



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – PB
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS



**Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura
do solo em uma cidade tropical úmida**

Joel Silva dos Santos

Campina Grande/PB, Dezembro de 2011

Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFCG, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Processos ambientais

Linha de Pesquisa: Climatologia aplicada a Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Campina Grande, Dezembro de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S237c Santos, Joel Silva dos.
Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida / Joel Silva dos Santos.- Campina Grande, 2011.
108f.: il. col.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientadores: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima.

Referências.

1. Clima Urbano. 2. Conforto Térmico. 3. Ilha de Calor. 4. Gradiente de Temperatura. I. Título.

CDU 551.584.3 (043)

CAMPO TÉRMICO URBANO E A SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA DO
SOLO EM UMA CIDADE TROPICAL ÚMIDA

APROVADA EM: 19/12/2011

BANCA EXAMINADORA

Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Dr. LINCOLN ELOI DE ARAÚJO
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Dr. BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Dr. ÊNIO PEREIRA DE SOUZA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Dr. MARX PRESTES BARBOSA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

À minha mãe, Maria Lúcia, exemplo de amor e dedicação! Principal fonte de
motivação. Sem você, eu não estaria aqui...

AGRADECIMENTOS

Ao Deus eterno todo poderoso, por ter colocado pessoas tão especiais na minha vida ao longo desse desafio... Nada acontece por acaso!

A toda minha família pelo amor, apoio e dedicação. Muito obrigado pessoal, vocês são a razão da minha vida...

Aos meus verdadeiros amigos, “minha família vira-lata”: sinto-me muito feliz, honrado e mais forte em saber que posso contar com vocês em qualquer situação da minha vida. Obrigado por tudo! Sozinho não estaria aqui...

Ao meu orientador, professor Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pelas sábias orientações, compreensão e dedicação ao meu trabalho. Professor muito obrigado! Suas contribuições perpassarão esta etapa e com certeza servirão de exemplo para o resto da minha vida acadêmica...

Ao meu co-orientador professor Eduardo Rodrigues Viana de Lima, exemplo de pessoa e profissional, ao qual tenho um enorme carinho e admiração.

A professora Angelina Dias Leão, pelo apoio acadêmico e logístico para a realização desta e outras pesquisas. Muito obrigado de coração...

Ao professor Lincoln Eloi de Araújo, pelas valiosas contribuições e apoio moral. Professor: tenho um enorme carinho por você!

Ao professor Bartolomel Israel de Souza, companheiro de outras jornadas e irmão na fé, meu muito obrigado por tudo!

Ao professor Ênio, pelas valiosas contribuições que serviram para enriquecer ainda mais este trabalho.

Ao professor Marx Prestes, pela gentileza de mais uma vez participar de uma banca examinadora comigo. Muito obrigado pela colaboração e sugestões para o meu trabalho.

A professora Vera Antunes, pela gentileza e humildade em ler meu trabalho com carinho e apreço. Obrigado professora pela colaboração!

A professora Kallianna Dantas, pelo carinho e gentileza em revisar meu projeto de tese. Muito obrigado de coração pelo apoio e atenção...

Ao professor José Dantas, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, pelas palavras de encorajamento e apoio incondicional para a conclusão do meu doutorado.

Ao todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, sem os quais não teria concluído este trabalho.

A minha turma de doutorado, pela acolhida e calor humano. Algo cada vez mais escasso no ambiente acadêmico.

Ao meu amigo que conquistei ao longo do curso, Henrique Duarte Filho, pela gentileza de sempre atender aos meus pedidos quando não podia ir à Campina Grande. Obrigado meu irmão! Deus abençoe você, Loriene e toda sua família....

Aos professores do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, em especial: Anderson, Zelma, Lincoln, Evelise, Évio, Nadja, Leonardo, dentre outros, pelo apoio e compreensão durante a jornada do meu doutorado. Muito obrigado por tudo!

Aos meus alunos do curso de ecologia, pelo apoio na aplicação dos questionários e compreensão da minha ausência nos momentos finais da tese. Obrigado pela força e carinho de todos vocês!

Aos alunos e professores do grupo de estudo em Clima Urbano e Ambiente Construído coordenado pela Prof.^a Angelina Dias Leão, pelo apoio logístico e operacional. Esse trabalho é de todos vocês!

A EMBRATEL pela licença em instalar os equipamentos de medições nas torres de celulares...

Ao Jardim Botânico pela permissão em instalar o equipamento de medição no ponto de referencia.

A “Seu Tito” da Embratel, pelas inúmeras vezes que me acompanhou no campo para instalação dos equipamentos. Meus sinceros agradecimentos...

A “minha querida jornalista” Gledjane, pelas palavras de carinho, apoio, compreensão e encorajamento. Você compartilhou comigo alguns dos obstáculos que tive que ultrapassar para chegar ao fim desta jornada... Obrigado por tudo!!!

Ao professor Rodrigo Guimarães, meu amigo, pessoal e de profissão. Valeu irmão, cumprimos mais uma etapa da nossa vida profissional.

Por fim, a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivo específico	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. O clima e suas implicações socioambientais em áreas urbanas	19
3.2. A relação entre clima e cidade	22
3.3. Clima urbano	26
3.4. Campo térmico e planejamento urbano	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1. Caracterização da área de estudo	33
4.2. Campo de análise do sistema climático urbano	36
4.3. Cálculo dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar	38
4.4. Análise de tendência das séries climatológicas	38
4.4. Teste de Mann - Kendall	39
4.5. Índice de cobertura do solo	40
4.6. Nível de conforto térmico	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1. Climatologia da área de estudo	44
5.2. Índice de desconforto de Thom	47
5.3. Uso e cobertura do solo dos pontos monitorados	49
5.4. Ilha de calor urbano	83
5.5. Gradientes de temperatura e umidade relativa do ar	89
5.6. Cenários do índice de conforto térmico	93

6.	CONCLUSÕES	100
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da área de estudo (a cidade de João Pessoa, PB) dentro do mapa do Brasil	33
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), Bairro Jaguaribe (Torre da Embratel (P09) e Bairro dos Bancários (P09). As coordenadas geográficas estão no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), fuso 25	40
Figura 3.	Área de análise de cada ponto de coleta durante os dois períodos experimentais: período seco e chuvoso	41
Figura 4.	Curso temporal da temperatura do ar e umidade relativa (A) e precipitação (B) da estação climatológica de João Pessoa durante o período chuvoso do ano de 2011	45
Figura 5.	Curso temporal da temperatura do ar e umidade relativa (A) e precipitação (B) da estação climatológica de João Pessoa durante o período chuvoso do ano de 2011	46
Figura 6.	Vistas da área do entorno do ponto P01 (Bairro Mata do Buraquinho) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB	51
Figura 7.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P01 localizado na Mata do Buraquinho	52
Figura 8.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P01 (Mata do Buraquinho), na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011	53
Figura 9.	Vistas da área do entorno do ponto P02 (Bairro dos Expedicionários) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa/PB	54
Figura 10.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto	55

	P02 localizado no Bairro dos Expedicionários	
Figura 11.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P02 localizado nos Bairro dos Expedicionários, na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011	56
Figura 12.	Vistas da área do entorno do ponto P03 (Bairro Manaíra) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB	57
Figura 13.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P03 localizado em Manaíra	58
Figura 14.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P03 Manaíra na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011	59
Figura 15.	Vistas da área do entorno do ponto P04 (Cabo Branco) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB	61
Figura 16.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto P04 localizado no Cabo Branco	61
Figura 17.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P04 (Cabo Branco), na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011	62
Figura 18.	Vistas da área do entorno do ponto P05 (Bairro Mangabeira), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB	64
Figura 19.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto 05 localizado em Mangabeira	65
Figura 20.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P05 (Mangabeira) na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011	66
Figura 21.	Vistas da área do entorno do ponto P06 (Bairro Cruz das Armas), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB	67
Figura 22.	Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto P06 (Cruz das Armas)	68
Figura 23.	Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice	69

- de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P06 localizado em Cruz das Armas na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011
- Figura 24. Vistas da área do entorno do ponto P07 (Alto do Mateus), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB 71
- Figura 25. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto P07 localizado no Alto do Mateus 71
- Figura 26. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P07 localizado no Alto do Mateus na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011 72
- Figura 27. Vistas da área do entorno do ponto P08 (Centro da Cidade), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB 74
- Figura 28. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto P08 localizado no Centro da cidade de João Pessoa, PB 74
- Figura 29. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P08, no Centro da Cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011 75
- Figura 30. Vistas da área do entorno do ponto P09, localizado nos Bancários, dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB 77
- Figura 31. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no Ponto P09 localizado nos Bancários 78
- Figura 32. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P09 localizado nos Bancários 79
- Figura 33. Curso temporal das ilhas de calor urbano média diária (IC) nos pontos P02 (Expedicionários), P03 (Manaíra), P04 (Cabo Branco), P05 (Mangabeira), P06 (Cruz das Armas), P07 (Alto do Mateus), P08 (Centro) e P09 (Bancários) na cidade de João Pessoa, PB, durante o período seco do ano de 2011 84
- Figura 34. Curso temporal das ilhas de calor urbano (IC) nos pontos P02 (Expedicionários), P03 (Manaíra), P04 (Cabo Branco), P05 85

- (Mangabeira), P06 (Cruz das Armas), P07 (Alto do Mateus), P08 (Centro) e P09 (Bancários) na cidade de João Pessoa, PB, durante o período chuvoso do ano de 2011
- Figura 35. Curso temporal da intensidade de ilha de calor urbano média na cidade de João Pessoa, PB, durante o período seco (A) e período chuvoso (B). As barras indicam o desvio padrão para o período de 5 dias 86
- Figura 36. Curso temporal dos valores médios dos gradientes de temperatura do ar e umidade relativa durante o período seco (A) e período chuvoso (B) na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011 90
- Figura 37. Tendência temporal da temperatura e umidade relativa do ar em João Pessoa, PB, no período compreendido entre 1963 e 2008 93
- Figura 38. Cenários de conforto térmico para a cidade de João Pessoa durante o período seco nos anos de 2011 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F) 95
- Figura 39. Cenários de conforto térmico para a cidade de João Pessoa durante o período chuvoso nos anos de 2011 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F) 97
- Figura 40. Distribuição espacial da temperatura do ar na área urbana da cidade de João Pessoa durante os períodos chuvoso (A) e seco (B) em 2011 98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Localização dos pontos experimentais em coordenadas UTM	37
Tabela 2.	Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT)	42
Tabela 3.	Estatísticas da precipitação anual (Prec, mm), temperatura máxima (T _{máx} , °C), temperatura mínima (T _{mín} , °C), temperatura média (T _{média} , °C), umidade relativa (%) e do índice de desconforto de Thom (°C) para o período de 1963 a 2010 na cidade de João Pessoa	44
Tabela 4.	Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) ajustado às condições climáticas da cidade de João Pessoa, PB	47
Tabela 5.	Classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) ajustado às condições tropicais úmidas	48
Tabela 6.	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	50
Tabela 7.	Estatísticas da temperatura média (T _{média} , °C temperatura máxima (T _{máx} , °C), temperatura mínima (T _{mín} , °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	81
Tabela 8	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	87
Tabela 9	Valores médios dos gradientes de temperatura do ar (°C/km) e de	91

umidade relativa (%/km) em relação ao ponto de referência (P01)
na cidade de João Pessoa, PB, durante os períodos seco e chuvoso
do ano de 2011

Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida

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.

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 de 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. Dessa forma, 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 se tornar cada vez mais alvo de vários estudos, envolvendo temas relacionados à compreensão da dinâmica do clima urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo nesses ambientes.

As diferenciações no uso e cobertura do solo associadas à dinâmica climática geram implicações socioambientais em ambientes urbanos, onde os elementos naturais foram transformados segundo os interesses e a necessidade da sociedade pós-moderna. 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 a sua interação com os elementos climáticos da área de investigação (Santos et al., 2011). Isso representa uma ferramenta indispensável para o planejamento e ordenamento territorial desses centros. A rápida degradação do ambiente urbano e da qualidade de vida no seu conjunto comprovam a relação entre o progresso econômico em detrimento do conforto ambiental. 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 dessas áreas. Como o clima pode ser considerado um recurso natural indispensável à manutenção da vida e às atividades econômicas, seu estudo se tornou 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, tais como o 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 (Pongracz et al., 2006; Huang et al., 2008; Silva et al., 2010; Rooba, 2011).

Estudos interdisciplinares e holísticos sobre a dinâmica climática de perímetros urbanos 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 cidades do mundo, principalmente naquelas desprovidas de serviços básicos de saneamento e infraestrutura urbana. É diante desse contexto, que esta pesquisa apresenta o estudo do clima urbano, especificamente a influência do uso e cobertura do solo no campo térmico de área urbanizada em clima tropical úmido, com foco específico para a 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 em cidades com alto grau de urbanização. 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 na área urbana 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.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral: analisar o campo térmico urbano e a sua relação com as diversas formas de uso e cobertura do solo em cidade de porte médio localizada em clima tropical úmido.

2.2. Específicos:

- (i) ajustar as faixas de sensação térmica do índice de conforto térmico de Thom para a cidade de João Pessoa, PB;
- (ii) avaliar os impactos dos diferentes tipos de cobertura do solo no nível de conforto térmico e no estabelecimento das diferenciações microclimáticas da área de estudo;
- (iii) identificar a amplitude térmica e a intensidade de ilha de calor urbano, bem como o horário de ocorrências desses fenômenos, na cidade de João Pessoa durante os períodos seco e chuvoso da região;
- (iv) estabelecer uma relação entre o nível de conforto térmico e a intensidade de ilha de calor na área de estudo;
- (v) avaliar a tendência temporal da temperatura do ar, umidade relativa e índice de desconforto de Thom;
- (vi) gerar cenários de níveis de conforto térmico para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050 e 2060 na área de estudo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. O clima e suas implicações socioambientais em áreas urbanas

O clima pode ser considerado um dos componentes mais importantes do sistema terra-atmosfera, pois influencia as diversas atividades econômicas exercidas pela sociedade, além de determinar inúmeros processos ambientais indispensáveis à manutenção da vida no planeta. As principais bases para a vida – o ar, a água e o solo para a produção de alimentos - estão diretamente ligadas à dinâmica climática de uma região. Dessa forma, o clima é compreendido como um recurso natural indispensável à sobrevivência humana, estando os demais recursos e diversas atividades humanas determinadas em função dele. Enquanto recurso natural, ele exerce efeitos imprescindíveis às atividades econômicas. Porém, a intensidade desses efeitos irá variar em função do grau de vulnerabilidade socioambiental de cada sociedade frente à influência dos diversos elementos climáticos, como a temperatura, precipitação, umidade atmosférica, velocidade dos ventos, dentre outros (Ayoade, 2004).

A falta de conhecimento e de interesse pelo tema tem levado a sociedade negligenciar o clima enquanto recurso natural, associando-o apenas aos efeitos destruidores como as catástrofes naturais sem relacioná-lo às condições desiguais de vulnerabilidades socioambientais. Neste contexto, Mendonça (2010) destaca que as excepcionalidades climáticas revelam as condições de riscos naturais, enquanto que as diferenciações sociais, políticas, econômicas e culturais desvendam as condições de exclusão social que geram situações de vulnerabilidade socioambiental desiguais. Essas diferenciações são fortemente visíveis em áreas urbanas onde a apropriação do espaço geográfico obedece à lógica do capital. Por outro lado, Santa'Anna Neto (2004) enfatiza que o modo de produção capitalista territorializa distintas formas de uso e ocupação do espaço, definidos por uma lógica que não atende aos critérios técnicos do desenvolvimento sustentável.

O mesmo autor afirma que o efeito do clima sobre um espaço construído de maneira desigual gera problemas de origens ambiental e social. A entrada de um sistema atmosférico, como uma frente fria, por exemplo, se espacializa de maneira mais ou menos uniforme num determinado espaço em escala local. Entretanto, em termos socioeconômicos, esse sistema produzirá diferentes efeitos em função da capacidade (ou possibilidade) que os diversos grupos sociais têm para se defenderem de suas ações.

A análise geográfica e interdisciplinar dessas questões pode dar subsídios para uma melhor compreensão sobre esses espaços, além de possibilitar um novo enfoque aos estudos da climatologia urbana, que por muito tempo esteve atrelada à climatologia tradicional. Sendo assim, a compreensão do sistema climático urbano e suas implicações socioambientais, perpassa também a análise da dimensão socioeconômica, interdisciplinar e tecnológica, no que se refere à atenuação dos impactos socioambientais provenientes das alterações dos parâmetros meteorológicos. Tais padrões de alterações nesses parâmetros são mais intensos e visíveis nos centros urbanos, onde as diversas formas de uso e ocupação do espaço interferem diretamente na dinâmica climática local e no grau de vulnerabilidade socioambiental das populações locais.

O grau de vulnerabilidade socioambiental, e conseqüentemente de exposição aos riscos provenientes das excepcionalidades climáticas, está diretamente atrelado a forte concentração de renda e desigualdades sociais que se refletem na configuração e diferenciação dos espaços territoriais intra-urbanos. Todos esses fatores conjugados também devem fazer parte da análise do sistema climático urbano, pois as alterações que acontecem neste complexo sistema ocorrem em função da transformação do espaço geográfico que está submetido à lógica de acumulação e especulação do capital. Drew (2005) afirma que nesses espaços há uma forte concentração dos fluxos de matéria e energia, sendo a maior parte dessa energia importada. Com o emprego dessa matéria e energia há uma reversão para um estado difuso e não concentrado, cuja expressão se dá na forma de calor nas áreas urbanas, ou seja, ao contrário dos efeitos das atividades agrícolas, os efeitos nas áreas urbanas são mais intensos e localizados, e se intensificam de forma diferenciada dentro das diferentes configurações dos espaços intraurbanos.

Andrade (2005), em estudo do ambiente urbano, discutiu que diversas variáveis devem ser levadas em consideração, pois este ambiente engloba componentes naturais, econômicos e sociais, podendo ser compreendido sob diversas formas. Por isso, a análise do clima urbano, na sua complexidade, deve incorporar todos esses elementos para sua investigação e entendimento, pois ele é a resultante da intensidade do adensamento humano e urbano, da localização geográfica da cidade e do seu sítio urbano, sendo influenciado diretamente pelas atividades socioeconômicas desses centros (Mendonça, 2003). Dessa forma, o clima além de ser um dos principais componentes do sistema ambiental, bem como um recurso natural, também pode ser compreendido como um indicador de degradação ambiental, pois, além de afetar todos

os processos ambientais, ele determina diretamente os processos hidrológicos que afetam uma bacia hidrográfica, influenciando diretamente na qualidade de vida das populações. Isso é bastante perceptivo nas áreas urbanas, onde a falta de planejamento e gestão ambiental urbana implicam em inúmeros problemas socioambientais de grandes proporções.

Silva et al. (2006) sinalizam que a expansão das cidades tem gerado graves impactos ambientais em áreas urbanas, acentuados pelo desenvolvimento das atividades econômicas e pelas diversas atividades antrópicas, gerando um ambiente de desconforto com inúmeros problemas ambientais face à degradação dos recursos naturais e ao rápido crescimento das populações urbanas. A intensidade e recorrência de problemas urbanos de natureza climática, como enchentes e alagamentos, a poluição atmosférica e as famosas ilhas de calor, têm sido a tônica destas últimas décadas. Inegavelmente, esses problemas trazem consequências danosas, afetando a qualidade de vida da população residente nos centros urbanos, que somados a outros impactos ambientais, contribuem para uma diminuição da qualidade de vida nessas áreas.

Gonçalves (2003) destaca que as áreas urbanas são as mais intensamente modificadas e o seu alto grau de artificialização se dá em função do uso incorreto dos recursos naturais criando ambientes com vulnerabilidade maior em relação aos eventos naturais. Por outro lado, Mendonça (2003) chama a atenção para o paradoxo da modernidade, alertando que ao mesmo tempo em que se intensificou a degradação do ambiente, cresceu a consciência para a intervenção racional ou planejada na alteração/construção do ambiente urbano; exigindo, assim, cada vez mais estudos que direcionem o uso sustentável dos recursos naturais nessas áreas de forma que contribuam para a mitigação dos impactos ambientais. O mesmo autor continua afirmando que os problemas com o sistema urbano constituem apenas uma pequena parcela desse quadro geral de degradação ambiental, intensificando-se cada vez mais em função do acelerado crescimento da população urbana com a exploração dos recursos naturais e a conseqüente geração de resíduos. Nesses ambientes, constata-se cada vez mais o comprometimento da qualidade de vida das populações e sua relação com as condições atmosféricas, pois o clima se constitui em um recurso natural imprescindível ao desenvolvimento das atividades econômicas, à saúde e ao bem estar da população.

Duarte & Serra (2003) ponderam que apesar de todo o conhecimento já acumulado sobre os fenômenos climáticos urbanos, o desafio hoje é transformar esses dados em critérios de ocupação e índices urbanos. Os critérios dos índices de ocupação

não devem apenas ser definidos em função de cálculos estatísticos e matemáticos de densidade de área ocupada, mas sim, levar em consideração uma rede de fatores de ordem física, biológica, econômica, geológica e social que determinam as alterações no sistema climático e a qualidade de vida das populações residentes nesses ambientes. Nessa linha de pensamento, Mendonça (2003) destaca as preocupações de alguns climatologistas com a interação que deve ser estabelecida entre a atmosfera, o sítio (dimensão natural do ambiente urbano) e o fato urbano (materialidade humana) para a compreensão do clima da cidade. O mesmo autor aponta a necessidade de estudos mais holísticos e interdisciplinares para a compreensão de toda a dinâmica do clima urbano e suas conseqüências socioambientais. Sendo assim, torna-se cada vez mais necessário a integração dos fenômenos atmosféricos com a sociedade. Diante do exposto, faz-se necessário incorporar a dimensão holística e multidisciplinar nos estudos de climatologia, especialmente naqueles que tratam da questão do clima urbano, pois as interferências dos fenômenos atmosféricos urbano ocorrem sobre todo um território que foi construído e desconstruído historicamente por diversos atores sociais que transformaram e produziram este espaço em função dos seus interesses.

3.2. A relação entre clima e cidade

O clima de uma cidade pode ser compreendido através da interação de diversos fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, maritimidade) e locais (uso e ocupação do solo, geomorfologia, revestimento do solo) que conjugados com os elementos atmosféricos (temperatura, umidade, vento, pressão, dentre outros) determinam as condições atmosféricas sobre uma determinada localidade (Barbirato et al., 2007). Os autores continuam afirmando que os fatores globais criam as condições climáticas em uma escala regional, enquanto que os fatores locais determinam as diferenciações microclimáticas, alterando, assim, o comportamento dos elementos atmosféricos em uma escala local. Dessa forma, não existem dois tipos climáticos rigorosamente iguais, pois tais fatores são fortemente afetados pela ação antrópica que ocorrem de forma mais intensa e diversificada em diferentes áreas urbanas. Sendo assim, atribui-se, portanto, aos elementos climáticos, a qualidade de definir e fornecer os componentes do clima e aos fatores climáticos, a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima.

Monteiro (1976) compreende o clima urbano como um sistema climático integrado formado por três subsistemas de análise: termodinâmico, físico-químico e o hidrometeorológico. Para esse autor, as alterações climáticas em áreas urbanas podem ser percebidas através de canais de percepção, que retratam as alterações nos elementos climáticos dentro dos subsistemas mencionados.

A formação das ilhas de calor, a inversão térmica e o desconforto térmico ambiental são exemplos de alterações ocasionados pelo processo de urbanização dentro do subsistema termodinâmico. A formação das chuvas ácidas e a poluição do ar, que afetam os grandes centros urbanos, são alterações que ocorrem e são percebidas dentro do subsistema físico-químico. Por outro lado, as precipitações em áreas urbanas, as enchentes e os impactos ambientais que ocorrem em função do processo de urbanização acelerada dos países em desenvolvimento são exemplos de alteração do subsistema hidrometeorológico. O mesmo autor destaca que para a compreensão do clima urbano faz-se necessária a análise rítmica dos tipos de tempos na escala diária, pois as médias mensais “escondem” a realidade da dinâmica dos processos que formam o sistema clima urbano e suas interferências nas atividades humanas e na organização do espaço.

Os problemas relacionados com o campo termodinâmico, bem como com o subsistema hidrometeorológico ocorrem naturalmente nas cidades de países em desenvolvimento onde o rápido e desordenado processo de urbanização tardia caracteriza essas áreas. A temperatura do ar e a umidade atmosférica são elementos intensamente afetados durante o processo de apropriação dos recursos naturais e o crescimento desordenado dos centros urbanos, gerando desconforto térmico nesses ambientes. No entanto, os impactos ambientais negativos provocados por esses eventos são bastante seletivos em função da forte concentração de renda e desigualdades sociais ocasionadas pela acumulação do capital. Sendo assim, as respostas ao desconforto térmico nesses ambientes se fazem notar, sobretudo, na população mais pobre, uma vez que elas são desprovidas de condições econômicas, técnicas e científicas para responder às influências do clima sobre suas vidas (Mendonça, 2010).

Conti (1998) destaca que a permeabilização dos solos, o aumento do albedo, a redução das áreas verdes, o aumento da poluição atmosférica em função das indústrias instaladas nas cidades, o aumento da precipitação, as ilhas de calor e, conseqüentemente, o desconforto térmico, dentre outros fatores, são apenas alguns exemplos de alterações ambientais presentes nos centros urbanos que geram microclimas específicos. Com a ausência de superfícies líquidas e de áreas verdes, a

evaporação se reduz consideravelmente, aumentando a sensação de desconforto térmico e acentuando o efeito das ilhas de calor, já que a água ao se evaporar consome 580 cal/g; e essa energia deixando de ser utilizada fica presa no ambiente urbano, acentuando os efeitos já mencionados. O autor destaca que a intensificação de tais efeitos é influenciada pela forma arquitetônica dos edifícios, pela natureza dos materiais de construção, pelas cores das paredes e pela densidade da área construída; afetando, também, a velocidade e direção dos ventos, que tendem a se orientar pelos vales ou cânions, definidos pelo alinhamento dos grandes edifícios, variando conforme a hora do dia e a situação sinótica. O ambiente urbano tem sofrido intensas modificações climáticas face às diversas fontes adicionais de calor de caráter antropogênico e da composição dos materiais de sua superfície, a maioria bons condutores térmicos e com grande capacidade calorífica que tem colaborado para o desconforto térmico nesses ambientes (Barbirato et al., 2007; Gulyás et al., 2005; Sarrat et al., 2005).

O microclima de uma cidade é o resultado de uma modificação substancial de um clima local no qual o processo de urbanização tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição do sítio. Tais modificações resultam em intensas transformações no uso e ocupação do solo desses espaços. Como resultado de tais alterações, as cidades acabam gerando, através das diversas atividades antrópicas, um aumento na produção de calor, com consequência direta na ventilação, umidade e precipitação, além de alterar a composição química da atmosfera provocando, na maioria das vezes, condições adversas para esses centros urbanos (Lombardo, 1985).

Os principais fatores responsáveis por alterações no balanço energético dos centros urbanos são os seguintes: a localização da cidade dentro da região, o tamanho das cidades, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e a largura das ruas, a divisão dos lotes, os efeitos dos parques e áreas verdes e detalhes espaciais do desenho dos edifícios (Olgvay, 1998). Já no que diz respeito ao uso e ocupação dos solos em áreas urbanas, ou seja, morfologia dos solos e paisagem, Oliveira (1988) menciona que os fatores condicionantes do clima urbano são a porosidade, rugosidade, densidade da construção, tamanho da cidade, uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade do solo urbano e as propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes do ambiente urbano. Em virtude da influência de tais fatores na dinâmica climática dos centros urbanos, tornou-se perceptível a formação de condições microclimáticas individualizadas para essas áreas; sendo assim, caracterizadas pela formação de camadas ou substratos que delimitam as modificações impostas pelo

adensamento urbano. A compreensão de tais camadas se tornou ferramenta fundamental para a realização de medições e análise bioclimáticas indispensáveis ao planejamento e projeto urbano.

Chandler (1976) afirma que alguns estudos apresentam em ordem hierárquica de abrangência as escalas de ordem regional, a escala das modificações devidas à orografia e a escala das modificações provocadas por edificações ou grupo de edificações. Por outro lado, Barbirato et al. (2007) destacam que a escala regional (macro-escala) está relacionada às condições meteorológicas da região. A meso-escala corresponde às alterações provocadas pela orografia da área em função das diferentes altitudes e a escala das edificações (micro-escala) evidencia a importância do planejamento urbano frente às decisões sobre a forma e orientação das estruturas urbanas e suas interferências no microclima do entorno. Por outro lado, Oke (2004) afirma que, além da formação das três camadas horizontais delimitadas para áreas urbanas (macro-escala, meso-escala, micro-escala), também pode ser encontrada três camadas no sentido vertical: a camada intra-urbana ou escala de cobertura urbana, a camada limite urbana e a subcamada de rugosidade.

Lombardo (1985) explica que dentro das camadas verticais atmosféricas urbanas, é possível estabelecer uma divisão simplificada da atmosfera urbana em duas camadas: a camada intra-urbana e a camada limite urbana. A primeira apresenta um nível microclimático que abrange desde o solo até aproximadamente o nível das coberturas das edificações (podendo desaparecer totalmente em grandes espaços abertos). A segunda equivale à escala meso-climática, situando-se acima da camada de cobertura urbana apresentando características influenciadas pela presença da cidade. Sob a influência de ventos regionais, essa última camada pode, a sotavento, separar-se da superfície, à medida que se desenvolve uma camada limite e passa a ser chamada de “pluma urbana”. A camada de cobertura urbana e a camada limite urbana são regidas pelas condições sinóticas do tempo desenvolvidas pela macro-escala. Dentro desses níveis, as consequências do processo de urbanização podem ser percebidas através da análise da temperatura do ar das cidades. Vale salientar que essas duas camadas (intra-urbana e limite urbana) possuem extensões que podem variar no tempo e no espaço (aumentar ou diminuir) em estilo rítmico em função do ciclo solar diário (Barbirato et al., 2007). Assis (2003) demonstra que os estudos sobre a dinâmica do clima urbano confirmam que as condições da atmosfera local são afetadas diretamente pela cidade face às suas diversas configurações.

3.3. Clima urbano

O contexto da urbanização e dos seus problemas socioambientais gerados nos centros urbanos se transformou nas últimas décadas em objeto de estudo por parte dos mais diversos profissionais: geógrafos, arquitetos, meteorologistas, físicos, engenheiros ambientais, dentre outros, que estão cada vez preocupados com o bem estar e a qualidade de vida das populações que residem nesses ambientes (Brito, 2007). Com a Revolução Industrial, significativas transformações ocorreram no sistema climático urbano das grandes cidades, com destaque para os problemas ocorridos dentro do subsistema termodinâmico (intensificação da ilha de calor urbana e o desconforto térmico) e dos problemas ocasionados no subsistema físico - químico (aumento da poluição e degradação da qualidade do ar). Esses problemas eclodiram e se intensificaram cada vez mais, contribuindo, assim, para o comprometimento da qualidade de vida das populações residentes nos grandes centros urbanos.

Os primeiros trabalhos a respeito do clima urbano foram realizados inicialmente em algumas cidades da Europa e posteriormente no continente Americano. Em estudo realizado em Londres, em 1818, Luke Howard – um dos pioneiros nos estudos da climatologia urbana – verificou o “excesso de calor artificial” em comparação as áreas adjacentes, comprovando que o campo térmico desta cidade tinha sofrido alterações em seus elementos climáticos, gerando assim, as ilhas de calor e conseqüentemente criando condições de desconforto térmico para as populações residentes nesses ambientes. Na segunda metade do século XX, Wilhelm Schmidt e Emilien Renou fizeram descobertas semelhantes para Paris e Viena, respectivamente (Gartland, 2010). Porém, somente a partir dos anos de 1970 é que surgiram os primeiros estudos sobre climatologia urbana aplicada nas regiões tropicais e subtropicais. Uma das grandes contribuições científicas nesse período foi o trabalho de Oke (1982; 1987) do Departamento de Geografia da *University of British Columbia* em Vancouver no Canadá. Ele demonstrou que o clima da cidade é produto de um fenômeno de transformações de energia a partir das interações entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído. Dessa forma, a temática veio ganhando cada vez mais relevância e notoriedade nos dias atuais e diversos estudos com ênfase na análise do clima urbano vem sendo desenvolvido em várias regiões do planeta.

Uma revisão dos principais trabalhos a respeito da dinâmica climática urbana foi desenvolvida em Israel por Goldreich (1995), focando as ilhas de calor e os impactos do

processo de urbanização sobre as precipitações em várias cidades e áreas adjacentes do país.

A relação entre as diferentes formas de uso e ocupação do espaço geográfico e a formação de ilhas de calor na cidade de Graz, na Austrália foi investigada por Lazar & Podesser (1999). Estudo semelhante foi realizado em San Juan na Argentina por Papparelli et al. (2010). Na cidade de Tóquio no Japão, os impactos causados pelo calor produzido por fontes antrópicas e suas influências na dinâmica climática urbana foi realizado por Ichinose et al. (1999), demonstrando como as reduções no consumo de energia nessa cidade podem contribuir para mitigar os impactos no campo térmico do clima urbano. Na região de Pearl River Delta, situada na província de Guangdong no sul da China, Chen et al. (2006), utilizando técnicas do sensoriamento remoto, analisaram as alterações ocorridas no clima urbano e sua relação com as diferentes formas de uso e cobertura do solo nesta região.

Na aglomeração urbana de Budapeste, Prongracz et al. (2010) perceberam a formação de ilha de calor com diferentes intensidades em períodos e horários distintos. Por outro lado, Jonsson et al. (2004) verificaram como as partículas em suspensão na atmosfera urbana da cidade de Dar es Salaam, na Tanzânia, influenciam os parâmetros climáticos: velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura desse ambiente, determinando assim o clima local, com a formação de ilhas de calor urbanas. Por outro lado, Fan & Sailor (2005), a respeito do estudo do clima urbano na Filadélfia, Estados Unidos, estudaram os impactos ambientais provenientes dos efeitos antrópicos no clima urbano desta cidade. Grimmond et al. (2010) reforçam que as cidades mais vulneráveis aos efeitos do calor são aquelas localizadas nas altas latitudes onde as ondas de calor ocorrem em intervalos irregulares. As cidades como Nova York, Filadélfia, Paris, Roma, Atenas e Xangai têm sofrido muitas mortes durante os episódios de calor excessivo. Assim, o estudo da temática aqui apresentada vem se revestindo de suma importância para grandes cidades do mundo e a compreensão de seus problemas climáticos se constitui numa ferramenta indispensável para o planejamento sustentável desses centros urbanos. (Evans et al., 1996; Kithia et al., 2010).

No Brasil, o estudo do clima urbano tem cada vez mais avançado na perspectiva de relacionar o planejamento urbano territorial com o conforto térmico. O processo de urbanização desprovido de perspectivas de planejamento urbano no país, iniciado a partir de meados da década de 1960, gerou inúmeros espaços marcados por fortes disparidades socioeconômicas e com inúmeros problemas de degradação ambiental.

Nesse contexto, Mendonça (2003) admite que as relações de produção, voltadas quase que exclusivamente à reprodução econômica, desenvolveram no território brasileiro um tipo de “urbanização corporativa” desconsiderando a necessidade de um planejamento urbano que levasse em consideração o caráter social. Tal processo de urbanização é marcado pelo inchaço das cidades, em função do rápido crescimento da população urbana frente à população rural, e pelos problemas atmosféricos que se constituem em mais um testemunho dessa relação predatória entre a sociedade e a natureza, explícita dentro do território nacional. Dessa forma, torna-se relevante incorporar a dimensão social na interpretação do clima. Isso significa, portanto, compreender que a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade, de maneira desigual e apropriado segundo interesses dos agentes sociais (Sant’Anna Neto, 2008). Para esse autor, nos estudos climáticos o que deveria realmente importar é o resultado deste processo inserido nas dimensões socioeconômicas e ambientais. Compondo uma parte indispensável do estudo das cidades, o clima urbano se torna um elemento chave para a compreensão dos problemas socioambientais em áreas urbanas (Mendonça, 2010).

Apesar dos inúmeros problemas socioambientais gerados pelo processo de urbanização tardia em países em desenvolvimento, com destaque para a alteração das condições meteorológicas do clima urbano em várias cidades brasileiras, os primeiros estudos de caso em climatologia urbana vieram à tona no país somente a partir da década de 1970. Uma grande contribuição a esses estudos foi dada por Monteiro (1976) ao estabelecer o Sistema Climático Urbano formado por três canais de percepção: termodinâmico, físico-químico e o hidrometeorológico.

Mendonça (2003), em levantamento bibliográfico a respeito do estudo do clima urbano no Brasil nos últimos anos, demonstra a evolução de tais estudos e a sua distribuição por cidades e regiões, além do campo de análise. O autor afirma que o campo termo-dinâmico é um dos mais investigados nas cidades Brasileiras. Enquanto que os estudos do campo físico-químico geralmente ocorrem nos grandes centros urbanos.

Atualmente, investigações sobre o clima começam a ocorrer nas pequenas cidades em função da descentralização espacial das indústrias. O estudo do campo hidro-meteorológico está mais concentrado nas cidades litorâneas, em função das grandes inundações provenientes das fortes chuvas Na região Nordeste, vários estudos já foram realizados com destaque para a investigação do campo térmico e suas conseqüências

sobre a população (Moura, 2008). O estudo da dinâmica atmosférica em regiões de baixas latitudes demonstra a necessidade do conhecimento detalhado do ritmo climático e dos subsistemas estabelecidos por Monteiro (1976).

Grummond (2010) afirma que o estudo do ambiente térmico das áreas urbanas, e consequentemente do índice de conforto térmico tem chamada a atenção dos pesquisadores devido ao efeito das ilhas de calor nos centros urbanos e os seus impactos diversos sobre a população. Ele destaca que esses estudos nem sempre estão sendo empregados na elaboração de projetos de planejamento urbano. Gartland (2010) afirma que há tempo se percebe que áreas urbanas e suburbanas possuem ilhas de calor, um “oásis inverso” onde o ar e as temperaturas da superfície são mais elevadas do que em áreas adjacentes. O autor destaca que os efeitos da ilha de calor urbana podem ser vistos como benéficos em cidades mais frias de altitude e latitude elevadas, e maléficos para a maioria das cidades do mundo principalmente durante o verão, pois suas conseqüências podem ser sentidas no desconforto térmico, na geração de problemas de saúde, na poluição e nos gastos de energia para minimizar o efeito do calor nos grandes centros urbanos.

Conti (1998) destaca que em uma cidade como São Paulo, a ilha de calor urbana se manifesta de forma complexa, conforme a estação do ano e de acordo com outras circunstâncias. Recorrendo-se à série de dados de temperatura de 1902 a 1921, do antigo Observatório de São Paulo, esse autor afirmou que foi encontrada para esse período de análise uma diferença expressiva para essa área urbana em comparação as áreas adjacentes. Dados mais recentes (1961-1990) do mesmo observatório e da mesma área indicou um aumento de 1,6 graus na ilha de calor urbana da cidade de São Paulo. Mendonça (2010) enfatiza que em condições naturais podem ser observadas as formações das ilhas de calor em face das situações de riscos inerentes a essa problemática. No entanto, a vulnerabilidade social a esses eventos é bastante seletiva, pois as populações desprovidas de condições econômicas, técnicas e científicas sofrem muito mais os efeitos do desconforto térmico sobre suas vidas.

A análise do conforto térmico, face às diferentes vulnerabilidades socioambientais, as quais a população dos centros urbanos estão expostas, constitui-se em requisitos elementares para direcionar um planejamento urbano pautado prioritariamente na melhoria da qualidade de vidas dessas populações. A importância dos estudos relativos ao conforto térmico nessas áreas se relaciona não só à sensação de

desconforto por parte da população, mas também nos reflexos do desconforto no desempenho no trabalho e na saúde (Barbirato et al., 2007).

3.4. Campo térmico e planejamento urbano

Os primeiros estudos sobre planejamento do desenvolvimento urbano de uma localidade remontam ao início dos meados do século passado com destaque especial para os países europeus como Inglaterra, França e Alemanha. Logo após a Segunda Grande Guerra Mundial, o planejamento do espaço geográfico foi ganhando cada vez mais notoriedade nos países desenvolvidos. Porém, só a partir da década de 1960 é que a noção de planejamento repercutiu nos países em desenvolvimento; e, ainda assim, pouquíssimas áreas foram submetidas às intervenções segundo planos pré-estabelecidos (Mendonça, 2003).

A expansão das áreas urbanas no Brasil seguiu a lógica do capital especulador e degradante que deixou marcas intensas nos arranjos espaciais dos principais centros urbanos no país. A má utilização dos recursos naturais, a forte segregação espacial, e o desrespeito à legislação ambiental criaram ambientes insalubres e degradantes. Associa-se a tudo isso, a forte concentração de renda nos grandes centros urbanos que gerou grandes desigualdades sociais e intensificou cada vez mais a vulnerabilidade socioambiental dessas áreas. O crescimento desordenado das cidades tem gerado inúmeros problemas e agravado cada vez mais a qualidade de vida das populações. A densidade e a magnitude das redes urbanas nos países em desenvolvimento têm intensificado os riscos e as vulnerabilidades socioambientais. Dessa forma, compreender a gestão ambiental dessas áreas se tornou um grande desafio em países como o Brasil (Mendonça, 2010). O mesmo autor afirma ainda que concebida e administrada de forma cartesiana e socialmente injusta e excludente, a cidade brasileira está a exigir, de cientistas, técnicos e gestores novas bases teóricas e metodológicas que a tomem de modo mais abrangente.

Para tentar compreender e equacionar esta questão, Mendonça (2010) criou o Sistema Ambiental Urbano (SAU), uma contribuição teórico-metodológica para o planejamento urbano e a gestão das cidades. Pautada na interdisciplinaridade e no diálogo de conhecimento contextualizado, tal proposta visa superar velhos paradigmas na compreensão dos problemas urbanos. O SAU e o SCU – Sistema Climático Urbano - de Monteiro (1976) constituem proposições teórico-metodológicas produzidas no Brasil

que buscam integrar a compreensão dos elementos constituintes das cidades e o seu planejamento urbano (Mendonça, 2010). Da mesma forma que o sistema climático urbano, o sistema ambiental urbano estabelece uma rede integrada de fatores que devem ser observados para se compreender a estrutura e dinâmica do espaço urbano. O mesmo autor destaca que as diferentes condições de vulnerabilidades socioambientais devem fazer parte desta abordagem, pois através dela pode-se verificar a intensidade dos riscos naturais face às alterações climáticas globais.

Nesse sentido, o IPCC (2007), no terceiro relatório de avaliação, revela que a temperatura média do ar aumentou significativamente durante o século XX. Os modelos globais do referido Painel têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aumentar entre 1,4 e 5,8 graus, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que aparentemente não tem precedentes durante, ao menos, os últimos 10 mil anos. O mesmo relatório afirma que as conseqüências dessas mudanças serão adversas, com perdas econômicas e de vidas, ocasionadas pela degradação do ambiente e da qualidade de vida das populações. Marengo & Dias (2006) afirmam que os principais efeitos diretos dessa alteração estão mais associados às ondas de calor, secas ou casos de extrema precipitação, além de mudanças no nível dos mares e nos padrões de vegetação. Apesar de não existir um consenso dentro da comunidade científica a respeito das alterações climáticas globais, muitos dos impactos e seus efeitos já são visíveis em algumas áreas urbanas. Os centros urbanos contribuem diretamente para a intensificação do lançamento de poluentes na atmosfera que afetam a intensificação do calor antropogênico. Dessa forma, o planejamento ambiental dessas áreas entra também nas discussões sobre as causas e conseqüências dos efeitos das alterações climáticas globais e se reveste ainda mais de importância para a sociedade atual.

Laukkonen (2009), em trabalho realizado a respeito das combinações de adaptações às alterações climáticas e as medidas de mitigação local, chama a atenção da necessidade de se avaliar as vulnerabilidades no contexto da pobreza e das alterações climáticas globais. Para ele, o planejamento urbano e a mitigação dos possíveis impactos socioambientais em áreas urbanas estão diretamente associados, também, à capacidade de respostas das populações frente a fatores socioeconômicos e aos efeitos provenientes das alterações climáticas globais. No planejamento para mitigar os possíveis impactos socioambientais em áreas urbanas, não se devem dissociar os fatores climáticos do grau de vulnerabilidade socioambiental que atinge a população

concentrada nos centros das cidades. As consequências catastróficas das alterações climáticas globais em centros urbanos carentes de infra-estrutura e a falta de planejamento e ordenamento territorial também podem intensificar tais efeitos. As situações de excepcionalidades climáticas revelam as condições naturais dos riscos, enquanto que as diferenciações sociais, políticas, econômicas e culturais das populações revelam as condições de injustiça social que estão ligadas às diferenciações de vulnerabilidades socioambientais aos eventos extremos (Mendonça, 2010).

Embora se reconheça a importância de estudos do clima urbano para o planejamento e gestão das cidades, pouco se tem feito para incorporar os conhecimentos aplicados da climatologia urbana ao planejamento dessas áreas. Para que isso aconteça se faz necessário investir na formação de profissionais qualificados e no diálogo interdisciplinar para se aplicar critérios ambientais ao planejamento urbano (Assis, 2003). Como se pode observar há uma tendência e demandas cada vez mais significativas em associar os estudos de climatologia urbana ao planejamento urbano territorial, buscando a gestão ambiental e a qualidade socioambiental dessas áreas onde se concentram boa parte da população mundial. O clima e o planejamento urbano se constituem em duas faces de uma mesma moeda, pois qualquer alteração no sistema climático urbano pode se converter em impactos ambientais com efeitos diversos na qualidade de vida das populações e vice-versa. Para uma intervenção racional do ambiente urbano, os planejadores necessitam de estudos detalhados das condições climáticas desses centros, segundo os três campos da climatologia urbana citados anteriormente, e sua integração e aplicabilidade com outras áreas do conhecimento. Dessa maneira, torna-se imprescindível o estreitamento entre climatologistas e urbanistas para projetar o espaço geográfico, bem como direcionar os planos de planejamento e ordenamento territorial dos centros urbanos. Deosthali (1999) destaca a necessidade desses estudos para a adequação do planejamento urbano e a criação de índice bioclimático.

Partindo desta perspectiva, os estudos relacionados a compreensão do campo térmico urbano associado às diferentes formas de uso e ocupação do solo nesses ambientes, se reveste de grande relevância e subsídio técnico científico para os gestores públicos e planejadores urbanos. A título de exemplo, verifica-se o estudo realizado recentemente em Toulouse na França por Houet & Pigeon (2011) onde foram gerados mapas climáticos em função do uso e cobertura do solo para o espaço intra-urbano da área de estudo. Os mapas demonstram as diferenciações microclimáticas dentro do

espaço intra-urbano da cidade em função dos diversos tipos de uso e cobertura do solo. Esses mapas também foram utilizados para verificar a influência da urbanização nas condições do campo térmico local. Os autores revelam que tais mapas podem auxiliar as autoridades públicas locais e os planejadores da cidade nas tomadas de decisão quanto ao planejamento e a gestão ambiental das áreas urbanas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O município de João Pessoa, PB, está localizado no Litoral Oriental da região Nordeste do Brasil, entre as seguintes coordenadas geográficas: Latitude Sul = $7^{\circ}14'29''$, Longitude Oeste = $34^{\circ}58'36''$, Latitude Sul = $7^{\circ}03'18''$ e Longitude Oeste = $34^{\circ}47'36''$. A cidade apresenta os seguintes limites municipais: ao Sul com o município do Conde, a Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao Norte como município de Cabedelo e ao Leste com o Oceano Atlântico (Figura 1). A cidade permanece durante todo o ano dentro da influência dos ventos alísios de sudeste, que têm a sua frequência alterada através dos ventos de leste e de nordeste e da Zona de Convergência Intertropical (Silva et al., 2009).



Figura 1. Localização da área de estudo (a cidade de João Pessoa, PB) dentro do mapa do Brasil

A baixa amplitude térmica anual na cidade 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 se inicia em março e termina em agosto, e outra com poucas chuvas durante o resto do ano (Silva, 2004). A umidade relativa do ar média anual é de 80 % entre os meses de maio a julho, atingindo o valor máximo no período correspondente a estação chuvosa; enquanto que no período mais seco a umidade relativa do ar cai para 68% (Santos et al., 2011). A cidade se destaca também pelo relevo, com baixas altitudes em relação ao nível médio do mar e pela vegetação remanescentes de Mata Atlântica espalhadas ao longo de sua área territorial (Silva, 1999).

Diferentemente do que ocorreu com outras cidades do país, no qual era necessário passar de vila para cidade, a capital do Estado da Paraíba já nasceu como cidade, tão somente para exercer funções administrativas e comerciais e ser uma extensão da dominação do capitalismo mercantil mundial na figura das metrópoles européias.

A cidade de João Pessoa nasceu à margem direita do rio Sanhauá, com a denominação de Nossa Senhora das Neves. Antes de receber seu nome atual, João Pessoa, foi chamada também de Frederiksdadt e Parahyba recebendo seu nome atual em 1930 (Maia, 2001). Essa autora ainda afirma que foi só a partir da década de 1920, no século XX, que se iniciou a implementação dos equipamentos urbanos, sendo considerado por muitos, como o início da modernização. Porém somente a partir das décadas de 1940 e 1950, a cidade passou a se expandir de forma mais acelerada.

Com a abertura da Avenida Epitácio Pessoa, em 1940, o prolongamento da Av. Pedro II e a abertura da Av. Cruz das Armas, além da instalação do Campus I da UFPB e da construção de conjuntos habitacionais, a cidade cresceu em direção a face leste, sudeste e sul dos limites municipais. Na década de 1960, a partir da implantação do Distrito Industrial com grandes investimentos de infra - estrutura e incentivos fiscais, segundo a política de Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o setor secundário passou a ganhar destaque na capital. No entanto, destaca-se que foi na década de 1970 que a expansão da malha urbana da cidade começou a se apresentar de forma mais intensa e rápida (Maia, 2001).

Rafael et al. (2009), em estudo realizado na cidade de João Pessoa, PB, através da observação e análise de imagens de satélites, destacam que entre os anos de 1990 a

2001 a taxa de crescimento da área urbana foi de aproximadamente 1,85%, enquanto que de 2001 a 2006 essa mesma taxa de crescimento foi de apenas 0,66%. Os autores explicam que no primeiro período observado (1990-2001) o crescimento da área urbana foi mais espreado ocupando espaços de áreas livres do município, tendo os principais vetores de expansão concentrados na área do litoral norte do município (Bairro do Bessa, Jardim Oceania e Aeroclub) e centro sul do município (Bancários, Valentina, Mangabeira, Água Fria). Já no segundo período observado (2001-2006), essa taxa de crescimento foi mais lenta, não significando que a evolução do setor imobiliário tenha apresentado essa tendência. O que realmente ocorreu foi uma substituição do padrão horizontal de moradias para um padrão vertical, ou seja, vários bairros passaram pelo processo de verticalização, tais como os bairros de Tambaú, Bessa, Manaíra e Bancários.

Sobreira (2011) destaca que com relação à expansão da malha urbana da cidade se verifica que a maior taxa de crescimento se deu entre as décadas de 1950 e 1970. A área urbana de 1.145 ha foi ampliada para 3.788 ha representando um aumento de 38% em apenas 20 anos. No entanto, esse autor chama a atenção que no intervalo de 7 anos, de 1970 e 1977, a cidade cresceu 2.371 ha, correspondendo a um crescimento de 34%, valor bastante alto, considerado o curto espaço de tempo. Observa-se nesse período uma extensa expansão da área edificada na parte sudeste da cidade com o surgimento dos bairros Jardim Cidade Universitária, Castelo Branco e Bancários próximos ao Campus I da UFPB. Essa autora afirma, ainda, que nos últimos 30 anos embora a cidade tenha sofrido um considerável aumento do seu contingente populacional, não houve expansão da área urbana, mas houve aumento na área edificada, ou seja, ocorreu adensamento urbano.

Com relação ao crescimento populacional no município, os números revelam que nas três últimas décadas a população da cidade praticamente triplicou, saindo de 221.052 habitantes em 1970 para 702.235 habitantes em 2009. Atualmente, segundo os dados do censo demográfico do IBGE (2010), a população é de 723.514 habitantes, enquanto que em 2000 a população era de 595.429 habitantes. Proporcionalmente, o aumento da população de João Pessoa, PB, foi maior do que do Estado da Paraíba. Os dados também apontam que João Pessoa se configura como uma cidade de porte médio praticamente totalmente urbanizada.

O processo de urbanização do município de João Pessoa faz parte do contexto da urbanização tardia sofrida pelos países em desenvolvimento como o Brasil. Tal

processo é caracterizado pelo crescimento acelerado das cidades brasileiras, a partir da década de 1960, quando a rápida urbanização, em função da saída do homem, do campo para a cidade, e a ausência de uma política de planejamento urbano, gerou várias cidades brasileiras “inchadas” e desprovidas dos serviços básicos de saneamento e infraestrutura, culminando na degradação do ambiente urbano e na queda da qualidade de vida das populações dessas áreas. Desse modo, pode-se afirmar que o espaço geográfico da cidade de João Pessoa também faz parte dessa dinâmica de crescimento vivenciada pelas cidades brasileiras, marcada por inúmeros desarranjos espaciais, fruto da contradição socioeconômica da sociedade capitalista. O seu sistema climático urbano já sofre conseqüências com impactos ambientais diversos de uma cidade que aos poucos vem substituindo as suas áreas verdes por construções de concreto e impermeabilização do solo, face à especulação imobiliária e ao dinamismo das suas atividades econômicas.

Atualmente a cidade de João Pessoa tem passado por inúmeras transformações no seu espaço geográfico, em função do uso desordenado do solo em algumas áreas e da forte especulação do setor imobiliário, que tem reduzido cada vez mais a cobertura verde remanescente de Mata Atlântica na malha urbana; e, assim, remodelado o espaço urbano da capital. Nesse contexto, Gomes et al., (2003); Oliveira (2003) e Carvalho (2001) destacam importância da preservação das áreas verdes, que além de proporcionarem um caráter mais saudável e agradável à paisagem urbana, são benéficas para a qualidade térmica local, pois facilitam as trocas dos fluxos de calor e umidade bem como a dispersão de poluentes nesses ambientes. Essa afirmação remete à importância da manutenção das áreas verdes para o conforto térmico ambiental da cidade de João Pessoa, considerada como uma das mais verdes.

4.2. Campo de análise do sistema clima urbano

A análise do clima urbano através de descrições físicas do espaço ocupado foi realizada com base na metodologia apresentada por Monteiro (1976); Katschner (2002) e Costa (2007). A técnica consiste em medições *in loco* e a análise rítmica das variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa do ar.

Inicialmente, foi definido o campo térmico da cidade de João Pessoa, PB, como subsistema climático urbano para a realização da pesquisa. Em seguida, foi feito o reconhecimento da área dos experimentos em função das diferenciações do uso e cobertura do solo e da disponibilidade das torres de celulares operacionalizadas pela

EMBRATEL, que serviu de base para a instalação dos equipamentos de medição da temperatura e umidade relativa do ar. Posteriormente, foram definidos dez pontos de medições de temperatura e umidade relativa do ar (nove pontos experimentais temporários e a Estação Meteorológica do INMET) dentro da malha urbana da cidade com diferentes características urbanas.

As coletas dos dados foram realizadas em dois períodos distintos: no período de estiagem (janeiro/fevereiro/março de 2011) e o período chuvoso (junho/julho/agosto de 2011). As medições de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas durante intervalos horários (1 hora) e ininterruptos nesses dois períodos por meio de equipamentos tipo termo-higrometro da marca *Hobos*. Esses dados foram utilizados para se avaliar o nível do conforto térmico e os gradientes de temperatura e umidade relativa do ar, bem como a intensidade da ilha de calor urbano na malha urbana da cidade.

A intensidade de ilha de calor urbano é obtida pela diferença entre a temperatura do ar da área urbanizada e aquela que ela teria se não houvesse urbanização, geralmente assumida como área rural (Silva et al., 2010). Dessa forma, o ponto P01 (Mata do Buraquinho) foi considerado o ponto de referência para o estabelecimento da intensidade de ilha de calor urbano (ICH) e dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar. Vale salientar, que este ponto está localizado em uma reserva florestal de Mata Atlântica, conhecido como Jardim Botânico Benjamim Maranhão, popularmente conhecido como Mata do Buraquinho, apresentando assim, características semelhantes a um ambiente rural.

A Tabela 1 exhibe a relação dos pontos experimentais com as suas respectivas coordenadas geográficas dentro da malha urbana da cidade.

Tabela 1. Localização dos pontos experimentais em coordenadas UTM

Localização dos pontos	Ponto	“X”	“Y”	Altitude (m)
Mata do Buraquinho	P01	294473	9210910	18
Bairro Expedicionários	P02	295307	9212248	54
Bairro Manaíra	P03	297168	9213966	13
Bairro Cabo Branco	P04	298053	9212232	09
Bairro Mangabeira	P05	296918	9205666	50
Bairro Cruz das Armas	P06	291631	9210044	47
Bairro Alto do Mateus	P07	288930	9210524	45
Bairro Centro	P08	296918	9205666	50
Bairro Bancários	P09	297368	9209252	18
Estação do INMET	P10	295858	9215350	05

4.3. Cálculo dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar

O gradiente é uma quantidade física que descreve a direção e a taxa de variação de uma variável em uma área em particular. Assim, como vetor, ele tem módulo, direção e sentido e, portanto, representa uma quantidade dimensional expressa em unidades dessa variável por unidade de comprimento. O gradiente de uma variável F na forma vetorial é determinado da seguinte forma:

$$\nabla F = \frac{\partial F}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial F}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial F}{\partial z} \mathbf{k} \quad (1)$$

A temperatura e a umidade relativa do ar variam rapidamente com a altura. Entretanto, a distância entre a superfície do solo e a altura padrão utilizada nesse estudo de apenas 1,5 m não produz variações significativas nas medições de temperatura e umidade relativa e, portanto, a componente k da Eq. (1) foi considerada nula. Por tanto, considerando uma área homogênea, é possível analisar a variabilidade horizontal do gradiente apenas numa única direção (i). Além disso, considerando-se que essa distância horizontal é relativamente pequena (alguns quilômetros), a derivada parcial de uma única componente é igual à derivada total e, assumido tal diferença suficientemente pequena, pode-se aproximar a derivada total à diferença finita. Dessa forma, com base nessas considerações, os gradientes de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos pelas seguintes equações:

$$\nabla T \approx \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2)$$

$$\nabla U \approx \frac{\Delta U}{\Delta X} \quad (3)$$

em que ΔT e ΔU são variações horizontais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), respectivamente, e ΔX é variação da distância (km) entre o ponto referência (P01) e cada ponto de medição dentro da área urbana da cidade (P02, P03....., P09).

4.4. Análise de tendência das séries climatológicas

A tendência das séries temporais de temperatura do ar, umidade relativa e do índice de desconforto térmico foram analisadas com base no teste não-paramétrico de Mann-Kendall, correspondente o período de 1963-2008.

4.4.1. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem seqüencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dado como se segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}(x_i - x_j), \quad (4)$$

em que o Sinal $(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma:

$$\text{Sinal} = \begin{cases} 1 & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

A estatística S tende para a normalidade quando n for grande, com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$ definidas como se segue:

$$E(S) = 0, \quad (6)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n+1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (7)$$

em que (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados. O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. O valor positivo de Z_{MK} indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de p , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-p/2}$,

o qual é obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho foram aplicados os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$. Verificada a significância estatística da tendência da série temporal, foram traçadas as distribuições espaciais do nível de conforto térmico para a cidade de João Pessoa durante os períodos seco e chuvoso para as condições climáticas atuais (2010) e os cenários para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050 e 2060.

4.5. Índice de cobertura do solo

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.

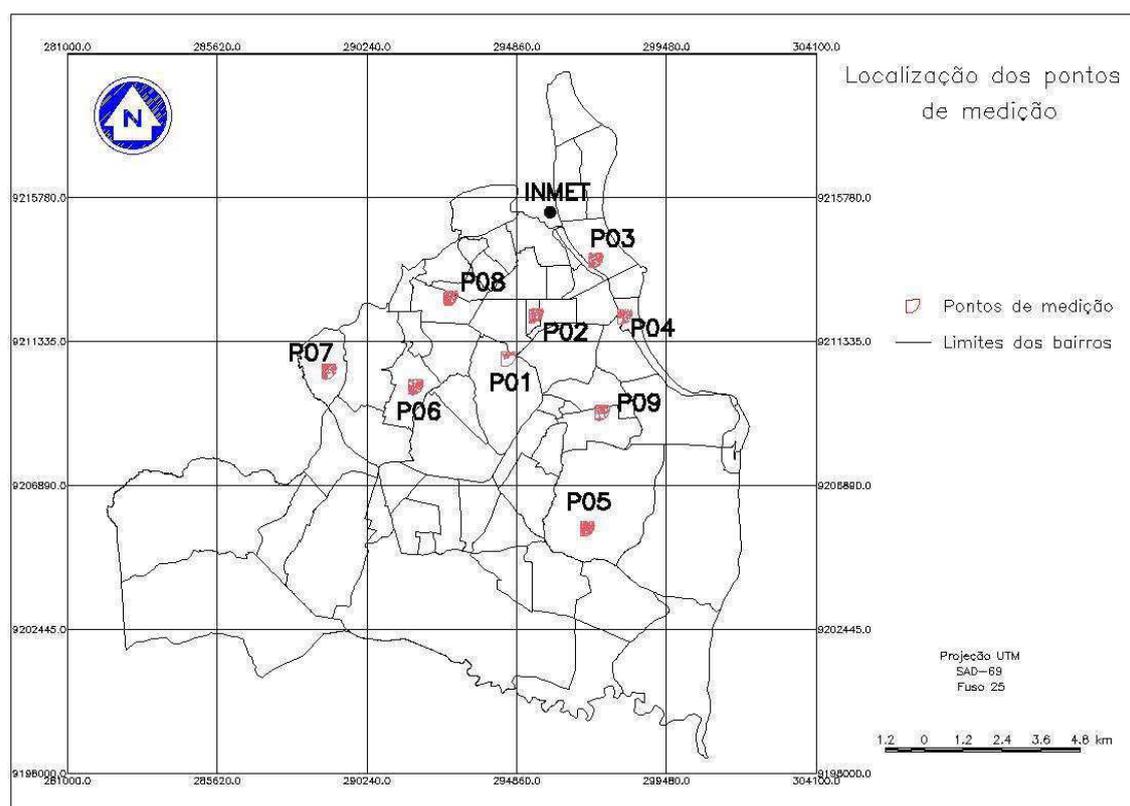


Figura 2. Localização dos pontos de medições e da Estação Meteorológica do INMET no perímetro urbano da cidade de João Pessoa. Mata do Buraquinho (P01), Bairro Expedicionários (P02), Bairro Manaíra (P03), Bairro Cabo Branco (P04), Bairro Manguabeira (P05), Bairro Cruz das Armas (P06), Bairro Alto do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

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.

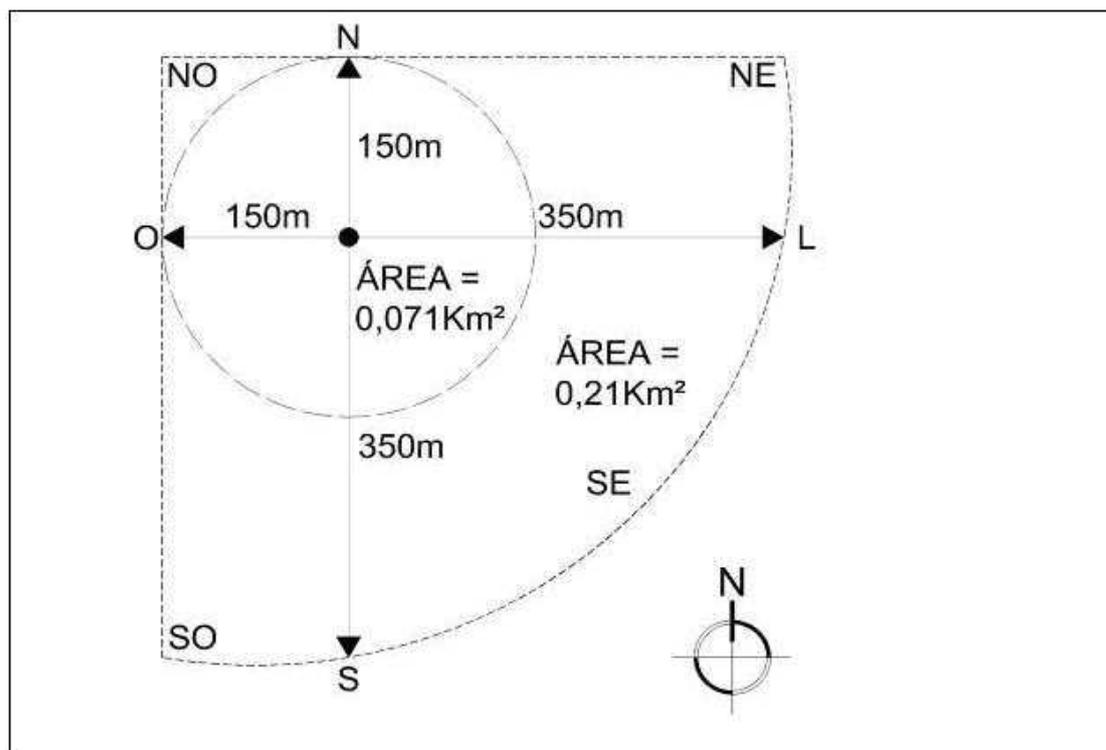


Figura 3. Área de análise de cada ponto de coleta durante os dois períodos experimentais: período seco e chuvoso (Fonte: Costa, 2007)

O índice de cobertura do solo foi obtido pela contribuição percentual dos seguintes tipos de classe de cobertura para a formação da área total de cada ponto

experimental: cobertura cerâmica; cobertura de amianto; cobertura metálica; corpos d'água 1 (piscinas); corpos d'água 2 (rios e mares); pavimento asfáltico; pavimento de concreto/calçamento; solo exposto/vegetação rasteira; área com vegetação.

4.6. Nível de conforto térmico

Na análise do nível de conforto térmico nos pontos monitorados durante os períodos seco e chuvoso na área de estudo foi utilizado o índice bioclimático conhecido como índice de desconforto de Thom – IDT (Thom, 1959). Esse índice descrever a sensação térmica que uma pessoa experimenta devido às variações das condições climáticas de um ambiente. Esse índice já foi aplicado com resultados satisfatórios em estudos das condições de conforto térmico urbano em várias partes do mundo, como no Egito (Robaa, 2011) e Brasil (Silva et al., 2010). 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:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 UR)(T - 14,5) \quad (9)$$

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 2 (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).

Tabela 2. 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)

Essa avaliação foi realizada durante os períodos seco e chuvoso, em cada ponto monitorado da área de estudo, simultaneamente ao monitoramento das variáveis

climáticas. No total foram aplicados 300 questionários para cada período de amostragem. Os questionários foram desenvolvidos de acordo com a norma internacional ISO 10551 (ISO, 1995), com base nas variáveis individuais, como idade, peso, sexo, altura e vestimenta.

Para a compreensão dos processos físicos que determinam os gradientes de temperatura e de umidade relativa na área de estudo, bem como do IDT, foi verificada a relação entre os tipos de materiais constituintes das classes de solos e o comportamento do campo térmico de cada ponto experimental.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Climatologia da área de estudo

Os dados climáticos da área de estudo foram obtidos na Estação Meteorológica do INMET, localizada às margens da BR 230, em João Pessoa, PB, cujas coordenadas geográficas são: 7°05' de latitude Sul e 34°50' de longitude Oeste e altitude de 5,0 m. A Tabela 3 exhibe as estatísticas básicas das principais variáveis climatológicas dessa estação meteorológica referente ao período de 1963 a 2010. A análise dos dados revela que a temperatura máxima em João Pessoa é de 30,7 °C, enquanto que a temperatura mínima não passa de 21,4 °C, com média climatológica no período de 1963 a 2010 de 26,4 °C. As diferenças das médias diárias das temperaturas máximas e mínimas são de 2,4 e 3,3 °C, respectivamente, enquanto que a diferença dos valores médios é de 2,6 °C ao longo de 47 anos de medições. Essa baixa diferença entre os valores de temperatura média diária está relacionada ao efeito da maritimidade que atua como regulador térmico nas áreas litorâneas com o período chuvoso e seco bem definido.

Tabela 3. Estatísticas da precipitação anual (Prec, mm), temperatura máxima (Tmáx, °C), temperatura mínima (Tmín, °C), temperatura média (Tmédia, °C), umidade relativa (%) e do índice de desconforto de Thom (°C) para o período de 1963 a 2010 na cidade de João Pessoa, PB

Variável	Prec	Tmáx	Tmín	Tmédia	UR	IDT
Média	1896,1	29,5	23,2	26,4	76,7	24,3
Desvio padrão	642,6	0,5	0,8	0,6	2,0	1,2
Valor máximo	3888,4	30,7	24,7	27,5	82,7	25,8
Valor mínimo	501,2	28,3	21,4	24,9	73,1	19,4

A precipitação variou intensamente na área de estudo, entre 501,2 e 3888,4 mm, com média \pm desvio padrão de 1896,1 \pm 642,6 mm. Por outro lado, a umidade relativa do ar apresenta valores altos, variando entre 73,1 a 82,7% e a média climatológica é de 76,7% em face da influência do alto conteúdo de umidade produzido pelo oceano. Essas condições climáticas favorecem níveis de conforto térmicos variando entre as faixas “sem nenhum conforto” e “mais de 50% das pessoas sentem desconforto”, de acordo com classificação de Giles et al. (1990) para o IDT (Tabela 2).

Os cursos temporais da temperatura do ar, umidade relativa e da precipitação da estação climatológica de João Pessoa durante o período seco (2011) são apresentados na Figuras 4. Nesse período a temperatura média diária do ar oscilou entre 27 e 30 °C, com de máximos em meados dos meses de janeiro e fevereiro (Figura 4A). Tais máximos são simétricos aos mínimos de umidade relativa nos mesmos períodos. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2010), quando analisaram o clima urbano da cidade de Campina Grande, PB.

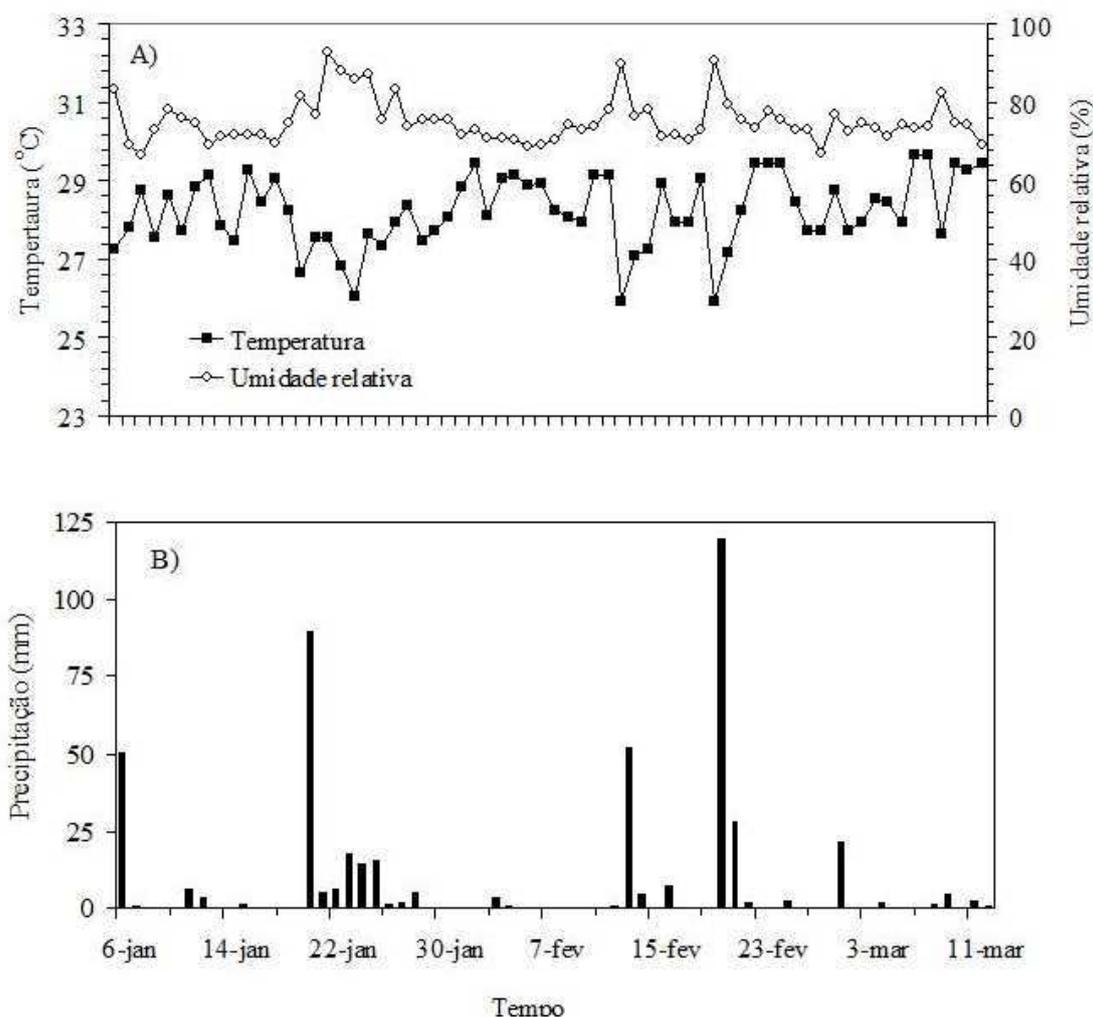


Figura 4. Curso temporal da temperatura do ar e umidade relativa (A) e precipitação (B) da estação climatológica de João Pessoa durante o período seco do ano de 2011

Após aproximadamente 5 dias, em torno do dia 20 de cada um desses meses, a temperatura decresceu e a umidade relativa aumentou em função da ocorrência de chuvas que totalizaram cerca de 100 mm em ambos os meses (Figura 4B). A amplitude térmica do período seco foi de aproximadamente 3°C durante os três meses de

monitoramento, enquanto que a umidade relativa do ar esteve sempre acima dos 70%, evidenciando, assim, a forte influência da maritimidade nas condições climatológicas dos meses secos na área de estudo. A relação entre as variáveis revela que durante os dias que ocorrem forte precipitação, há uma correspondente queda na temperatura média do ar. De forma similar, os cursos temporais da temperatura do ar, umidade relativa e da precipitação no período chuvoso são apresentados na Figura 5. Nesse período da fase experimental (junho-agosto), a temperatura do ar oscilou entre 23 e 27 °C, sendo os meses de junho e julho os meses mais frios do período analisado.

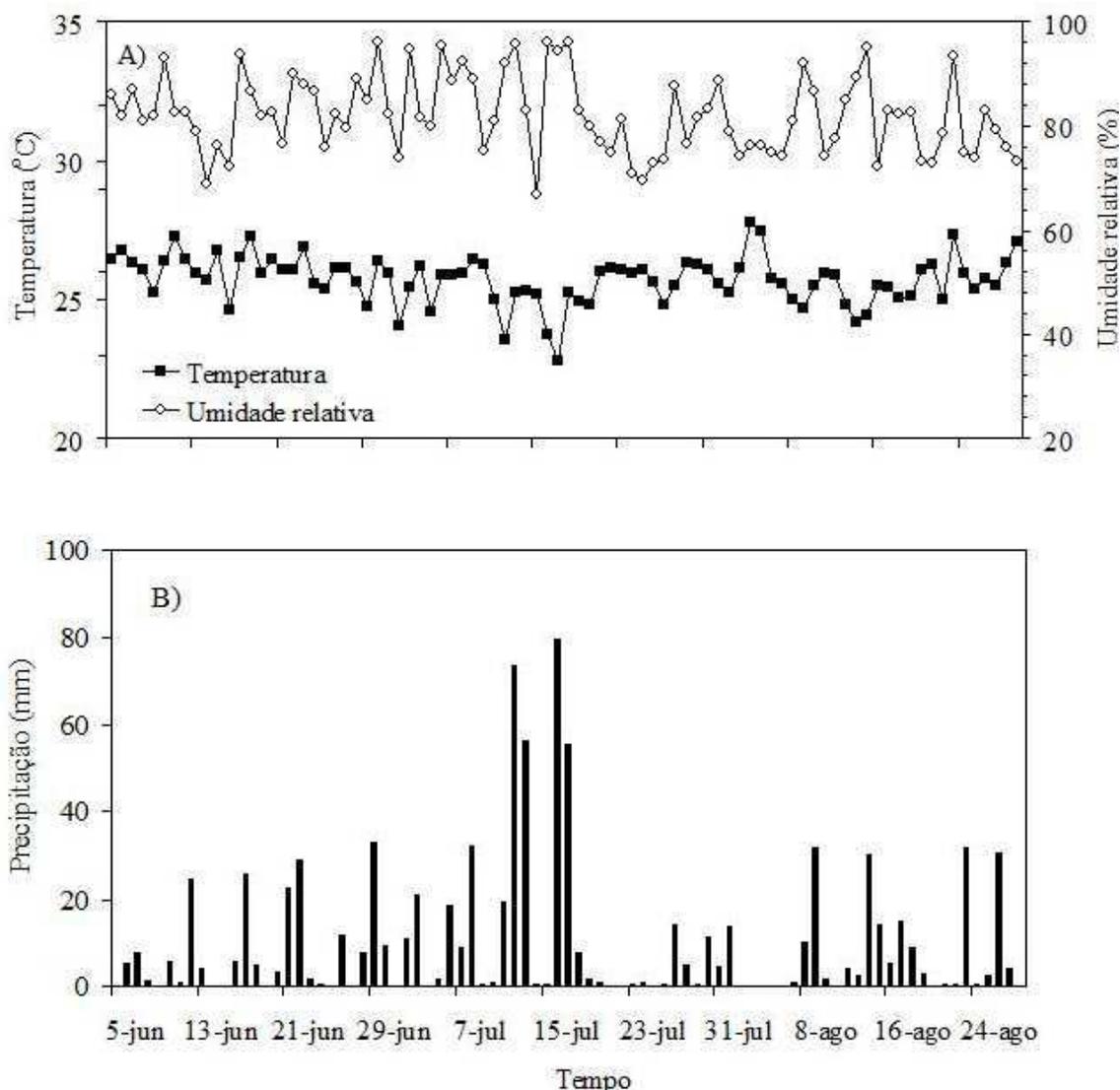


Figura 5. Curso temporal da temperatura do ar e umidade relativa (A) e precipitação (B) da estação climatológica de João Pessoa durante o período chuvoso do ano de 2011

A umidade relativa do ar foi mais elevada, quando comparada com o período anterior, variando acima dos 80% durante todo o período observacional (Figura 5A). Resultados semelhantes também foram constatados por Amorim (2011) para áreas adjacentes da Mata do Buraquinho, na cidade de João Pessoa. Segundo esse autor, a umidade relativa do ar foi 15% menor no período seco quando comparada como o período chuvoso. No período chuvoso ocorrem a maiores taxas de precipitação, concentradas entre os meses de junho e julho. Nesse período, as condições meteorológicas da cidade estão condicionadas à entrada da Massa de ar Polar Antártica que ganha intensidade nos pólos e consegue atingir boa parte do litoral do Brasil; aumentando, assim, a umidade relativa do ar e, conseqüentemente, gerando elevada precipitação nas áreas litorâneas.

5.2. Índice de desconforto de Thom

As entrevistas realizadas com base em questionários aplicados nos dois períodos de monitoramento para coletar informações sobre a sensação térmica dos treseuntes resultaram no ajuste das faixas de conforto térmico do índice de Thom para a área de estudo conforme exhibe a Tabela 4. Constatou-se, portanto, que os valores do índice de Thom ajustado indicam níveis de conforto significativamente diferentes daqueles propostos por Giles et al. (1990).

Tabela 4. 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
2	24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
3	26 < IDT < 28,0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28,0	Muito desconfortável

O IDT não ajustado (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 que representam as diferentes formas de uso e cobertura do solo, o IDT ajustado expressa de forma confiável as condições climáticas da área de estudo. A Tabela 5 exhibe o dia e a hora de ocorrência das condições de conforto térmico máximas e mínimas em todos os pontos monitorados, bem como as suas amplitudes térmicas. Essas informações serão utilizadas nas discussões do uso e cobertura do solo e a sua relação com conforto térmico que serão apresentadas de forma detalhada na sub seção 5.3.

Tabela 5. Dia e hora da ocorrência dos níveis de conforto térmicos máximos e mínimos e a amplitude térmica de cada ponto analisado durante os períodos seco e chuvoso em João Pessoa

Pontos	Índice de Desconforto de Thom (IDT)				Amplitude térmica (°C)
	Máximo (°C)		Mínimo		
	Data	Hora	Data	Hora	
Período seco					
P01	10/03/11	11:00:00	28/02/11	05:00:00	09,9
P02	25/02/11	13:00:00	13/02/11	09:00:00	09,7
P03	25/02/11	14:00:00	24/01/11	06:00:00	10,6
P04	10/03/11	14:00:00	24/01/11	05:00:00	10,2
P05	25/02/11	11:00:00	24/01/11	05:00:00	09,8
P06	19/02/11	13:00:00	24/01/11	05:00:00	10,7
P07	25/02/11	13:00:00	24/01/11	05:00:00	10,8
P08	25/02/11	14:00:00	24/01/11	05:00:00	09,9
P09	25/02/11	13:00:00	24/01/11	05:00:00	10,6
Período chuvoso					
P01	23/06/11	11:00:00	16/08/11	06:00:00	10,6
P02	23/06/11	12:00:00	16/08/11	06:00:00	09,8
P03	04/08/11	14:00:00	16/08/11	06:00:00	09,9
P04	23/06/11	13:00:00	16/08/11	06:00:00	09,5
P05	23/06/11	10:00:00	16/08/11	06:00:00	09,5
P06	07/06/11	15:00:00	16/08/11	06:00:00	10,2
P07	23/06/11	13:00:00	16/08/11	05:00:00	10,9
P08	04/08/11	13:00:00	16/08/11	06:00:00	11,5
P09	21/06/11	13:00:00	16/08/11	06:00:00	10,4

Os dados dessa tabela indicam que o IDT máximo no período seco ocorreu entre 11 e 14h, principalmente nos dias 25 de fevereiro e 10 de março; enquanto que o IDT mínimo ocorreu 24 de janeiro, nas primeiras horas da manhã, exceto no dia 13 de fevereiro do ano de 2011 que ocorreu às 9h. A amplitude térmica oscilou em torno de 10°C em todos os pontos analisados. Por outro lado, o IDT máximo no período chuvoso ocorreu entre 10 e 14h, em datas variadas dos meses de junho e agosto; enquanto o IDT

mínimo em todos os pontos ocorreu sempre no mesmo dia e horário, ou seja, no dia 16 de agosto de 2011 às 6 h. A amplitude térmica nesse período também foi em torno de 10°C. As temperaturas mais elevadas ocorreram sempre entre 12 e 14 h em praticamente todos os pontos experimentais e as mínimas nas primeiras horas do período diurno. Isso revela que os picos das temperaturas estão diretamente relacionados ao tipo de cobertura do solo, pois entre os horários mencionados ocorreram o ápice do ciclo de aquecimento desses materiais constituintes de cada ponto e depois das 14 horas iniciava-se o ciclo de resfriamento.

5.3. Uso e cobertura do solo dos pontos monitorados

A Tabela 6 apresenta as classes de uso e cobertura do solo dos nove pontos monitorados na área de estudo com seus respectivos tipos de cobertura. Os pontos P01 e P07 são os que apresentaram as maiores taxas percentuais de cobertura vegetal e solo exposto com vegetação rasteira, respectivamente. Esses fatores, em relação às demais classes de cobertura do solo, são determinantes para melhores condições de conforto térmico. Por outro lado, os pontos P03 e P06 apresentam materiais de cobertura do solo com propriedades térmicas desfavoráveis às condições de conforto térmico. A seguir, são apresentadas as características do entorno de cada ponto e suas respectivas classes de uso e cobertura do solo.

As classes de cobertura do solo apresentadas na Tabela 6 destacam características que podem ser favoráveis ou desfavoráveis ao conforto térmico do entorno de cada ponto experimental. Destaca-se o ponto P01 (Mata do Buraquinho) com condições favoráveis às condições de conforto térmico, pois apresenta características similares a um ambiente rural; por essa razão foi assumida neste estudo como ponto de referência para o estabelecimento da intensidade de ilha de calor e dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar. Por outro lado, os pontos P02, P05, P06 e P09 se destacaram por apresentar os maiores percentuais de cobertura cerâmica em suas áreas de entorno; enquanto que os pontos P03, P04 e P08 apresentam as maiores taxas de pavimento de concreto/calçamento. Esses materiais urbanos se constituem em fatores positivos para a formação da ilha de calor urbana e desfavoráveis ao conforto térmico.

As classes classificadas com corpos d'água 1 e corpos d'água 2 apresentam fatores relevantes para conforto térmico; entretanto, a contribuição desse fator é muito

pequena dentre os pontos analisados, sendo o máximo de apenas 1,72% na área de referência, a Mata do Buraquinho.

Tabela 6. 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. A

pesar 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 nas para as condições de conforto térmico na cidade. A seguir são apresentadas as análises de cada ponto de monitoramento, correlacionando-se o tipo de cobertura do solo urbano com a sensação térmica dos transeuntes.

Ponto P01 (Mata do Buraquinho)

A Mata do Buraquinho está localizada em uma reserva florestal de mata atlântica, próximo à sede do Jardim Botânico. Essa área apresenta alta e densa cobertura vegetal que totaliza 84,84% do total (Tabela 4), intercalada por algumas manchas de solo exposto (Figura 6), onde se verifica, também, a presença de corpos de água e algumas áreas com cobertura cerâmica. Essa área foi assumida como ponto de referência em função de suas características naturais ser semelhante a uma área rural, considerando-se as características da vegetação de grande porte e pouca interferência antrópica. Como se pode observar na Figura 7, as classes de cobertura do solo predominantes nesse ponto se constituem de fatores que contribuem para reduzir a temperatura do ar do entorno da área e, conseqüentemente, proporcionar uma sensação térmica confortável.



Figura 6. Vistas da área do entorno do ponto P01 (Bairro Mata do Buraquinho) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

A Figura 8 exibe o curso temporal das médias diárias da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante os períodos seco e chuvoso no ponto P01. No período seco, destacam-se as altas temperaturas do ar, que variaram entre 24,1 e 28,6 °C; enquanto a umidade relativa variou entre 70,6 e 100% e o IDT entre 24,1 e 26,6 °C (Figura 8A). Por outro lado, com base em dados horários, o IDT no período seco variou entre 22,3 a 28,5 °C. Os valores médios \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,2 \pm 2,41^\circ\text{C}$, $81,3 \pm 12,54\%$ e $25,7 \pm 1,39^\circ\text{C}$. Os diferentes tipos de recobrimento do solo, com destaque para a densa

cobertura vegetal da área repercutiram nas variáveis atmosféricas monitoradas (temperatura e umidade relativa do ar) e na sensação térmica (IDT).

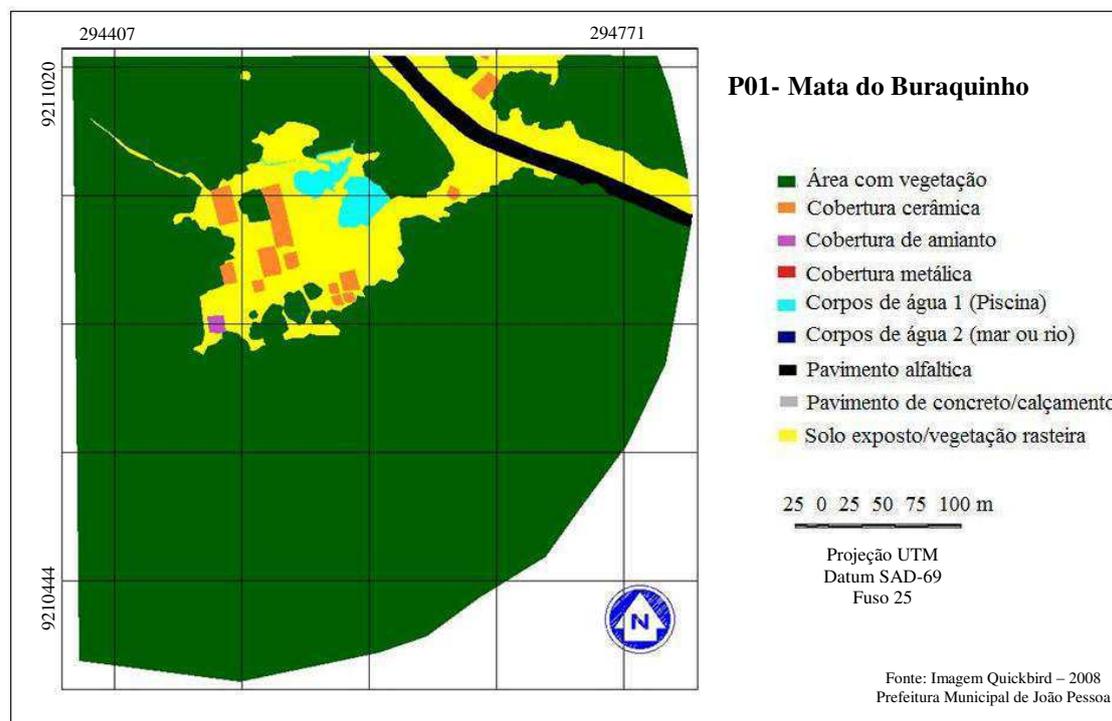


Figura 7. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P01 localizado na Mata do Buraquinho

A amplitude térmica nesse ponto no período seco foi 9,95°C (Tabela 5). Mesmo com a ocorrência de sensação térmica confortável no período compreendido entre as primeiras horas da madrugada e o início da manhã, o período diurno se mostrou desconfortável principalmente em torno do meio dia, com IDT ajustado sempre superior 26 °C. Esse resultado é particularmente importante porque ressalta que a cidade de João Pessoa apresenta sensação térmica desconfortável durante o período seco, mesmo em áreas com alta cobertura vegetal.

A temperatura do ar média diária no período chuvoso variou entre 22,7 e 26,9°C, a umidade relativa variou entre 77,9 e 100% e o IDT entre 21,3 e 25,5 °C (Figura 8B). Por outro lado, o IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 19,4°C, às 6h do dia 16 de agosto, a 27,7 °C, às 11h do dia 23 de junho de 2011. Os valores médios \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, 24,5 \pm 2,3 °C, 89,8 \pm 11,9% e 23,8 \pm 0,6°C. Portanto, o nível de conforto térmico médio durante o período chuvoso na Mata do Buraquinho permanece dentro da

faixa confortável; enquanto no período seco ele se aproxima da faixa desconfortável de acordo com o IDT ajustado. A vegetação também desempenha importante papel como regulador térmico no período chuvoso. A umidade relativa do ar nesse período aumentou consideravelmente em relação ao período seco, fundamentalmente em face da das chuvas que proporcionaram valores sempre superiores a 80%.

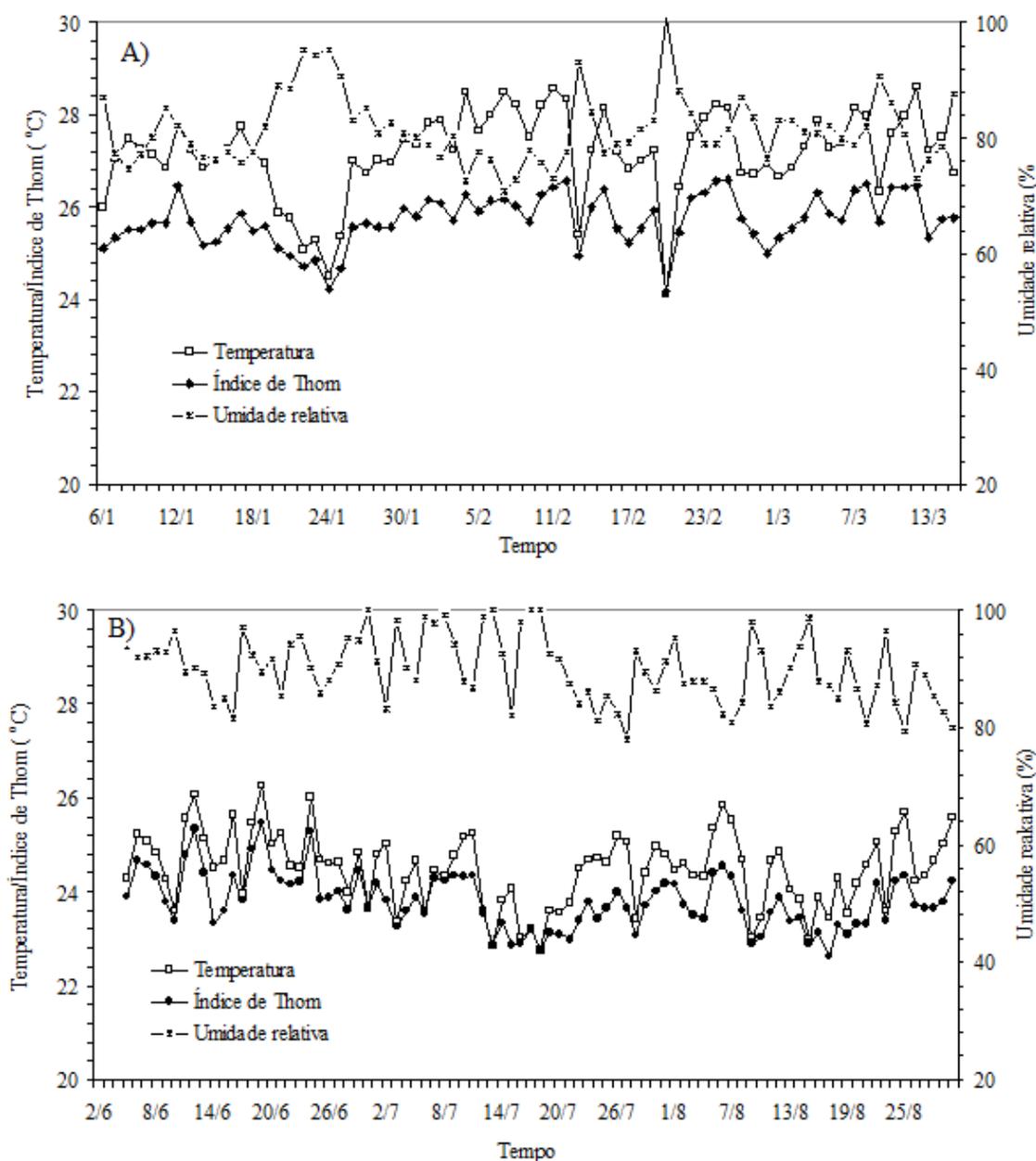


Figura 8. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P01 (Mata do Buraquinho), na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

Comparando os dois períodos, verificou-se uma diferença de 1,7 °C entre as temperaturas máximas e de 1,4 °C entre as temperaturas mínimas. O IDT variou de parcialmente confortável à desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso. Isso revela que a cobertura do solo por vegetação densa, em praticamente toda a área de abrangência do ponto de referência, exerceu influencia direta sobre a temperatura e a umidade relativa do ar e, conseqüentemente, no IDT. Nesse contexto, Nóbrega & Vital (2010), avaliando o efeito da vegetação sobre o clima urbano na cidade de Recife, PE, concluíram que há uma diferença considerável entre a temperatura de uma área mais urbanizada, comparada com uma área menos urbanizada e mais vegetada. Verifica-se dessa forma, a importância da cobertura vegetal para a amenização climática em áreas urbanas.

Ponto P02 (Expedicionários)

O ponto P02 fica situado no bairro residencial dos Expedicionários onde se encontram residências e edifícios comerciais intercalados por áreas verdes (Figura 9). O entorno dessas edificações nesse ponto é fortemente influenciado pela presença de cobertura cerâmica (44,06%) e de pavimento de concreto/calçamento (24,25%). Verificou-se também nesse ponto a presença de manchas de solo exposto com algumas áreas com vegetação que representam 8,46% do total da área (Tabela 6, Figura 10).



Figura 9. Vistas da área do entorno do ponto P02 (Bairro dos Expedicionários), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa/PB

A cobertura cerâmica predominou em boa parte do entorno do ponto P02, que exerceu influencia direta sobre o campo térmico da área experimental em relação ao ponto de referência. A temperatura do ar encontrada neste ponto nos períodos seco e

chuvoso foi mais elevada do que no ponto P01, enquanto a umidade relativa do ar foi menor.

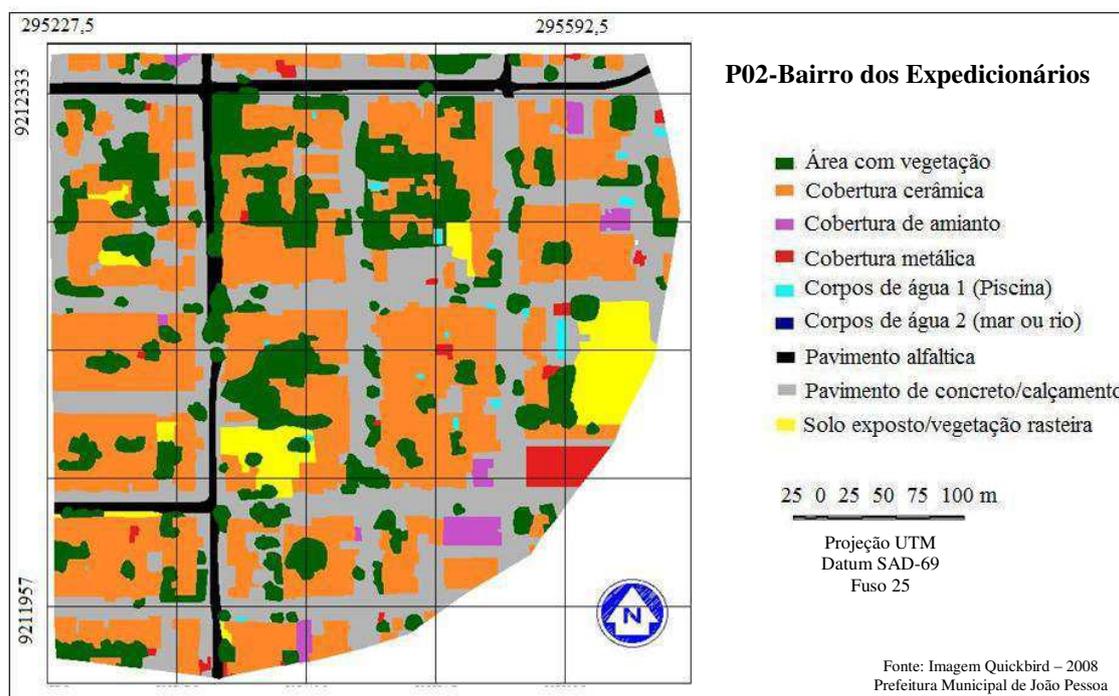


Figura 10. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P02 localizado no Bairro dos Expedicionários

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P02 variou entre 24,3 e 28,9 °C, a umidade relativa variou entre 68,4 e 97,6% e o IDT entre 24,2 e 26,9 °C (Figura 11A). Por outro lado, o IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,3 e 28,7 °C. Os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,7 \pm 2,0$, $76,4 \pm 10,2$ e $25,9 \pm 1,1$ °C. O nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro dos Expedicionários indicou uma condição muito próxima da faixa desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,7 e 27,4 °C, a umidade relativa variou entre 74,6 e 99,6% e o IDT entre 22,7 e 25,5 °C (Figura 11B). Esses resultados indicam que o ponto P02 (Bairro dos Expedicionários) é significativamente mais desconfortável do que o ponto P01 (Mata do Buraquinho).

O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,3 e 27,3 °C e os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do

IDT foram, respectivamente, $24,8 \pm 2,2$, $85,94 \pm 11,62\%$ e $23,9 \pm 1,4$ °C. O nível de desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no Bairro dos Expedicionários foi ligeiramente superior àquele encontrado para o ponto considerado como de referência (Mata do Buraquinho). Comparando-se os dois períodos se verificou uma diferença entre os valores médios de $1,5$ °C entre as temperaturas máximas e de $1,6$ °C entre as mínimas.

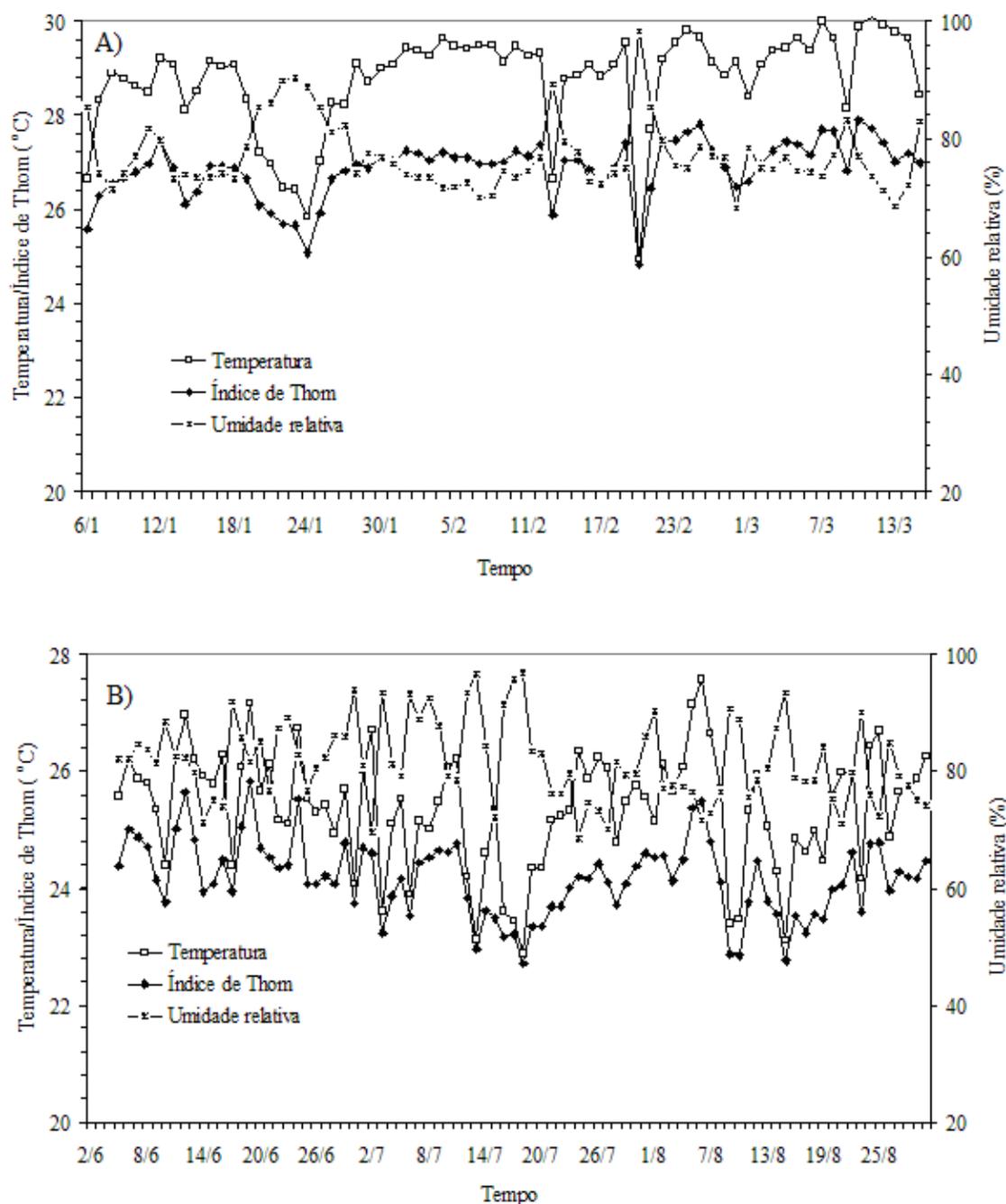


Figura 11. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P02 localizado nos Bairro dos Expedicionários, na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011.

Durante o período chuvoso a umidade relativa se situou sempre superior a 80%. Já o IDT variou de parcialmente confortável à desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso. Com o aumento da umidade relativa do ar, em face da ocorrência de precipitação no período chuvoso, os valores relativos ao IDT indicaram uma condição de estresse térmico menor. O aumento das temperaturas diárias entre as máximas e mínimas, além da queda da umidade relativa do ar, em relação ao ponto de referência, revela a influencia das classes de cobertura de solos que predominam sobre esse ponto. As análises quantitativas e qualitativas da cobertura do solo indicaram que a forma de uso do solo influencia a temperatura do ar e, conseqüentemente, no nível de conforto térmico. Nesse contexto, Jusuf et al. (2007) argumentam que uma das possíveis causas do aumento da temperatura em áreas urbanas é provocada pelas drásticas reduções das áreas verdes das cidades.

Ponto P03 (Manaíra)

O ponto P03 está situado em um bairro na faixa litorânea da cidade de João Pessoa, PB, mais especificamente na faixa litorânea ao norte da cidade, onde se encontra área mais densamente povoada e construída do que no litoral sul (Figura 12). O entorno do ponto é fortemente influenciado pela presença de cobertura cerâmica (34,21%) e de pavimento de concreto/calçamento (40,00%). Pode-se verificar também nesse ponto a presença de manchas de solo exposto com algumas áreas com vegetação que representam 19,69% do total da área do ponto (Tabela 5, Figura 13). Destaca-se, ainda, que o entorno dessa área é cortado por vias de pavimento asfáltico que representa 5,36%.



Figura 12. Vistas da área do entorno do ponto P03 (Bairro Manaíra) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

Pelos dados apresentados na Tabela 6 e Figura 13, verifica-se que a cobertura pavimento de concreto/calçamento e a cobertura cerâmica predominam no entorno do ponto P03, exercendo assim, influência direta sobre o campo térmico da área experimental em relação ao ponto de referencia. Ambos os tipos de cobertura apresentam propriedades térmicas relacionadas à absorção e retenção de calor que propiciam a concentração de energia e calor sobre o entorno da área analisada. Durante o período diurno, essa área recebe alta incidência de energia e calor, que logo é absorvido e armazenado e, posteriormente, à noite, essa energia é liberada lentamente ao longo do período de resfriamento que se inicia ao anoitecer. A umidade relativa do ar também é influenciada pelas características do entorno, pois os materiais constituintes contribuem diretamente para o decréscimo do conteúdo de vapor d'água na atmosfera.

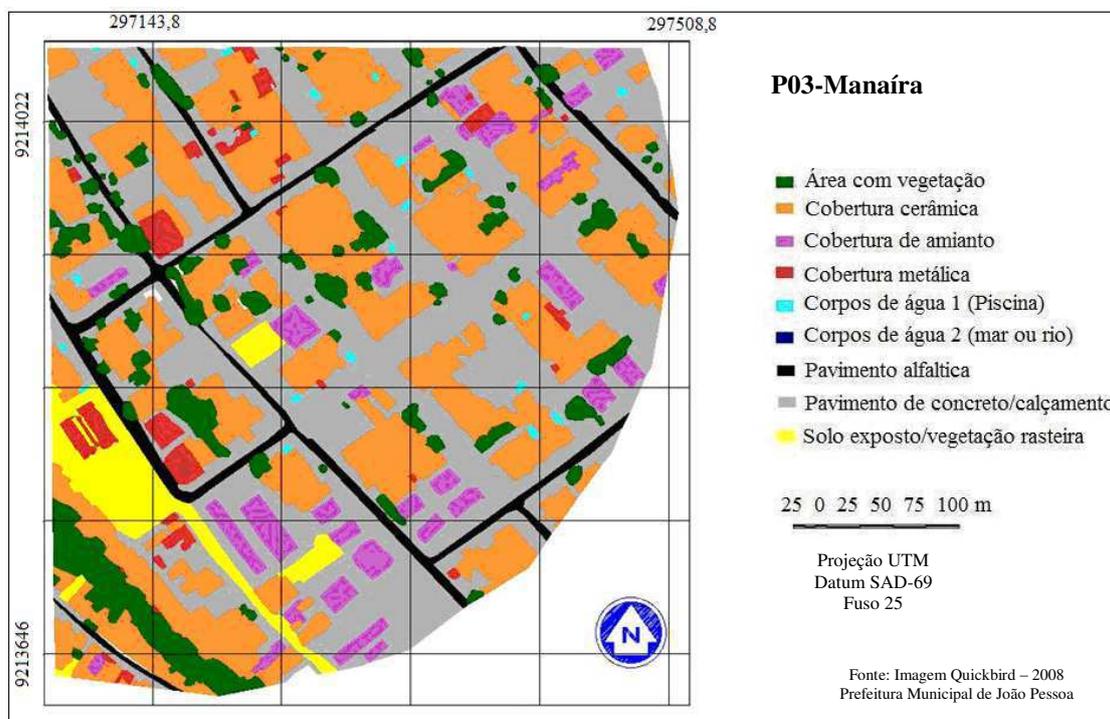


Figura 13. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P03 localizado em Manaíra

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P03 variou entre 24,9 e 27,8 °C, a umidade relativa variou entre 68,1 e 98,1% e o IDT entre 24,8 e 27,8 °C (Figura 14A). Por outro lado, o IDT, com base em dados horários no período seco, variou entre 22,8 e 29,4 °C, enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da

temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $28,7 \pm 2,1$, $76,9 \pm 9,6$ e $26,8 \pm 1,2$ °C. O nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro de Manaíra indica uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado.

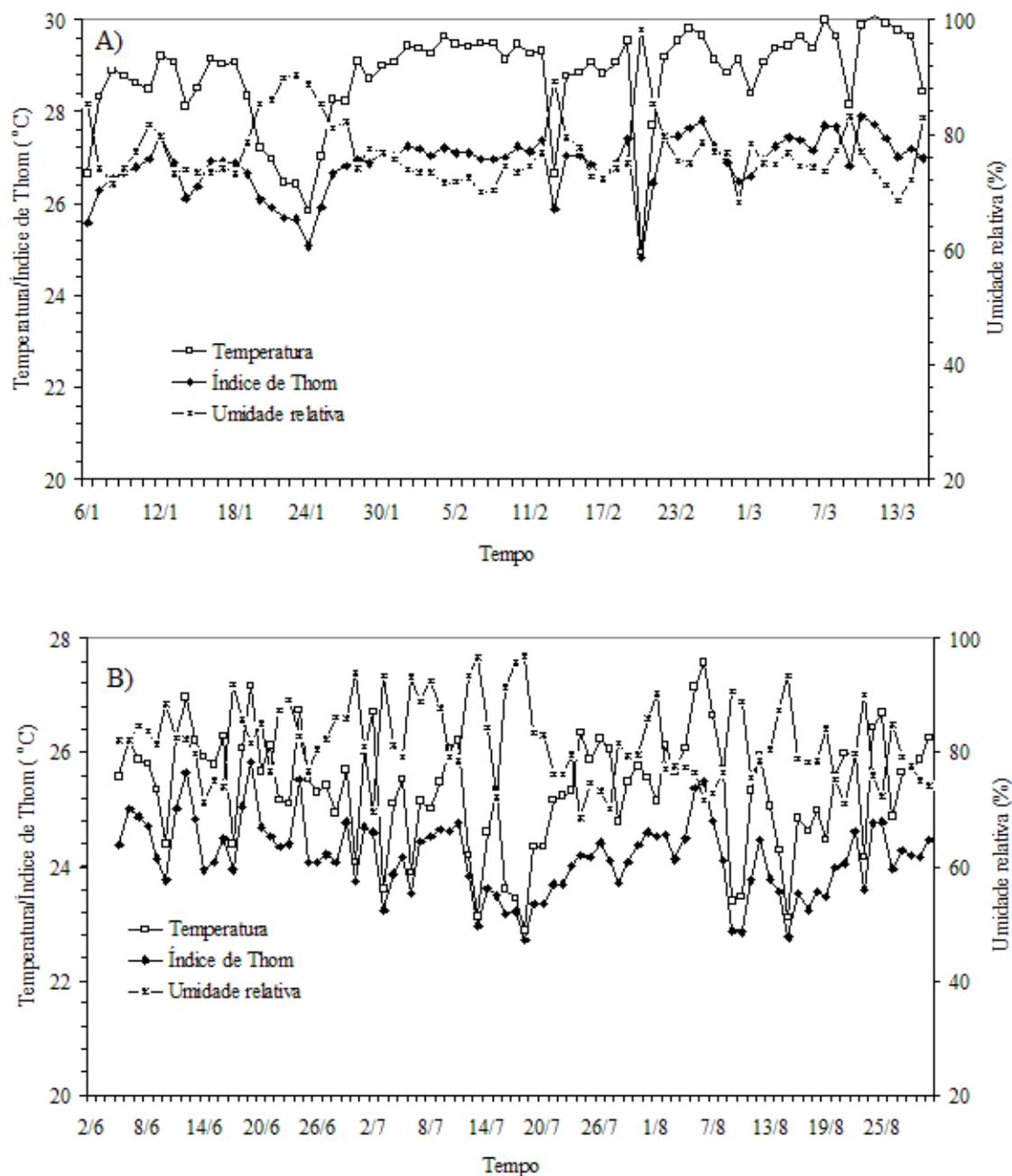


Figura 14. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P03 Manaíra na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

A temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,8 e 28,0 °C, a umidade relativa variou entre 68,5 e 96,9% e o IDT entre 22,7 e 25,8 °C (Figura 14B). Esses resultados indicam que o ponto P03 (Bairro de Manaira) é significativamente mais desconfortável do que o ponto P01 (Mata do Buraquinho), em face das características dos materiais urbanos do entorno da área analisada.

O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,6 e 27,5 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $25,2 \pm 2,1$, $81,6 \pm 11,42\%$ e $24,1 \pm 1,3$ °C. O nível de desconforto térmico médio horário durante o período seco no Bairro de Manaira foi bastante superior daquele encontrado para o período chuvoso. Entretanto, em ambos os períodos, o IDT variou dentro das faixas confortável a desconfortável, sendo o limite inferior do IDT no período chuvoso 2,2 °C menor do que no período seco e o limite superior 1,9 °C maior no período seco do que no período chuvoso.

Comparando os dois períodos, verificou-se uma amplitude térmica horária para o período seco de 10,6 °C e de 9,9 °C para o período chuvoso. Com relação à umidade relativa do ar, foi observado um acréscimo acentuado entre o período seco e o período chuvoso, tal como nos pontos P01 e P02. O IDT médio horário variou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso. Isso revela que a classe de cobertura do solo exerce influência sobre as trocas de energia e calor alterando diretamente os valores da temperatura, umidade relativa do ar e o nível de estresse térmico, pois, quando comparados com o ponto de referência (Mata do Buraquinho), verifica-se que essas variáveis sofreram a interferência da ausência de cobertura verde. As propriedades físicas de alguns materiais, associada à capacidade de absorção e retenção de energia e calor, além da expansão de áreas impermeabilizadas neste ponto com o adensamento urbano, contribuíram diretamente para o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, no nível de conforto térmico.

Ponto P04 (Cabo Branco)

Esse ponto monitorado também apresenta as características de um bairro localizado na faixa litorânea da área de estudo (Figura 15) e sendo, portanto, bastante influenciado pelas massas de ar oriundas do oceano atlântico e dos ventos alísios de sudeste. Entretanto, o bairro de Cabo Branco apresenta a segunda maior taxa de

cobertura tipo IX, dentre os pontos analisado, com 30,28% da área total, seguido da presença de cobertura pavimento de concreto/calçamento com 29,97%.

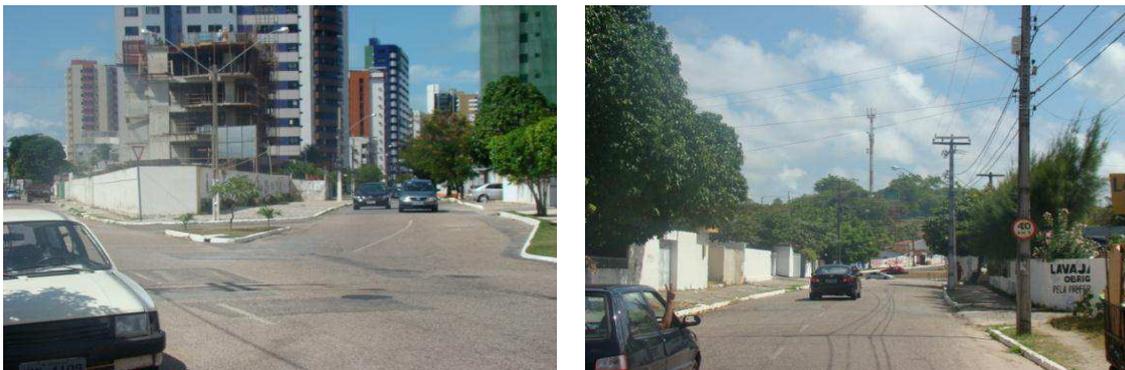


Figura 15. Vistas da área do entorno do ponto P04 (Cabo Branco) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

Verificou-se também nesse ponto a presença de cobertura cerâmica com 16,90% e ruas com pavimento asfáltico com 8,6% (Tabela 6, Figura 16). Como se pode observar na Figura 15, o entorno do ponto apresenta características de uma área urbanizada com solo impermeabilizado, o que reduz a evapotranspiração e consequentemente potencializa o aumento da temperatura ambiente.

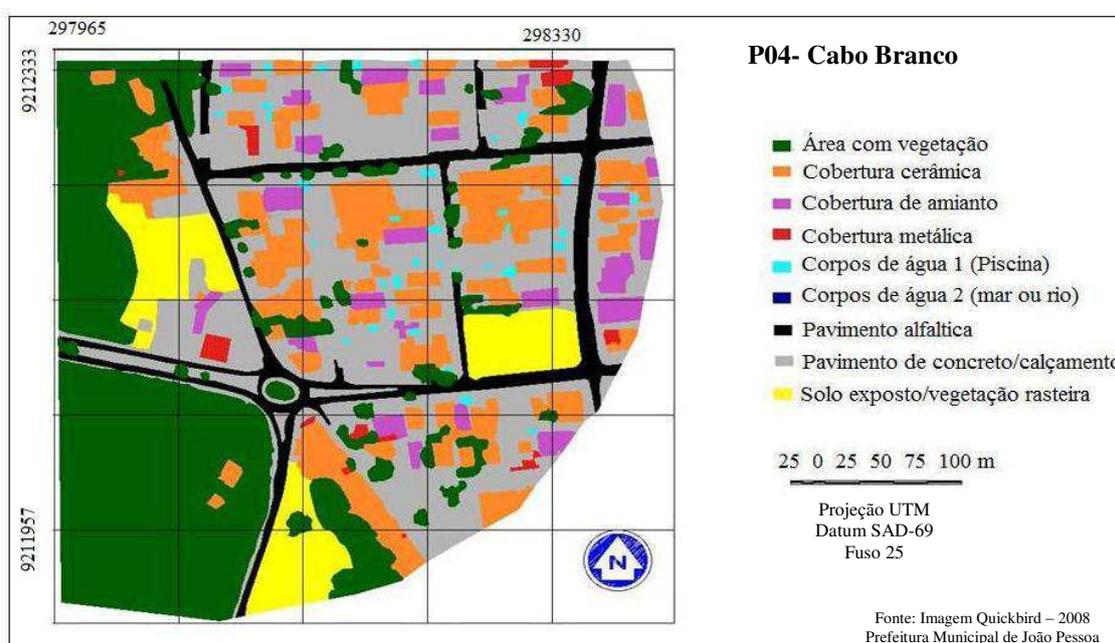


Figura 16. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P04 localizado no bairro de Cabo Branco

Durante o dia, essa área recebe uma alta incidência de energia e calor, que logo é absorvido e armazenado, sendo, entretanto, liberado lentamente ao longo do período de resfriamento. Muito embora esse ponto seja influenciado pela cobertura vegetal e a entrada dos ventos alísios de sudeste, as classes de cobertura do solo de pavimento de concreto/calçamento, cobertura cerâmica e pavimento asfalto determinam as altas temperaturas e a redução da umidade relativa do ar em relação ao ponto de referência.

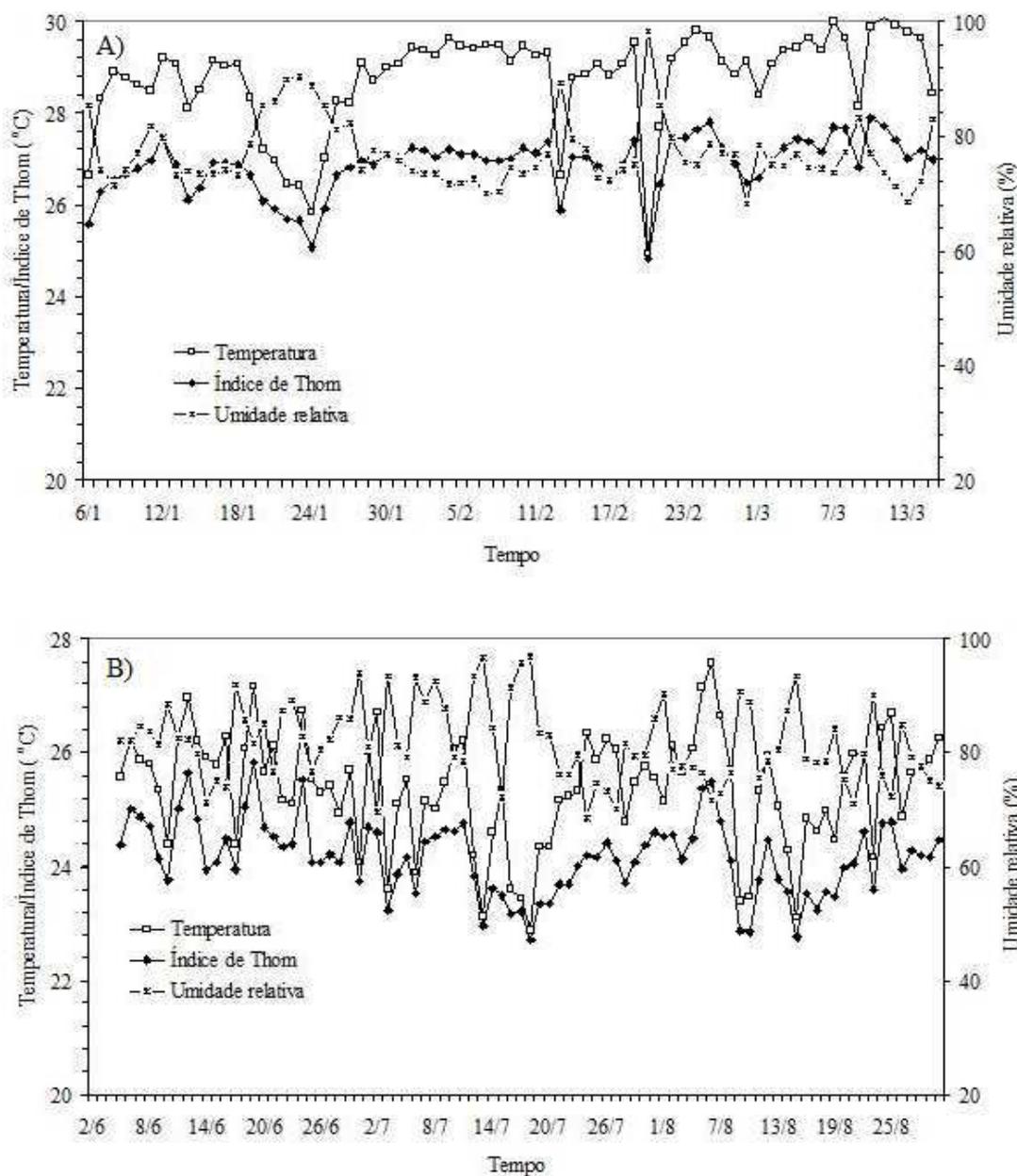


Figura 17. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P04 (Cabo Branco), na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

Tais classes também contribuem positivamente para o desconforto térmico da população. Nesse contexto, Oke (1978, 2004) destaca que na escala microclimática os fatores relacionados ao uso e cobertura do solo e as características do entorno são determinantes na caracterização do clima urbano. Dessa forma, os resultados do estudo para João Pessoa concordam com aqueles obtidos por esse autor, pois se constatou que as características do entorno condicionam o microclima local. A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P04 variou entre 24,7 e 29,6 °C, a umidade relativa entre 67,2 e 95,8,1% e o IDT entre 24,5 °C e 27,4 °C (Figura 17A). Por outro lado, o IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,5 e 28,9 °C.

Os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $28,3 \pm 2,1$, $75,4 \pm 9,8$ e $26,4 \pm 1,2$ °C. O nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro do Cabo Branco indicou uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado, a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,8 e 27,9 °C, a umidade relativa entre 69,5 e 97,5% e o IDT entre 22,7 e 25,9 °C (Figura 17B). Esses resultados indicam que o ponto P04 (Bairro do Cabo Branco) apresenta condições médias de conforto térmico semelhante daquelas encontradas para os pontos P02 e P03, porém mais desconfortável do que os pontos P01 e P02.

O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,4 e 27,3 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $25,1 \pm 2,2$, $83,3 \pm 11,67\%$ e $24,0 \pm 1,4$ °C. O nível de desconforto térmico médio horário, durante o período chuvoso no Bairro do Cabo Branco, também foi superior àquele encontrado para o ponto considerado como de referência. Esse fato demonstra mais uma vez que os materiais constituintes do uso e cobertura do solo nesse ponto apresentam propriedades térmicas que contribuem para o desconforto térmico exercendo, assim, influência no microclima local e no seu campo térmico.

Comparando os dois períodos analisados, verificou-se uma amplitude térmica horária no período seco de 10,1 °C e de 9,5 °C no período chuvoso. Com relação à umidade relativa do ar, constatou-se um acréscimo em relação ao período seco de 7,94%. O IDT variou no período seco de parcialmente desconfortável a desconfortável e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso. Isso indica que a classe de cobertura do solo exerce influência sobre as trocas de energia e calor, alterando diretamente os valores das variáveis atmosféricas que controlam o nível de estresse

térmico ambiental. As propriedades físicas de alguns materiais, associada à capacidade de absorção e retenção de energia e calor, além da expansão de áreas impermeabilizadas neste ponto, contribuíram diretamente para o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar.

Ponto P05 (Mangabeira)

Este ponto é localizado no maior bairro da cidade, situado na zona da sul de João Pessoa, PB (Figura 18). O bairro de Mangabeira é densamente povoado e caracterizado por residências e estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Esse ponto de monitoramento apresenta as seguintes classes de coberturas de solo: cerâmica (51,12%); pavimento de concreto/calçamento (22,12%); área com vegetação (22,12%); solo exposto e vegetação rasteira (8,81%) (Figura 19).

O entorno do ponto é caracterizado na sua maioria por classes de cobertura do solo que representam fatores que contribuem para o aumento da temperatura e redução da umidade relativa. Embora exista uma pequena parcela do seu entorno com área de cobertura vegetal (fator favorável ao conforto térmico), observa-se que as demais classes representam e exercem contribuições significativas para o desconforto térmico.



Figura 18. Vistas da área do entorno do ponto P05 (Bairro Mangabeira), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P05 variou entre 24,4 e 28,8 °C, a umidade relativa variou entre 70,7 e 97,5% e o IDT entre 24,3 °C e 27,0 °C (Figura 20A). Por outro lado, o IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,3 e 28,7 °C e os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura,

umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,7 \pm 2,1$, $78,5 \pm 10,3$ e $26,4 \pm 1,2$ °C. O nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro de Mangabeira indicou condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado, a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,5 e 27,5 °C, a umidade relativa variou entre 72,2 e 100,0% e o IDT entre 22,5 e 25,7 °C (Figura 20B).

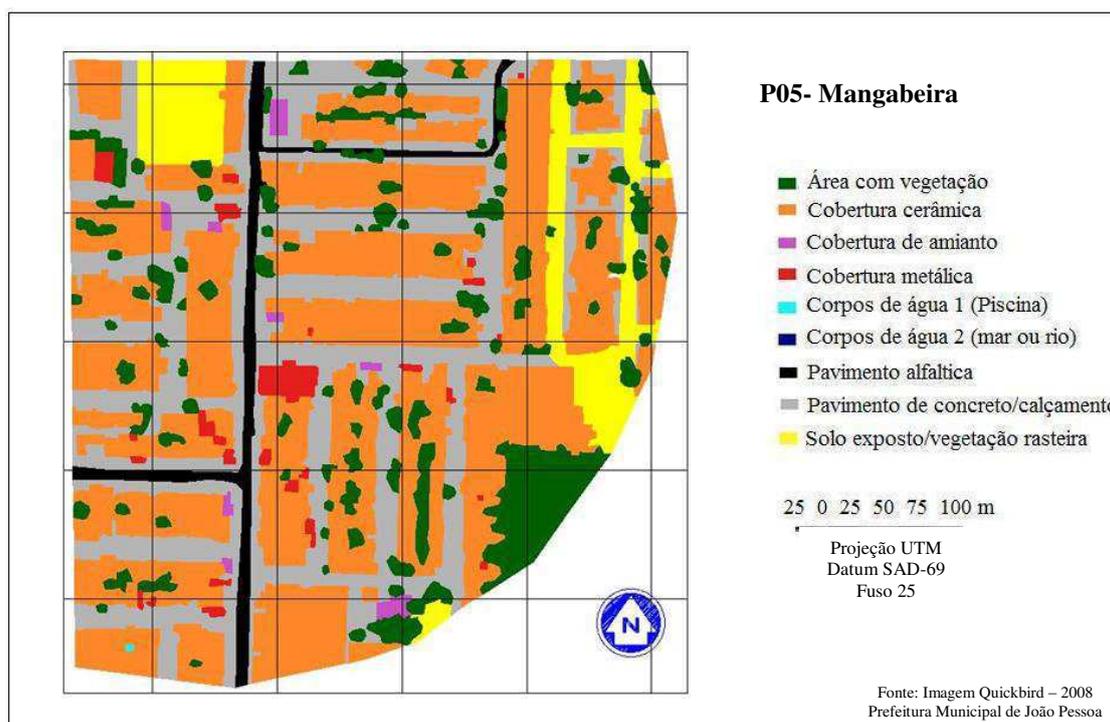


Figura 19. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P05 localizado em Mangabeira

O menor valor do IDT no período seco ocorreu em torno do dia 20 de fevereiro, (Figura 20A) e no período chuvoso em torno do dia 18/7. Os máximos/mínimos do IDT forma acompanhados com os máximos/mínimos de temperatura e mínimos/máximos de umidade relativa em ambos os períodos. O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,3 e 27,1 °C, enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $24,7 \pm 2,1$, $85,7 \pm 11,7\%$ e $23,8 \pm 1,3$ °C.

O nível de desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no Bairro de Mangabeira também foi superior àquele encontrado para o ponto de referência. Esses resultados indicam evidências que as construções de edifícios com

grande extensão vertical impedem o fluxo de ar e gera grande impacto no clima local. Entretanto, o planejamento apropriado do uso do solo pode mitigar os efeitos de ilha de calor urbano e níveis elevados de desconforto térmico nessas áreas urbanas (Jusuf et al., 2007).

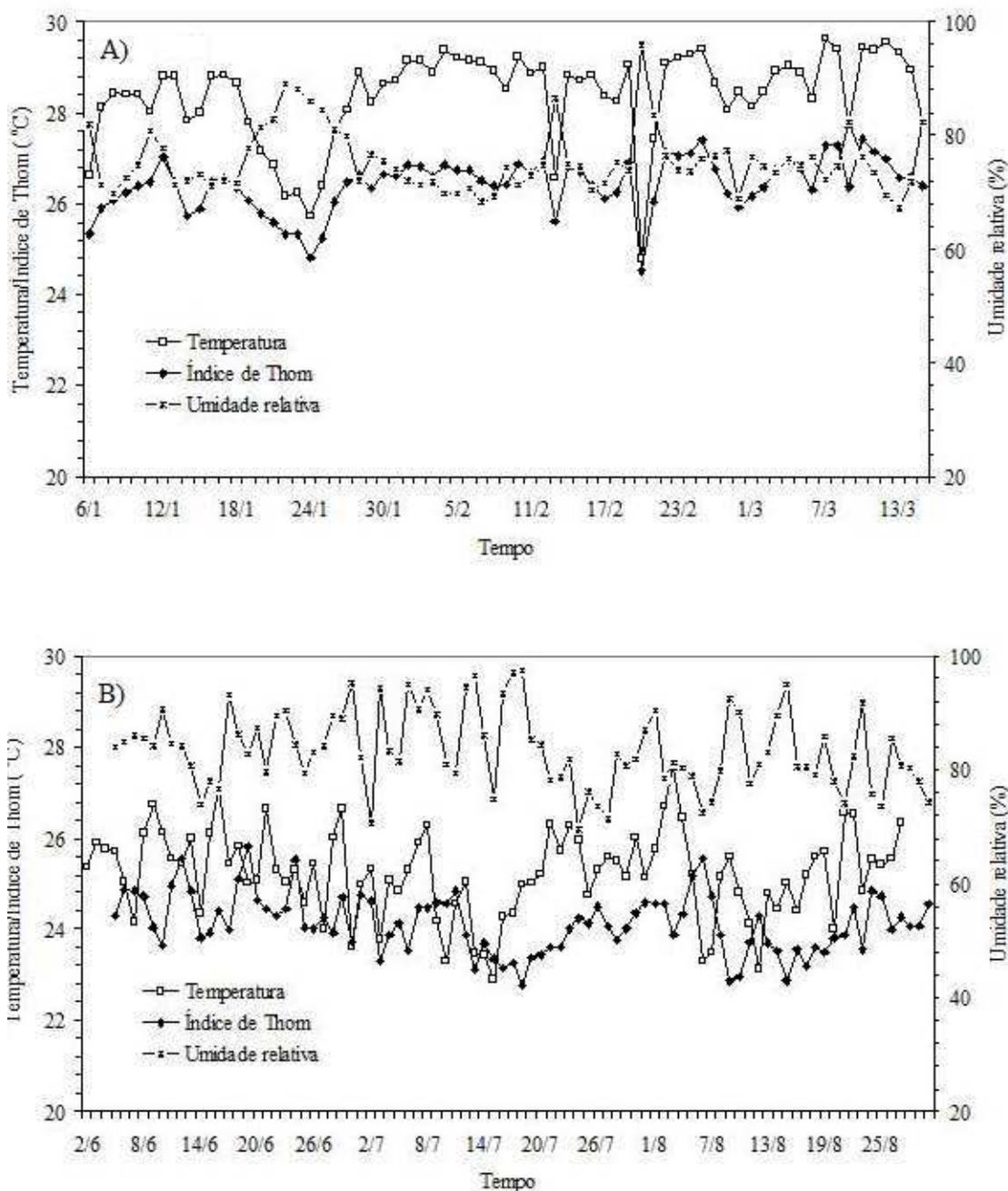


Figura 20. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P05 (Mangabeira) na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

A amplitude térmica horária no período seco foi de 9,7 °C e de 9,5 °C no período chuvoso. Com relação à umidade relativa do ar, foi constatado um acréscimo entre o período seco e chuvoso de 8,5%. O IDT variou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável para parcialmente confortável no período chuvoso. Dessa forma, as classes de cobertura do solo predominantes exerceram influências nas trocas de energia e calor alterando diretamente os valores das variáveis atmosféricas envolvidas no cálculo do IDT. As mudanças na temperatura do ar geradas pela alteração da paisagem urbana influenciam na saúde das pessoas e no nível de conforto térmico, bem como o consumo de energia e a qualidade do ar. Portanto, para fins de planejamento urbano é importante que sejam consideradas as variações de temperatura do ar entre diferentes categorias de uso do solo (Svensson & Eliasson, 2002).

Ponto P06 (Cruz das Armas)

Este ponto é uma amostra de um bairro periférico da cidade, caracterizado por um conjunto habitacional residencial de baixa extensão vertical (Figura 21). O entorno desse ponto apresenta, em sua quase totalidade, o recobrimento de solo do tipo cerâmica (74,97%) seguido das classes IX (cobertura vegetal) e VIII (solo exposto com vegetação rasteira) de 18,78 e 5,87%, respectivamente (Figura 22).



Figura 21. Vistas da área do entorno do ponto P06 (Bairro Cruz das Armas) dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

A classe de cobertura do solo tipo cerâmica recobre praticamente todo o entorno do ponto P06, exercendo influencia direta no campo térmico local. Esse tipo de material contribui para o aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar. O

processo de urbanização intensa na cidade de João Pessoa tem reduzido drasticamente o percentual de área verde. Isso, portanto, reflete no estresse térmico haja vista que a vegetação tem a capacidade de não apenas moderar a temperatura do ar através do sombreamento, mas, também, de reduzir a temperatura da superfície através dos fluxos evaporativos (Shashua-Bar et al., 2009).

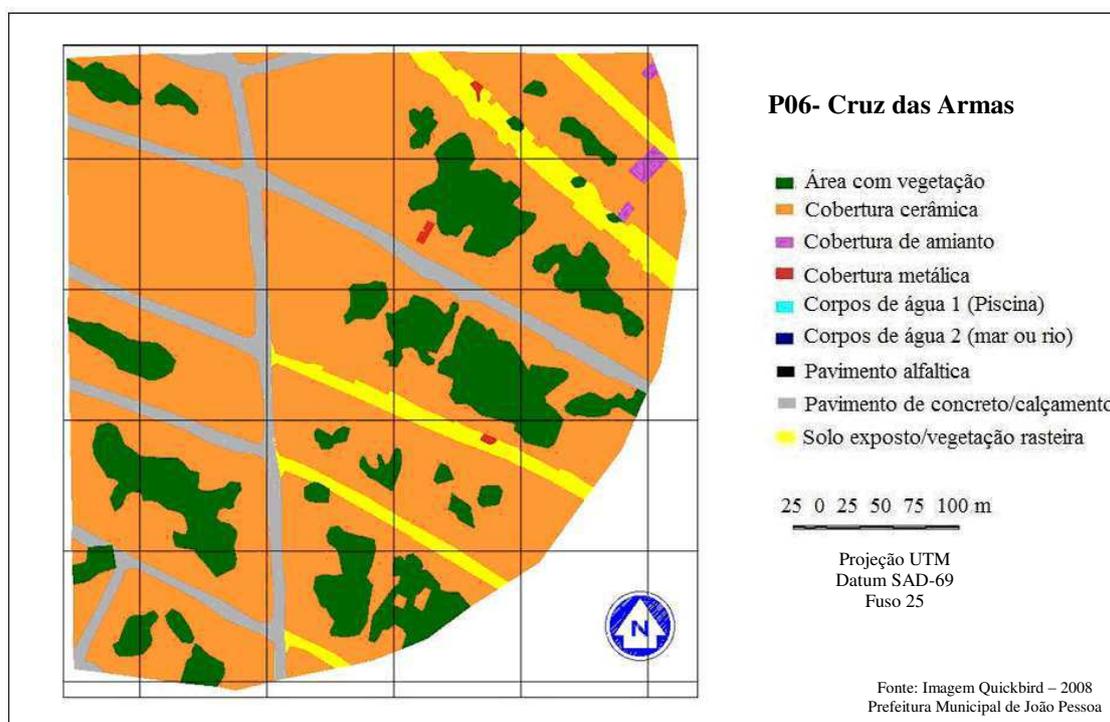


Figura 22. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P06 localizado em Cruz das Armas

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P06 variou entre 24,2 e 29,1 °C, a umidade relativa variou entre 68,8 e 99,3% e o IDT entre 24,1 °C e 26,9 °C (Figura 23A). Por outro lado, o IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,3 e 28,9 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,7 \pm 2,5$, $78,2 \pm 12,5$ e $25,9 \pm 1,3$ °C. Assim, constatou-se que o nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro de Cruz das Armas indicou uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado, a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,6 e 27,1 °C, a umidade relativa variou entre 73,4 e 99,6% e o IDT entre 22,6 e 25,6 °C (Figura 23B). Tal como no ponto P05, os menores

valores do IDT ocorreram em torno do dia 20 de fevereiro no período seco e em torno do dia 18 de julho no período chuvoso. Essas condições de conforto térmico estão associadas às fortes precipitações que ocorreram na área de estudo nesses períodos, produzindo alta umidade e redução na temperatura do ar.

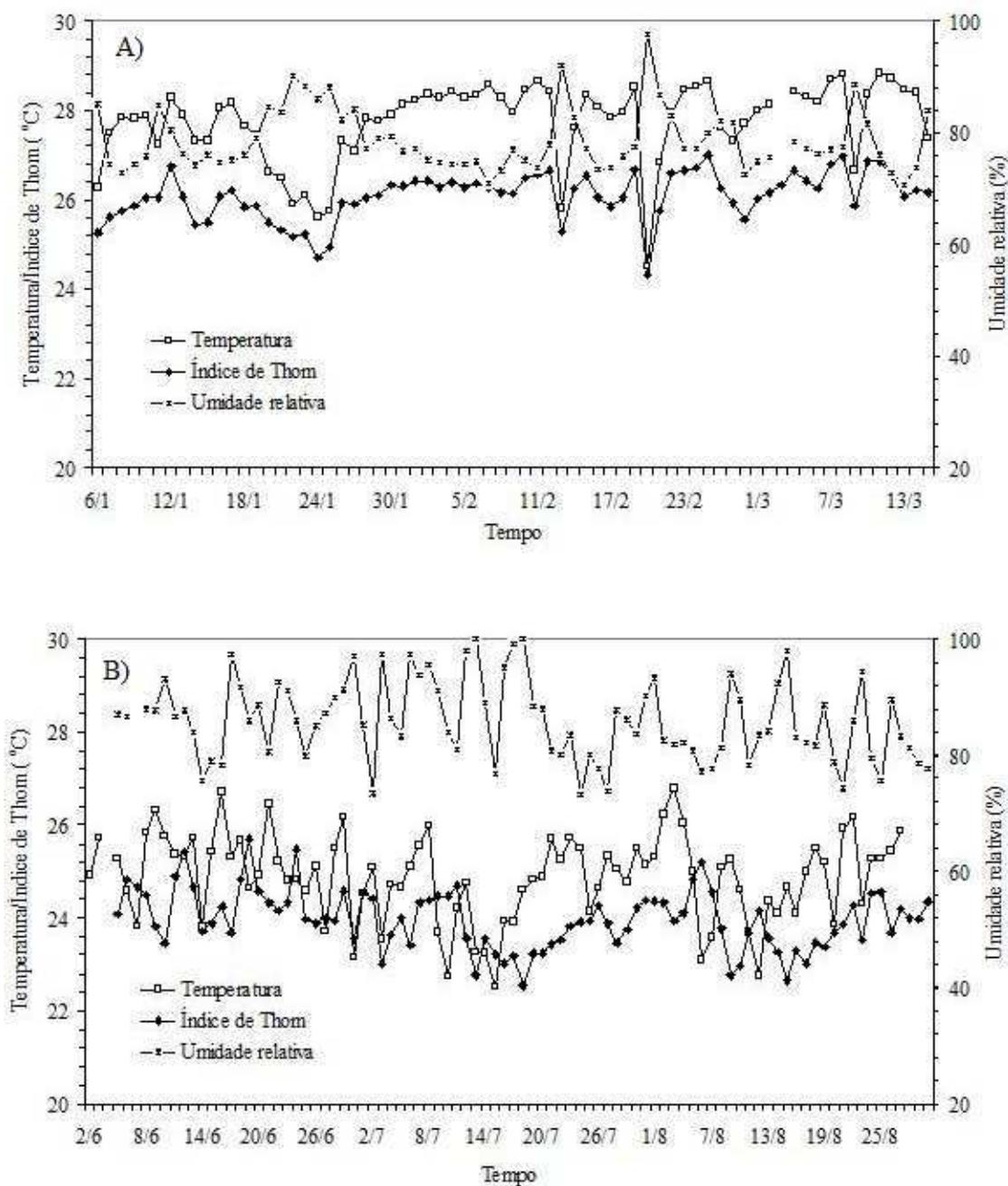


Figura 23. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P04 localizado em Cruz das Armas na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,3 e 27,6 °C. Já os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $24,9 \pm 2,5$, $85,1 \pm 13,1\%$ e $23,9 \pm 1,5^\circ\text{C}$. O nível de desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no Bairro de Cruz das Armas também foi superior àquele encontrado para o ponto considerado como de referência. Comparando os dois períodos analisados, verificou-se uma amplitude térmica horária no período seco de $10,6^\circ\text{C}$ e no período chuvoso de $10,2^\circ\text{C}$. Com relação à umidade relativa do ar, foi constatada uma diferença entre os períodos seco e chuvoso de 6,8%.

O IDT passou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável para parcialmente confortável no período chuvoso. Isso revela novamente que as classes de cobertura do solo predominantes na área urbana, é que determinam as condições de conforto térmico na escala microclimática. Destaca-se nos últimos anos, que o estudo do conforto térmico humano nas cidades ganhou muita atenção no contexto do microclima urbano. A identificação de áreas confortáveis dentro de uma cidade tem várias vantagens, que vão desde economia de energia até a qualidade de vida da população. Nesse contexto, recentemente, Deb & Ramachandraiah (2011) realizaram estudos na Índia na tentativa de apresentar uma nova escala para analisar os microclimas urbanos e o conforto térmico humano para ser usada em projetos e planejamento urbano.

Ponto P07 (Alto do Mateus)

O bairro do Mateus está localizado nas extremidades do perímetro urbano da cidade de João Pessoa, PB próximo à BR 230. Esse ponto de monitoramento é um bairro residencial periférico intercalado por ruas com solo exposto sem nenhum tipo de material de recobrimento (Figura 24). O entorno do ponto apresenta na sua maioria a classe de cobertura do solo tipo VIII (solo exposto com cobertura vegetal) com 36,50% de toda área, seguido da classe de cobertura cerâmica que representa 26,19% (Figura 25).

O entorno do ponto também é caracterizado pelo tipo de cobertura de recobrimento pavimento/concreto com 21,23%. Uma pequena mancha de área com cobertura vegetal pode ser encontrada no ponto, representando 10,74% do total. Porém,

vale ressaltar, que as classes mais representativas desse ponto contribuíram para a redução da umidade relativa do ar e aumento na temperatura do ar e no IDT.



Figura 24. Vistas da área do entorno do ponto P07 (Alto do Mateus), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

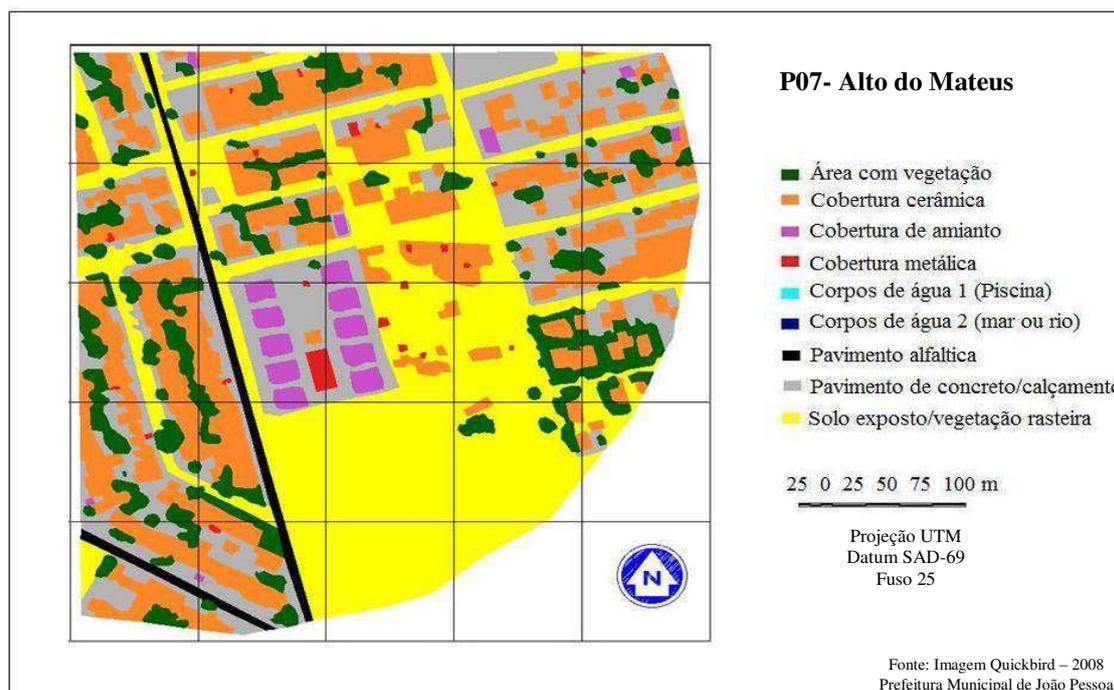


Figura 25. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P07 localizado no Alto do Mateus

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P07 variou entre 24,3 e 29,0 °C, a umidade relativa entre 69,2 e 98,4% e o IDT entre 24,2 °C e 26,9 °C (Figura 26A). O nível de conforto térmico médio durante o período seco no Bairro do Alto do Mateus indicou uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Vários

autores utilizaram o IDT para verificar condições de conforto térmico em algumas áreas urbanas. Gómez et al. (2001) utilizaram o índice de Thom para avaliar o desempenho das “zonas verdes” no conforto térmico da cidade de Valência, na Espanha. Similarmente, Silva et al. (2010) também utilizaram esse índice para avaliar o nível de conforto térmico e intensidade de ilha de calor urbano numa cidade tipicamente tropical no Brasil, bem como, Santos et al. (2011) utilizaram para verificar as condições de conforto térmico em uma parcela da área urbanizada da cidade de João Pessoa.

A temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,7 e 27,2 °C, a umidade relativa entre 72,5 e 99,2% e o IDT entre 22,6 e 25,6 °C (Figura 26B).

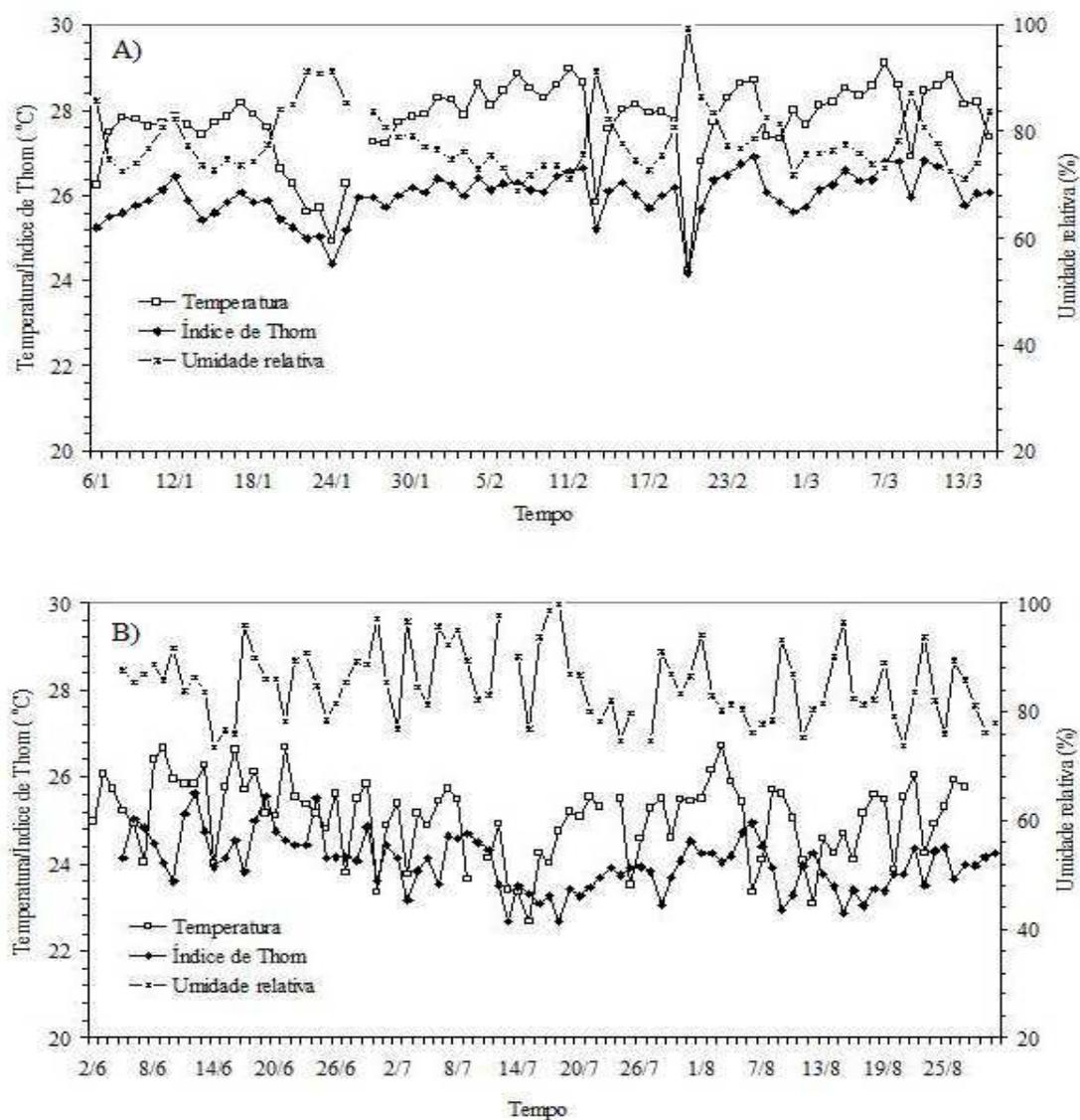


Figura 26. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P07 localizado no Alto do Mateus na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,2 e 27,9 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $25,0 \pm 2,6$, $83,9 \pm 13,4\%$ e $23,9 \pm 1,6^\circ\text{C}$. Sendo assim, o nível de desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no Bairro do Alto do Mateus também foi superior àquele encontrado para o ponto considerado como de referência (Mata do Buraquinho) e o ponto P04, porém semelhante àquele encontrado no ponto P06. O IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,3 e 28,9 °C e os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,7 \pm 2,6$, $78,8 \pm 12,9$ e $26,0 \pm 1,4^\circ\text{C}$.

Os materiais constituintes do uso e cobertura do solo nesse ponto, especialmente o do tipo I, apresentaram uma contribuição menor do que no ponto P06, entretanto houve uma contribuição efetiva de materiais do tipo IX (cobertura vegetal). A amplitude térmica horária em ambos os períodos seco e chuvoso foram praticamente iguais, variando entre 10,8-10,9 °C; porém, com relação à umidade relativa do ar, foi constatada uma diferença de 5,1%. O IDT passou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso.

Ponto P08 (Centro)

Este ponto representa uma amostra do centro urbano da cidade de João Pessoa, PB onde está localizado o comércio local (Figura 27). O local é constituído por vários estabelecimentos comerciais, sendo o seu entorno, em sua maioria, formado pela classe de cobertura do solo tipo VII (pavimento concreto/calçamento) com 39,66%, seguido da classe de cobertura cerâmica 18,38% do total. Verificaram-se, também, as classes de cobertura IX (área com vegetação) e VI (cobertura asfalto) com 13,83% e 11,28%, respectivamente (Figura 28).

As classes mais representativas desse ponto contribuíram para o aumento de temperatura do ar e do IDT. Assim, mais ainda do que no ponto de monitoramento anterior, as propriedades térmicas desses tipos de materiais contribuíram para a absorção e retenção de calor. Entretanto, a parcela de cobertura vegetal existente no entorno do ponto e a proximidade de um corpo de água (Lagoa), bem como pelo fato do ponto não estar localizado num cânion urbano, foram suficientes para estabelecer um microclima local capaz de reduzir os efeitos provocados pelos materiais urbanos existentes. A

impermeabilização do solo, associada com o fluxo de pessoas e veículos, deveriam ter contribuído diretamente para a sensação de desconforto térmico no local. Entretanto, as características físicas do entorno do ponto foram suficiente para estabelecer um microclima que favoreceu o conforto térmico dos transeuntes.



Figura 27. Vistas da área do entorno do ponto P08 (Centro da Cidade), dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P08 variou entre 24,4 e 29,0 °C, a umidade relativa variou entre 70,1 e 99,1% e o IDT entre 24,3 °C e 27,1 °C (Figura 29A). Com base em dados horários no período seco, o IDT variou entre 22,8 e 28,8 °C e os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $27,7 \pm 2,0$, $78,8 \pm 10,8$ e $26,0 \pm 1,2$ °C.

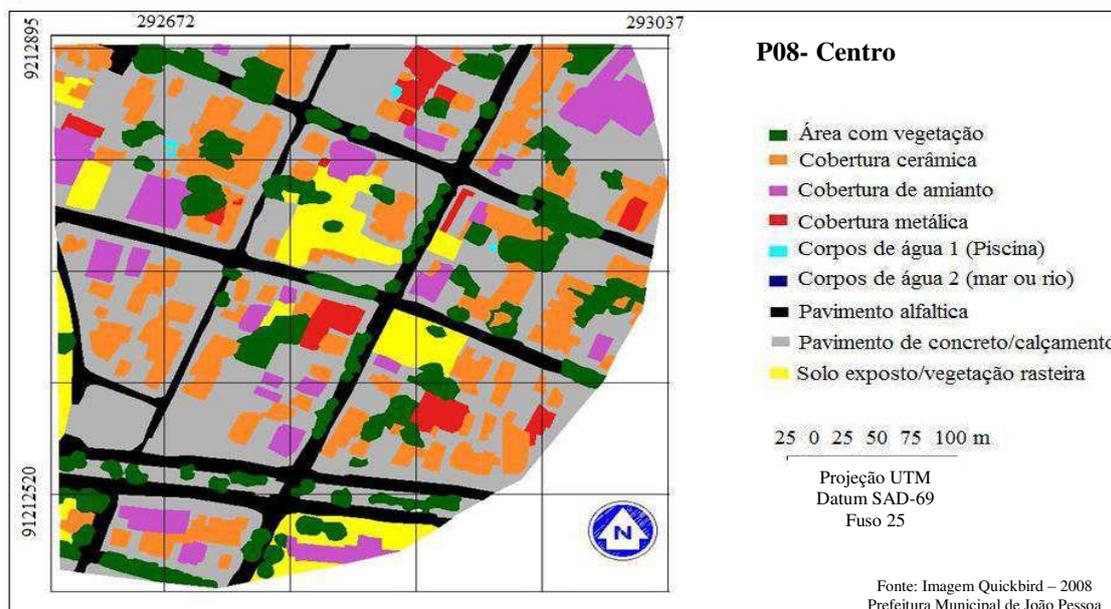


Figura 28. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P08 localizado no Centro da cidade de João Pessoa, PB

O nível de conforto térmico médio durante o período seco no ponto P08 indicou uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado, a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,7 e 27,2 °C, a umidade relativa variou entre 72,6 e 98,8% e o IDT entre 20,4 e 27,8 °C (Figura 29B).

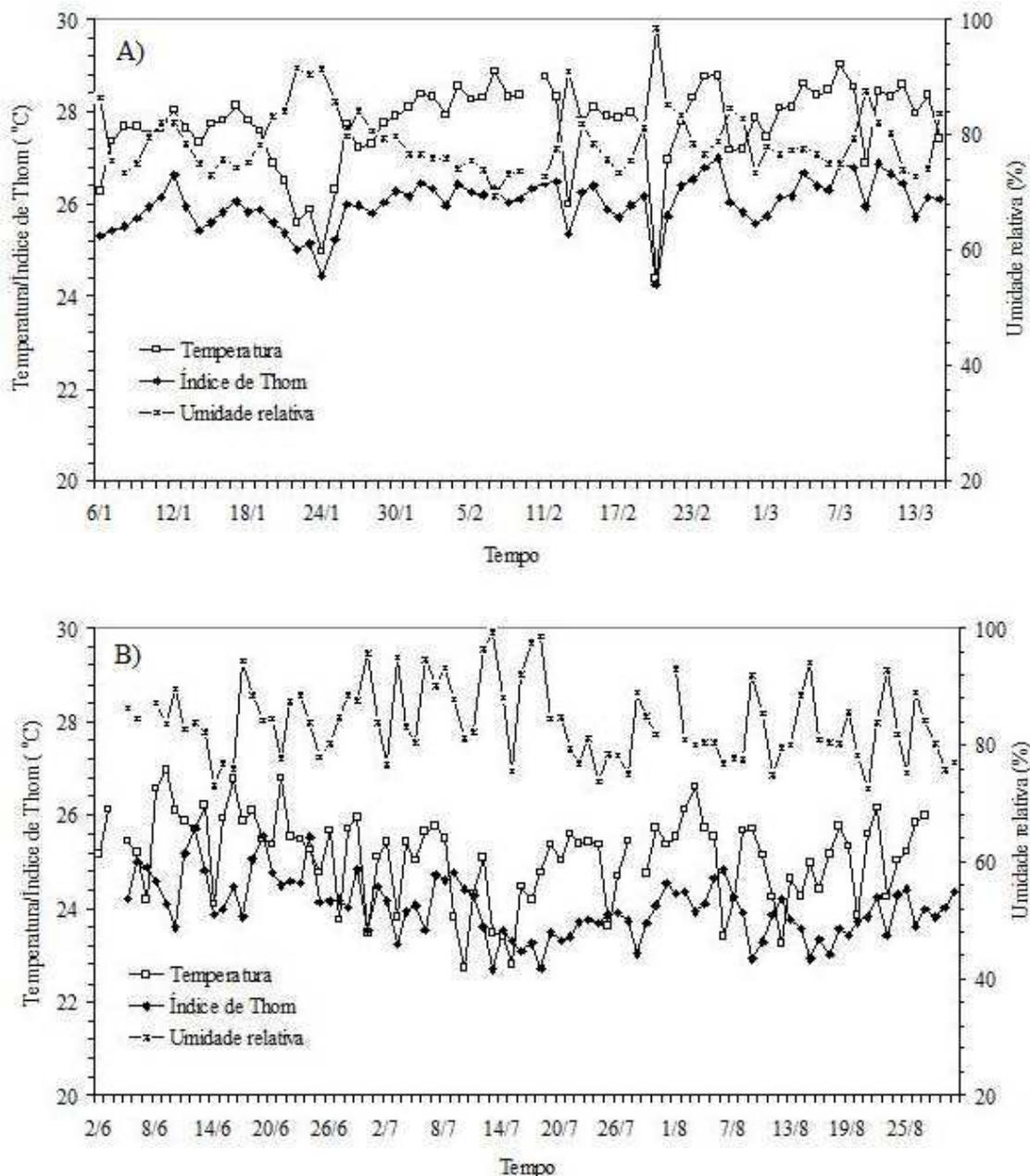


Figura 29. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P08, no Centro da cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

Esses resultados indicam que o ponto P08 não é o mais desconfortável da área de estudo, pelo fato de estar localizado no centro da cidade. Os pontos P03 e P04

apresentam valores de IDT mais elevados. Isso pode está associado ao fato que o ponto P08 ficou localizado em uma área mais alta sofrendo a influência dos ventos que contribuem para a minimização dos efeitos do estresse térmico. Além disso, esse ponto não foi localizado dentro de um cânion urbano, mas, de fato, numa área aberta próximo a um corpo de água e, também, arborizada. O IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,4 e 27,8 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, 25,0 \pm 2,4, 83,8 \pm 12,6% e 23,9 \pm 1,4°C. Dessa forma, o nível de desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no ponto P08 também foi superior àquele encontrado para o ponto considerado como de referência (Mata do Buraquinho).

A amplitude térmica horária no período seco nesse ponto foi de 9,8 °C e no período chuvoso de 11,5 °C, enquanto a diferença entre a umidade relativa do ar dos dois períodos foi de 5%. O IDT passou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso. Os resultados indicam que em climas quente e úmido o design urbano com construções residências de pequeno porte apresenta nível de conforto térmico melhor do que em áreas com edificações altas, pois provocam o efeito de aprisionamento de calor pelo cânion urbano. Entretanto, em regiões localizadas nas latitudes médias o resultado é inverso. Johansson (2006), investigando a influência da geometria urbana no conforto térmico numa cidade de Marrocos, observou que em climas quentes e secos no verão o design urbano com cânions muito profundo é mais confortável do que em cânions rasos.

Ponto P09 (Bancários)

Esse ponto de monitoramento fica localizado ao lado do campus da UFPB e da Mata do Buraquinho (ponto de referencia), onde consta uma grande reserva florestal de mata atlântica (Figura 30). O entorno do ponto apresenta na sua maioria a classe de cobertura do solo tipo I (cobertura cerâmica), com 60,48% do total, seguida pela classe de cobertura IX (área com vegetação), que representa 15,61% de toda a área do ponto (Figura 31). Também são encontradas nesse ponto as classes de cobertura VI (pavimento asfáltico), VII (cobertura concreto/calçamento) e VIII (solo exposto/vegetação rasteira), respectivamente, com 9,59%, 6,26% e 7,74% da área total (Figura 31). Embora esse ponto apresente um percentual significativo de cobertura vegetal, e esteja localizado próximo a reserva da Mata do Buraquinho, as classes de

cobertura de solo contribuíram para o desconforto térmico local e, também, são responsáveis diretamente pelas alterações no campo térmico desse ponto de monitoramento.

Os fatores relacionados ao uso e cobertura do solo e as características do entorno são os determinantes na caracterização microclimática (Oke, 2004). A temperatura do ar média diária no período seco no ponto P09 variou entre 24,6 e 29,3 °C, a umidade relativa variou entre 65,5 e 95,5% e o IDT entre 24,3 °C e 27,1 °C (Figura 32A). O IDT com base em dados horários no período seco variou entre 22,3 e 29,0 °C e os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $28,2 \pm 2,3$, $75,1 \pm 10,8$ e $26,2 \pm 1,2$ °C. Assim, o nível de conforto térmico médio horário durante o período seco no ponto P09 indicou uma condição desconfortável de acordo com IDT ajustado. Por outro lado, a temperatura do ar média diária no período chuvoso nesse ponto variou entre 22,7 e 27,9 °C, a umidade relativa variou entre 73,0 e 100% e o IDT entre 22,7 e 26,2 °C (Figura 32B). Esses resultados indicam que o ponto P09 embora esteja próximo ao ponto de referência apresenta um nível de IDT mais desconfortável, porém com valores muito próximos daquele do ponto P01 em face da proximidade da área densamente vegetada.



Figura 30. Vistas da área do entorno do ponto P09 localizado nos Bancários dentro da malha urbana da cidade de João Pessoa, PB

Os resultados apresentados ainda indicam que o IDT com base em dados horários no período chuvoso variou entre 20,7 e 28,4 °C; enquanto os valores médios horários \pm desvio padrão da temperatura, umidade relativa e do IDT foram, respectivamente, $25,2 \pm 2,4$, $86,2 \pm 11,9\%$ e $24,3 \pm 1,5$ °C. Dessa forma, o nível de

desconforto térmico médio horário durante o período chuvoso no ponto P09 foi levemente superior àquele encontrado para o ponto de referência.

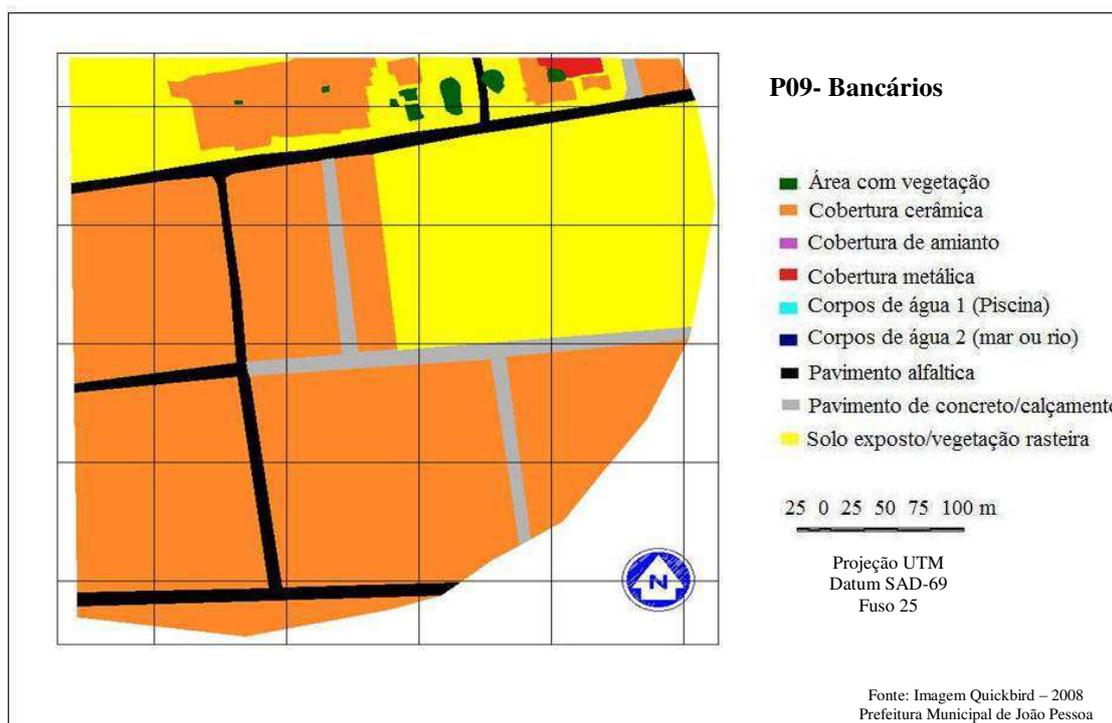


Figura 31. Caracterização dos tipos variados de cobertura do solo no ponto P09 localizado nos Bancários

A amplitude térmica horária para o período seco foi de 10,6 °C e de 10,4 °C para o período chuvoso e a diferença entre os valores de umidade relativa entre os dois períodos nesse ponto foi a mais alta dentre os pontos analisados de 9,1%. O IDT passou de parcialmente desconfortável a desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso.

Esses resultados indicam que a metodologia utilizada é capaz de detectar períodos e locais com diferentes níveis de conforto térmico. Essas informações são úteis para a recreação e o turismo, além de contribuir no planejamento de expansão cidade. Entretanto, para a avaliação bioclimática de um local específico com base num único parâmetro meteorológico é insuficiente para avaliar os complexos efeitos das condições climáticas e termo-fisiológico do ambiente térmico sobre os seres humanos. Nesse sentido, vários modelos e índices foram desenvolvidos para calcular o grau de estresse térmico durante as últimas décadas.

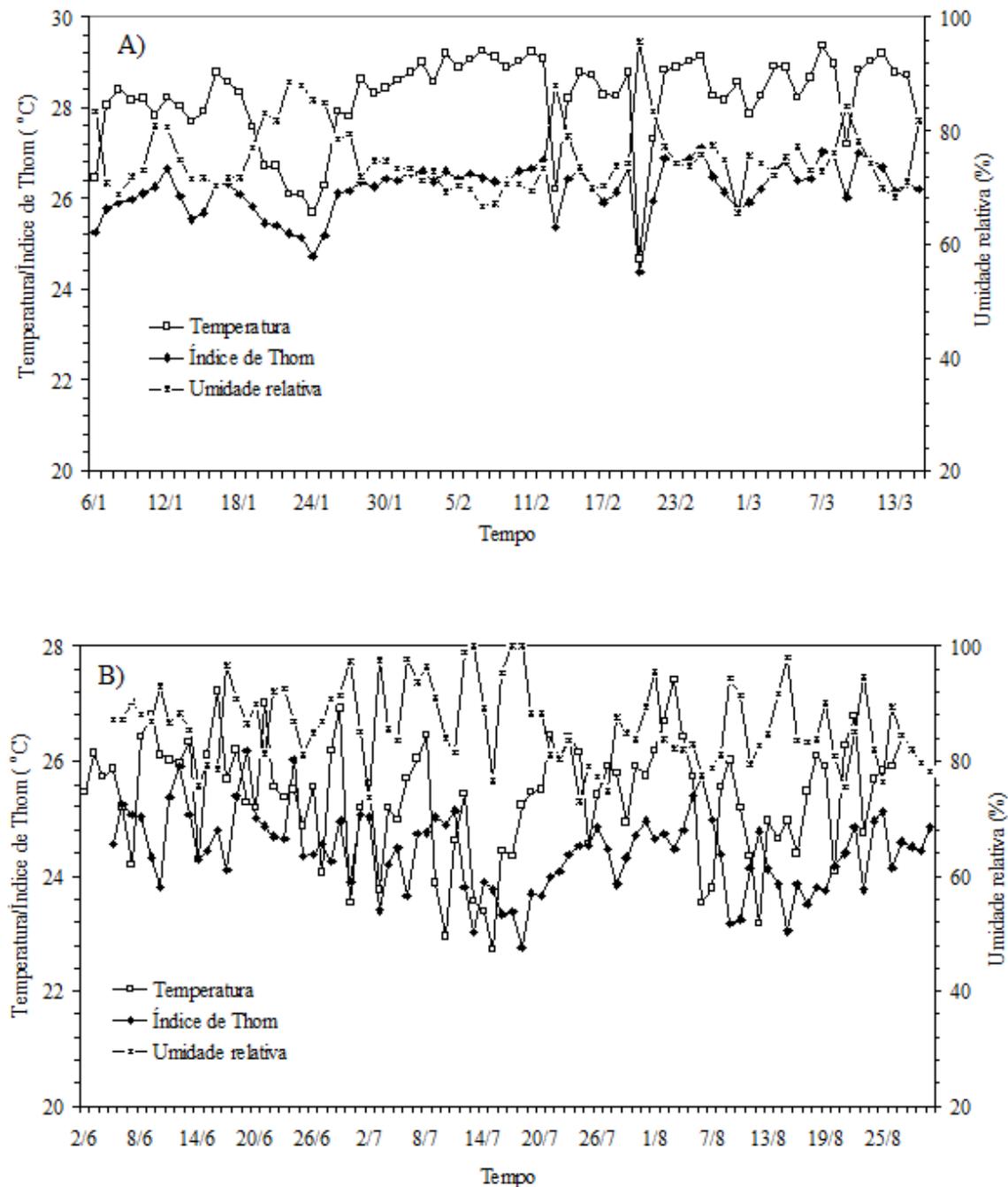


Figura 32. Curso temporal da temperatura do ar, umidade relativa e do índice de Thom durante o período seco (A) e período chuvoso (B) no ponto P09 (Bancários), na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

Dentre esses modelos, destacam-se aqueles que utilizam diversas variáveis meteorológicas (Thom, 1959; Steadman, 1971; Unger, 1999, Matzarakis et al., 2004). Por outro lado, na avaliação do conforto térmico de pequenas áreas com propósitos arquitetônicos e de designers urbanos, como ambientes internos de um edifício, parte de

uma rua, são necessárias estimativas mais precisas. Nesse sentido, os modelos baseados no balanço de energia no corpo humano são mais utilizados, como os índices Temperatura Fisiológica Efetiva (PET, em inglês) e o Voto Médio Estimado (VME).

No que diz respeito ao pontos monitorados, como os valores médios da temperatura do ar no ponto P01 foram sempre inferiores àqueles dos 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. 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.

Na Tabela 7 são apresentadas as estatísticas básicas (média, valores máximos e mínimos) da temperatura, umidade relativa e IDT durante os períodos seco e chuvoso na área de estudo. De acordo com os dados analisados referente às médias diárias dos pontos experimentais, verifica-se que os pontos P03 e P04 são os que apresentam as maiores temperaturas médias diárias, taxas elevadas de umidade relativa do ar e maior desconforto térmico. Nesses dois pontos se constata a semelhança das características do entorno que é formado por materiais que possuem propriedades térmicas de absorção e retenção de calor, contribuindo, assim, para o aumento da temperatura e o decréscimo da umidade relativa do ar. Esses dois pontos também são caracterizados pelo adensamento urbano e ausência de sombreamento sobre o ponto monitorado que, conseqüentemente, resulta no aumento do número de horas de insolação que incide sobre eles. Nesse contexto, Hwang et al. (2011), em estudo realizado na região central de Taiwan, destacam 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 da área são fatores que conjugados contribuem para alterar a temperatura, umidade relativa do ar e os níveis de desconforto térmico.

Ainda neste contexto, Duarte (2010), em pesquisa realizada no bairro de Manaíra, em João Pessoa, PB, onde está localizado o ponto P03 deste estudo, avaliou a correlação entre a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento com a

presença de vegetação (sombreamento) associada às características morfológicas do meio urbano. Esse autor encontrou resultados semelhantes ao presente estudo, destacando-se, ainda, que outros fatores como fator de céu visível, horas de insolação, bem como as características do entorno e as velocidades do vento exercem maiores influencia sobre o aumento da temperatura do ar do que a proximidade da vegetação existente. Nesse caso, a vegetação não se constitui na principal variável para a amenização climática local, contribuindo apenas pontualmente através do seu sombreamento, diferentemente do que ocorreu na área de referência adotada neste estudo.

Tabela 7. Estatísticas da temperatura média ($T_{m\acute{e}d\grave{a}}$, °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 caso da Mata do Buraquinho, considerado como ponto de referência neste estudo, a vegetação exerceu papel significativo para a redução da temperatura e

aumento da umidade relativa do ar. 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. Os resultados evidenciam que o ponto P01 (Mata do Buraquinho) apresenta os menores valores das variáveis monitoradas em relação aos demais pontos de observação.

Outros estudos também indicam essa constatação apresentada nesta pesquisa. Por exemplo, 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 reserva florestal exerce influencia no campo térmico no entorno dessa área, contribuindo, portanto, para a amenização climática e melhor conforto térmico. Estudo similar também foi realizado na cidade de Recife, PE, por Nóbrega & Vital (2010) demonstrando a influencia da Reserva Dois Irmãos nas condições microclimáticas da cidade. Os autores chegaram a 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, ainda, 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 analisados no presente estudo, todos eles apresentam valores semelhantes de umidade relativa e de temperatura do ar. A umidade relativa do ar, assim como as temperaturas médias diárias, sofreu pequenas oscilações entre o período seco e chuvoso e exibiram valores distintos com aqueles obtidos no ponto de referência (Mata do Buraquinho). Por outro lado, todos os pontos apresentaram índice de desconforto térmico oscilando entre parcialmente confortável e desconfortável no período seco e de parcialmente confortável à desconfortável no período chuvoso. Dessa forma, constatou-se que apenas o período chuvoso apresenta condições confortáveis na área de estudo. As características do entorno de cada ponto, em função do uso e cobertura do solo, exercem influencia sobre o aumento do desconforto térmico e a formação de ilha de calor urbano para a cidade de João Pessoa, PB.

Svensson & Eliasson (2002), em estudo realizado em Gotemburgo na Suécia, apontam que mudanças na temperatura do ar geradas pela transformação da paisagem urbana, influenciam no conforto térmico, na saúde das pessoas, na qualidade do ar e no consumo de energia das áreas urbanas. Esses resultados evidenciam a importância de tais estudos para o planejamento do uso e cobertura do solo urbano em grandes centros

urbanos. Kruger et al. (2011) também ressaltam que as condições climáticas de uma determinada cidade podem conduzir a sérios impactos sobre as pessoas que usam espaços ao ar livre dentro da malha urbana. Eles também ressaltam a importância de estudos dessa natureza para se avaliar as condições de conforto térmico e planejamento urbano. As consequências ambientais de expansão urbana não estão restritos ao limite físico da cidade, mas de fato a níveis regional e global. As cidades criam seus próprios microclima e local, mas são conectadas aos climas regional e global através dos efeitos atmosféricos sobre balanço de radiação e as emissões de gases de efeito estufa (Roth, 2007).

5.4. Ilha de calor urbano

Os cursos temporais das ilhas de calor urbano em função da média diária em todos os pontos monitorados durante os períodos seco e chuvoso são exibidos, respectivamente, nas Figuras 33 e 34. Diversos fatores contribuem para o aumento das temperaturas e, conseqüentemente, para o desconforto térmico; nesse caso, as diferentes formas de uso e cobertura do solo determinaram as condições de temperatura, umidade relativa do ar e no nível de estresse térmico na área de estudo. Nesse particular, Taha (1997) argumenta que as causas e os efeitos do clima urbano e, conseqüentemente, da formação de ilhas de calor são diversas e complexas. Os valores da intensidade de ilha de calor média diária foram maiores no ponto P03, com valores sempre positivos e menores do que nos pontos P06 e P09 durante todo o período seco (Figura 33).

A menor intensidade de ilha de calor média diária ocorreu no ponto P02 com 0,52 °C no período seco e de 0,46 °C no período chuvoso. O ponto P02 apesar de se constituído basicamente de materiais impermeáveis, apresenta ainda corpos d'água e cobertura vegetal o que possibilita a amenizar as temperaturas e o IDT local. Shashua-Bar et al. (2009), analisando as diferentes estratégias de resfriamento do ar em estudo realizado no sul de Israel, durante o verão, encontraram diferenças significativas entre áreas não vegetadas, áreas com grama e áreas sombreadas. As áreas vegetadas com diferentes tipos de árvores de sombra apresentaram as melhores condições de resfriamento do ar, configurando-se, assim, em um importante instrumento para a amenização climática e as condições de conforto térmico. Um grande número de fatores geográficos estão envolvidos na formação da ilha de calor urbano e no aumento do desconforto ambiental. As características das cidades também contribuem para

potencializar esses efeitos. Ng & Cheng (2011), analisando o conforto térmico humano em clima quente e úmido de Hong Kong, constaram que a temperatura do ar, velocidade do vento e a intensidade da radiação solar são fatores influentes na determinação da sensação térmica de pessoas ao ar livre.

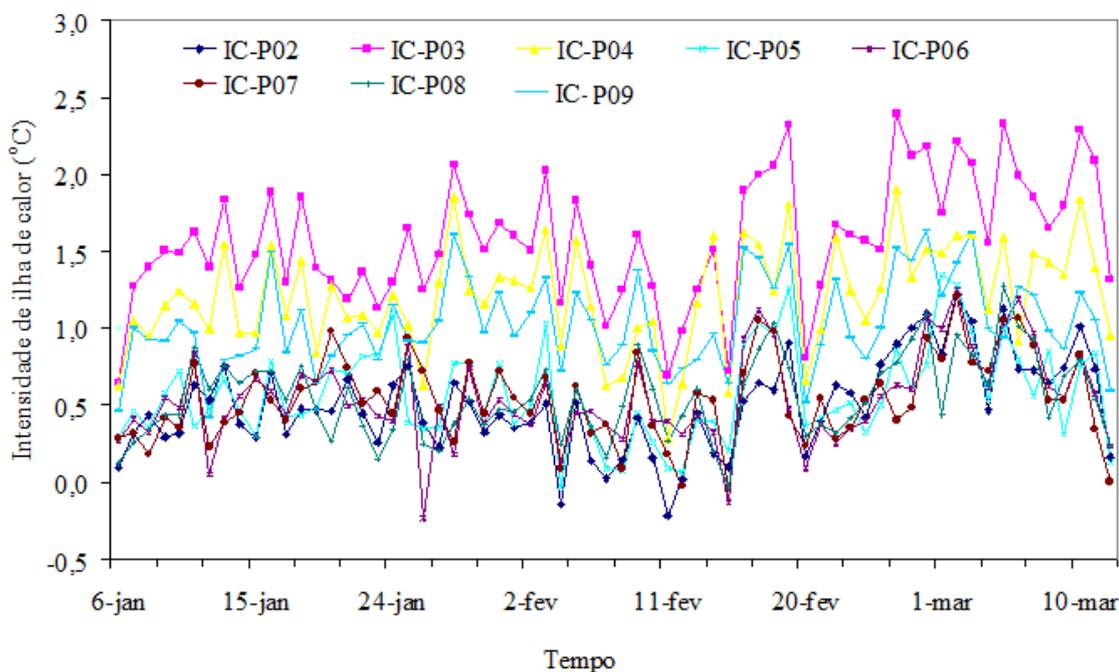


Figura 33. Curso temporal das ilhas de calor urbano média diária (IC) nos pontos P02 (Expedicionários), P03 (Manaíra), P04 (Cabo Branco), P05 (Mangabeira), P06 (Cruz das Armas), P07 (Alto do Mateus), P08 (Centro) e P09 (Bancários) na cidade de João Pessoa, PB, durante o período seco do ano de 2011

No período chuvoso, em função da queda da temperatura média diária do ar em todos os pontos, houve uma redução na intensidade da ilha de calor urbana na área de estudo (Figura 34). Os pontos P03 e P04 permaneceram sendo os pontos que apresentam a maior formação de ilha de calor urbana, porém, com menor intensidade. Nesse período, o ponto P03 apresentou uma intensidade ilha de calor média diária de $0,89\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto o ponto P04 apresentou de $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por outro lado, o ponto P02 foi o que apresentou a menor intensidade de ilha de calor urbana durante esse período. Esses resultados indicam que a intensidade de ilha de calor urbano média diária na cidade de João Pessoa, PB é maior durante o período seco do que no período chuvoso. Nessa linha de pesquisa, Kolokotroni & Giridharan (2008), em estudo realizado em Londres sobre a intensidade de ilha de calor urbano, destacam o albedo da superfície de recobrimento do solo como uma das principais variáveis para a intensificação do efeito da ilha de calor

urbano naquela cidade. Os autores afirmam que durante o dia a intensidade da ilha de calor urbano é maior no período noturno onde ocorre um ciclo de resfriamento e perda de calor em função do albedo.

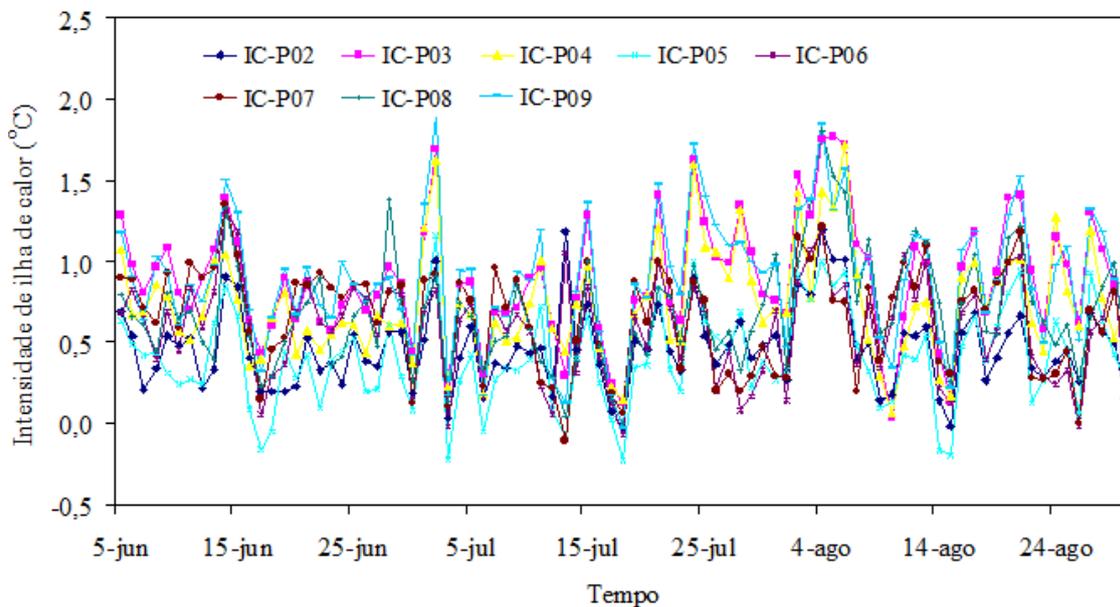


Figura 34. Curso temporal das ilhas de calor urbano (IC) nos pontos P02 (Expedicionários), P03 (Manaíra), P04 (Cabo Branco), P05 (Mangabeira), P06 (Cruz das Armas), P07 (Alto do Mateus), P08 (Centro) e P09 (Bancários) na cidade de João Pessoa, PB, durante o período chuvoso do ano de 2011

A Figura 35 exibe o curso temporal da intensidade de ilha de calor urbano média de 5 dias e seus respectivos desvios padrão na área de estudo durante os períodos seco e chuvoso. Verifica-se que no período seco, o maior desvio padrão ocorreu entre os dias 11 e 18 de fevereiro quando foi registrada uma intensidade de ilha de calor urbano média diária de $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Comportamento similar ocorreu entre os dias 11 e 18 de março quando foi registrada uma intensidade de ilha de calor urbano de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. O menor desvio padrão da intensidade da ilha de calor urbano no período seco aconteceu entre os dias 20 e 21 de janeiro.

A menor amplitude da intensidade da ilha de calor urbana média diária no período seco foi de aproximadamente $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Já para o período chuvoso, o maior desvio padrão da intensidade da ilha de calor urbana para o período de 5 dias foi de aproximadamente $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e aconteceu entre os dias 29 e 30 de junho; enquanto o menor desvio padrão desse período de 5 dias foi de apenas $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e ocorreu entre os dias 17 e

18 de junho. A maior variabilidade média da ilha de calor urbano na área de estudo ocorreu no período chuvoso. Esses resultados indicam que durante o período chuvoso, com a chegada das precipitações, as temperaturas caem e minimizam a intensidade da ilha de calor urbano na área de estudo.

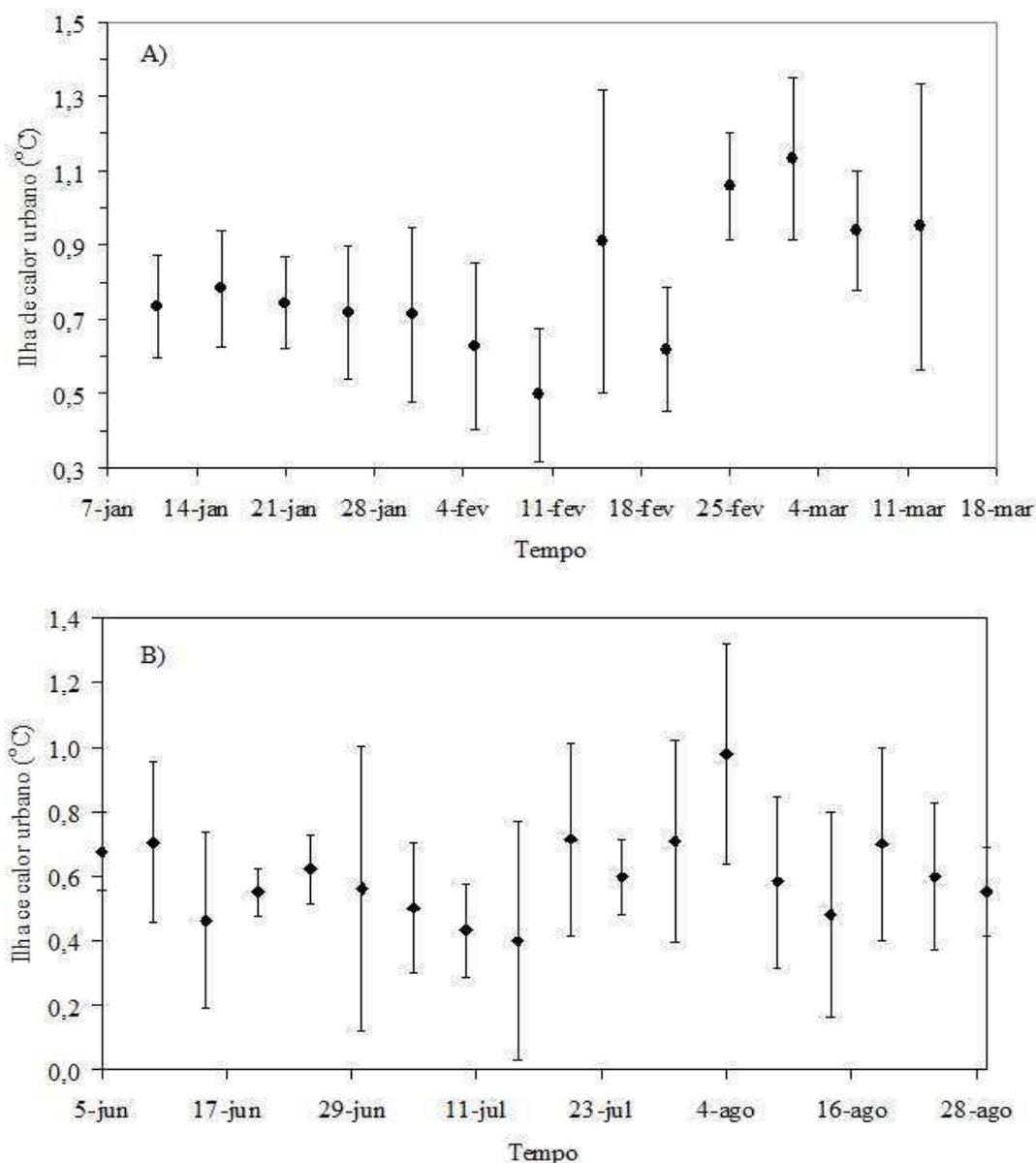


Figura 35. Curso temporal da intensidade de ilha de calor urbano média na cidade de João Pessoa, PB, durante o período seco (A) e período chuvoso (B). As barras indicam o desvio padrão para o período de 5 dias

Os resultados até aqui apresentados indicam que as temperaturas do ar do ponto de referência são menores que as temperaturas médias dos outros pontos monitorados

durante os dois períodos (seco e chuvoso). Dessa forma, pode-se inferir sobre a formação da ilha de calor urbana na área de estudo. Entretanto, a análise de ilha de calor urbano com base em dados diários impossibilita a identificação da intensidade real e o horário da formação desse fenômeno. Dessa forma, a Tabela 8 apresenta o dia e a hora da ocorrência da intensidade máxima de ilha de calor urbano (IICH) em cada ponto analisado durante os períodos seco e chuvoso na área de estudo.

Tabela 8. 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
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 intensidade máxima de ilha de calor urbano (IICU), com base em dados horários, na cidade de João Pessoa durante o período seco variou entre 3,33 e 5,32 °C. A maior intensidade foi registrada nesse período no ponto P03 (Manaíra) 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, 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 6). 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 na 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 perder 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).

5.5. Gradientes de temperatura e umidade relativa do ar

Os cursos temporais dos valores médios diários dos gradientes de temperatura do ar e de umidade relativa durante os períodos seco chuvoso durante o ano de 2011 na área de estudo é exibido na Figura 36. Esses valores foram obtidos com base na média diária dos gradientes de todos os pontos analisados no estudo. No período seco, os gradientes médios diários de temperatura e umidade relativa do ar foram mais intensos entre os dias 1 e 15 de fevereiro de 2011 (Figura 36 A), em face da baixa precipitação nesse período. Por outro lado, durante o período chuvoso, esses gradientes apresentaram forte variação durante todo o período como conseqüências das oscilações de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 36B). Constatou-se que ocorreu uma simetria entre os gradientes de temperatura com os gradientes de umidade relativa do ar em ambos os períodos analisados.

No período chuvoso, o gradiente de temperatura variou entre -0,43 e 0,012 °C/km, com média -0,2 °C/km; enquanto o gradiente de umidade relativa variou de 0,368 a 2,912 %/km. Os valores negativos dos gradientes de temperatura indicam que a temperatura no ponto de referência (Mata do Buraquinho) é menor do que aquela dos pontos monitorados e o sentido do gradiente é na direção do menor para o maior valor de temperatura, isto é, direcionado do ponto de referência para os demais pontos monitorados. A inversão da direção do gradiente de temperatura do ar de 0,012 °C/km ocorreu no dia 18 de julho de 2011, em face da baixa temperatura e precipitações na área de estudo. Nesse período o gradiente de umidade relativa variou entre 0,368 e 2,91%/km e a média foi de 1,6%/km. Nesse caso, o gradiente de umidade relativa tem o sentido inverso da temperatura do ar, ou seja, no sentido dos demais pontos monitorados para o ponto de referência.

A análise do período seco revela que o gradiente de temperatura médio da área de estudo variou entre -0,05 e -0,41 °C/km, com média -0,2 °C/km; enquanto o gradiente de umidade relativa variou de 0,23 a 2,41 %/km, com média de 1,3%/km. Este resultado indica que não houve inversão do gradiente de temperatura no período seco e

as variações dos gradientes de temperatura e umidade em ambos os períodos, bem como as médias, são semelhantes, exceto pela inversão do gradiente de temperatura do ar período chuvoso causado pela inversão térmica em alguns pontos monitorados.

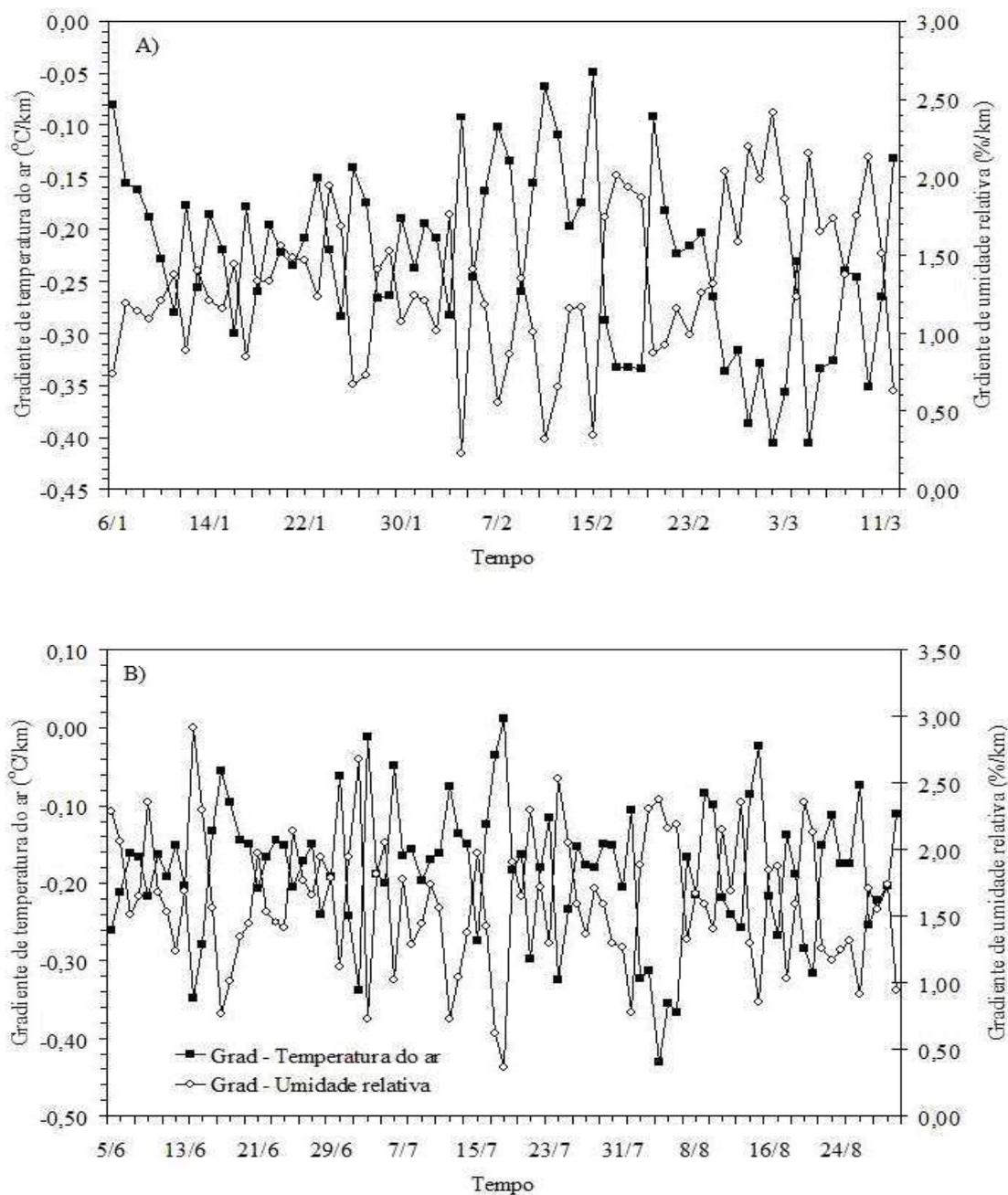


Figura 36. Curso temporal dos valores médios dos gradientes de temperatura do ar e umidade relativa durante o período seco (A) e período chuvoso (B) na cidade de João Pessoa, PB, no ano de 2011

A Tabela 9 apresenta os valores médios diários dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar para todos os pontos monitorados durante os períodos seco e chuvoso. A análise desta tabela indica que no período seco os maiores gradientes de temperatura são encontrados nos pontos P03 e P04, ambos com características de uso e

cobertura dos solos semelhantes, que contribuem para o aumento da temperatura média do ar.

Tabela 9. Valores médios dos gradientes de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) e de umidade relativa ($\%/ \text{km}$) em relação ao ponto de referência (P01) na cidade de João Pessoa, PB, durante os períodos seco e chuvoso do ano de 2011.

Pontos	Denominação dos pontos	Gradiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	Gradiente de umidade ($\%/ \text{km}$)
Período seco			
P02	Bairro Expedicionários	-0,31	3,05
P03	Bairro Manaíra	-0,39	1,06
P04	Bairro Cabo Branco	-0,32	1,56
P05	Bairro Mangabeira	-0,10	0,47
P06	Bairro Cruz das Armas	-0,18	1,00
P07	Bairro Alto do Mateus	-0,10	0,45
P08	Bairro Centro	-0,21	0,93
P09	Bairro Bancários	-0,31	1,84
Período chuvoso			
P02	Bairro Expedicionários	-0,29	2,38
P03	Bairro Manaíra	-0,22	1,99
P04	Bairro Cabo Branco	-0,20	1,67
P05	Bairro Mangabeira	-0,07	0,67
P06	Bairro Cruz das Armas	-0,19	1,61
P07	Bairro Alto do Mateus	-0,12	1,07
P08	Bairro Centro	-0,26	2,27
P09	Bairro Bancários	-0,27	1,03

Os menores gradientes são verificados nos pontos P05 e P07, sendo que o ponto 05 se encontra próximo ao ponto de referência e o ponto P07 apresenta manchas de solo desnudo que contribuiu para o aumento do albedo e, conseqüentemente, contribui para redução da temperatura em alguns horários e redução da ilha de calor. Taha (1997) sugere que as cidades podem inverter ilhas de calor simplesmente aumentando o albedo de coberturas e pavimentação e através do reflorestamento. O autor destaca que pode ocorrer uma redução de 2 a 4 $^{\circ}\text{C}$ em algumas áreas com o aumento do albedo e da cobertura vegetal.

Com relação aos gradientes de umidade, destacam-se os pontos P02 e P08 como aqueles que apresentam os maiores valores. O ponto P02 é um bairro residencial bem arborizado, enquanto que o ponto P08, mesmo localizado no centro da cidade, apresenta razoável sombreamento durante o dia. Esses fatores contribuem para a manutenção da

elevada umidade relativa do ar, interferindo, assim, no seu gradiente. Por outro lado, no período chuvoso, os pontos P02 e P08 são também os que apresentaram os maiores gradientes de temperatura, enquanto que os pontos P05 e P07 são os que apresentaram os menores gradientes de temperatura do ar.

Os pontos P02 e P08, como destacado anteriormente, apresentaram características que não favorecem a redução na temperatura. Já os pontos P05 e P07 são constituídos predominantemente por materiais impermeáveis que absorvem e retêm calor durante o dia e sofre rápido resfriamento durante o período da noite. Com relação ao gradiente de umidade, os pontos P05 e P09 são os que apresentam os menores valores. As classes de cobertura de tipo de solo para os pontos P05 e P09 contribuem diretamente para o aumento da temperatura e redução na umidade relativa do ar.

Os módulos dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar aqui apresentados de fato são baixos e pouco representativos, haja vista que se trata de médias diárias que não expressam a variabilidade efetiva durante o dia. Assim, são apresentadas a seguir as análises da variabilidade horária desses gradientes. Nesse caso, no período seco, o gradiente de temperatura varia entre $-0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (no ponto P04, no dia 28/02/2011, às 12h) a $-1,84$ (no ponto P02, no dia 14/03/2011, às 8h); enquanto o gradiente de umidade relativa variou entre $1,55\%/ \text{km}$ (no ponto P09, no dia 25/01/2011, às 9h) a $6,56\%/ \text{km}$ (no ponto P02, no dia 14/03/2011, às 8h).

No período chuvoso, o gradiente de temperatura do ar na área de estudo variou entre $-0,23\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (no ponto P09, no dia 28/06/2011, às 15h) a $-2,09\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (no ponto P02, no dia 31/05/2011, às 11h); enquanto o gradiente de umidade relativa variou entre $1,39\%/ \text{km}$ (no ponto P09, no dia 09/09/2011, às 11h) a $14,37\%/ \text{km}$ (no ponto P02, dia 31/05/2011, às 10h). As intensidades máximas dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar na área de estudo, em ambos os períodos analisado, sempre ocorreram durante o período diurno. Portanto, enquanto a ilha de calor urbano é um fenômeno que geralmente ocorre durante o período noturno, as intensidades máximas dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar são fenômenos essencialmente diurnos.

5.6. Cenários do índice de conforto térmico

A Figura 37 apresenta o comportamento temporal da temperatura e umidade relativa do ar em João Pessoa, PB, para o período compreendido entre 1963 e 2008. A análise dos dados revela uma tendência de aumento da temperatura do ar a uma taxa de $0,034^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e um decréscimo de $0,049\%/\text{ano}$ na umidade relativa do ar. Essas tendências são estatisticamente significantes ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Mann-Kendall. Jusuf et al. (2007) afirmaram que as temperaturas do ar estão aumentando gradualmente em todas as cidades do mundo. Por outro lado, Silva (2004) observou tendência crescente na temperatura do ar e decrescente na umidade relativa em várias localidades da região nordeste do Brasil.

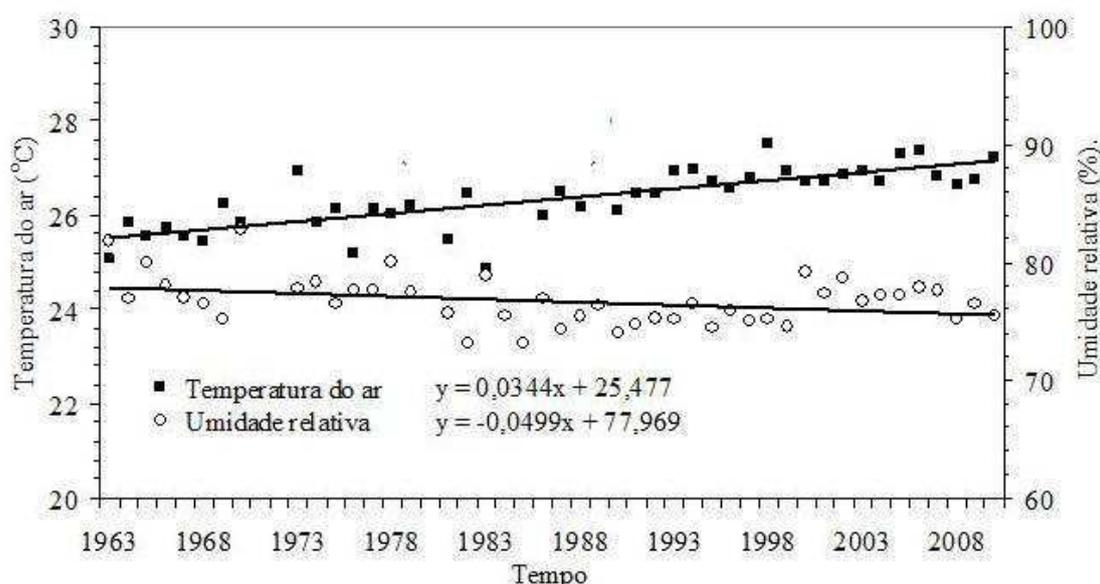


Fig. 37. Tendência temporal da temperatura e umidade relativa do ar em João Pessoa, PB, no período compreendido entre 1963 e 2008

Rosenzweig et al. (2005), em estudo realizado em Nova Jersey nos EUA, apontaram que mudanças climáticas causadas pelo aumento das emissões antrópicas de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa que se constituem em riscos iminentes para cenários futuros nos centros urbanos. A intensidade da ilha de calor urbana, bem como o seu padrão temporal e a sua extensão espacial, associada ao aumento do desconforto térmico, estão diretamente ligadas a esses e outros fatores, tais como o processo de urbanização das cidades. Tal processo tem se intensificado cada vez mais a elevação das temperaturas médias globais nesses centros e contribuído para o

desconforto térmico nessas áreas (Rooba, 2011; Nóbrega & Vital, 2010; Sobreira et al., 2010, Jusuf et al., 2007).

As Figuras 38 e 39 apresentam as distribuições espaciais do nível de conforto térmico na cidade de João Pessoa, PB no período seco e chuvoso, para as condições climáticas atuais e para os cenários dos anos de 2020, 2030, 2040, 2050 e 2060. Nas condições climáticas atuais, o IDT ajustado indicou condições de desconforto térmico em toda parte leste da cidade, inclusive na área litorânea, envolvendo os pontos P03, P04, P05, P08 e P09 durante o período seco (Figura 38A). Dessa forma, o aumento de umidade, alimentado pelos ventos de leste oriundos do oceano, combinado com temperaturas altas resulta no aumento do nível de desconforto térmico em regiões tropicais úmidas. O efeito dessa combinação no estresse térmico urbano também é claramente perceptível em regiões equatoriais, como na Amazônia (Silva, V. P. R, comunicação pessoal). Além disso, os efeitos do adensamento dos elementos urbanos, como calçamento, asfalto, cobertura cerâmica, etc, também contribuem no aumento do nível de desconforto térmico nas áreas próximas ao oceano.

Nessa extensa área da cidade se encontram altas concentrações de cobertura do solo do tipo I (cobertura cerâmica), chegando inclusive a mais de 60% no ponto P09, e do tipo VII (pavimento de concreto/calçamento) com até 40% do total da área no ponto P03. Adicionalmente, nesses pontos de monitoramento, existe baixa concentração de material do tipo IX, ou seja, cobertura vegetal, com mínimo de 8,46% no ponto P03. Portanto, os efeitos conjugados de ausência de vegetação e adensamento urbano são determinantes no aumento do estresse térmico, independentemente da localização da área. Por outro lado, ainda no período seco, constatou-se IDT indicando nível de estresse térmico parcialmente confortável em torno do ponto de referência, que envolve os pontos de medições P01 (Mata do Buraquinho), P02 (Bairro Expedicionários) e P06 (Cruz das Armas).

Esses bairros se localizam em áreas com baixo adensamento urbano e alta concentração de cobertura vegetal, chegando, inclusive a 84,84% no ponto P01, bem como com vegetação, como no caso do ponto P06 com 18,86% da área total. Verificando-se o cenário do IDT para o ano de 2020 durante o do período seco em João Pessoa, PB, constata-se que toda área de estudo apresenta nível de estresse térmico desconfortável (Figura 38B), com $26^{\circ}\text{C} \leq \text{IDT} \leq 28^{\circ}\text{C}$. O ponto P03, localizado no bairro de Manaíra, apresentou o IDT mais elevado ($27,2^{\circ}\text{C}$); enquanto os demais ficaram próximos e inferiores a 26°C ; portanto desconfortável.

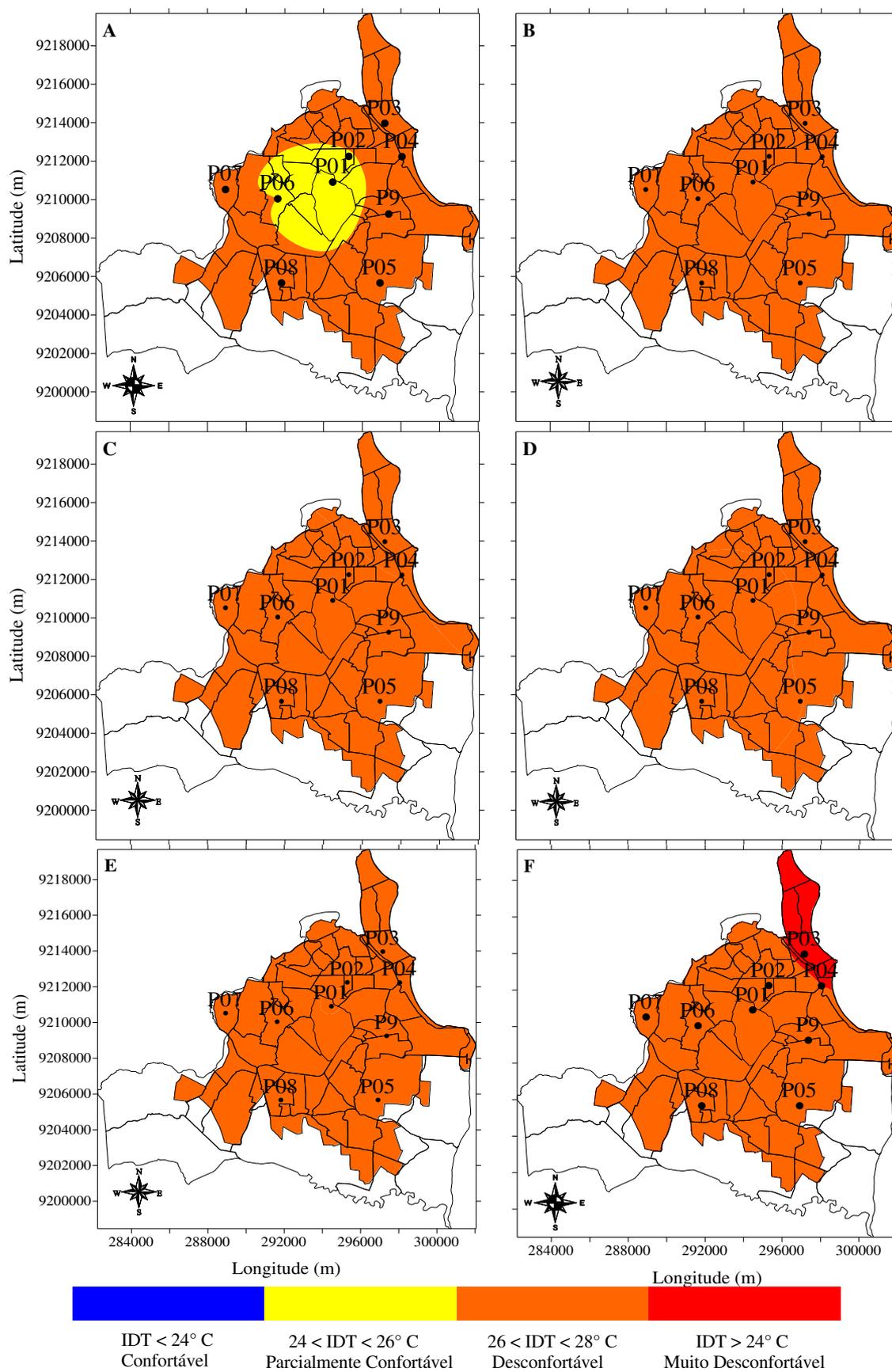


Figura 38. Cenários de conforto térmico para a cidade de João Pessoa durante o período seco nos anos de 2011 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F)

Este ponto apresenta mais de 70% do seu entorno coberto por materiais que são considerados bons condutores térmicos com capacidade de absorver e reter calor e, sendo, portanto, uma área fortemente impermeabilizada. Esse tipo de material aliado ao adensamento urbano da área influencia as condições microclimáticas do entorno desse ponto. O cenário para o ano de 2030 durante o período seco também é desconfortável (Figura 28C), sendo o ponto P03 aquele que apresentou o maior valor do IDT (27,5°C) e o ponto P01 o que apresentou o menor valor (26,4°C).

A explicação para isso pode está associada aos efeitos da urbanização intensa que tem modificado a paisagem natural do entorno desses pontos de medição. A diferença entre os campos térmicos dos dois últimos cenários produziu um aumento no IDT para o ano de 2030 de 0,3°C. O cenário do nível de estresse térmico para o ano de 2040 também é desconfortável na área de estudo (Figura 38D), com máximo IDT no ponto P03 e mínimo no ponto P01. Nesse cenário o IDT médio da área de estudo também aumentou 0,3 °C em relação ao cenário de 2020. No cenário para 2050, o ponto P03 se apresenta mais uma vez como o mais crítico de toda área de estudo, com nível de estresse térmico classificado como desconfortável, bem como toda a área da cidade, de acordo com o IDT ajustado. O campo térmico médio desse cenário também produziu um acréscimo de 0,3 °C em relação ao cenário de 2040. Os pontos P03 e P04 são as áreas mais desconfortáveis da cidade no cenário para o ano de 2060, nesse caso foram classificados como muito desconfortáveis; enquanto os demais indicaram condição desconfortável pelo o IDT ajustado (Figura 38F). Nesse caso, o campo térmico médio desse cenário produziu um aumento do IDT de apenas 0,2 °C.

No período chuvoso, apenas o ponto P01 (Mata do Buraquinho) apresentou nível de estresse térmico classificado como confortável nas condições climáticas atuais, enquanto os demais pontos de monitoramento indicaram a classe parcialmente confortável de acordo com o IDT ajustado (Figura 39A). Similarmente, os cenários para 2020 (Figura 39B), 2030 (Figura 39C), 2040 (Figura 39D) e 2050 (Figura 39E) se apresentaram como parcialmente confortável. Entretanto, no cenário para o ano de 2060 aparecem os pontos P03, P04 e P09 classificado pelo o IDT ajustado como desconfortável (Figura 39F), enquanto a área restante é classificada como parcialmente confortável. O ponto mais confortável da área de estudo durante o período chuvoso permanece sendo o P01, enquanto o mais desconfortável, em todos os cenários, foi o ponto P09.

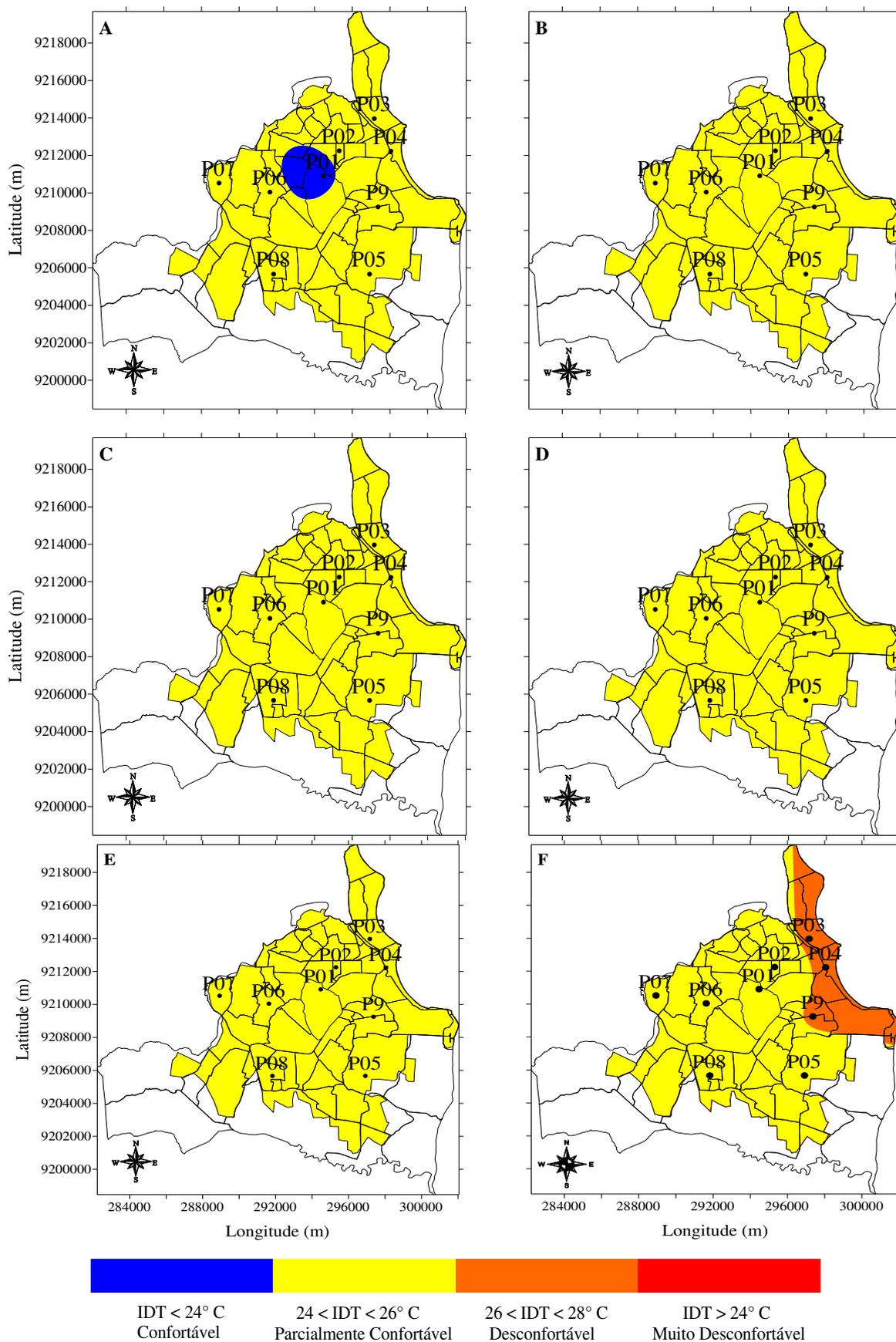


Figura 39. Cenários de conforto térmico para a cidade de João Pessoa durante o período chuvoso nos anos de 2011 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F)

Os resultados aqui apresentados são aparentemente contraditórios haja vista que era de se esperar que a área litorânea fosse a mais confortável em face da influência dos ventos. Resultados nesse sentido têm sido documentados em alguns estudos. Por exemplo, Deb & Ramachandriah (2011), analisando o clima urbano numa cidade da Índia com base no índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) encontraram localizações próximas ao oceano com baixos valores de PET em face da alta velocidade do vento. No presente estudo, os pontos P03 e P04, que ficam localizados na área litorânea da cidade, apresentam-se como áreas desconfortáveis em todos os cenários traçados.

A Figura 40 exibe a espacialização da temperatura do ar na área de estudo durante os períodos seco e chuvoso (2011). Essa figura também constata que a área compreendendo os pontos P03, P04 e P09 são as mais quentes da cidade, principalmente durante o período seco. O estudo de campo com a aplicação de questionários para ajustar as faixas de conforto térmico do Índice de Thom também constata esse fato.

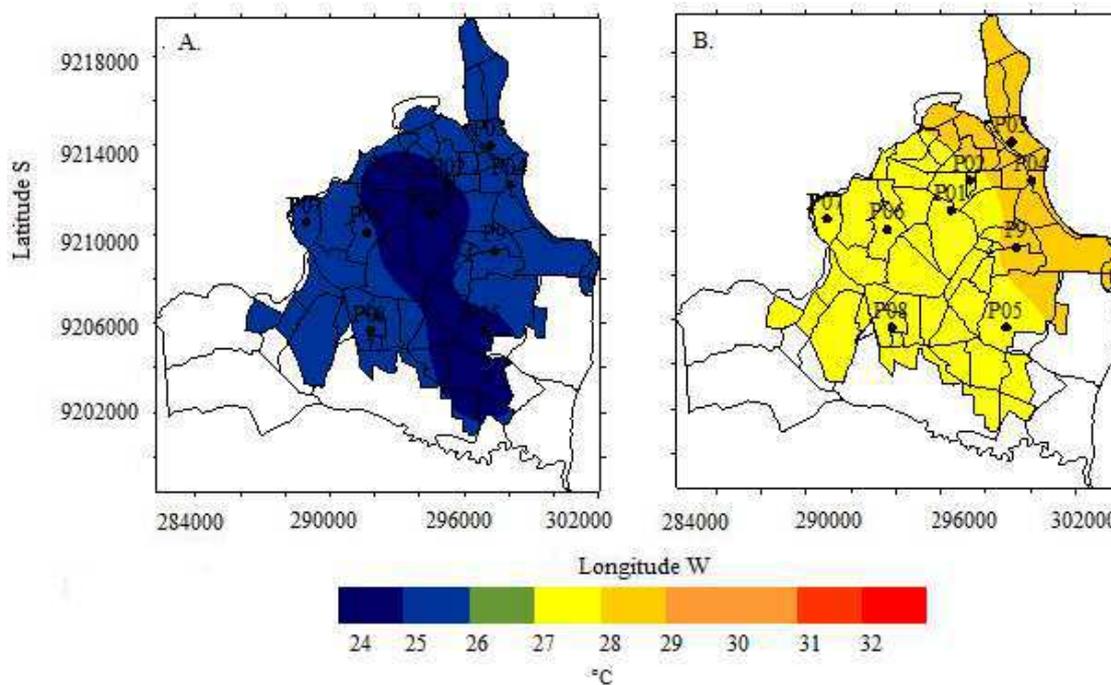


Figura 40. Distribuição espacial da temperatura do ar na área urbana da cidade de João Pessoa durante os períodos chuvoso (A) e seco (B) em 2011

Os resultados das entrevistas com os transeuntes no ponto de monitoramento P03 indicaram que no horário mais desconfortável do dia, entre 12 e 13h, 20% das

peças demonstraram a sensação térmica confortável, 20% parcialmente desconfortável e 60% responderam que estavam desconfortáveis. Já no ponto P04, 40% das pessoas responderam que estavam confortáveis; 40% parcialmente desconfortáveis e 20% desconfortáveis, enquanto no ponto P09, 20% dos entrevistados responderam que estavam confortáveis; 40% parcialmente desconfortável e 40% desconfortável. Comparando os resultados dessas entrevistas com aquelas realizadas no ponto de referência (Mata do Buraquinho) utilizado para avaliar a intensidade de ilha de calor urbano, no mesmo período do ano e no mesmo horário, obtiveram-se as seguintes respostas: 40% das pessoas responderam que estavam confortáveis, 50% parcialmente confortáveis e apenas 10% responderam que estavam desconfortáveis. Em todos os pontos monitorados a maioria das pessoas expressou sensação térmica confortável nos horários de 8 às 9h e de 16 às 17h. Esses resultados sugerem que o nível de conforto térmico na cidade de João Pessoa é mais influenciado pela densidade da vegetação do que pelos efeitos do vento do oceano, pois aumenta a umidade do ar, que combinada com alta temperatura, provoca sensação térmica desconfortável.

Os resultados aqui apresentados sugerem que intervenções no planejamento urbano, baseados em estudos climáticos, devem se levadas em consideração no espaço intraurbano da cidade, com o objetivo de proporcionar melhores condições de conforto térmico para a população local e auxiliar os planejadores do espaço urbano em planos de monitoramento e gestão ambiental nessas áreas. Além disso, a relação entre as características físicas de uma localização urbana e o seu microclima é útil para arquitetos, planejadores urbanos e climatologistas.

6. 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 faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) não é apropriada para regiões tropicais úmidas, entretanto o IDT ajustado expressa de forma satisfatória os níveis conforto térmico da população. A sensação térmica dos habitantes da cidade de João Pessoa, PB, com base no IDT ajustado, varia de parcialmente confortável a desconfortável no período seco e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso;
2. 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;
3. 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;
4. 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.
5. O nível de conforto térmico é influenciado principalmente pelas condições microclimáticas, enquanto a intensidade de ilha de calor é mais influenciada pelas condições macroclimáticas conjugadas com os fatores locais;
6. A temperatura do ar e o nível de conforto térmico têm tendência crescente e a umidade relativa tendência decrescente, todas estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Mann-Kendall;
7. 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;

8. 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. A manutenção das áreas verdes e o controle do adensamento urbano em algumas áreas de cidade tornam-se medidas urgentes para garantir as condições de conforto térmico urbano.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, R. P. L. Análise da magnitude de influência climática de um remanescente de Mata Atlântica sobre o seu entorno urbanizado em clima quente-úmido. João Pessoa: UFPB, 2011. 92p. Dissertação Mestrado.
- Andrade, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Revista Finisterra*, v.15, n.80, p.67-91, 2005.
- Assis, E. S. Métodos Preditivos da Climatologia como subsídios ao Planejamento Urbano: aplicação em conforto térmico. *Terra Livre*, v.1, n.20, p.145-158, 2003.
- Ayoade, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332p.
- Barbirato, G. M.; Souza, L. C. L.; Torres, S. C. Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. 1.ed. Maceió: EDUFAL, 2007. 164p.
- 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. Introdução à engenharia ambiental – o desafio do desenvolvimento sustentável. 2.ed. São Paulo: Pearson, 2005. 336p.
- Brito, R. S. Estudo do clima urbano da cidade de Campina Grande, Paraíba. Campina: UFCG, 2007. 86p. Dissertação Mestrado.
- Burian, S.J.; Shepherd, J.M. Effect of urbanization on the diurnal rainfall pattern in Houston. *Hydrological Processes*, Chichester, v.19, n.1, p.1089-1103, 2005.
- Carvalho, M.M. Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal. Natal: UFRN, 2001. 283p. Dissertação Mestrado.
- Chandler, T. J. Urban Climatology and its relevance to urban designer. *WMO*, v.1, n.38, 1976.
- Chen, X.L.; Zhao, H.M.; LI, P. X.; Yin, Z. Y. Remote Sensing Image-Based Analysis of the Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes. *Remote Sensing of Environment*, v.104, n.1, p.133-146, 2006.
- Conti, J. B. Clima e meio ambiente. 2.ed. São Paulo: Atual, 1998. 87p.
- Costa, A. D. L. O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido. Campinas: UNICAMP, 2007. 242p. Tese Doutorado.
- Deosthali, V. Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bioclimatic index. *Atmospheric Environment*, v.33, n.1, p.4125-4133, 1999.

- Evans, J.M.; Schiller, S. Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, an existing urban district and urban river front development. *Atmospheric Environment*, v.30, n.3, p.361-364, 1996.
- Fan, H.; Sailor, D. Modeling the Impacts of Anthropogenic Heating on the Urban Climate of Philadelphia: A Comparison of Implementations in Two PBL Schemes. *Atmospheric Environment*, v 39, n.1, p.73-84, 2005.
- Deb, C.; Ramachandraiah, A. A simple technique to classify urban locations with respect to human thermal comfort: Proposing the HXG scale. *Building and Environment*, v.46, n.1, p.1321-1328, 2011.
- Drew, D. *Processos Interativos Homem-Meio Ambiente*. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 224p.
- Duarte, M.L.F. *Comportamento microclimático urbano: estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa/PB*. João Pessoa: UFPB, 2010, 179p. Dissertação Mestrado.
- Duarte, D.H.S.; Serra, G.G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e propostas de um indicador. *Revista Ambiente Construído*, v.3, n.2, p.07-20, 2003.
- Gartland, L. *Ilhas de Calor – como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.
- Giles S, B. D.; Balafoutis S, C. H. The Greek heatwaves of 1987 and 1988. *International Journal of Climatology*, v.10, n.5, p.505–517, 1990.
- Grimmond, C.S.B.; Roth, M.; Oke, T.R.; Au, Y.C.; Best, M.; Carmichael, G.; Cleugh, H.; Dabberdt, W; Emmanuel, R.; Freitas, E.; Fortuniak, K.; Hanna, S.; Klein, P.; Kalkstein, L.S.; Liu, C.H.; Nickson, A.; Pearlmutter, D.; Sailor, D.; Voogt, J. *Climate and More Sustainable Cities: Climate information for improved planning and management of Cities*. *Procedia Environmental Sciences*, v.1, n.1, p. 247-274, 2010.
- Goldreich, Y. Urban climate studies in Israel – A review. *Atmospheric Environment*, v.29, n.1, p.467-478, 1995.
- Gómez, F.; Tamarit, N.; Jábaloyes, J. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*, v.55, n.1, p.151-161, 2001.
- Gomes, M.A.S.; Amorim, M.C.C.T. *Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente*. *Caminhos de Geografia*, São Paulo, v.7, n.1, p.94-106, 2003.

- Gonçalves, N. M. S. Impactos Pluviais e Desorganização do Espaço Urbano em Salvador. In: Mendonça, F.; Monteiro, C.A. de F. (orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap.2, p. 175-1991.
- Gulyás, A.; Unger, J.; Matzarakis, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modeling and measurements. *Building and Environment*, v.41, n.1, p.1713-1722, 2005.
- Ichinose, T.; Shimodozono, K.; Hanaki, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, v.33, n.1, p.3897-3909, 1999.
- Houat, T.; Pigeon, G. Mapping Urban Climate zones and quantifying climate behaviors – An application on Toulouse urban area (France). *Environment Pollution*, v.26, n.159, p. 2180-2192, 2011.
- Huang, L.; Li, J.; Zhao, D.; Zhu, J. A Field Work Studie on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat Islando of Najing, China. *Building and Environment*, v.43, n.1, p.7-17, 2008.
- Hwang, R.; Lin, L. T.; Matzarakis, A. Seasonal effects of urban street shading on leng-thermal outdoor comfort. *Building and Environmental*, v.46, n.4, p. 863-870, 2011.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.
- Johansson, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, v.41, n.1, p.1326–1338, 2006.
- IPCC. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policy Makes, 2007.
- Jonsson, P.; Bennet, C.; Eliasson, I. ; Lindgreen, E. S. Suspended Particulate Matter and its Relations to the Urban Climate in Dar es Salaam, Tanzania. *Atmospheric Environment*, v. 38, n.25, 2004.
- Jusuf, S.K., Wong, N.H., Hagen, E., Angorro, R., Hong, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat Internacional*, v.31, n.1, p. 232-242, 2007.
- Lazar, R.; Podesser, A. An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the Tributary Valleys East of Grazy (Austria). *Atmospheric Environment*, v.33, n.1, p.4195-4299, 1999.
- Laukkonen, J.; Blanco, P. K.; Lenhart, J.; Keiner, B.C.; Kinuthia-Njenga, C. Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, v.33, n.1, p. 287-292, 2009.

- Lombardo, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. 1.ed. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.
- Maia, D.S. Notas sobre a urbanização de João Pessoa/PB: do processo e do seu reverso. Revista Paraibana de Geografia, v.3, n.1, p. 59-77, 2001.
- Marengo, J. A.; Dias, P.L.S. Mudanças Climáticas Globais e seus Impactos nos Recursos Hídricos. In: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. Águas Doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2006. Cap.3, p. 63-109.
- Matzarakis, A.; Freitas, C.; Scott, D. Advances in tourism climatology. Meteorological Institute, University of Freiburg, v.12, n.1, p.6-9, 2004.
- Mendonça, F. O estudo do clima urbano no Brasil. In: Mendonça, F.; Monteiro, C.A. de F. (orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap.6, p. 175-1991.
- Monteiro, C.A. de F. Teoria e clima urbano. São Paulo: USP, 1976. 236p. Tese doutorado.
- Monteiro, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. In: Mendonça, F.; Monteiro, C.A. de F. (orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap.1, p. 09-67.
- Moura, M. O. O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico. Fortaleza: UFC, 2008. 319p. Dissertação Mestrado.
- Mendonça, F. Clima e Planejamento Urbano em Londrina. In: Mendonça, F.; Monteiro, C.A. de F. (orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap.3, p. 93-120.
- Mendonça, F. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos – a contingência climática. Mercator, v. especial, p.153-163, 2010.
- Nóbrega, R.S.;Vital, L.A.B. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de ilha de calor, Revista Brasileira de Geografia Física, v.03, p. 151-156, 2010.
- Ng, E.; Cheng, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. Energy and Buildings, *in press*, 2011.
- Olgay, V. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1998. 203p.
- Oke, T.R. Boundary layer climate. London: Methuen, 1978. 464p.
- Oke, T. R. The Energetic basis of the Urban Heat Island. Q. J. R. Meteorol. Soc., v.108, n.455, 1982.
- Oke, T. R. Boundary Layer Climates. Second Edition. Routledge London & New York, 1987. 464p.

- Oke, T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report , TD. World Meteorological Organization, Geneva, 2004. 51p.
- Oliveira, P. M. Cidade apropriada ao clima. Brasília: UNB, 1988. 159p. Dissertação Mestrado.
- Oliveira, I. M. D. A cidade de Curitiba e a poluição do ar – Implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. In: MENDONÇA, F. Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap.5, p. 155-173.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M., Strategies for bioclimatic design in a urban area of an arid zone: San Juan (Argentina). Landscape and urban planning, v.1, n.34, p. 19-25, 2010.
- Pongracz, R.; Bartholy, J.; Dezso, Z. Remotely sensed thermal information applied urban climate analyses. Advances in Space Research, v. 38, n.1, p. 2191-2196, 2006.
- Rafael, R. A., Aranha, T.R.B.T., Meneses, L.F., Saraiva, A.G.S. Caracterização da evolução urbana do município de João Pessoa/PB entre os anos de 1990 a 2006 com base em imagens orbitais de média resolução. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, 2009.
- Rooba, S.M. Effect urbanization and industrialization processes on outdoor thermal human comfort in Egypt. Atmospheric and Climate Sciences. v. 1, n.1, p. 100-102, 2011.
- Rosenzweig, C.; Solecki, W.D.; Parshall, L.; Chopping, G.P.; Goldberg, R. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. Environmental Hazards, v.1, n.6, p. 51-62, 2005.
- Roth, M. Review of urban climate research in (sub) tropical regions. International Journal of Climatololy, v.27, n.1, p.1859-1873, 2007.
- Sanchez-Rodriguez, R. Learning to adapt to climate changes in urban areas. A review of recent contributions. Environmental Sustainability, v.1, n.1, p. 201-206, 2009.
- Santa'Anna Neto, J. L. História da Climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. Cadernos Geográficos.v.1, n.7, p. 2004.
- Santa'Anna Neto, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima – gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. ANPEGE, v.4, n.1, p.134-153, 2008.
- Sarrat, C.; Lemonsu A.; Masson, V.; Guedalia, D. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. Atmospheric Environment, v.40, n.1, p.1743-1758, 2005.

- Santos, J.S.S.; Silva, V.P.R.; Araújo, L.E., Lima, E.R.V.; Costa, A.D.L. 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, 2011.
- Steadman, R.G. Indices of windchill of clothed person. *Journal of Applied Meteorology*, v.10, n.1, p.674-683, 1971.
- Svensson, M.K., Eliasson, I. Diurnal air temperatures in built-ups areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, v.61, n.1, p. 37-54, 2002.
- Silva, F. de A. G. O vento Como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste brasileiro. São Paulo: FAAUSP, 1999. 234p. Tese Doutorado.
- Silva, V.P.R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.58, n.1, p.575-596, 2004.
- Silva, V.P.R.; Azevedo, P.V.; Silva, B.B. Assessment of the Human Discomfort Level and Urban Heat Island Using Automatic Weather Station Data. In: Conference Urban Climate, Lisbon, 2006.
- Silva, V.P.R.; Azevedo, P.V.; Brito, R.S.; Campos; J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environ Monit Assess.*, 2010.
- Sobreira, L.C. ; Leder, S.M. ; Silva, F. A. G.; Rosa, P.R.O. Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa/PB. *Ambiente Construido*. v.11, p.125-138, 2011.
- Shashua-Bar, Limor.; Pearlmutter, D.; Erell, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, v.1, n.92, p. 179-186, 2009.
- Taha, H. Urban climates and heat islands : albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, v.25, n.1, p.99-103, 1997.
- Thom, E.C. The Discomfort Index. *Weatherwise*, v.2, n.1, p.567-60, 1959.
- Unger, J. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology*, v.43, n.1, p.139-144, 1999.
- Katzschener. L.; Bosch.; Ulrike, Rottgen, M. Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: International conference on passive and low energy architecture, 19, 2002, France.
- Kendall, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, 1975.p.220.
- Mann, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

- Kithiia, J.; Dowling, R. An integrated city-level planning process to address the impacts of climate change in Kenya: The Case of the Mombasa. *Cities*, v.27, n.1, p.466-475, 2010.
- Kolotroni, M.; Giridharan, R. 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, 2008.
- Kruger, E.L.; Minella, F.O.; Rasia, F. 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, 2011.

AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

1. Nome do entrevistador:

2. Data ____ / ____ /2011

3. Identificação do ponto de medição:

4. Período do dia

8 – 9h

12 – 13h

16 – 17h

5. Condições do movimento

Repouso

Movimento

6. Nível de nebulosidade

Nublado

Parcialmente nublado

Céu limpo

7. Condições do tempo

Chuvoso

Seco

8. Identificação do entrevistado

Sexo

Masculino

Feminino

Vestimenta:

Idade:

Peso:

Altura:

9. Qual a sua sensação térmica neste momento?

Confortável

Parcialmente confortável

Desconfortável

Muito

Pouco

