



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida

Joel Silva dos Santos¹; Vicente de Paulo Rodrigues da Silva²; Eduardo Rodrigues da Silva³; Lincoln Eloi de Araújo⁴; Angelina Dias Leão Costa⁵

¹Professor da UFPB\Campus IV\Rio Tinto\Paraíba\Brasil - joelgrafia.santos@gmail.com; ²Professor da UFCG\Campina Grande\Paraíba\Brasil - vicente@dca.ufcg.edu.br; ³Professor da UFPB\Campus I\João Pessoa\Paraíba\Brasil - eduvianalima@gmail.com; ⁴Professor da UFPB\Campus IV\Rio Tinto\Paraíba\Brasil - lincolnloi@yahoo.com.br; ⁵Professora da UFPB\Campus I\João Pessoa\Paraíba\Brasil - angelinadlcosta@yahoo.com.br

Artigo recebido em 25/09/2012 e aceito em 26/09/2012

RESUMO

As alterações ocorridas no sistema climático urbano das grandes cidades são processos relacionados ao adensamento urbano e às diferentes formas de uso e cobertura do solo. O objetivo deste trabalho foi analisar o campo térmico urbano e a sua relação com as diversas formas de uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida, especificamente a cidade de João Pessoa, PB. As medições da temperatura do ar e umidade relativa foram realizadas em dois períodos distintos de três meses (seco e chuvoso), utilizando-se termo-higrômetro da marca Hobos em nove pontos representativos da malha urbana de cidade. O nível de estresse térmico foi avaliado com base no índice de desconforto de Thom (IDT) para regiões tropicais, ajustado através de questionários de avaliação da sensação térmica das pessoas nos pontos monitorados. O teste de Mann-Kendall foi utilizado para avaliar a tendência temporal das séries climatológicas de temperatura, umidade relativa do ar e do IDT no período de 1963 a 2011. Os tipos de cobertura de solo de cada ponto monitorado foram classificados dentro de nove classes de acordo com a percentagem de vegetação e de materiais permeáveis e impermeáveis utilizando métodos quantitativos e qualitativos. Os resultados do trabalho indicam que a faixa de classificação do índice de desconforto de Thom não é apropriada para regiões tropicais úmidas. A ilha de calor urbano é um fenômeno que ocorre preferencialmente durante o período noturno enquanto a intensidade máxima dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar são fenômenos essencialmente diurnos. Os cenários dos níveis de conforto térmico indicam condições de forte desconforto ambiental para os anos de 2050 e 2060 durante o período seco e desconfortável para o período chuvoso no ano de 2060 em toda área de estudo.

Palavras chaves: clima urbano, conforto térmico, ilha de calor, gradiente de temperatura.

Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City

ABSTRACT

The changes in the urban climate system in great cities are processes related to urban density and the different forms of use and land cover. The objective of this study was to analyze the thermal urban field and its relation to the various forms of use and land cover in a humid tropical city, specifically Joao Pessoa city, PB, Brazil. Measurements in air temperature and relative humidity were carried out in two distinct periods of three months (dry and wet seasons), using thermo-hygrometer Hobos located in nine representative areas of the city. The level of heat stress was evaluated based on Thom's discomfort index (IDT, in Portuguese), adjusted for tropical regions based on questionnaires for assessing the thermal sensation that people have in function to the parameters that determine the environment in which they live. Mann-Kendall test was used to assess the temporal trends of time series in temperature, relative humidity and IDT for the period from 1963 to 2011. The types of ground cover of each monitored point were classified into nine classes according to the percentage of vegetation coverage and permeable and impermeable materials by utilizing both qualitative and quantitative methods. The results of the study indicated that the classification range of the Thom's discomfort index is not suitable for humid tropical regions. The urban heat island is a phenomenon that occurs preferentially during the night while the maximum intensity of the temperature and relative humidity gradients are essentially diurnal phenomena. The scenarios of the thermal comfort levels indicated a strong discomfort for the 2050 and 2060 years during the dry season and uncomfortable condition during the rainy season in the 2060 year throughout the study area.

Keywords: urban climate, thermal comfort, heat island, temperature gradient.

* E-mail para correspondência:
joelgrafia.santos@gmail.com (Santos, J. S.).

1. Introdução

O ser humano, ao longo da sua existência, sempre manteve uma relação de dependência com a natureza. Ao longo dos diversos modos de produção, as diferentes culturas imprimiram marcas no espaço geográfico, alterando o equilíbrio dos diversos sistemas ambientais. A crise ambiental vivenciada pela sociedade pós-moderna pode ser entendida como sendo resultado do tripé: crescimento populacional, consumo energético e geração de resíduos, caracterizando, assim, a poluição e degradação do ambiente. Como resultado dessa crise, encontra-se a queda da qualidade de vida das populações, bem como os inúmeros problemas ambientais que afetam as mais diversas regiões do globo terrestre (Braga et al., 2005).

Dentre os vários sistemas ambientais, o atmosférico vem sendo um dos mais afetados nesses últimos séculos, principalmente no que diz respeito ao seu estado de equilíbrio dinâmico, pois segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), os diversos gases do efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis e das mais diversas atividades antrópicas têm alterado significativamente a composição química desse sistema, colaborando para a elevação das temperaturas médias do planeta e gerando inúmeros problemas com implicações socioambientais para a sociedade em geral. Sendo assim, os centros

urbanos acabam sendo áreas potenciais a esses problemas, pois o calor antropogênico oriundo das diversas atividades desenvolvidas nessas áreas, associado ao aumento das temperaturas médias globais acaba por alterar as condições de conforto térmico nesses ambientes, gerando consequências diretas na qualidade de vida das populações (Silva et al., 2010). A partir da Revolução Industrial na Inglaterra, tais problemas passaram a ser monitorados e tornaram-se cada vez mais alvo de vários estudos, envolvendo temas relacionados à compreensão da dinâmica do clima urbano e sua relação com o uso e cobertura do solo nesses ambientes.

As diferenciações no uso e cobertura do solo associadas à dinâmica climática local geram implicações socioambientais em ambientes urbanos, onde os elementos naturais foram transformados segundo os interesses e a necessidade da sociedade pós-moderna capitalista. As mudanças na paisagem, através das diversas formas de uso e ocupação do solo, têm gerado transformações significativas na dinâmica climática de áreas urbanas. A formação de ilhas de calor, inversão térmica, poluição atmosférica, dentre outros processos ocasionados pela ação antrópica em função de transformações ocorridas no balanço de energia das cidades, têm comprometido cada vez mais a qualidade de vida das populações que residem nesses ambientes. Isso tem aberto um leque de discussões a respeito do

estudo do clima urbano como subsídio ao planejamento e a gestão ambiental em áreas urbanas. Assim, no estudo do clima urbano, faz-se necessário compreender a análise complexa da interação de vários elementos que compõem a paisagem geográfica e sua interação com os elementos climáticos da área de investigação. Dessa forma, compreender o ambiente térmico urbano requer um conhecimento complexo de uma gama de fatores que envolvem o clima e a apropriação do espaço geográfico.

A compreensão da dinâmica climática em áreas urbanas, especificamente do seu campo térmico, se constitui em objeto de pesquisa imprescindível para o planejamento e a gestão ambiental de áreas urbanas. Como o clima pode ser considerado um recurso natural indispensável à manutenção da vida e às atividades econômicas, seu estudo tornou-se de extremo valor à sociedade moderna, cuja população se concentra em sua maioria nos centros urbanos e sofrem diretamente os efeitos das alterações climáticas locais e também globais. Alterações no campo térmico do sistema climático urbano de várias cidades têm provocado uma série de problemas como: aumento das temperaturas médias do ar, desconforto térmico e a formação de ilha de calor urbana, que têm comprometido cada vez a qualidade de vida das populações residentes nessas ambientes.

A carência de estudos interdisciplinares e holísticos sobre a

dinâmica climática da periferia urbana do município de João Pessoa/PB, relativos aos diversos campos de estudo da climatologia urbana (termo-higrométrico, físico-químico e hidro-meteorológico) tem deixado lacunas para os planejadores, que necessitam de informações sobre o ambiente urbano, principalmente no que se refere à dinâmica climática local. O rápido crescimento da cidade, bastante perceptível nas últimas décadas, a crescente especulação imobiliária e a transformação de espaços naturais em arranjos artificiais tem agravado a qualidade de vida e a degradação ambiental em várias áreas do município, principalmente naquelas desprovidas de serviços básicos de saneamento e infra-estrutura urbana. É diante desse contexto, que esta pesquisa apresenta o estudo do clima urbano, especificamente a compreensão do uso e cobertura do solo no campo térmico da cidade de João Pessoa, PB. O estudo adquire relevância com a possibilidade de contribuir para a elaboração de políticas públicas de direcionamento e planejamento urbano da cidade com vistas ao ordenamento do uso do solo urbano, a preservação dos espaços verdes e a atenuação dos problemas socioambientais vivenciados pela população residentes na área de estudo. Dessa forma, a hipótese principal da presente pesquisa supõe que as diferentes formas de uso e cobertura do solo com o processo de urbanização têm provocado alterações no campo térmico do clima urbano da cidade de

João Pessoa/PB, gerando assim, desconforto e formação de ilha de calor urbano com implicações na qualidade de vida da população. Os objetivos do trabalho são apresentados a seguir:

1.1 Geral: analisar o campo térmico e a sua relação com as diversas formas de uso e cobertura na cidade de João Pessoa, PB.

1.2 Específicos: (i) avaliar a tendência temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do nível de conforto térmico da cidade de João Pessoa, PB; (ii) identificar as principais áreas da cidade com diferenciações microclimáticas; (iii) verificar a intensidade da ilha de calor no perímetro urbano da área de estudo; (iv) determinar os gradientes de temperatura e umidade do ar na malha urbana da cidade de João Pessoa, PB; (v) ajustar o índice de conforto térmico

de Thom à área de estudo; e (vi) gerar cenários futuros de conforto térmico para a cidade de João Pessoa, PB.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

O município de João Pessoa/PB está localizado no Litoral Oriental da Região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas 7 graus 14'29" Latitude Sul/ 34 graus 58'36" de Longitude Oeste e 7 graus 03'18" de Latitude Sul/34 graus 47'36" de Longitude Oeste. A cidade apresenta os seguintes limites municipais: ao Sul limita-se com o município do Conde, a Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao Norte como município de Cabedelo e ao Leste limita-se com o Oceano Atlântico. (Figura 1).

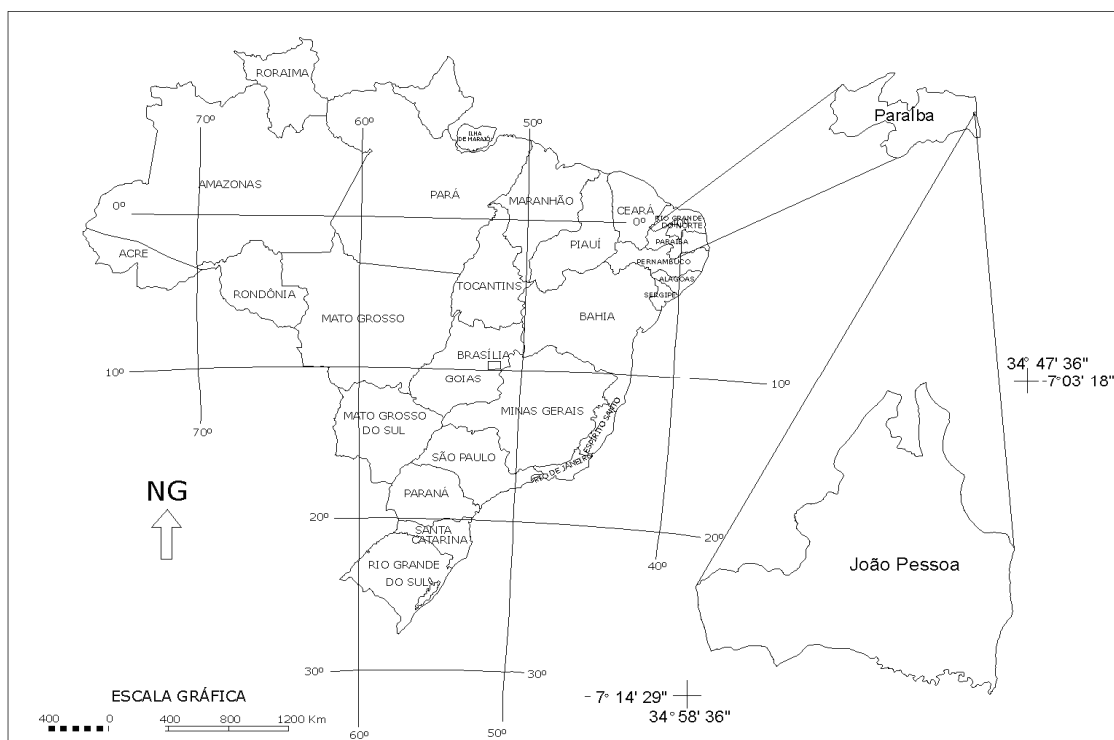


Figura 1. Localização da área de estudo

A cidade permanece durante todo o ano dentro da influência dos ventos alísios de sudeste. Apenas com chegada dos meses mais quentes, eles tem sua frequência alterada através dos ventos de leste e de nordeste (ventos alísios) e da Zona de Convergência Tropical (Silva, et al., 2009).

A sua baixa amplitude térmica anual é favorecida pelo efeito da maritimidade e sua posição latitudinal, que favorece um balanço térmico positivo permanente. Apenas duas estações climáticas são bem definidas ao longo do ano - uma estação marcada pelas chuvas, que inicia-se em março e termina em agosto, e outra com poucas chuvas durante o resto do ano. A umidade relativa do ar média anual é de 80 % entre os meses de maio a julho, atingindo o índice máximo em 87% no período correspondente a estação chuvosa. No período mais seco, a umidade relativa do ar cai para os 68% correspondendo ao período das estiagens. Na cidade destaca-se também, o relevo com baixas altitudes em relação ao nível do mar e remanescentes de Mata Atlântica espalhadas ao longo de sua área territorial (Silva, 1999).

Para a realização da pesquisa foram definidos dez pontos dentro do perímetro urbano da cidade de João Pessoa-PB (Figura 2) visando o monitoramento climático das variáveis: temperatura e umidade relativa do ar. As medições foram realizadas em dois períodos distintos: seco e chuvoso, utilizando-se de equipamento termo-

higrômetro da marca Hobos espalhados em nove pontos representativos da malha urbana de cidade durante 06 meses (três para cada período observado). O outro ponto de monitoramento observado foi a Estação Meteorológica do INMET localizado às margens da Br 230 da capital paraibana. Para esse ponto de monitoramento foram utilizados os dados da série climatológica disponível pela estação meteorológica, compreendido entre o período de 1963 a 2011. O teste de Mann-Kendall foi utilizado para avaliar a tendência temporal das séries climatológicas de temperatura, umidade relativa do ar e do IDT no período de 1963 a 2011 para a cidade de João Pessoa-PB.

A Figura 2 apresenta as localizações dos nove pontos selecionados para o estudo em função das suas diferenciações quanto ao uso e cobertura do solo dentro do espaço intra-urbano da cidade de João Pessoa, PB.

Essa Figura também exhibe a localização da Estação Meteorológica do INMET de onde foram coletados os dados para a análise das séries temporais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar. O embasamento cartográfico, ou seja, a setorização dos ambientes geográficos diferenciados em função do uso e cobertura do solo foi realizada através do mapeamento das amostras experimentais.

Para medição das variáveis em todos os pontos do experimento, foi determinado para cada unidade climática local um raio de 150m da localização do ponto de coleta, nas

direções norte e oeste (Katzschner et al., 2002) e um raio de 350m nas direções leste e sul, de maneira que se obtenha o valor total de 500 m que correspondesse à medida de 0,5 km defendida por Oke (2004). Tal procedimento objetiva analisar a importância

da ventilação como um elemento de controle climático para o campo térmico da área. Dessa forma, foi determinada a análise numa área total de 0,21 km² no entorno de cada ponto analisado, conforme detalhado na Figura 3.

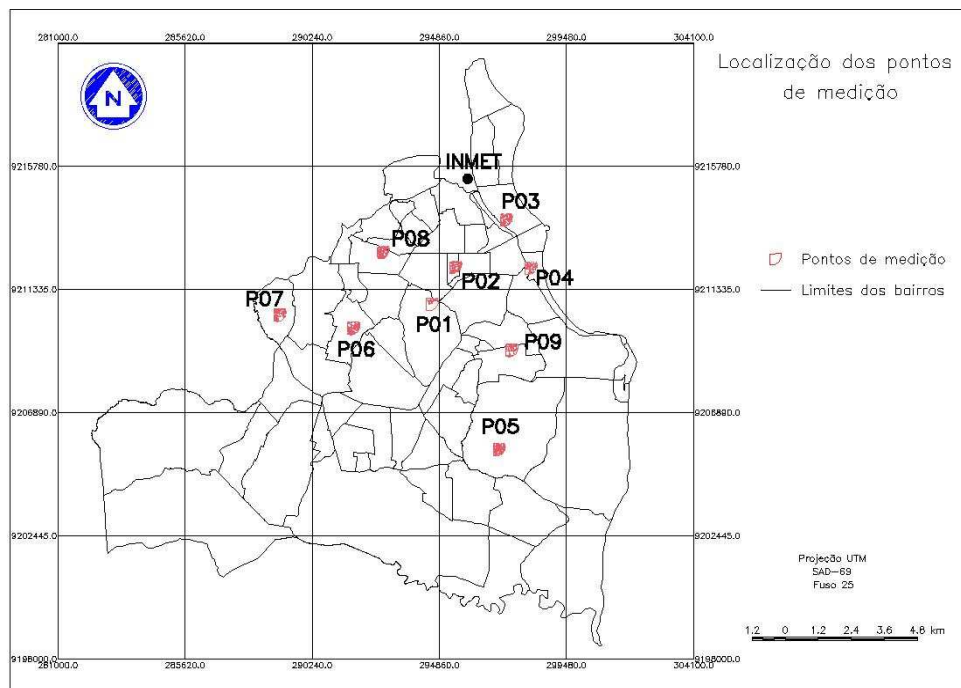


Figura 2. Localização dos pontos de medições e da Estação Meteorológica do INMET no perímetro urbano da cidade de João Pessoa. Mata do Buraquinho (P01), Bairro Expedicionários (P02), Bairro Manaíra (P03), Bairro Cabo Branco (P04), Bairro Manguabeira (P05), Bairro Cruz das Armas (P06), Bairro Alto do Mateus (P07), Bairro Centro (P08) e Bairro dos Bancários (P09). As coordenadas geográficas estão no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), fuso 25.

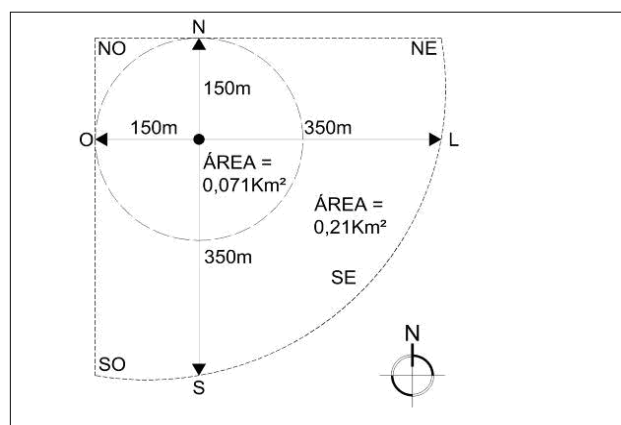


Figura 3. Área de análise de cada ponto de coleta durante os dois períodos experimentais: período seco e chuvoso (Fonte: Costa, 2007)

Os tipos de cobertura de solo de cada ponto monitorado foram classificados dentro de nove classes de acordo com a percentagem de vegetação e de materiais permeáveis e impermeáveis utilizando métodos quantitativos e qualitativos.

Para a avaliação do estresse térmico da população foi utilizado o índice de Thom (1959). O IDT oferece uma medida razoável do grau de desconforto para várias combinações de temperatura e umidade relativa do ar, expresso em graus Celsius, e pode ser obtido pela seguinte equação:

$IDT = T - (0,55 - 0,0055 UR)(T - 14,5)$ em que T é a temperatura do ar (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%). Na

caracterização do nível de desconforto térmico, utiliza-se a classificação apresentada na Tabela 1 (Giles et al., 1990). Entretanto, a faixa de variação dos níveis de conforto térmico expresso por esse índice foi ajustada às condições climáticas da área de estudo. Para tanto, foram realizadas entrevistas na área de estudo com base em questionários para coletar informações sobre a sensação térmica da população local (confortável, desconfortável e parcialmente confortável). Vale salientar que foram aplicados 300 questionários para ajustar o índice de Thom para a cidade de João Pessoa-PB.

Tabela 1. Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT)

Faixas	IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 21,0	Sem desconforto
2	21,0 ≤ IDT < 24,0	Menos de 50% da população sente desconforto
3	24,0 ≤ IDT < 27,0	Mais de 50% da população sente desconforto
4	27,0 ≤ IDT < 29,0	A maioria da população sente desconforto
5	29,0 ≤ IDT < 32,0	O desconforto é muito forte e perigoso
6	IDT ≥ 32,0	Estado de emergência médica

Fonte: Giles et al. (1990)

Para o cálculo da intensidade da ilha de calor urbana na cidade de João Pessoa-PB foi utilizado como ponto de referência, o ponto 01 da cidade, uma área de reserva florestal conhecida como Mata do Buraquinho que apresenta condições semelhantes a um ambiente rural.

3. Resultados e Discussão

3.1 Médias das temperaturas e umidade relativa do ar nos pontos monitorados

De acordo com os dados analisados referentes às médias diárias dos pontos experimentais, verifica-se que os pontos 03 e 04 (Tabela 5) são os que apresentam as

maiores temperaturas médias diárias, menores taxas de umidade relativa do ar e maior desconforto térmico. Destaca-se, nos dois pontos, a semelhança das características do entorno que é caracterizado por materiais que possuem propriedades térmicas de absorção e retenção de calor (Tabela 4) contribuindo assim, para o aumento da temperatura e o decréscimo das taxas de umidade relativa do ar. Verifica-se também como característica dos dois pontos, a ausência de sombreamento e conseqüentemente o aumento do número de horas de insolação que incide sobre eles. Hwang et.al., (2011) em estudo realizado na região central de Taiwan destaca o efeito do sombreamento sobre as condições de conforto térmico. Para os autores, o fator visível do céu, bem como, as horas de insolação e o sombreamento dos pontos, são fatores que conjugados contribuem para alterar as variáveis: temperatura, umidade relativa do ar e níveis de desconforto térmico. Duarte (2010) em pesquisa realizada em Manaíra, bairro onde está localizado o ponto 03, avalia a correlação entre o comportamento da temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, com a presença de vegetação (sombreamento) associada às características morfológicas do meio urbano, e chega a resultados semelhantes, destacando que outros fatores como fator de céu visível, horas de insolação, bem como, as características do entorno e a velocidade do

vento, exercem maior influencia sobre o aumento da temperatura do ar do que a proximidade da vegetação existente. A pesquisa foi desenvolvida na Praça Silvio Porto, e neste caso, a vegetação não se constitui na principal variável para a amenização climática local. Ela contribui apenas pontualmente através do seu sombreamento, diferentemente do que ocorre na Mata do Buraquinho ponto de referencia da pesquisa.

No caso da Mata do Buraquinho (ponto 01), a vegetação exerce papel significativo para a redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar (Tabela 4). A vegetação neste caso, contribui para a amenização climática e serve como um regulador térmico condicionando um melhor índice de conforto térmico para o ambiente. O Ponto 01 de referência (Mata do Buraquinho) apresenta as menores temperaturas, os valores mais altos relativos à umidade relativa do ar e melhores índices de conforto térmico nos períodos investigados (seco e chuvoso) com relação aos demais pontos de observação, conforme a Tabela 5. Outros estudos também apontam para esta perspectiva. Amorim (2011) em estudo realizado em alguns pontos experimentais adjacentes ao entorno da Mata do Buraquinho, destaca o papel dessa cobertura vegetal para a amenização climática local. O autor afirma que a mata exerce influencia no campo térmico dos pontos monitorados no entorno da reserva

florestal contribuindo para a amenização climática e melhor conforto térmico. Estudo similar também foi realizado em Recife por Nóbrega & Vital (2010) demonstrando a influencia da Reserva Dois Irmãos nas condições microclimáticas da Av. Conde da Boa Vista, onde apontam para esta perspectiva. Os autores chegaram à conclusão de que a cobertura vegetal dessa reserva favorece as melhores condições de conforto térmico e a redução das temperaturas médias do ar, além do aumento da umidade relativa no ponto de referência.

Os autores afirmam que o aumento da urbanização e a redução da cobertura vegetal contribuem positivamente para a formação de ilha de calor urbano e desconforto térmico na área de estudo.

Com relação aos demais pontos, todos apresentam valores semelhantes relativos a umidade relativa do ar e as médias diárias das temperaturas. A umidade relativa do ar, assim como, as temperaturas médias diárias, sofreram pequenas oscilações entre o período seco e chuvoso e obtiveram valores distintos do ponto de referência, Mata do Buraquinho. Dessa forma, pode-se afirmar que as diferentes formas de uso e cobertura do solo exercem influencia direta

nas condições microclimáticas locais (Tabelas 4 e 5).

3.2 Índice de desconforto térmico

Com relação ao IDT, todos os pontos (Tabela 5) apresentaram índice de desconforto térmico oscilando entre parcialmente confortável e desconfortável no período seco, à parcialmente confortável à desconfortável no período chuvoso. Dessa forma, verifica-se que as características do entorno de cada ponto, em função do uso e cobertura do solo (Tabela 4), exercem influencia sobre o aumento do desconforto térmico dos pontos monitorados.

A Tabela 2, expressa o índice de Thom ajustado para a cidade de João Pessoa-PB. As entrevistas realizadas com base em questionários aplicados nos dois períodos de monitoramento para coletar informações sobre a sensação térmica dos cidadãos pessoenses resultaram no ajuste das faixas de conforto térmico do índice de Thom para a área de estudo, conforme exhibe a Tabela 2. Constatou-se, portanto, que os valores do índice de Thom ajustado indicam níveis de conforto significativamente diferentes daqueles propostos por Giles et al. (1990) expresso na Tabela 1.

Tabela 2. Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) ajustado às condições climáticas da cidade de João Pessoa

Faixas	IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 24,0	Confortável

continuação		
2	$24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$	Parcialmente confortável
3	$26 < \text{IDT} < 28,0$	Desconfortável
4	$\text{IDT} \geq 28,0$	Muito desconfortável

O IDT não ajustado apresentado na Tabela 1 (Giles et al., 1990) indica sensação térmica desconfortável para a área de estudo apenas a partir de 27°C, enquanto o IDT ajustado indica sensação de desconforto a partir de 26°C. Essa diferença aparentemente pequena, de apenas 1°C, é particularmente significativa, principalmente na cidade de João Pessoa, ou em qualquer cidade litorânea, onde a umidade relativa combinada com temperaturas elevadas contribuem para elevar o grau de desconforto térmico.

As quatro classes de IDT ajustado expressam os efeitos das alterações do campo térmico urbano na sensação do

conforto térmico ambiental da população de João Pessoa, PB. Como os questionários foram aplicados em todos os pontos experimentais que representam as diferentes formas de uso e cobertura do solo, afirma-se que o IDT ajustado, expressa de forma confiável as condições climáticas de estresse térmico da população.

3.3 Intensidade da ilha de calor urbana

A ilha de calor urbano para a cidade de João Pessoa oscilou entre 3,33 e 5,32 °C sendo os pontos 03, 04 e 09 os que apresentaram as maiores intensidades conforme a Tabela 3 abaixo:

Tabela 3. Dia e hora da ocorrência da intensidade máxima de ilha de calor urbano (IICU), média horária, em cada ponto analisado durante os períodos seco e chuvoso em João Pessoa, PB. P02 = Expedicionários, P03 = Manaíra, P04 = Cabo Branco, P05 = Mangabeira, P06 = Cruz das Armas, P07 = Alto do Mateus, P08 = Centro e P09 = Bancários

Pontos	Dia	Hora	IICU (°C)
Período seco			
P02	28/02/11	22:00:00	3,51
P03	13/03/11	06:00:00	5,32
P04	13/03/11	04:00:00	4,95
P05	19/02/11	06:00:00	3,33
P06	03/02/11	08:00:00	3,91
P07	03/02/11	09:00:00	3,35
P08	28/02/11	23:00:00	3,59

continuação			
P09	03/02/11	08:00:00	4,11
Período chuvoso			
P02	08/05/11	04:00:00	2,98
P03	08/05/11	05:00:00	3,95
P04	08/05/11	05:00:00	4,34
P05	07/01/11	06:00:00	3,74
P06	07/06/11	15:00:00	3,55
P07	27/06/11	12:00:00	4,02
P08	07/06/11	15:00:00	3,15
P09	07/01/11	06:00:00	3,64

A maior intensidade foi registrada nesse período no ponto P03 (Manaira) no dia 13 de março de 2011, às 6h; enquanto a menor IICH ocorreu no ponto P05 (Mangabeira), no dia 19 de fevereiro de 2011, também às 6h. Kolokotroni & Giridharan (2008) encontraram intensidade de ilha de calor urbano um pouco superior aquela relatada neste estudo quando analisaram o clima urbano de Londres. Esses autores encontraram IICU de 8,6 °C durante noites de céu claro com velocidade do vento inferior a 5 m s⁻¹. Essa comparação é particularmente importante porque a cidade de João Pessoa é de porte médio sem cânions tão pronunciados como aqueles encontrados numa metrópole como Londres. Isso remete a possibilidade de inferir que a cidade de João Pessoa, PB, se encontra num processo de urbanização desordenado com grandes impactos no nível de conforto térmico de seus habitantes. Como as classes de coberturas de solo desses pontos envolvem

alta percentagem de cobertura cerâmica e de pavimento de concreto/calçamento (Tabela 4), as razões para o menor valor no IICU no ponto P05 são atribuídas às condições climáticas. Nos dias 13 e 14 de março não ocorreu nenhuma precipitação na área de estudo (máxima IICU), enquanto nos dias 19 e 20 de fevereiro (mínima IICU) o total pluviométrico superou 120 mm, produzindo, assim, alta umidade relativa que refletiu na redução da ilha de calor urbano, principalmente nas áreas mais arborizada da cidade.

O ponto P04 (Cabo Branco) também apresentou alto valor na IICU, de 4,95 °C, embora tenha alta cobertura com área vegetada que supera 30% (Tabela 4). Por outro lado, a variabilidade da IICU no período chuvoso foi menor, com valor mínimo de 2,98 °C no ponto P02 (Expedicionários) e máximo de 4,34 °C no ponto P04 (Cabo Branco). Também nesse período do ano não existe uma correlação

entre as IICU maiores e menores com a cobertura do solo das áreas analisadas. Por outro lado, o coeficiente de determinação entre o IDT e IICU foram inferiores a 0,30 em ambos os períodos do ano. Esse resultado assegura que o tipo de cobertura do solo influencia no nível de conforto térmico, porém não interfere na intensidade da formação de ilha de calor urbano, estando essa última mais relacionada com as condições climáticas numa escala maior. Portanto, o nível de conforto térmico é influenciado principalmente pelas condições microclimáticas, enquanto a intensidade de ilha de calor é mais influenciada pelas condições macroclimáticas, não estando, porém, nenhuma dessas variáveis (conforto térmico ou ilha de calor urbano) correlacionada apenas com uma condição climática isoladamente.

A intensidade máxima de ilha de calor urbano na cidade de João Pessoa foi maior e ocorreu preferencialmente durante à noite e nas primeiras horas da manhã durante o período seco. Isso está relacionado com as propriedades físicas dos materiais impermeáveis (concreto, asfalto, etc) em absorver grande quantidade de energia durante o dia, em face da forte incidência de radiação solar nesse período, e perda calor rapidamente durante à noite. No período chuvoso a vegetação tem a propriedade de armazenar vapor d'água e transferir para a atmosfera através do processo de evapotranspiração. Por essa razão, nesse

período do ano (chuvoso) a IICU ocorreu preferencialmente nas primeiras horas da manhã e ao longo do dia, inclusive entre 12 e 15h. As variações do balanço energético à superfície estão relacionadas com o decréscimo de radiação recebida pelas áreas sombreadas, aumento de radiação recebida e refletida internamente em cânions urbanos, bem como pela captação e armazenamento de calor pelos materiais de construção e pela redução da radiação de onda longa emitida para atmosfera devido às obstruções locais (Oke, 1978).

3.4 Classes e índices de recobrimento do solo dos pontos experimentais e sua relação com o campo térmico da cidade de João Pessoa-PB

Os diversos índices e classes de recobrimento do solo nos pontos experimentais determinaram o microclima local e do entorno, apresentando diferenças de temperatura, umidade relativa do ar, índice de desconforto térmico e formação de ilha de calor urbana em função das condições climáticas locais e dos materiais de recobrimento de cada ponto analisado.

No ponto P01, as variáveis foram sempre inferiores em relação aos demais pontos analisados, esse ponto de monitoramento é representativo de uma área rural e, portanto, eficiente para o cálculo de ilha de calor urbano. A temperatura máxima em todos pontos analisados foram inferiores a 30 °C, exceto no ponto P03 no período

seco, em face da alta concentração de materiais do tipo I (cobertura cerâmica) e tipo VII (pavimento de concreto/calçamento), respectivamente, de 34,21 e 40% da área total (Tabela 4). Por outro lado, em todos os pontos de observação a temperatura mínima foi em torno de 24 °C no período seco e em torno de

22 °C no período chuvoso. A avaliação do conforto térmico utilizando o índice de Thom ajustado sugere que a cidade de João Pessoa é confortável durante o período chuvoso e parcialmente desconfortável durante o período seco, atingindo níveis totalmente desconfortável entre meio dia e 14h.

Tabela 4. Classes de cobertura do solo das amostras experimentais (%). Tipo I = Cobertura cerâmica; Tipo II = Cobertura de amianto, Tipo III = Cobertura metálica, Tipo IV = Corpos d'águas 1 (piscinas), Tipo V = Corpos d'águas 2 (mar ou rio), Tipo VI = Pavimento asfáltico, Tipo VII = Pavimento de concreto/calçamento, Tipo VIII = Solo exposto/vegetação rasteira e Tipo IX = Área com vegetação

Tipo de cobertura	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
Tipo I	1,23	44,06	34,21	16,90	51,12	74,97	26,19	18,38	60,48
Tipo II	0,08	1,40	5,13	4,57	0,77	0,34	2,46	7,52	0,00
Tipo III	0,00	1,51	2,37	0,91	1,79	0,11	0,58	2,89	0,29
Tipo IV	1,04	0,34	0,29	0,56	0,01	0,00	0,00	0,07	0,02
Tipo V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tipo VI	1,72	4,27	5,34	8,66	3,83	0,00	2,28	11,28	9,59
Tipo VII	0,00	24,25	40,00	29,97	22,12	0,14	21,23	39,66	6,26
Tipo VIII	11,9	4,49	4,20	8,14	8,81	5,87	36,50	6,37	7,74
Tipo IX	84,84	19,69	8,46	30,28	11,55	18,78	10,74	13,83	15,61

Os fatores positivos para a formação de ilha de calor urbano e do desconforto térmico são relacionados com a composição dos materiais constituintes do recobrimento do solo do elemento urbano. Esses materiais apresentam propriedades térmicas distintas que afetam diretamente as condições microclimáticas urbanas locais de cada ponto analisado. Esses resultados estão em concordância com aqueles obtidos por

Santos et al. (2011), em estudo realizado no Campus da UFPB para avaliar os fatores positivos e negativos das classes de cobertura do solo no cálculo do nível do conforto térmico da população. Os autores também destacam a importância do papel da vegetação na amenização climática.

Apesar da cidade de João Pessoa está sendo diretamente influenciada pela entrada dos ventos alísios de sudeste e de sofrer os

efeitos da maritimidade durante o ano inteiro, os tipos de cobertura do solo são determinantes para as condições de conforto térmico na cidade.

Tabela 5. Estatísticas da temperatura média ($T_{m\acute{e}dia}$, °C temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$, °C), temperatura mínima ($T_{m\acute{i}n}$, °C),), umidade relativa (%) e do índice de desconforto de Thom (°C) durante os períodos seco e chuvoso no ano de 2011 na cidade de João Pessoa, PB. P01 = Mata do Buraquino, P02 = Expedicionários, P03 = Manaíra, P04 = Cabo Branco, P05 = Mangabeira, P06 = Cruz das Armas, P07 = Alto do Mateus, P08 = Centro e P09 = Bancários

Pontos	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa (%)			Índice de Thom (°C)		
	Média	Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	Mín
Período seco									
P01	27,2	28,6	24,1	81,5	100,0	70,7	25,7	26,6	24,2
P02	27,7	28,9	24,3	76,6	97,7	68,4	25,9	26,9	24,2
P03	28,8	30,1	24,9	77,1	98,2	68,2	26,9	27,9	24,8
P04	28,4	29,6	24,8	75,6	95,8	67,2	26,4	27,4	24,5
P05	27,7	28,8	24,5	78,7	97,6	70,8	26,1	27,0	24,3
P06	27,7	29,1	24,2	78,4	99,3	68,8	26,0	26,9	24,2
P07	27,7	29,0	24,4	79,1	98,4	69,3	26,0	27,0	24,3
P08	27,7	29,1	24,4	79,0	99,1	70,1	26,1	27,1	24,4
P09	28,2	29,4	24,6	75,3	95,6	65,5	26,2	27,1	24,4
Média	27,9	29,2	24,4	77,9	98,0	68,7	26,1	27,1	24,3
Período chuvoso									
P01	24,3	25,2	23,0	89,8	100,0	77,9	23,4	24,2	22,8
P02	24,9	26,1	22,7	86,0	99,6	74,7	24,0	25,5	22,7
P03	25,4	27,6	22,9	81,7	96,9	68,6	24,2	25,8	22,7
P04	25,2	26,8	22,9	83,5	97,5	69,5	24,1	25,6	22,8
P05	24,9	27,0	22,5	85,9	100,0	73,2	24,0	25,7	22,5
P06	25,1	26,7	22,7	85,0	99,2	72,5	24,0	25,6	22,7
P07	25,1	27,0	22,7	84,0	99,3	72,6	24,0	25,7	22,7
P08	25,2	27,3	22,7	83,9	98,9	72,8	24,1	25,5	22,8
P09	25,4	28,0	22,7	86,3	100,0	73,0	24,4	26,2	22,8
Média	25,0	26,8	22,7	85,0	99,0	72,7	24,0	25,5	22,7

No que diz respeito aos cenários de conforto ambiental para a cidade de João Pessoa-PB, o gráfico da estimativa da temperatura e umidade relativa do ar para João Pessoa/PB (Figura 4) da série de 45 anos da Estação Meteorológica do INMET, apresenta uma tendência para o aumento da temperatura na cidade a uma taxa de 0,034 ao ano, e um decréscimo de - 0,049 para a

umidade relativa do ar ao ano. Jusuf et.al., (2007) afirma que as temperaturas do ar estão aumentando gradualmente em todas as cidades do mundo. Isso significa que para as próximas décadas teremos temperaturas mais elevadas com a intensificação da ilha de calor urbana e aumento do desconforto térmico associado à queda da umidade relativa do ar nos centros urbanos.

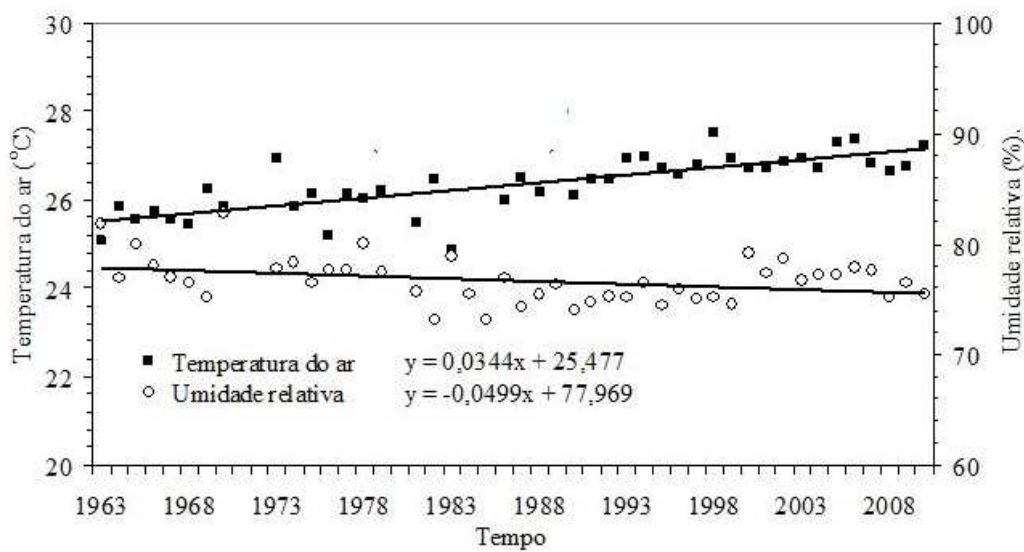


Figura 4. Gráfico da estimativa da temperatura e umidade relativa do ar em João Pessoa/PB no período compreendido entre 1963 e 2008.

4. Conclusões

Os resultados da pesquisa sobre a análise do campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida, com foco principal para a cidade de João Pessoa, PB, permitiram concluir o seguinte:

1. A composição dos materiais constituintes do recobrimento do solo do elemento urbano exerce influencia sobre as trocas de energia e calor, alterando

diretamente os valores das variáveis atmosféricas que controlam o nível de estresse térmico ambiental;

2. A amplitude térmica na cidade de João Pessoa oscila em torno de 10 °C e as temperaturas mais elevadas ocorreram sempre entre 12 e 14 h e as mínimas nas primeiras horas do período diurno. A intensidade máxima de ilha de calor urbano na cidade de João Pessoa varia entre 3,33 e 5,32 °C. A intensidade de ilha de calor

urbano é maior durante o período seco do que no período chuvoso;

3. A ilha de calor urbano é um fenômeno que geralmente ocorre durante o período noturno enquanto a intensidade máxima dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar são fenômenos essencialmente diurnos.

4. O nível de conforto térmico é influenciado principalmente pelas condições microclimáticas, enquanto a intensidade de ilha de calor é mais influenciada pelas macroclimáticas conjugadas com os fatores locais;

5. A temperatura do ar e o nível de conforto térmico têm tendência crescente e a umidade relativa tendência decrescente para a cidade de João Pessoa-PB;

6. Os cenários dos níveis de conforto térmico indicam condições de forte desconforto ambiental para os anos de 2050 e 2060 durante o período seco e desconfortável para o período chuvoso no ano de 2060 em toda área de estudo. Para os anos de 2020, 2030 e 2040 são previstos níveis de conforto térmico desconfortável para o período seco e parcialmente confortável para o período chuvoso;

7. O conhecimento das alterações ocorridas no campo térmico urbano da cidade de João Pessoa, PB, torna-se imprescindível para a manutenção da qualidade de vida da população, podendo contribuir diretamente para a elaboração de políticas públicas que possibilitem o

planejamento e a gestão ambiental do espaço intra-urbano.

5. Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal da Paraíba e a Universidade Federal de Campina Grande pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

6. Referências

Amorim, R. P. L. (2011). Análise da magnitude de influência climática de um remanescente de Mata Atlântica sobre o seu entorno urbanizado em clima quente-úmido. João Pessoa: UFPB, 92p. Dissertação Mestrado.

Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Mierzwa, J. C.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Monica, P.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, Sérgio. (2005). Introdução à engenharia ambiental – o desafio do desenvolvimento sustentável. 2.ed. São Paulo: Pearson, 336p.

Costa, A. D. L. (2007). O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido. Campinas: UNICAMP, 242p. Tese Doutorado.

Duarte, M. L. F. (2010). Comportamento microclimático urbano: estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa/PB. João Pessoa: UFPB, 179p. Dissertação Mestrado.

- Hwang, R.; Lin, L. T.; Matzarakis, A. (2011). Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor comfort. *Building and Environmental*, v.46, n.4, p. 863-870.
- IPCC. (2007). *Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policy Makers*.
- Jufuk, S. K.; Wong, N. H.; Hagen, E.; Angorro, R.; Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat Internacional*, v.31, n.1, p. 232-242.
- Mann, H. B. (1945). *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259.
- Nóbrega, R. S. ;Vital, L. A. B. (2010). Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de ilha de calor. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.03, p. 151-156.
- Oke, T. R. (1978). *Boundary layer climate*. London: Methuen, 464p.
- Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report , TD. World Meteorological Organization, Geneva, 51p.
- Santos, J. S.; Silva, V. P. R.; Araújo, L. E.; Lima, E. R. V.; Costa, A. D. L. (2011). Análise das condições do conforto térmico em ambiente urbano: estudo de caso em Campus Universitário. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, p.292-309.
- Santos, J. S. (2011). *Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida*. Campina Grande: UFCG, 108p. Tese de Doutorado.
- Silva, F. de A. G. (1999). *O vento Como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste brasileiro*. São Paulo: FAAUSP, 234p. Tese Doutorado.
- Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B. (2006). Assessment of the Human Discomfort Level and Urban Heat Island Using Automatic Weather Station Data. In: *Conference Urban Climate*, Lisbon.
- Silva, V. P. R. ; Azevedo, P. V.; Brito, R. S.; Campos, J. H. B. C. (2010). Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environ Monit Assess*.
- Thom, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, v.2, n.1.
- Katzschener, L.; Bosch,.; Ulrike Rottgen, M. (2002). Behaviour of people in open spaces in in dependency of thermal comfort conditions. In: *International conference on passive and low energy architecture*, 19, France.
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, p.220.
- Kolotroni, M.; Giridharan, R. (2008). *Urban heat island intensity in London: a investigation of the impact of physical*

characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, v.11, n.82, p.986-988.

Kruger, E. L.; Minella, F. O.; Rasia, F.

(2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, v.46, n.1, p.621-634.