

AVALIAÇÃO DO CAMPO TÉRMICO URBANO E PROJEÇÕES MICROCLIMÁTICAS: UM ESTUDO DE CASO NO CAMPUS I DA UFPB

Field evaluation of urban thermal and projections microclimate: a case study in the Campus I of the UFPB

Anne Falcão de Freitas*

Joel Silva dos Santos**

Rita Baltazar de Lima***

***Universidade Federal da Paraíba - UFPB**

Bióloga e ecóloga
annefalcao@gmail.com

****Universidade Federal da Paraíba - UFPB**

Departamento de Engenharia e Meio Ambiente

Rua da Mangueira, s/n – Centro – Campus IV, Litoral Norte, Rio Tinto, Paraíba, Brasil
joelgrafia.santos@gmail.com

*****Universidade Federal da Paraíba - UFPB**

Laboratório de Botânica / Departamento de Sistemática e Ecologia

Cidade Universitária, s/n – Campus I, João Pessoa, Paraíba, Brasil – CEP: 58033-455
ritailima_ufpb@yahoo.com.br

RESUMO

As alterações ocorridas no sistema climático urbano são processos relacionados ao adensamento urbano e às diferentes formas de uso e cobertura do solo. E o seu estudo se reveste de importância fundamental no processo de planejamento e gestão sustentável das cidades. Diante deste contexto que o presente estudo tem como o objetivo principal de avaliar o campo térmico do espaço intra-urbano do *Campus I* da UFPB e verificar como as diferentes formas de uso e cobertura do solo alteram o campo térmico e realizar projeções de cenários futuros a respeito da dinâmica microclimática da área de estudo. Para isso foram feitas medições da temperatura e umidade relativa do ar durante o inverno e o verão, utilizando termohigrômetro em 9 pontos da área de estudo. Verificado o nível de conforto térmico da população e a relação com o tipo de cobertura de solo de cada ponto analisado foi utilizado o Índice de Thom e os cenários foram feitos com o programa Arc Gis® e os dados do IPCC para projeções dos anos: 2020; 2030, 2040, 2050 e 2060. Os resultados permitiram caracterizar o microclima local atual e futuro e identificar alterações no ambiente provocadas pelo adensamento de construções. As áreas com alta concentração de materiais impermeáveis mostraram nível de desconforto térmico classificado como desconfortável, principalmente no verão, que com o passar dos anos tende a ficar muito desconfortável. Tais resultados podem subsidiar dados para o planejamento do espaço intra-urbano.

Palavras chave: Temperaturas. Índice de desconforto térmico. Cenários.

ABSTRACT

The changes occurred in the urban climate system that are processes related to urban growth and the different forms of land use and cover. His study is of crucial importance in the planning and management of sustainable cities process. Given this context that the present study has as main objective to evaluate the thermal field of intra-urban space of the *Campus I* UFPB and looking to see how different forms of use and land cover changes the thermal field and make projections of future scenarios regarding the microclimate dynamics of the study area. Measurements of temperature and relative humidity were made during the winter and summer, using 9 point hygrometer in the study area. Checking the level of thermal comfort of the population and the relationship to the type of ground cover of each point analyzed Index Thom was used and scenarios were made with Arc Gis® program and data from the IPCC projections for the years: 2020; 2030,

2040, 2050 and 2060. All results were used to characterize the current and future local microclimate and identify changes in the environment caused by densification of buildings. Areas with high concentration of impermeable materials showed level of thermal discomfort reported as uncomfortable, especially in summer, which over the years tends to get very uncomfortable. These results may support data for planning the intra-urban space.

Keywords: Temperatures. Thom's index. Scenarios.

1 INTRODUÇÃO

No século XVIII, com a Revolução Científica-Tecnológica, ocorreu uma grande transformação na capacidade produtiva humana e de intervenção na natureza, gerando um crescimento econômico desordenado acompanhado da grande utilização de energia e intensificação da exploração dos recursos naturais. Como consequência desse progresso, houve um desencadeamento da urbanização acelerada gerando inúmeros problemas socioambientais (DIAS, 2011). Vale salientar, que atualmente mais de 50% da população do mundo residem em áreas urbanas, com forte tendência ao crescimento desordenado e a degradação dos recursos naturais (GAITANI et al., 2011).

São nesses espaços de aglomeração humana, as cidades, que se apresentam vários problemas ambientais, com destaque para as variações no balanço de energia do sistema atmosférico. Segundo projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2007) o planeta passará por um aumento médio da temperatura entre 1,8°C a 4°C até 2100. Embora ainda não seja consenso entre os cientistas, o aquecimento global, acarretará em impactos ambientais significativos com perdas econômicas e sociais entre as populações residentes principalmente em áreas urbanas.

Desde o século XVIII tem sido demonstrada essa interferência desempenhada pelas atividades humanas no balanço energético do sistema atmosférico das cidades. Em Londres, Howard (1833) realizou uma comparação entre a área urbana e a área rural, no período de 1806 a 1830.

No Brasil uma contribuição a respeito da temática foi dada por Monteiro (1976), o qual trouxe contribuição metodológica para o estudo do clima urbano e apresentou sua concepção teórica sobre o Sistema Climático Urbano (SCU) brasileiro e seus canais de percepção: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico. Quanto ao canal termodinâmico ocorreram vários estudos nas diversas cidades brasileiras, tais como, em Londrina (MENDONÇA, 2003), Belo Horizonte (MENDONÇA e ASSIS, 2003), Porto Alegre (GIRALT, 2006), Mato Grosso (NOGUEIRA et al., 2006), Campina Grande (BRITO, 2007), Salvador (NERY et al., 2008), Recife (NÓBREGA e VITAL, 2010), Curitiba (KRUGER et al., 2011; ROSSI et al., 2012), João Pessoa (SANTOS, 2011; SILVA et al., 2012), Fortaleza (PAIVA e ZANELLA, 2013) e Campinas (ABREU-HARBICH et al., 2013), evidenciando os impactos da urbanização sobre o campo térmico desses ambientes.

Este desequilíbrio térmico, oriundo das diversas formas de uso e ocupação do solo, geometria das construções e a constituição de seus materiais de revestimento, que aumentam o calor na cidade (BOURBIA e BOUCHERIB 2010; STEWART e OKE 2012; ANDREOU e AXARLI 2012), afeta a qualidade de vida das populações residentes em áreas urbanas (MARTINI et al. 2013). Tal problemática também pode repercutir diretamente saúde da população e consequentemente seu bem-estar com o desconforto térmico e a formação das ilhas de calor (ÉGERHÁZI et al. 2013).

Como pode ser constatado, as condições microclimáticas de determinada localidade têm profundas influências sobre a vida da população. Por isso, os estudos microclimáticos são de grande importância, pois demonstram as dimensões da intervenção do ser humano no ambiente urbano, e com base nesses estudos, têm-se condições de se estabelecer projeções do microclima local, possibilitando assim, a realização de um planejamento estratégico ligado à mitigação dos impactos adversos oriundos das alterações climáticas nesses ambientes.

É diante deste contexto que este estudo se apresenta, considerando a importância do conhecimento da climatologia urbana. O objetivo principal da pesquisa é avaliar as condições do

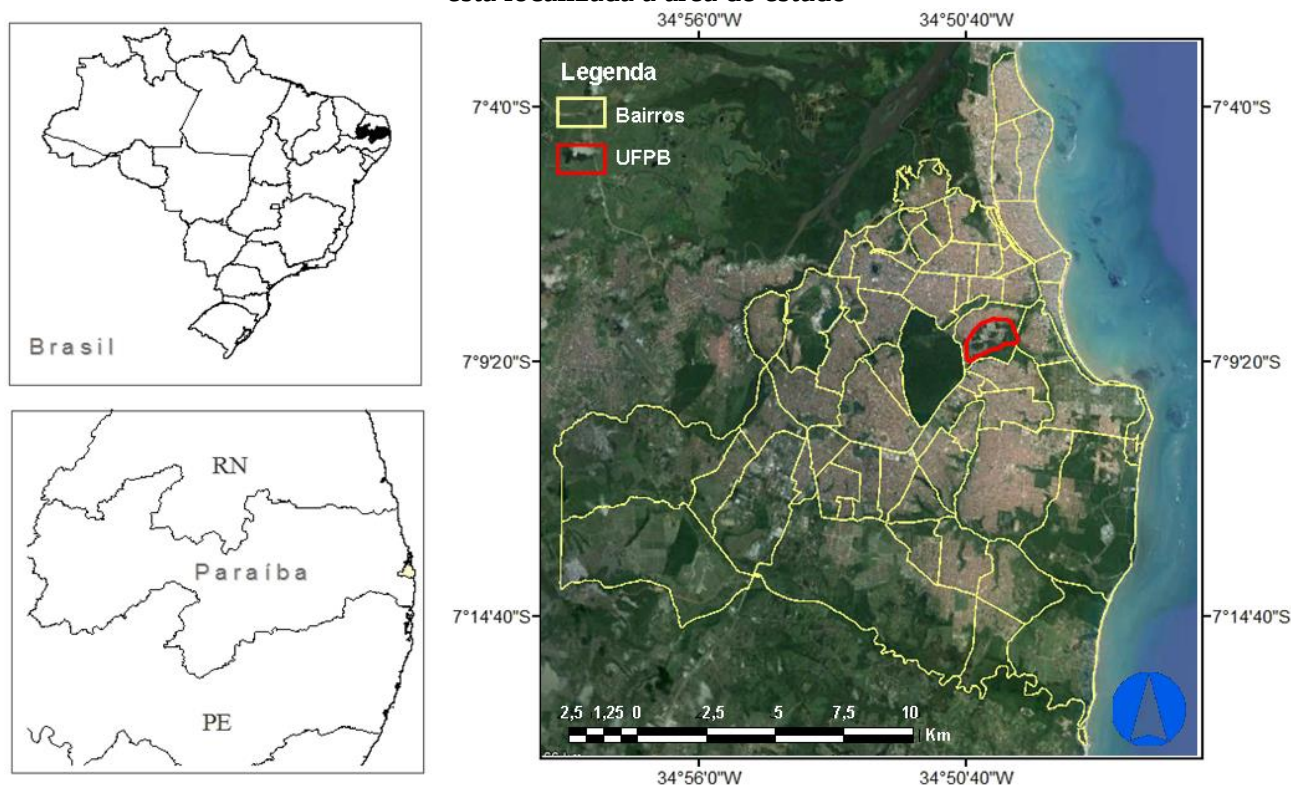
campo térmico urbano do *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba durante os períodos de estiagem e chuvoso. O trabalho também se propõe elaborar cenários futuros para o espaço intra-urbano da área de estudo, considerando-se as projeções de aumento de temperatura do quarto relatório de avaliação do IPCC (2007). Dessa forma esta pesquisa visa contribuir para o planejamento de políticas públicas e gestão sustentável do espaço intra-urbano do *Campus I* da UFPB que possam garantir a manutenção dos espaços verdes desse ambiente, e consequentemente a amenização climática e a qualidade de vida da população acadêmica que se utiliza desse ambiente Universitário que nos últimos anos vem sofrendo várias transformações na sua paisagem geográfica.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o espaço intra-urbano da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, *Campus I* que possui área total de aproximadamente 4,5 Km², inserida no município de João Pessoa (211,475 Km²), Paraíba (Figura 1). Vale a pena ressaltar que a UFPB *Campus I* possui o equivalente a 2,12% da área total do município, e está localizada entre as Coordenadas Geográficas 07°08'03" e 07°08'58" de Latitude Sul e entre 34°50'13" e 34°51'06" de Longitude Oeste e altitude média de 33 metros. A área de estudo permanece durante todo o ano dentro da influência dos ventos alísios de Sudeste. O clima predominante é tropical chuvoso (com classificação Am, segundo Köppen) com verão seco e quente e úmido durante todo ano (Figura 1).

Figura 1 – Imagem mostrando a localização geográfica do município de João Pessoa - PB, no qual está localizada a área de estudo



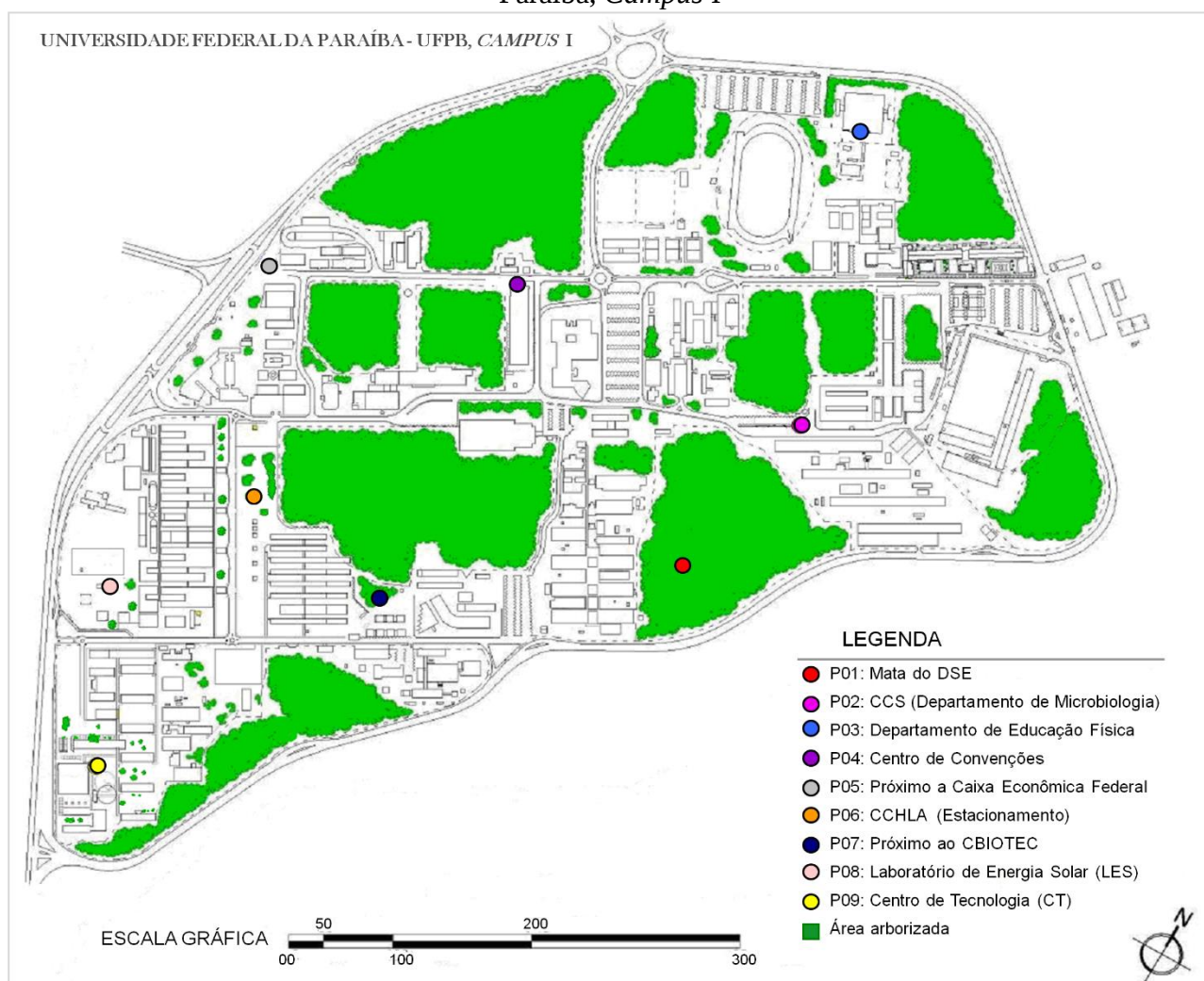
2.2 Campo de análise do sistema clima urbano e coleta de dados

A análise do clima urbano através de descrições físicas do espaço ocupado foi realizada neste estudo com fundamentação na metodologia apresentada por Monteiro (1976), Katzschner et al

(2002), Costa (2007) e Santos (2011).

Logo, para a realização da pesquisa, inicialmente foi definido o campo térmico da área de estudo, como subsistema climático urbano para a investigação. Em seguida, foi realizado o reconhecimento da área dos experimentos, e em função das diferenciações do uso e cobertura do solo foram definidos nove pontos inseridos dentro da malha intra-urbana da UFPB *Campus I* para monitoramento (Figura 2).

Figura 2 – Imagem mostrando a localização dos pontos de medições na Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*



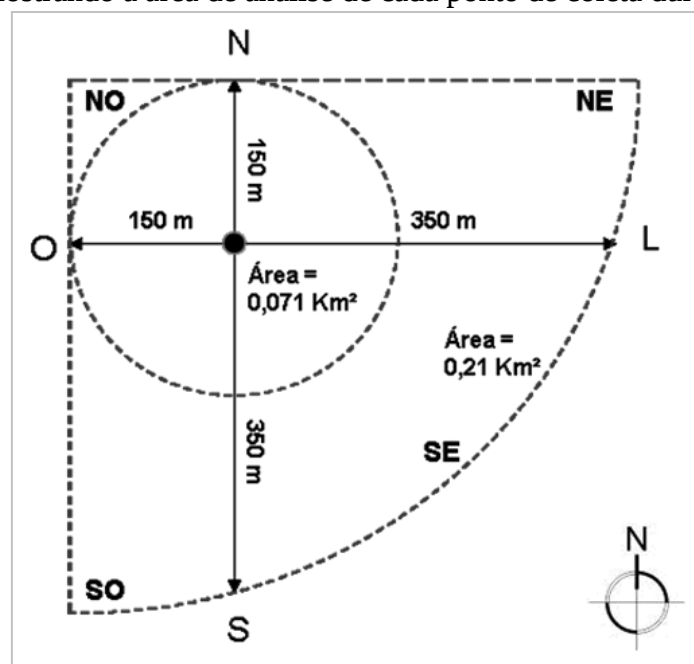
Fonte: Organização dos autores (2014)

Cada estação de coleta de dados foi georreferenciada com GPS de navegação, com o sistema de posicionamento global com projeção UTM, a partir do qual foi obtido latitude, longitude e altitude. A Tabela 1 exhibe os pontos experimentais com as suas respectivas coordenadas geográficas.

Para medição das variáveis (temperatura e umidade relativa do ar) em cada ponto do experimento, foi delimitada a unidade climática local com um raio de 150 m da localização do ponto de coleta, nas direções Norte e Oeste (KATZSCHNER et al., 2002) e um raio de 350 m nas direções Leste e Sul, de maneira que se obtenha o valor total de 500 m que correspondesse à medida de 0,5 km (OKE, 2004). Dessa forma, foi determinada a análise numa área total de 0,21 km² no entorno de cada ponto analisado, conforme detalhado na Figura 5.

Tabela 1 – Localização dos pontos experimentais em coordenadas geográficas

Pontos	Latitude	Longitude	Altitude (m)
P01 - Mata do DSE	07°08'21,80"	34°50'37,26"	23
P02 - CCS (Departamento de Microbiologia)	07°08'11,86"	34°50'33,31"	50
P03 - Departamento de Educação Física	07°07'58,11"	34°50'36,19"	55
P04 - Centro de Convenções	07°08'09,52"	34°50'48,72"	39
P05 - Próximo à Caixa Econômica Federal	07°08'11,49"	34°51'00,16"	56
P06 - CCHLA (Estacionamento)	07°08'22,43"	34°50'58,06"	57
P07 - Próximo ao CBIOTEC	07°08'25,85"	34°50'50,84"	38
P08 - Laboratório de Energia Solar (LES)	07°08'29,64"	34°51'03,07"	56
P09 - Centro de Tecnologia (CT)	07°08'37,26"	34°51'01,34"	49

Figura 3 – Imagem mostrando a área de análise de cada ponto de coleta durante o período estudado

Fonte: Costa (2007)

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo do entorno de cada ponto localizado no *Campus I* da UFPB foi utilizada uma imagem georreferenciada com resolução espacial de 1 m do satélite Quick BIRD (Digital Globe, 2014). As seguintes classes de uso e cobertura do solo nos pontos experimentais foram identificadas: (a) cobertura de amianto; (b) cobertura de amianto, (c) cobertura de cerâmica, (d) cobertura de concreto, (e) cobertura metálica, (f) corpo hídrico (piscina), (g) corpo hídrico (rio), (h) pavimento asfáltico, (i) solo exposto/vegetação herbácea, e (j) vegetação arbórea-arbustiva.

O índice de cobertura do solo de cada unidade foi obtido pela contribuição percentual das classes de cobertura do solo mencionadas anteriormente na composição de recobrimento da área total de cada ponto experimental. O mapeamento, o cálculo das áreas de uso e cobertura do solo e o índice de cobertura do solo foram obtidos mediante técnicas de Sistemas de Informações Geográficas, com o auxílio do *software* ArcGis®, versão 10.3, licenciado para o Laboratório de Ensino, Pesquisa e Projetos em Análises Espaciais (LEPPAN), do Departamento de Geociências da UFPB.

Para medir o conforto térmico em áreas urbanas, um dos índices mais utilizados é o Índice de Desconforto Térmico (IDT), desenvolvido por Thom (1959), o qual estabelece uma relação entre a temperatura média e umidade relativa do ar com a finalidade de se obter resultados quanto ao conforto ou estresse experimentados em um ambiente físico modificado. Esse índice foi utilizado na pesquisa e se constitui em uma ferramenta indispensável para o planejamento e ordenamento

territorial de áreas urbanas, e pode ser obtido pela seguinte equação (1):

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \times UR) \times (T - 14,5) \quad (1)$$

Sendo T a temperatura do ar (°C) e UR a umidade relativa do ar (%).

Para a caracterização do nível de desconforto térmico, utilizou-se a classificação de Santos (2011), ajustada para condições tropicais, apresentada na Tabela 2, abaixo:

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

Faixas	IDT (°C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 24,0	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
3	26 < IDT < 28,0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28,0	Muito desconfortável

Fonte: Santos (2011)

A partir das condições do Índice de Desconforto Térmico – IDT foram elaboradas representações de cenários dos níveis de conforto térmico para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050 e 2060 na área de estudo, em função das projeções do IPCC e de sua previsão para o aumento médio das temperaturas globais (0,5 °C), mediante técnicas de Sistemas de Informações Geográficas, com o auxílio do *software* ArcGis®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos pontos monitorados evidenciou-se a presença de setores com cobertura constituída por materiais impermeáveis (amianto, cerâmica, concreto, asfalto, cobertura metálica) e de materiais permeáveis (solo exposto ou com vegetação arbórea, arbustiva ou herbácea e/ou com corpo hídrico – piscina) (Figura 4, Tabela 3). Os pontos P01 (Mata do DSE) e P07 (Próximo ao CBIOTEC) foram os que apresentaram as maiores taxas percentuais de cobertura vegetal com porte arbóreo/arbustivo. Essa classe de cobertura do solo influencia nas melhores condições de térmicas, por absorver o calor gerado no ambiente urbano. Por outro lado, os pontos P03 (Departamento de Educação Física) e P08 (Laboratório de Energia Solar - LES) apresentaram as menores taxas de vegetação arbórea/arbustiva, e materiais de cobertura do solo com propriedades térmicas desfavoráveis às condições de conforto térmico (Figura 4, Tabela 3). Shashua-Bar et al. (2011) diagnosticaram que as áreas permeáveis e bastante arborizadas possuem melhores temperaturas, quando comparadas com locais mais impermeabilizados e com ocorrência de poucas espécies vegetais.

Tabela 3 – Classes de cobertura do solo das amostras experimentais (%), de acordo com o raio de 0,21 Km²

Cobertura	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
Amianto	0,01	3,00	0,3	0,14	4,19	14,14	6,9	11,05	2,80
Cerâmica	0,71	0,14	6,5	2,00	4,1	0,52	1,62	1,43	2,45
Concreto	7,14	21,71	23,5	28,29	24,43	25,29	16,71	27,52	18,8
Metálica	0	0,24	1,5	0,62	0,71	0,76	0,1	0,19	0
Corpo hídrico – rio	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,05
Corpo hídrico – piscina	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0
Asfáltica	2,43	9,86	8,0	9,14	12,81	2,14	3,1	12,33	11,5
Solo exposto/Vegetação herbácea	10,05	8,95	20,1	10,38	8,38	10,76	11,67	21,14	17,1
Vegetação arbórea/arbustiva	79,18	56,1	39,6	49,43	45,38	46,38	59,9	26,33	47,3

Figura 4 – Imagem mostrando o revestimento do solo no entorno dos pontos amostrais, inseridos no *Campus I* da UFPB



P01 - Mata do DSE (A). P02 - CCS (Departamento de Microbiologia) (B). P03 - Departamento de Educação Física (C). P04 - Centro de Convenções (D). P05 - Próximo a Caixa Econômica Federal (E). P06 - CCHLA (Estacionamento) (F). P07 - Próximo ao CBIOTEC (G). P08 - Laboratório de Energia Solar (LES) (H). P09 - Centro de Tecnologia (CT) (I).

Vale destacar também que os corpos hídricos apresentam efeito na umidificação do ar, sendo um fator relevante para o conforto térmico. Entretanto, a contribuição higrotérmica do corpo hídrico (piscina) inserido no ponto P03 (Departamento de Educação Física), com tamanho total de 180m² (3 piscinas, com 100, 50 e 30 metros), não foi tão efetiva como verificado no estudo de Gomes e Lamberts (2009), no qual a Lagoa de Interlagos, em Minas Gerais, com aproximadamente 2.200 m², contribuiu para amenizar as temperaturas, sendo o ponto com a melhor condição térmica.

Os valores médios da temperatura do ar no ponto P01 (Mata do DSE) foram sempre inferiores aos demais pontos analisados, corroborando assim, com o trabalho desenvolvido por Santos et al. (2011), os quais verificaram papel exercido pela cobertura vegetal no que diz respeito a redução de temperatura e no aumento da umidade relativa do ar (Tabela 4). Esse efeito sobre essas variáveis microclimáticas está associado diretamente ao processo da evapotranspiração e sombreamento, que contribui para o balanço energético do ambiente, configurando, assim, um importante instrumento para a amenização climática do meio urbano (SHASHUA-BAR et al., 2011).

Tabela 4 – Médias de temperatura (°C), de umidade relativa (%) e o IDT (°C) médio de cada ponto analisado durante os períodos monitorados (de estiagem e chuvoso), na UFPB, *Campus I*

Pontos	Temperatura do ar (°C) Média (Período)	Umidade relativa (%) Média (Período)	IDT (°C)
Período de estiagem			
P01	26,7	84,7	25,7
P02	27,6	79,3	26,1
P03	29,9	71,5	27,5
P04	27,3	79,3	25,8
P05	27,4	79,2	25,9
P06	27,5	77,7	25,9
P07	27,3	80,7	25,9
P08	27,6	79,0	26,1
P09	27,6	77,6	26,0
Média	27,7	78,8	26,1
Período chuvoso			
P01	24,6	86,9	23,8
P02	25,1	83,8	24,2
P03	26,2	86,6	25,3
P04	25,0	84,3	24,1
P05	25,3	82,3	24,2
P06	25,2	83,6	24,2
P07	24,9	88,4	24,2
P08	25,0	83,1	24,0
P09	25,5	80,2	24,3
Média	25,2	84,2	24,2

IDT < 24	24 ≤ IDT ≤ 26	26 < IDT < 28	IDT ≥ 28
Confortável	Parcialmente Confortável	Desconfortável	Muito Desconfortável

As temperaturas em todos pontos analisados foram inferiores a 29 °C, no período de estiagem e a 26 °C no chuvoso, exceto no ponto P03 (Departamento de Educação Física), que foram, respectivamente de 29,9 °C e 26,2 °C (Tabela 4), evidenciando assim a influência dos materiais impermeáveis de recobrimento do solo nesse ponto: cobertura de cerâmica, cobertura de concreto, cobertura metálica e pavimento asfáltico (Tabela 3). Esses elementos possuem baixos valores de reflectância solar, altos valores de condutividade térmica e capacidade calorífica, como observado por Schmitz e Mendonça (2011). Os pontos P02 (CCS-Departamento de Microbiologia), P08 (Laboratório de Energia Solar – LES) e o P09 (Centro de Tecnologia – CT), no período de estiagem, apresentaram temperatura média de 27,6 °C e apenas o P09 no período chuvoso, apresentou 25,5 °C (Tabela 4). No estudo de Santos et al. (2011), no *Campus I* da UFPB, o ponto P09 Centro de Tecnologia apresentava as maiores temperaturas e menores umidades quando comparado aos demais, já nesse estudo o P03 foi o que apresentou maiores temperaturas. Essa mudança é reflexo das novas construções de edificações realizadas no *Campus* nos últimos. O ponto P03 foi considerado o mais desconfortável em função da nova rugosidade do entorno que impediram a circulação dos ventos

alísios de Sudeste, e consequentemente na dissipação do calor mantida pela impermeabilização do solo e os materiais de recobrimento.

Abreu-Harbich et al. (2013) destaca que os diversos parâmetros da urbanização, como orientação das edificações, densidade construída e albedo dos materiais da construção civil, alteram fortemente as condições térmicas em climas quentes e úmidos. Este estudo mostrou que, há correlação entre as construções com materiais impermeáveis, as suas geometrias e o aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar. No entorno do ponto P03 (Departamento de Educação Física) isso pôde ser evidenciado, pois a rugosidade da área tem diminuído a velocidade dos ventos alísios de Sudeste e impedido a dissipação do calor nesse ambiente. Giannaros e Melas (2012) afirmaram que a velocidade do vento é importante na redução significativa da temperatura.

A amplitude térmica entre os pontos monitorados foi de 3,2 °C no período de estiagem e de 1,6 °C no período chuvoso; já a variação média da umidade relativa do ar foi de 13,2% no período de estiagem e de 8,2% no período chuvoso (Tabela 4). Comparando a média dos dois períodos, verificou-se que o período chuvoso é mais ameno que o de estiagem (Tabela 4). Oliveira (2011), Balogun et al. (2012) e Paiva e Zanella (2013), também puderam observar essa variação durante esses períodos em cidades tropicais.

Em consequência das menores temperaturas e de maior umidade do ar, o Índice de Desconforto Térmico (IDT) do ponto P01 (Mata do DSE) foi melhor em relação aos demais pontos analisados (Tabela 4), apresentando 25,7 °C, no período de estiagem, se classificando como parcialmente confortável de acordo com a classificação proposta por Santos (2011) e 23,8 °C, confortável, no período chuvoso (Tabela 4). Tais resultados são atribuídos à presença da vegetação e a menor presença de áreas impermeáveis. Como diagnosticado por Müller et al. (2013), a vegetação com porte arbóreo contribui substancialmente para o conforto térmico humano, em todas as estações do ano. Por outro lado, o ponto P03 (Departamento de Educação Física) apresentou maiores índices de desconforto térmico, com média de 27,5 °C, no período de estiagem, classificado em desconfortável e média de 25,3 °C, parcialmente confortável, no período chuvoso (Tabela 4). O desconforto térmico nesse ponto está relacionado às altas taxas de temperatura e menores umidades, condicionado por um conjunto de fatores: geometria intra-urbana caracterizada por edificações que atuam na diminuição da velocidade dos ventos alísios de Sudeste; uso e ocupação do solo, recoberto por materiais impermeáveis e pouca arborização para amenizar o microclima do entorno. Como citado por Yahia e Johansson (2013), o microclima urbano é complexo e está relacionado com o ambiente externo. A densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e a largura das ruas influenciam nas variáveis microclimáticas devido a quantidade de radiação solar recebida, e consequentemente na sensação de conforto térmico da população (SHISHEGAR, 2013). Em regiões tropicais, quanto mais adensado e verticalizado o espaço urbano, há incremento na temperatura e redução da umidade, pois os materiais impermeáveis absorvem e mantêm o calor, provocando desconforto térmico (MARTINS et al., 2012).

Os pontos P02 (Departamento de Microbiologia) e P08 (Laboratório de Energia Solar - LES) também foram considerados desconfortáveis, no período de estiagem, e o ponto P09 (Centro de Tecnologia - CT), não foi considerado desconfortável, por apenas 0,1 °C. Já no período chuvoso, com exceção do ponto P01 (Mata do DSE), os demais pontos foram considerados parcialmente confortáveis, o ponto P03 obtendo a pior situação.

A análise dos dados revela ainda que a variação média do IDT entre os pontos monitorados foi de 1,8 °C no período de estiagem e de 1,5 °C no período chuvoso (Tabela 4).

Comparando a média dos dois períodos, verificou-se que a sensação térmica se classifica em desconfortável (26,1 °C) no período de estiagem e parcialmente confortável (24,2 °C) no período chuvoso (Tabela 4). No estudo de Yahia e Johansson (2013) também foi encontrado maior de conforto térmico no período de estiagem, quando comparado com o chuvoso.

No período de estiagem o cenário do nível de estresse térmico para o ano de 2020 se classifica como desconfortável para os pontos monitorados, com o índice máximo de desconforto térmico no

Tabela 5 – Nível de conforto térmico da UFPB *Campus* I no período de estiagem e chuvoso dos anos de 2020, 2030, 2040, 2050 e 2060 em função das projeções do IPCC

No período chuvoso, os cenários para 2020 (Tabela 5, Figura 6B) e 2030 (Tabela 5, Figura 6C) são de estresses térmicos classificados como parcialmente confortável, sendo o ponto P01 (Mata do DSE) com o menor índice e o P03 (Departamento de Educação Física) com maior IDT. No cenário para 2040 (Tabela 5, Figura 6D), apenas o ponto P03 apresentou-se como desconfortável, os demais pontos permaneceram parcialmente confortáveis, sendo que o P01 apresentou menor índice (25,2 °C). No cenário para 2050 (Tabela 5, Figura 6E) o P03 continuou com maior índice de desconforto, seguido dos pontos P05 (Próximo a Caixa Econômica Federal), P06 (CCHLA - Estacionamento) e P09 (Centro de Tecnologia - CT), enquanto P01 (Mata do DSE) permaneceu com menor IDT e classificado como parcialmente confortável. No cenário para 2060 (Tabela 5, Figura 6F) todos os pontos monitorados se enquadraram como desconfortáveis, sendo que o P01 possuindo o menor IDT e o P03 o maior IDT.

Figura 5 – Representação dos cenários de conforto térmico para o *Campus I* da UFPB durante o período de estiagem nos anos de 2014 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F)

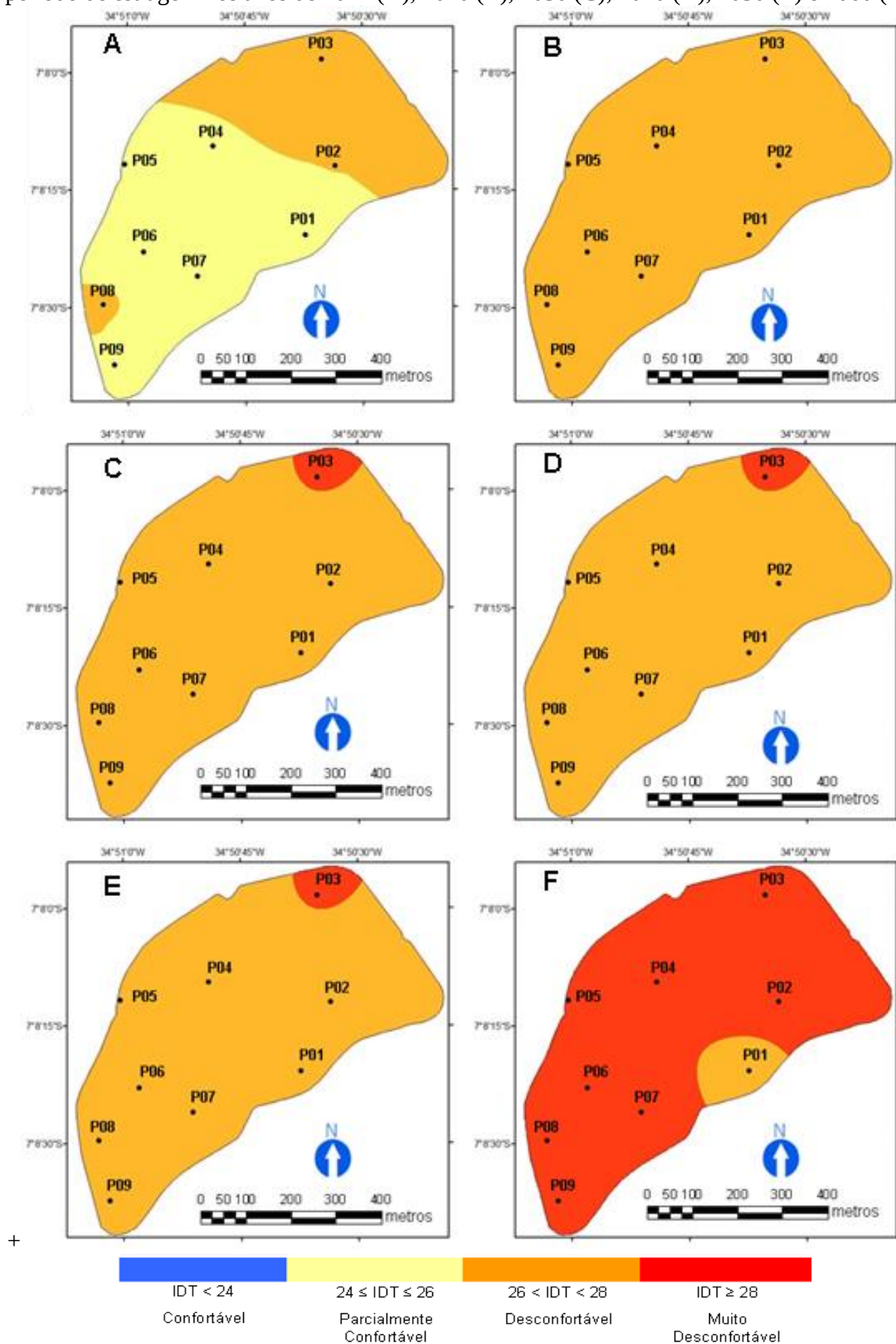
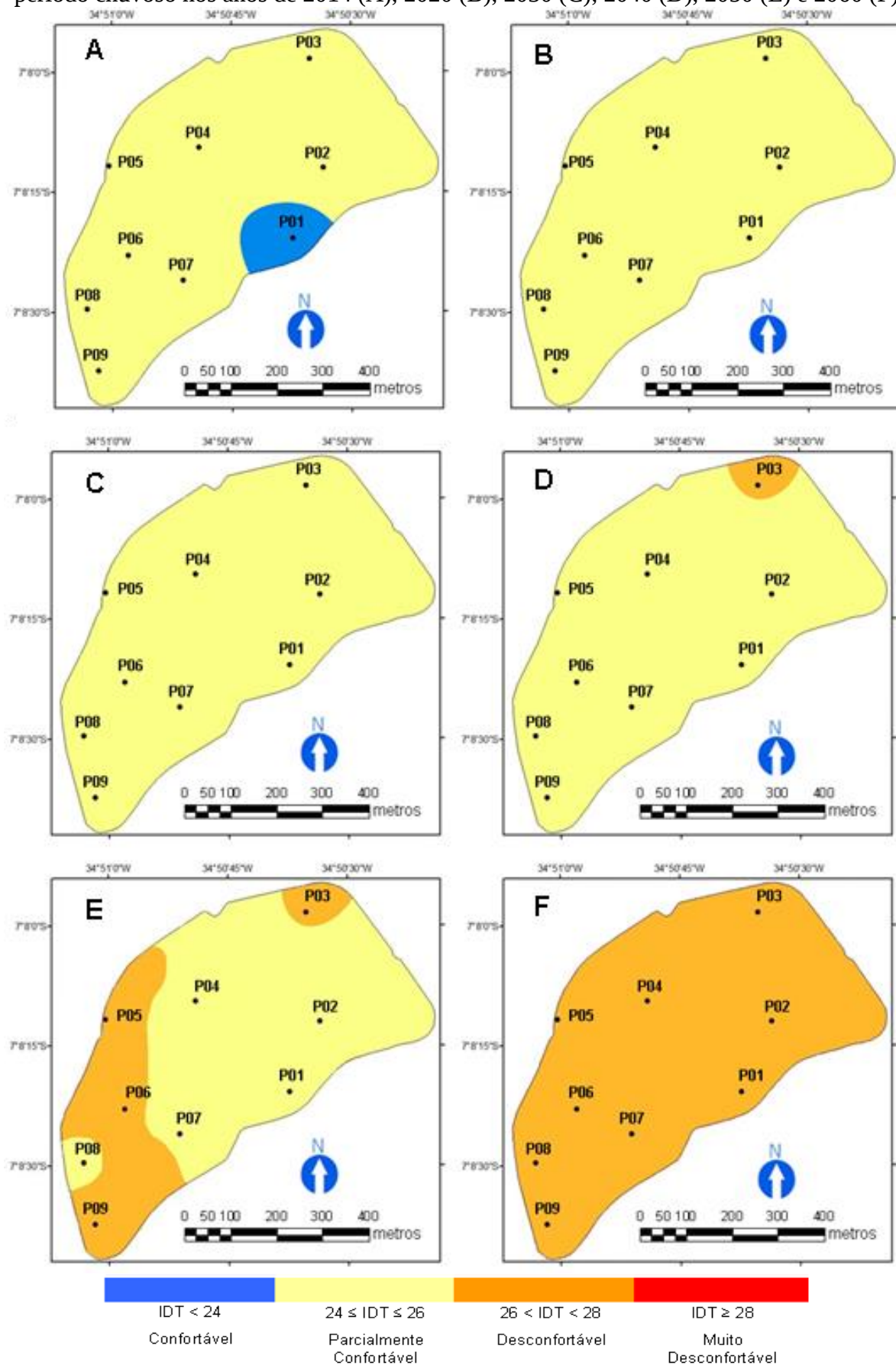


Figura 6 – Representação dos cenários de conforto térmico para o *Campus I* da UFPB durante o período chuvoso nos anos de 2014 (A), 2020 (B), 2030 (C), 2040 (D), 2050 (E) e 2060 (F)



Com isso, percebe-se que o ponto constituído por vegetação densa possui menores índices de conforto térmico nos períodos monitorados para todos os cenários possíveis, quando comparado com aqueles que têm maior influência de áreas impermeáveis. No período chuvoso são mostrados os melhores índices quando comparados com o período de estiagem (Tabela 5), assim como diagnosticado nas projeções realizadas por Santos (2011), em um estudo no município de João Pessoa.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados, foi possível verificar que as menores temperaturas e maiores umidades foram registradas no ponto P01 (Mata do DSE), inserido em um fragmento de Mata Atlântica, reforçando a importância da vegetação na amenização microclimática, dada a evapotranspiração e o sombreamento que são as principais estratégias de controle da radiação solar pela interceptação dos raios solares e conversão da energia radiante em calor sensível, o que reduz as temperaturas de superfície dos objetos sombreados, aumentando a umidade e a ventilação. O ponto P03 (Departamento de Educação Física) apresentou maiores temperaturas e menores umidades, devido à geometria e orientação das edificações, que diminuem a velocidade dos ventos alísios de Sudeste. Fatores esses agravados pelo uso e ocupação do solo que são constituídos por materiais impermeáveis, o que contribuem para o armazenamento de calor. Logo, a composição dos materiais, que recobrem o solo, exerce influência sobre as trocas de energia e calor, alterando diretamente os valores das variáveis atmosféricas analisadas (temperatura e umidade relativa do ar), responsáveis pelo controle do nível de estresse térmico ambiental.

A sensação térmica da população que frequenta o *Campus I* da UFPB variou de parcialmente confortável a desconfortável no período de estiagem e de confortável a parcialmente confortável no período chuvoso.

Os cenários dos níveis de conforto térmico indicam possíveis condições de forte desconforto térmico com o passar dos anos. Neste contexto, o ponto P03 (Departamento de Educação Física) seria o alvo dos maiores índices, principalmente no período de estiagem e o P01 (Mata do DSE) o de menores índices de desconforto térmico. Esses cenários climáticos apontam para a necessidade do planejamento ambiental na área de estudo levando em consideração o microclima local. Por fim, as informações da climatologia urbana, encontradas nesse trabalho, poderão contribuir para a implantação das ações de manejo e monitoramento da arborização local, considerando que a vegetação é eficiente na redução das temperaturas, além de ser de baixo custo o processo de plantio de novas árvores, propiciando muitos benefícios ambientais, como resfriamento dos ambientes externos e interno. Tais ações servirão para o desenvolvimento de uma política de gerenciamento sustentável para subsidiar o plano diretor da UFPB *Campus I* ainda em implementação.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimatic in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theor Appl Climatol.** v. 115, p. 333-340, 2013. Disponível em: <<http://www.unisantos.br/boletim/boletim143/artigo-loyde.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

ANDREOU, E.; AXARLI, K. Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment. Experimental investigation and parametric analysis. **Renewable Energy**, v. 43, p. 354-363, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111006409>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

BALOGUN, I. A.; BALOGUN, A. A.; ADEYEWA, Z. D. Observed urban heat island characteristics

in Akure, Nigeria. **African Journal of Environmental Science and Technology**. v. 6, n. 1, p. 1-8, 2012. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/article/article1380283301_Balogun%20et%20al.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). **Renewable Energy**, v. 35, p. 343-347, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109003140>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BRITO, R. S. **Estudo do clima urbano na cidade de Campina Grande, Paraíba**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

COSTA, A. D. L. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. 2007. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas. 2011.

ÉGERHÁZI, L. A.; KOVÁCS, A.; UNGER, J. Application of microclimate modelling and onsite survey in planning practice related to an urban micro-environment. **Advances in Meteorology**, p.1-10, 2013. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/amete/2013/251586/>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

GAITIANI, N. et al., Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens. **Building Serv. Eng. Res. Technol.**, v. 32, n. 1, p. 53–71, 2011. Disponível em: <<http://bse.sagepub.com/content/32/1/53.abstract>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

GIANNAROS, T. M.; MELAS, D. Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 103-120, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512001810>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

GIRALT, R. P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS**. 2006. 237 f. Dissertação, (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 73-91, 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/6916>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

HOWARD, L. **The climate of London**. London. 1833. 221 p.

IPCC. **Climate change: impacts, adaptation and vulnerability**. 1 ed. Cambridge, UK, 2007. 976p.

KATZSCHNER, L; BOSCH, U.; ROTTEGEN, M. Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23, 2006, França. **Anais...** França: [s.n], 2002. p. 411-415.

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, p. 621-634, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310002763>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

MARTINI, A.; BIONDI, A. C.; BATISTA, A. C.; ZAMPRONI, K. A periodicidade diária do índice de conforto térmico na arborização de ruas de Curitiba-PR. **Scientia Plena**, v. 9, n.5, p.1-9, 2013. Disponível em: <<https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/viewFile/1360/716>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

MARTINS, T.; ADOLPHE, L.; KRAUSE, C. Microclimate effects of urban geometry on outdoor thermal comfort in the Brazilian tropical semi-arid climate. In: CONFERENCE OPPORTUNITIES, LIMITS E NEEDS TOWARDS AND ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, 28, 2012, Lima. **Anais eletrônicos...** Lima: [s.n], 2012. Disponível em: <<http://plea-arch.org/ARCHIVE/2012/files/T01-20120111-0010.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

MENDONÇA, F. Clima e Planejamento Urbano em Londrina. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Org). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003, p. 93-120.

MENDONÇA, R. S. R.; ASSIS, E. S. Conforto térmico urbano: estudo de caso do bairro Floresta de Belo Horizonte, MG. **Ambiente Construído**. v. 3, n. 3, p. 45-63, 2003. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3494>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 1976. 300 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

MÜLLER, N.; KUTTLER, W.; BARLAG, A. B. Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. **Theor. Appl. Climatol.** p. 1-15, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00704-013-0890-4>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

NERY, J.; ANDRADE, T.; MOURA, T. Conforto térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**. p. 70-77, 2008. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3155/2267>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

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**. v. 3, p. 151-156, 2010. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/131>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

NOGUEIRA, M. C. J. A. *et al.* Estudo da influência de diversos tipos de morfologia urbana no microclima do *Campus* da Universidade Federal do Mato Grosso. **UNICIÊNCIAS**. v. 10, p. 69-93, 2006.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. IOM Report, TD. in press, World Meteorological Organization, Geneva. 2004.

OLIVEIRA, A. S. **Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

PAIVA, F. I. B.; ZANELLA, M. E. Microclimas urbanos na área central do bairro da Messejana, Fortaleza/CE. **Revista Equador**, v. 2, n. 2, p. 153-172, 2013. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/view/1399>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 41-59, 2012. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/23383>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

SANTOS, J. S. **Campo térmico urbano e a sua relação com uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida**. 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade de Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SANTOS, J. S.; SILVA, V. P. R.; ARAUJO, 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. 336-353, 2011.

SCHMITZ, L. K.; MENDONÇA, F. Reestruturação urbana e conforto térmico: cenários de modelização em Curitiba-PR após a copa de 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, p. 61-81, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25795>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 1498-1506, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2177/abstract>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

SHISHEGAR, N. Street design and urban microclimate: analyzing the effects of street geometry and orientation on airflow and solar access in urban canyons. **Journal of Clean Energy Technologies**, v. 1, n. 1, p. 52-53, 2013. Disponível em: <<http://www.jocet.org/papers/013-J10008.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

SILVA, N. T. et al. Microclimas e avaliação do conforto térmico no bairro do centro de João Pessoa, Paraíba. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 401-410, 2012.

STEWART, I.; OKE, T. Local climate zones for urban temperature studies. **American Meteorological Society**, p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

THOM, E. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-60, 1959.

YAHIA, M. Y.; JOHANSSON, E. Urban microclimate and thermal comfort in outdoor spaces in hot dry Damascus, Syria. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, n.4, p. 615-630, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00484-012-0589-8>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

Data de submissão: 17.08.2015

Data de aceite: 29.09.2016

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.