

## DINÂMICA DA TEMPERATURA INTRA-URBANA: ILHA DO FUNDÃO, RIO DE JANEIRO, BRASIL

P. R. C. Drach<sup>1,2,3</sup>, G. S. Barbosa<sup>3</sup>, O. D. Corbella<sup>2,4</sup>, M. A. P. Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola Superior de Desenho Industrial – ESDI, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Urbanismo – PROURB, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

<sup>3</sup>Programa de Engenharia Urbana - PEU, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

<sup>4</sup>Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

<sup>5</sup>Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

e-mail: patricia.drach@gmail.com; [patricia.drach@uerj.br](mailto:patricia.drach@uerj.br)

Recibido:30-6-2016. Aceptado:31-7-2016.

**RESUMEN.-** El análisis relacionado con las variaciones de temperaturas intra-urbana, sus causas y efectos sobre el medio ambiente urbano, y la formación de islas de calor, son objeto con cada vez más frecuencia, de estudio de los planificadores urbanos, motivados por las consecuencias que provocan en la calidad de vida local. El objetivo principal de esta investigación es estudiar la dinámica de la temperatura en la Ciudad de la Universidad de Río de Janeiro, situada en la Isla de Fundão. Esta área urbana está recibiendo una serie de cambios a lo largo de los años y se espera que haya una consolidación importante en la próxima década. A partir de este estudio, se espera proponer estrategias de intervención en la morfología urbana, que puedan conducir a mejoras en el confort ambiental. A partir de las mediciones *in situ* en veinte nueve puntos en el interior de la Isla, se generaron resultados como el análisis de los mapas de temperatura del aire, asociados a los índices de confort, como el PET (*Physiological Equivalent Temperature*) y el UTCI (*Universal Thermal Climate Index*). También se observó la relación directa de la presencia de vegetación con la temperatura y los cambios de microclima debido a la densificación.

**Palabras claves:** Temperatura intraurbana, Ciudad de la Universidad, Vila Residencial de la UFRJ, Vegetación.

## DYNAMICS OF INTRA- URBAN TEMPERATURE: FUNDÃO ISLAND, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

**ABSTRACT.-** Analyzes related to variations in intra-urban temperature, its causes and its effects on the urban environment, such as the heat island formation, they are increasingly urban planners study object given the consequences to the local quality of life. The main objective of this research is to study the dynamics of temperature in University City of Rio de Janeiro, located on Fundão Island. This urban area is receiving a number of changes over the years and is expected to still a major consolidation in the next decade. From this study, it is expected to propose intervention strategies in urban morphology that may lead to improvements in environmental comfort. From measurements *in loco* for twenty-nine points inside the island were generated results as the analysis of air temperature maps, associated the comfort indices such as PET (Physiological Equivalent Temperature) and UTCI (Universal Thermal Climate Index). It was also noted the direct relationship of the presence of vegetation with the temperature and the microclimate changes due to densification.

**Keywords:** Intra-urban temperature, University City, Villa Residencial UFRJ, Vegetation.

### 1. INTRODUÇÃO

Muitos aspectos da urbanização podem alterar o ambiente físico produzindo assim variações climáticas pontuais que geram diferentes microclimas em uma mesma região (Oke, 1981). A forma urbana, cobertura do solo, a forma de confinamento dos espaços são fatores que, entre outros, implicam diretamente no comportamento local das variáveis climáticas.

Devido às propriedades térmicas dos materiais construtivos ou da cobertura do solo e revestimento dos edifícios serem diferentes daqueles observados no meio natural, observa-se no meio urbano relações diferenciadas entre absorção e

emissão de calor. Com o aumento da taxa do fluxo de calor entre o componente construtivo e o ar (admitância térmica), ocorre, conseqüentemente, o aumento do calor acumulado durante o dia e o desprendimento do calor armazenado à noite.

A alteração do Albedo, ou coeficiente de reflexão, causada pela mudança de superfícies naturais para materiais construtivos, apesar de não ser tão grande, resulta em importantes alterações na condutividade e capacidade térmica da área superficial. Assim, os materiais construtivos ou de cobertura armazenam mais energia que o solo natural, passando a atuar como verdadeiros reservatórios de radiação. Associada a este fator, a expansão das superfícies

impermeáveis, que além de contribuírem para alagamentos, contribuem também para diminuição do fluxo de calor latente, que envolve mudança de estado de agregação (evaporação, por exemplo), aumentando o calor sensível, que provoca diretamente variações na temperatura.

Soma-se a estes aspectos (Oke, 1981) o calor antropogênico, que é calor desprendido em processos de combustão, que tem também uma contribuição importante nas alterações do microclima e está intensamente associado à presença e atividade humanas. Outro aspecto que contribui para alterações do ambiente físico e que muitas vezes está associado à presença humana é a poluição do ar. Sua presença, ou melhor, a presença das partículas dos poluentes promove o aumento da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera. O meio urbano interfere na dinâmica das variáveis climáticas locais também através da geometria das superfícies. Espaços adensados, espaços abertos, áreas verdes, ruas largas, corredores estreitos entre edifícios (cânions urbanos), entre outros, interferem nos processos das trocas térmicas. Pode ser observado o aumento da absorção de ondas largas devido à retenção entre as edificações e a redução das perdas da radiação por ondas longas do espaço entre edificações, pela redução da área de céu visível (Oke, 1981), medida através do cálculo do fator de visão do céu - FVC.

O objetivo deste estudo é avaliar a dinâmica da temperatura na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, localizada na Ilha do Fundão. Em estudo anterior, Drach et al. (2015) desenvolveram simulações em Túnel de Vento para mapear a dinâmica da ventilação na região da Vila Residencial da UFRJ, situada também na Ilha do Fundão e foi possível notar uma barreira criada pelas edificações adensadas. Neste artigo, espera-se avaliar a dinâmica da temperatura e sua correlação com a morfologia urbana de toda a Ilha do Fundão. Desde a sua ocupação inicial a região experimentou um intenso processo de consolidação e os lotes originais foram subdivididos resultando em uma ocupação inadequada para o clima tropical úmido. Algumas características morfológicas podem ter contribuído com as alterações microclimáticas como o bloqueio da ventilação, a impermeabilização do solo e o uso intenso de materiais absorventes de calor, além da falta de vegetação.

A compreensão das relações entre a dinâmica da variação da temperatura intra-urbana e a morfologia urbana torna possível determinar as configurações da malha urbana capazes de mitigar, pelo menos em parte, os impactos gerados pelas mudanças no clima local. A Universidade Federal do Rio de Janeiro de - CAMPUS UFRJ, na Ilha do Fundão, está passando por uma fase de mudanças constantes e há planos que já se iniciaram para novas construções e de intervenção, de acordo com o Plano Diretor da UFRJ 2020 (PDCIDUNI 2020, 2009). O emprego de estudos de microclimatologia na área do campus da UFRJ e, estendê-los à Vila Residencial existente no campus, representa uma oportunidade única para desenvolver um estudo das dinâmicas do microclima daquela região antes que ocorram modificações mais significativas.

A aplicação de estratégias alternativas, como o uso de vegetação e consequente sombreamento naquela região, a diminuição de áreas impermeáveis e projetos bioclimáticos poderiam representar uma importante contribuição para aumentar o conforto ambiental dos usuários. Além disso,

permitiria elevar a qualidade de vida na região com reduzidos custos ambientais e financeiros. Figueiredo et al. (2007) desenvolveram experimentos de campo, para analisar o sistema climático da Ilha do Fundão e detectar possíveis ocorrências de ilha de calor além de avaliar a qualidade da água da chuva na região. Para tal, eles determinaram vinte pontos de medição móveis e três pontos fixos distribuídos ao longo da região. Nesta pesquisa, além dos vinte pontos móveis foram incluídos cinco pontos no interior da Vila Residencial e quatro pontos no estacionamento da Reitoria. A inclusão destes locais atendeu à necessidade de detalhar a dinâmica da temperatura do ar levando em conta as diferenças observadas na morfologia urbana que resultam em alterações na massa vegetada, sombreamento e o revestimento urbano.

Ao analisar a dinâmica da temperatura do ar na Ilha do Fundão espera-se poder atribuir às variações da temperatura intra-urbana a fatores da morfologia para buscar indicar possíveis soluções para o desconforto ambiental.

## **2. A FORMAÇÃO DA ILHA DO FUNDÃO E DA VILA RESIDENCIAL**

Apesar da inauguração da Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (antiga Universidade do Brasil) ter ocorrido apenas em 1972, os primeiros debates envolvendo a sua construção aconteceram ainda na década de 1930. Em 1935, durante o governo Vargas, iniciou-se o planejamento para a criação de uma Cidade Universitária. O projeto fazia parte das propostas do programa de reestruturação da Universidade do Rio de Janeiro, que passou a ser chamada de Universidade do Brasil, com o objetivo do governo de controlar a qualidade do ensino superior no país. O novo campus deveria reunir todos os cursos da universidade.

Para sua localização foram considerados diversos lugares como a Praia Vermelha, a Quinta da Boavista, a Vila Valqueire, o Castelo, Manguinhos, a Ponta do Valonguinho e até sua construção sobre palafitas em plena Lagoa Rodrigo de Freitas, zona sul da cidade do Rio de Janeiro. O debate sobre o sítio a ser escolhido perdurou por mais de uma década, até que foi tomada a decisão (Lei nº 447, de 20/10/1948) de erguer, uma Cidade Universitária em uma área formada a partir da ligação das nove ilhas da Enseada de Manguinhos do Estuário Inhaúma que foi possível graças a um processo de aterramento. Os estudos desenvolvidos pelo Escritório Técnico da Universidade do Brasil (Etub), sob a coordenação do engenheiro Luiz Hildebrando de Horta Barbosa, apontaram a "ilha universitária" como o local mais adequado para tal empreitada, levando em consideração, entre outros fatores, a área final disponível - aproximadamente 5 milhões de metros quadrados -, a localização, e ainda, os valores a serem pagos com desapropriações (Plano Diretor UFRJ 2020, 2009). As ilhas Baiacú, Cabras, Catalão, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Pinheiro, Bom Jesus, Sapucaia e do Fundão (esta deu o nome à grande ilha artificial formada) foram interligadas utilizando o aterro hidráulico - aterro construído de material transportado por uma corrente de água - e a terraplanagem num processo que abrangeu o período de 1949 a 1952. Na Figura 1a, podem ser observadas as nove ilhas ainda separadas (ETUB, 1952). Na Figura 1b, o desenho mostra o complexo desenvolvido para a localização da Cidade Universitária, com suas ilhas conectadas (ETUB, 1954).



Fig. 1. Formação da Ilha do Fundão: a) 9 ilhas ainda isoladas. Fonte: ETUB, 1952; b) Grande ilha formada após o aterro hidráulico e terraplanagem Fonte: ETUB, 1954.

Em 1969, teve início a construção da Ponte Rio-Niterói para interligar essas cidades. Seis canteiros de obra, para apoio à grande empreitada, foram instalados em pontos estratégicos das duas cidades sendo uma delas na Ilha do Fundão. Esse canteiro foi localizado à sudeste da ilha, em um terreno ainda desocupado de 300.000m<sup>2</sup>. Surge então a pequena vila para os trabalhadores cujas instalações compreendiam, além das residências individuais e familiares, um mercado, um refeitório e outros serviços técnicos. O caráter provisório das instalações permitiu o desenvolvimento de construções precárias – algumas de madeira – e que ocupavam uma área pequena. Com a finalização das obras e inauguração da ponte, em 1970, e a posterior inauguração oficial da Cidade Universitária, em 1974, não ocorreu, conforme anteriormente combinado, a desativação da cidade operária, dadas as dificuldades financeiras dos antigos operários com suas famílias que se recusaram a sair (Freire, 2010). A este grupo de ex-funcionários do consórcio Ponte Rio-Niterói veio se somar um grupo de funcionários da própria Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que solicitou à universidade a ocupação daquela área. Assim, nasceu a Vila Residencial que mesmo sendo relativamente oculta aos olhos do grande número de pessoas que frequentam diariamente a Cidade Universitária, ainda hoje pertence ao bairro da Cidade Universitária. Ela ocupa uma área de 122.640 m<sup>2</sup> de um total de 5.238.337,90 m<sup>2</sup> da Cidade Universitária, correspondendo a 2,3% do território do campus.

A Cidade Universitária da UFRJ e seu entorno passaram por diversas alterações ao longo das últimas décadas, recebendo instalações como da Eletrobrás, da Petrobrás, de várias empresas privadas que formam o Parque Tecnológico e também edificações da própria Universidade. Ainda, estão previstas novas construções e intervenções de acordo com o Plano Diretor UFRJ 2020 (2009), aprovado pelo Conselho Universitário em 5 de novembro de 2009. A expansão de algumas regiões, dentre elas o Parque Tecnológico (PT), próximo à Vila Residencial, indica o constante adensamento ao qual a Ilha do Fundão está submetida. Assim, a possibilidade de aplicar esses estudos na área do Campus da UFRJ e entorno, incluindo a Vila Residencial é uma oportunidade ímpar para estudar e entender a dinâmica da temperatura do ar e de outras variáveis meteorológicas na região.

O conhecimento do uso do solo é um fator fundamental para o entendimento da ocupação da região e para o desenvolvimento de estudos climáticos urbanos (Brandão, 1996; Lombardo, 1985). O mapa de uso do solo para a Ilha do Fundão (Fonte: Atualização de Figueiredo *et al.*, 2007) é mostrado na Figura 2a. Nele pode ser observada a Vila Residencial em amarelo e ao seu lado o Parque Tecnológico (PT).

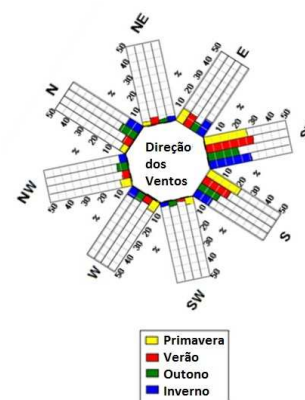


Fig. 2. Ilha do Fundão: a) Mapa de uso do solo – agosto/2014. Fonte: Figueiredo *et al.*, 2007; b) Direção dos ventos. Fonte: Sol-Ar, 2013.



A Figura 2b mostra a predominância do vento Sudeste, seguida pelos ventos de direção Sul e Leste (Sol-Ar, 2013). A partir da Rosa dos Ventos gerada para determinação dos ventos dominantes e secundários também foram observadas as intensidades de vento para a região.

### 3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A cidade do Rio de Janeiro (22° 54' 10" S, 43° 12' 27" W) está localizada na região sudeste, no litoral do Brasil e é caracterizada por um clima tropical com chuvas de verão (Aw), de acordo com a classificação de Koeppen-Geiger. Sua topografia é bem marcada localizando-se entre serras e grandes formações rochosas e o oceano Atlântico. Os morros do Corcovado e do Pão de Açúcar representam sítios emblemáticos da cidade. Na Ilha do Fundão, resultado de um aterro e terraplanagem, a existência de pequenos morros se deve às formações originais das nove ilhas que deram origem ao lugar.

O processo de expansão da Cidade Universitária não está se dando apenas em relação à implantação de empresas, como é o caso do Polo Tecnológico, do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES), entre outros. De acordo com o PDCIDUNI 2020 (2009) estão projetadas grandes mudanças na escala da UFRJ e da Cidade Universitária. O quadro da Tabela 1 indica algumas das alterações em termos de população existente nos dias úteis.

Estas informações (Tabela 1) permitem traçar um panorama geral do esperado para a Cidade Universitária onde a expansão prevista para a região, com a população presente em dias úteis, no mínimo, dobrará de tamanho. Assim, este parece ser um momento importante para identificar as implicações do adensamento e suas conseqüentes alterações na morfologia urbana e, ainda identificar formas de minimizar o sobreaquecimento urbano.

#### 3.1 Localização dos pontos a serem monitorados.

Todos os 29 (vinte e nove) pontos de medição selecionados para medições estão inseridos no Campus da UFRJ. Conforme explicado, os vinte primeiros pontos (1A a 10A e 1B a 10B) respeitaram a localização dada em Figueiredo *et*

*al.* (2007) e os outros nove pontos foram distribuídos de maneira a detalhar regiões de interesse: A Vila Residencial e o Estacionamento da Reitoria. Na Figura 3 está indicada a distribuição dos 29 pontos na região e na Tabela 2 estão apresentados os dados referentes à cada um dos pontos, bem como o fator de visão do céu (parcela do céu visível a partir do ponto) calculado para cada um deles.

A partir da Tabela 2 é possível observar que os valores para o fator de visão do céu (FVC) nos pontos de medição não apresentam grande variação, quando se trata dos pontos inicialmente determinados por Figueiredo *et al.* (2007), uma vez que os pontos indicados estão quase todos em espaços abertos e de fácil acesso. Já nos pontos incluídos é possível observar uma variação maior, uma vez que na Vila Residencial existem ruas com larguras variadas e no estacionamento da Reitoria existem áreas sombreadas.

Tabela 1: Dados dos residentes e usuários na Cidade Universitária, Rio de Janeiro.

População residente estimada 2020	15.000 hab
População residente 2008	3.500 hab*
População total (dias úteis) estimada 2020	Entre 130.000 a 150.000 hab
População total (dias úteis) 2008	65.000 hab

Fonte: Laboratório de Diagnóstico em Opinião, UFRJ, Vida Universitária: Hábitos e Anseios, 2008. \*dado estimado pelos autores.

#### 3.2 Metodologia e documentação dos pontos selecionados

O processo usual de determinação dos pontos de medição tem início com a utilização de um mapa, para marcação das áreas de interesse e isto foi feito para localização dos nove pontos acrescentados ao conjunto. A seguir, o lugar é percorrido a pé para observar se as escolhas são pertinentes e representativas da morfologia urbana local.

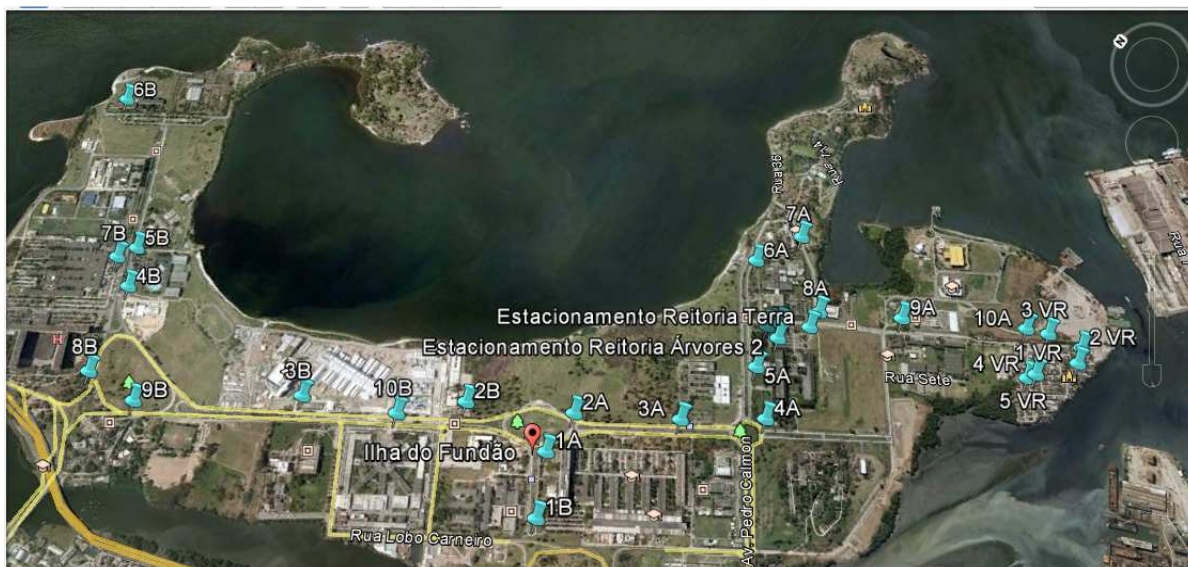


Fig. 3: Pontos de medição no Campus da UFRJ (GoogleEarth 2016).

Tabela 2: Localização dos pontos de medição na Cidade Universitária, Rio de Janeiro.

	Pontos	Localização Latitude e Longitude		Fator de visão do céu - FVC
1	1A CCMN	22°51'29.54"S	43°13'50.92"O	0.525
2	2A Praça G Massarani	22°51'29.37"S	43°13'45.09"O	0.700
3	3A Parada CT	22°51'39.25"S	43°13'38.26"O	0.559
4	4A Rotatória Reitoria	22°51'46.80"S	43°13'32.24"O	0.688
5	5A Reitoria	22°51'42.61"S	43°13'27.20"O	0.693
6	6A CETEM	22°51'35.29"S	43°13'14.73"O	0.673
7	7A COPPEAD	22°51'37.94"S	43°13'8.36"O	0.241
8	8A Estacionamento Reitoria	22°51'44.76"S	43°13'16.28"O	0.638
9	9A Divisão Gráfica	22°51'52.87"S	43°13'10.87"O	0.519
10	10A Vila Residencial	22°52'5.03"S	43°13'3.02"O	0.667
11	1B Retorno	22°51'33.17"S	43°13'57.92"O	0.695
12	2B Bosque Instituto Física	22°51'18.87"S	43°13'51.56"O	0.591
13	3B CENPES 2	22°51'3.67"S	43°14'2.60"O	0.694
14	4B Bandeirão	22°50'38.06"S	43°14'4.67"O	0.781
15	5B Ed Física	22°50'35.06"S	43°14'0.17"O	0.509
16	6B Alojamento	22°50'18.03"S	43°13'44.62"O	0.369
17	7B CCS	22°50'34.09"S	43°14'2.54"O	0.481
18	8B Hospital Universitário	22°50'42.42"S	43°14'15.59"O	0.501
19	9B Prefeitura	22°50'48.95"S	43°14'15.05"O	0.522
20	10B CENPES	22°51'13.53"S	43°13'57.58"O	0.571
21	Estacionamento Reitoria Terra	22°51'44.90"S	43°13'18.69"S	0.695
22	Estacionamento Reitoria Meio	22°51'41.97"S	43°13'20.55"O	0.643
23	Estacionamento Reitoria Árvores 1	22°51'40.90"S	43°13'21.76"O	0.150
24	Estacionamento Reitoria Árvores 2	22°51'42.70"S	43°13'22.38"O	0.144
25	Ponto 1 VR - Rua Vitória Régia	22°52'11.66"S	43°13'3.60"O	0.256
26	Ponto 2 VR - Rua das Violetas	22°52'11.18"S	43°13'1.43"O	0.249
27	Ponto 3 VR - Praça	22°52'7.37"S	43°13'2.10"O	0.660
28	Ponto 4 VR - Rua das Margaridas	22°52'8.43"S	43°13'7.93"O	0.481
29	Ponto 5 VR - Rua dos Cravos	22°52'7.84"S	43°13'9.00"O	0.345

Fonte: autores, 2016.

Para identificação de cada ponto de medição, são registradas imagens fotográficas do entorno de cada ponto para registrar as variações da morfologia urbana incluindo os diferentes materiais de revestimento urbano. Na sequência os locais dos pontos são fotografados para identificação do local e com lentes “olho de peixe” para geração das máscaras em preto e branco (Drach *et al.*, 2015).

O procedimento para geração das imagens inclui exposições voltadas para o céu, para determinação do fator de visão do céu (FVC). Para cada ponto, três imagens foram tomadas (bracketing) visando obter um ponto otimizado de exposição – permitindo assim a posterior seleção da imagem mais adequada ao cálculo de fator de visão do céu. Além da bússola, foram utilizados uma trena e um nível de bolha para ajuste preciso do equipamento (Drach *et al.*, 2015). A objetiva Fisheye utilizada foi uma lente SIGMA 4.5mm f 2.8 EX e, a seguir o fator de visão do céu e o “solar path” foram calculados com a utilização da ferramenta RayMan Pro (Matzarakis *et al.*, 2010).

Uma vez calculado o fator de visão do céu (FVC) uma pré-seleção é efetuada. Os pontos são revisitados e as seleções confirmadas ou descartadas. Uma grande tabela com as informações sobre os pontos é gerada conforme exemplo apresentado na Tabela 3 com os pontos localizados no estacionamento da Reitoria. Na ficha existem informações acerca do lugar de forma a permitir que seja possível retornar ao local quando necessário para coleta de novos dados: localização; imagem capturada pela lente “olho de peixe”; imagens geradas pelo software RayMan Pro

(Matzarakis *et al.*, 2010) para o cálculo do FVC e também o “solar path”.

Para cada ponto também foram tomados dados relacionados aos materiais utilizados no revestimento urbano, mobiliário e vegetação. O observador deve estar atento aos aspectos da urbanização capazes de alterar o ambiente físico, dentre eles: a poluição do ar, que pode intensificar a radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, promovida pela maior absorção das ondas curtas recebidas e radiação de ondas longas emitidas pelos poluentes (materiais particulados); o percentual de superfícies impermeáveis, que é fator acelerador do escoamento da água, reduzindo ou eliminando a parcela desta disponível para evaporação. Resultando na rápida absorção e conversão da radiação solar em calor, elevando a temperatura local e, por conseguinte, a do seu entorno.

Para as campanhas de coleta de dados foi adotada a metodologia dos transeptos móveis, difundida por Monteiro (1976), Drach e Emmanuel (2014) e Figueiredo *et al.* (2007) com a utilização de *datalogger* (Tinytag TGP-4500) para o registro de temperatura e umidade do ar. Antes de iniciar as medições os sensores de temperatura e umidade são colocados ao ar livre por 20 minutos. Em cada ponto de medição são efetuadas paragens de 2 minutos. Os medidores foram programados para efetuarem registros em intervalo de 2 segundos. As quatro primeiras medidas de cada ponto são desprezadas para garantir que o registrador esteja estabilizado. Conta-se, portanto, com oito medições para calcular a média para cada ponto. O intervalo de uma hora

foi estabelecido para que as variações de temperatura observadas pudessem ser atribuídas apenas às variações da morfologia urbana. No verão de 2014/2015 as campanhas ocorreram no horário diurno.

### 3.3 Índices de conforto aplicados ao estudo.

A criação de espaços de conforto, ou seja, espaços onde as pessoas se encontrem em faixas aceitáveis de sensação térmica é importante quando se pretende promover a ocupação e permanência no lugar, consequentemente agregando segurança. O cálculo dos índices de conforto

permite ter uma visão, sob a ótica do indivíduo, de como as variáveis determinantes da sensação térmica estão afetando os indivíduos. Os índices selecionados para pesquisa foram aqueles considerados apropriados para avaliações no meio urbano: PET (*Physiological Equivalent Temperature*) e UTCI (*Universal Thermal Climate Index*). Seu cálculo é efetuado com a utilização da ferramenta RayMan Pro (Matzarakis *et al.*, 2010) e foram utilizados os valores de temperatura e umidade do ar medidos em cada ponto.

Tabela 3: Exemplo da ficha de informações dos pontos localizados no estacionamento da Reitoria.

Ponto	FVC	Imagem	Máscara: Preto e Branco	Trajectoria Solar
21 - Estacionamento Reitoria Terra	0.695			
22 - Estacionamento Reitoria Meio	0.643			
23 - Estacionamento Reitoria Árvores 1	0.150			
24 - Estacionamento Reitoria Árvores 2	0.144			

Fonte: Fotografias Henrique Drach, 2016.

O PET (*Physiological Equivalent Temperature*) é um índice baseado no *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), desenvolvido por Höpfe (1999) e frequentemente adotado para estudos de conforto em espaços abertos. Höpfe definiu a temperatura equivalente fisiológica (PET) de um dado ambiente como sendo a temperatura equivalente a temperatura do ar, no qual, num dado ambiente de referência, o equilíbrio térmico e as temperaturas da pele e do núcleo são os mesmos de que a encontrada no ambiente determinado.

O *Universal Thermal Climate Index* – UTCI, foi elaborado com base no modelo termorregulatório multinodal desenvolvido por Fiala *et al.* (2012) e, de forma semelhante a outros índices utilizados para a avaliação das condições térmicas exteriores, como por exemplo o PET, adota o conceito de uma temperatura equivalente. Para o cálculo do UTCI foram necessários os dados de temperatura do ar ( $T_a$ ), a diferença entre a temperatura média radiante ( $T_{mrt}$ ) e a  $T_a$ , a umidade relativa (RH) e a velocidade do vento ( $v$ ). O desenvolvimento desse índice tem como premissa atender os seguintes requisitos: “termofisicamente significativo em toda a gama de troca de calor, válido em todos os climas, estações e escalas, úteis como aplicações chave em Biometeorologia humana (por exemplo, previsões diárias, avisos regionais e mapeamento bioclimático mundial,

estudos epidemiológicos e pesquisas de impacto climático), independente da pessoa e de características (idade, sexo, atividades específicas e roupas etc.)” (<http://www.utci.org/index.php>). Seu cálculo pode ser feito online através do UTCI website (<http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>). Tanto o índice PET, como o UTCI, foram calculados para cada ponto de medição.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A geração dos mapas de temperatura do ar, bem como de outras variáveis de interesse, provenientes de estudos acerca das variações da temperatura intra-urbana representam uma documentação importante para determinação dos fatores que influenciam estas variações. Sua identificação possibilita o planejamento de ações capazes de interferir nesta dinâmica mitigando ou mesmo eliminando espaços de desconforto nos centros urbanos. Intervenções focadas em materiais de revestimento urbano, equipamentos urbanos e inserção de espaços e pavimentos com vegetação são alguns dos exemplos de alterações propostas para melhoria do conforto nos espaços urbanos.

Anteriormente Drach *et al.* (2015) desenvolveram estudos em túnel de vento acerca do comportamento da ventilação

na região da Vila Residencial e conforme esperado notou-se bloqueio à passagem do vento como resultado do adensamento urbano. A intensa ocupação da região vem reduzindo substancialmente as áreas de cobertura natural e promovendo o rápido aumento de áreas com cobertura de asfalto ou concreto e, ainda uma intensa proliferação de construções. A questão aqui já passa pela recomendação de atentar para necessidade de intensificar o cuidado com os revestimentos urbanos, priorizando sobretudo áreas vegetadas. Ante a necessidade de ocupar áreas de solo natural deve ser apontada a necessidade de conciliar com as novas construções a permanência ou introdução de vegetação, principalmente de arborização de porte médio e grande.

Os dados obtidos a partir da pesquisa de campo foram plotados inicialmente utilizando o 3DField e em seguida o ArcMap do ArcGis. A partir deste último é possível plotar de forma combinada um maior número de variáveis e desenvolver análises comparativas.

Os resultados para as médias do verão 2014/2015 da temperatura do ar apresentados na Figura 5, mostram as regiões sul e sudeste da ilha com as temperaturas do ar mais elevadas. Os hexágonos coloridos, especificamente os vermelhos indicam os locais onde os valores mais elevados foram medidos. O mapa que serve de base está plotado com a mancha da variação da temperatura ao longo da ilha. Nele os tons mais escuros representam as maiores temperaturas.

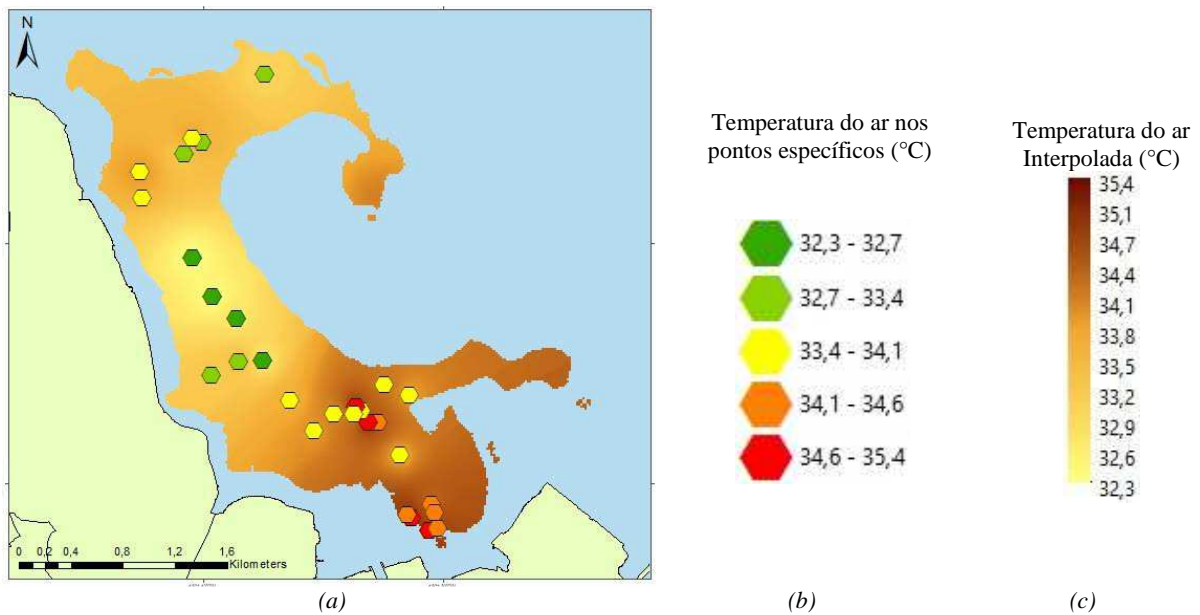


Fig. 4. a) Distribuição da temperatura do ar; b) escala de cores das temperaturas nos pontos específicos; c) escala de cores da temperatura do ar interpolada no Arcgis.

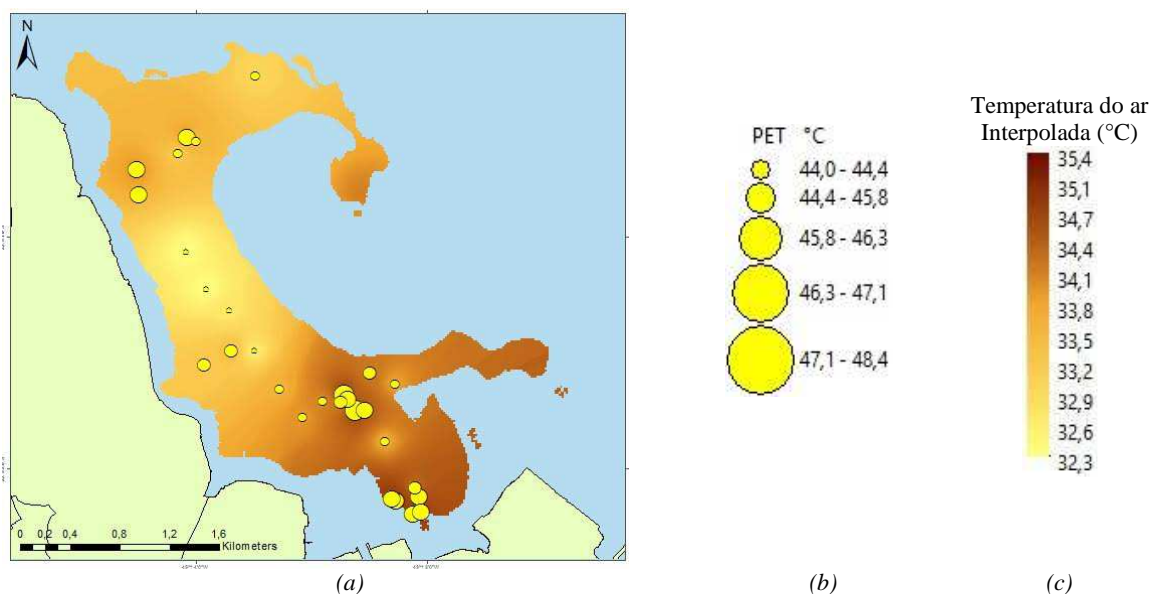


Fig. 5. a) Valores calculados para o índice de conforto PET; b) escala PET; c) escala de cores da temperatura do ar interpolada no Arcgis



De acordo com Oscar Júnior e Brandão (2015) a análise conjunta dos resultados das coletas de dados realizadas em 1996, 2007 e 2010 observou-se a recorrência de temperaturas mais elevadas na porção centro-sul da ilha. Este resultado continua compatível com aqueles aqui observados, apesar de caber ressaltar que os pontos localizados na Vila Residencial não fizeram parte das coletas de dados anteriores.

No mapa com os valores do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*) observa-se sua distribuição ao longo da ilha (Figura 6). Os valores encontrados são bem elevados (44,0 a 48,6 °C) e, de acordo com as faixas de estresse/conforto térmico para o índice PET apresentadas por Matzarakis and Mayer (1996) eles refletem uma

sensação térmica de “muito quente” e “estresse por calor”.

No caso do índice UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), apesar dos valores também elevados (39,4 a 42,5 °C), estes não atingiram o ponto extremo de categorização dado por Bröde *et al.* (2012). Apesar dos valores estarem localizados numa faixa que indica a sensação térmica de “forte calor”.

O mapa da Figura 8 apresenta, além da temperatura do ar na ilha, as diferenças de temperatura observada entre os pontos de medição. Para tal foi tomada a temperatura mínima e esta foi subtraída dos demais valores, para cada um dos pontos de medição.

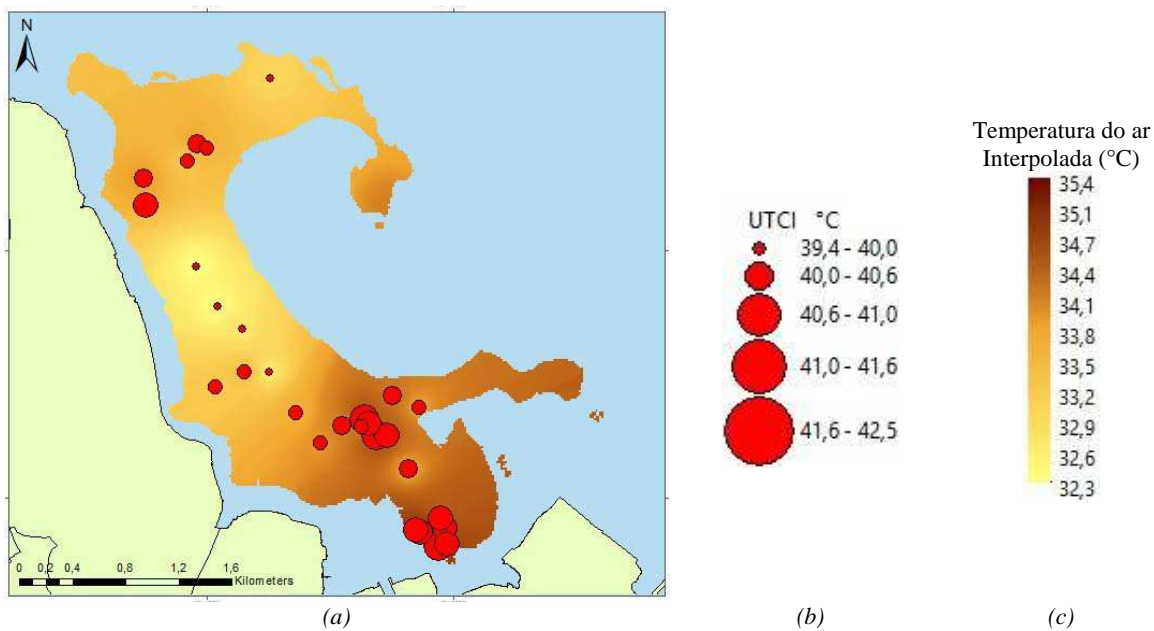


Fig. 6. a) Valores calculados para o índice de conforto UTCI e b) escala.

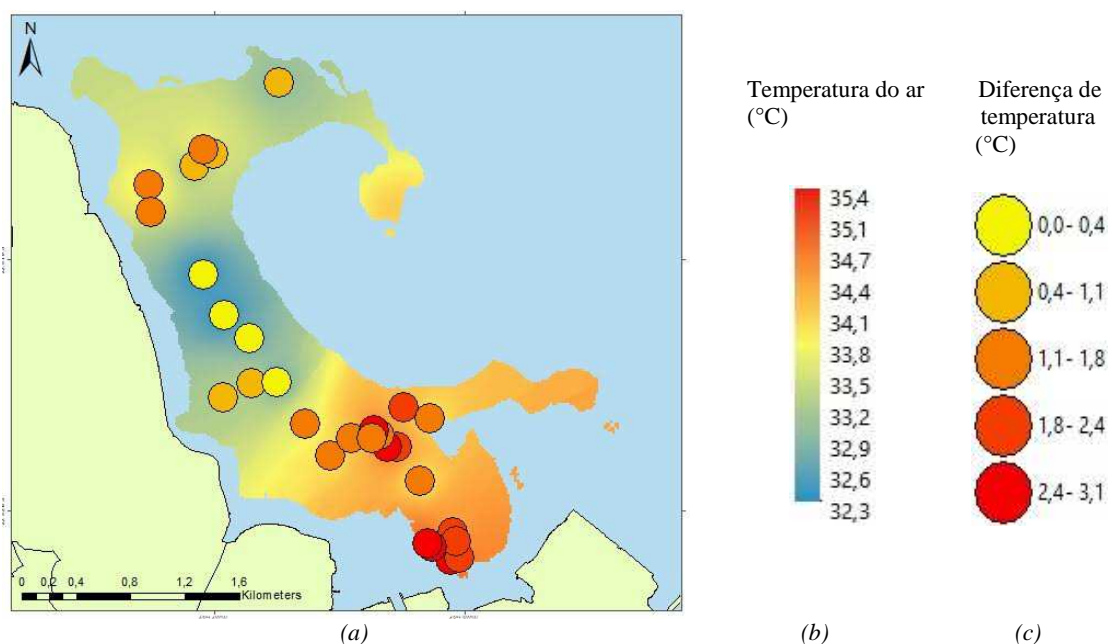


Fig. 7. a) Diferença de temperatura do ar observada na ilha; b) duas escalas de cores; c) Diferença de temperatura a partir da temperatura mais baixa.



A variação da temperatura do ar intra-urbana na Ilha do Fundão apresentou um valor máximo de 3,1°C para a média dos dias medidos. Parece ser possível apontar que ocorreu uma intensificação desta diferença no verão 2015/2016, uma vez que Oscar Júnior e Brandão (2015) apontam variações de temperatura do ar com indícios de formação de ilhas de calor em 1996 de até 1,2°C, em 2007 de até 2,0°C e, finalmente, 2,6°C em 2010.

Observou-se ainda, que os locais de medição que foram obtidas as menores temperaturas, foram locais sombreados por árvores de grande porte, tanto na Vila Residencial (ponto 3VR), quanto em dois pontos do estacionamento da Reitoria (ponto 23 e 24), no ponto próximo à Prefeitura Universitária (ponto 9B), na região em frente ao CENPES 2 (ponto 3B) e ao Alojamento Universitário (ponto 6B). Desta forma, é possível destacar a importância do sombreamento natural para a amenização da temperatura e consequentemente da sensação térmica.

Também é importante salientar que o PET e o UTCI calculados nos pontos no decorrer da Av. Carlos Chagas Filho são menores (pontos 3B, 2B, 10B, 2A, 3A e 4A). Isso pode ser atribuído ao fato de que esses pontos estão localizados em uma área que recebe uma ventilação maior por ser uma avenida larga, linear, aberta e no sentido dos ventos predominantes sudeste e sul (Figura 2).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados da coleta de dados para a Ilha do Fundão apresentam uma variação da temperatura intra-urbana com as temperaturas mais elevadas presentes na região centro-sul da ilha. Podem ser apontados como fatores propulsores deste comportamento a maior densidade da região associada à uma sistemática retirada de espécies arbóreas e à substituição do solo natural por revestimentos de solo urbano menos adequados ao clima e ao lugar. Paralelamente a isto, conforme esperado, foram observados altos índices de desconforto térmico na região. Com a utilização dos dois índices de conforto o PET e o UTCI a sensação térmica para a faixa de temperatura encontrada foi de “forte calor” e “estresse por calor”. Em algumas regiões foram apontados valores de temperatura menos elevados, como foi o caso do ponto de medição do alojamento de estudantes e os demais citados nos resultados que indicam a contribuição positiva da presença de vegetação na região.

Em um momento importante de adensamento da região e com o surgimento incessante de novas construções pode-se apontar como estratégia passível de adoção imediata a inclusão de espécies arbóreas e mesmo gramados como meio de contribuir para o desenvolvimento de espaços de permanência na região. Além do incentivo à construção e reforma de edificações a partir de princípios bioclimáticos e o controle do adensamento urbano.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento: FAPERJ, CNPq e CAPES.

## REFERENCIAS

Brandão A. M. P. M. (1996). O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Geografia Física USP – São Paulo.

- Bröde P. e Fiala D. e Błażejczyk K. e Holmér I. e Jendritzky G. e Kampmann B. e Tinz B. e Havenith G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, **56**, 3, 481-494.
- Corbella O D. e Yannas S. (2003). *Em Busca de Arquitetura sustentável para os Trópicos*. Rio de Janeiro: Editora Revan.
- Drach P. R. C. e Emmanuel R. (2014). Interferências da forma urbana na dinâmica da temperatura intra-urbana. *Revista de Morfologia Urbana*, **2**, 2, 55-70. Rede Lusófona de Morfologia Urbana.
- Drach P. R. C. e Corbella O. D. e Barbosa G. S. (2015). Estudio para la determinación de posibles aliados en la mejora de la calidad térmica de los espacios abiertos: villa residencial - UFRJ. In: XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, San Rafael, Mendoza, Argentina.
- Escritório Técnico da Universidade do Brasil – ETUB. (1952). Cidade Universitária da Universidade do Brasil. Relatório do ETUB. 1-6
- Escritório Técnico da Universidade do Brasil – ETUB. (1954). Ilha Universitária. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional. Separata da Revista do Serviço Público, ano XV, 1, 2, fevereiro.
- Fiala D. e Havenith G. e Bröde P. e Kampmann B. e Jendritzky G. (2012). UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation. *International Journal of Biometeorology*, **56**, 3, 429-441.
- Figueiredo F F. e Silveira T S. e Paiva C T S. e Brandão A M P M. (2008). O Conforto Térmico como Método de Avaliação da Qualidade Sócio-Ambiental: Estudo de Caso na Cidade Universitária/UFRJ. In: 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – Alto Caparaó/MG – 487- 498.
- Freire L. de L. (2010). Próximo do saber, longe do progresso: história e morfologia social de um assentamento urbano no campus universitário da Ilha do Fundão – RJ. Tese Doutorado. 314 páginas. (Doutorado em Antropologia). Universidade Federal Fluminense.
- Höppe P. (1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, **43**, 71–75.
- Lombardo M A. (1985). *Ilha de Calor nas Metrópoles*. Ed. Hucitec – São Paulo.
- Matzarakis A. e Mayer H. (1996). Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control. Newsletters, **18**, 7-10.
- Monteiro C A F. (1976). Teoria e Clima Urbano. IGEO-USP, Instituto de Geociências, USP, Série Teses e Monografias, 25, São Paulo, 181 pp.
- Oke T R. (1981). Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Journal of Climatology*, **1**, 237–254.
- Oscar Júnior, A S da S. e Brandão A M de P M. (2015). O Sistema Clima Urbano da Ilha do Fundão (RJ): Subsídio para o Planejamento Urbano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **8**, 1, 113-127. www.ufpe.br/rbgfe
- UFRJ (2009). UFRJ 2020: Plano Diretor. Proposta para deliberação do Consuni. 73p.