h), o desconforto térmico nos demais horários analisados é muito acima do considerado desejável ao bem-estar humano. Aplicando a classificação de sensação térmica de Salvador aos resultados do índice, o limite de temperatura confortável de 27° é superado em pelo menos 10,9°C nos horários mais quentes.

Por fim, utilizando como parâmetro o resultado do enquadramento da praça Vidal de Negreiros nas categorias de PET de Salvador e correlacionando-a às classes do MCU de João Pessoa, verifica-se que a área ainda se enquadra na classe 8 de sensação térmica “muito calor”. Observando esta correlação conclui-se que esta classe climática representa adequadamente a área de muito calor, assim não se faz necessário uma calibração neste momento, ou seja, uma mudança nos valores de escala de sensação térmica ou um possível reagrupamento de classes.

A análise de outras áreas da cidade de João Pessoa faz-se necessária para uma calibração completa das classes climáticas do MCU, mas o método proposto neste estudo pode auxiliar neste processo, assim como

contribuir em pesquisas que busquem compreender relações entre a dinâmica do clima e a sensação de conforto higro-térmico humano em espaços urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, M. P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica: procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 1992.
- AMBROSINI, D.; GALLI, G.; MANCINI, B.; NARDI, I.; SFARRA, S.; Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the envi_met® climate model. **Sustainability - Open Access Journal** 2014,6,7013-7029; doi:10.3390/su6107013.
- ANJOS, M.W.B. **Orientações climáticas para o planejamento urbanos numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju – SE.** Tese (Doutorado) Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa. Portugal (2017).
- BRUSE, M. Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System, in: Wittkopf, St. and Tan, B. K. (eds.): **Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA**, p.699-706. 2007.
- CARVALHO, H. J. M; **Metodologia para análise das interações entre forma urbana e o clima: aplicação a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude.** Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- ENVI-Labs. **Available online:** www.envi-met.com/labstart.htm (accessed on 01 September 2018).
- FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. **Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil.** Artigo apresentado no 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Maceió – Brasil. 2016.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** Nova Iorque: ITP, 1998
- HIRASHIMA, S. Q. S; FERREIRA, D. G. ; ASSIS, E. S. ; KATZSCHNER, L. Evaluation of the PET thermal comfort index calibration methods used in Brazil. In: PLEA - Passive Low Energy Architecture: Design to Thrive, 2017, Edinburgo. **Proceedings of 33rd PLEA International Conference**, 2017. v. I. p. 1124-1131.
- HÖPPE, P., 1999: The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Int. J. Biometeor** 43, 71-75.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996: Ergonomics of the thermal environments: Determination of thermal metabolic rate.** Genève: ISO, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551: Ergonomics of the thermal environments: Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.** Genève: ISO, 1995.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Dados Observacionais.** 2017. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, p. 119-133, 2006.
- KATZSCHNER, L.; MÜLDER, J. Regional climatic mapping as a tool for sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 262-267, 2007.
- MATZARAKIS, A., MAYER, H., and IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, **Int. J. Biometeorology**. 43: 76-84, 1999.
- MONTEIRO L. M. **Modelos Preditivos de Conforto Térmico: Quantificação de relação entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos.** Tese (Doutorado) Programa de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2008.
- NERY, J.; FREIRE, T.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. (2006) Thermal comfort studies in a humid tropical city. Preprints of the 6th International Conference on Urban Climate – ICUC, 6. Göteborg, 234-237.
- NG, E. (ED), REN, C. (Ed). (2015). **The Urban Climatic Map.** London: Routledge, <https://doi.org/10.4324/9781315717616>.
- OKE, T., MILLS, G., CHRISTEN, A., & VOOGT, J. (2017). **Urban Climates.** Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139016476.
- PRATA-SHIMOMURA, A. R., LOPES, A. S. E CORREIA, E. (2015) Urban Climatic Map Studies in Brazil: Campinas. In: Ng, E. e Ren, C. (Editors). **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning.** 1ed. Taylor & Francis Group, New York, NY.
- REN, C., NG, E. E KATZSCHNER, L. (2011) Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, 31, 2213–2233.
- ROSSI, F A.; KRÜGER, E L.; NIKOLOPOULOU, M A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. Anais... Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM
- SOUZA, S.H.M. (2010). **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA,** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós- graduação em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador,
- SOUZA, V.S. (2010). **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB.** Dissertação (Mestrado) Programa de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- SILVA, C.F. **O Conforto Térmico de Cavidades Urbanas: contexto climático do Distrito Federal.** Tese (Doutorado) Programa de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2013.
- SILVA, I. C. S; **Índice Ambiental urbano: uma contribuição ao estudo do planejamento e do conforto térmico em espaços abertos.** Tese (Doutorado) Programa de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.