

AS INTERVENÇÕES URBANAS NA CIDADE OLÍMPICA DO RIO DE JANEIRO/BRASIL E SEUS EFEITOS NO CAMPO TÉRMICO

Andrews José de LUCENA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/Rio de Janeiro-Brasil.
lucenageo@yahoo.com.br

Leonardo de Faria PERES

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Rio de Janeiro-Brasil.
leonardo.peres@igeo.ufrj.br

Resumo

Este trabalho analisa e mapeia a evolução temporal e espacial do campo térmico (a temperatura do ar e a temperatura da superfície continental) nos espaços de intervenção urbana para as Olimpíadas de agosto de 2016 na cidade do Rio de Janeiro, sob a ótica da climatologia urbana, por meio de análise de série temporal de dados de estações meteorológicas e de técnicas de sensoriamento remoto nos últimos 60 anos. Foram selecionados os bairros da Barra da Tijuca e Vila Militar, na Zona Oeste da cidade, que receberão mais de 70% das competições durante os jogos. A metodologia se baseou no uso de dados, entre 1951 e 2009, de temperatura média de duas estações meteorológicas padrão, próximas a localidade das competições, e de dados estimados de temperatura da superfície continental das imagens do satélite Landsat 5 e 7, entre 1984 e 2010. De acordo com a análise de regressão linear e a análise de variância (ANOVA) aplicados na análise da temperatura do ar, os resultados mostram um aumento significativo acima de 1°C ao longo dos 60 anos, mais acentuado a partir da década de 1980 e no outono. A análise da temperatura da superfície continental, efetuada por técnicas de sensoriamento remoto, mostra a década de 2000 como a mais quente que atinge todo o espaço destinado às competições e grande parte dos bairros. A importância do conforto térmico para os espaços olímpicos é uma necessidade, mas que deve se estender para toda a cidade e para além das Olimpíadas.

Palavras chave: Jogos olímpicos de 2016; Campo Térmico; Climatologia Urbana; Análise de séries temporais; Sensoriamento Remoto.

Abstract

This paper analyzes and maps the temporal and spatial evolution of the thermal field (the air temperature and the temperature of the land surface) in urban intervention spaces for the Olympics in August 2016 in the city of Rio de Janeiro under the perspective of urban climatology, through time series analysis of data from weather stations and remote sensing techniques. There were selected Barra da Tijuca and Vila Militar suburbs in the city's West Zone, which will receive more than 70% of the competitions during the games. The methodology was based on the use of data between 1951 and 2009 of the average temperature of two standard weather stations near the location of the competitions, and land surface temperature estimated data from satellite Landsat 5 and 7 images between 1984 and 2010 of the last 60 years. According to linear regression analysis and analysis of variance (ANOVA) applied to the air temperature analysis, the results show a significant increase above 1°C over 60 years more pronounced from the 1980s and in the fall. The analysis of the land surface temperature carried out by remote sensing displays the 2000s as the warmest that reaches all the space intended for competitions and much of the neighborhoods. The importance of thermal comfort for the Olympic areas is a necessity but it should extend to the entire city and beyond the Olympics.

Keywords: Olympic Games 2016; Thermal Field; Urban Climatology; Time series Analysis; Remote Sensing.

1. Introdução

A cidade do Rio de Janeiro é a principal porta de entrada do Brasil, marcada por uma rica tradição cultural e por seus encantos naturais, visibilidade nascida no início do século XX, durante a criação e consolidação da república no Brasil, cuja capital foi a cidade do Rio de Janeiro, fortalecida ao longo de todo o século, e ainda em curso no atual século XXI.

Depois da Cúpula da Terra em 1992 (ECO-92), o Rio de Janeiro não cessa de afirmar sua vocação para receber os eventos planetários (Enders, 2015). Nos últimos 5 anos, a cidade acentuou ainda mais a sua aptidão aos grandes eventos, a saber: os V Jogos Mundiais Militares (CISM), ocorridos em julho de 2011, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), a Rio + 20, ocorrida em junho de 2012, a V Jornada Mundial da Juventude (JMJ), organizada pela Igreja Católica e ocorrida em julho de 2013, e a Copa do Mundo da Fifa no Brasil, realizada entre junho e julho de 2014, tendo na cidade do Rio de Janeiro a maior praça do evento global. Em 2015, a cidade comemorou os seus 450 anos com uma série de eventos e inaugurações de equipamentos urbanos e acelerou os preparativos para organizar os jogos olímpicos de 2016, as primeiras competições do gênero, de toda a história, em solo sul-americano.

As Olimpíadas de 2016 são responsáveis pelas maiores intervenções urbanas na história recente da cidade, remodelando o seu espaço a partir da demolição e construção de novas formas espaciais, a criação de novos corredores expressos para ônibus, a ampliação da linha de metrô, a reformulação de toda a área portuária (núcleo de origem da cidade), o erguimento de novos empreendimentos imobiliários e comerciais, a integração de novos e opacos espaços da cidade ao núcleo central, entre outras intervenções.

Não há um consenso com a realização dos jogos olímpicos na cidade. O poder público, em suas três esferas, municipal, estadual e federal, além da iniciativa privada envolvida, garante que o evento será um “Rio” de oportunidades para o Brasil e deixará um legado extraordinário para a cidade, principalmente na mobilidade urbana, em saneamento e meio ambiente, lazer, cultura e educação, a partir da construção de novos equipamentos e a reforma dos existentes. Por outro lado, os jogos olímpicos podem ser interpretados como parte de uma governança urbana empreendedora vinculados a empreendimentos imobiliários e a espaços de consumo, cujo planejamento e a gestão do território passam de um paradigma racional, totalizante, para um especulativo, pontual (Castro, 2013) ou se resume a grandes operações urbanas e na exclusão de amplos segmentos sociais, na perspectiva neoliberal da cidade como mercadoria (Mascarenhas, 2014), discussão que não cabe aqui neste trabalho.

As intervenções no espaço urbano em prol das Olimpíadas geram um volume de obras com transformações marcantes na paisagem, além da paisagem urbana modificada, como as de ordem atmosférica. Mais de 70% das competições, e das obras, estão localizadas em uma área da cidade anteriormente, e recentemente, de uso não urbano, a Zona Oeste, de fraco ou nenhum monitoramento ambiental, o que pode ocasionar impactos na atmosfera inferior, de maior contato com a superfície urbana, resultando em problemas de stress térmico e

consequentemente na manifestação da ilha de calor urbana, fenômeno típico dos climas urbanos.

Neste contexto, o objetivo do trabalho é mapear e analisar a evolução temporal e espacial do campo térmico nos espaços de intervenção urbana para as Olimpíadas na cidade do Rio de Janeiro nos últimos 60 anos, sob a ótica da climatologia urbana, por meio de análise de série temporal de dados de estações meteorológicas e de técnicas de sensoriamento remoto.

2. Metodologia

Situada na costa leste da América do Sul, banhada pelo oceano Atlântico, a cidade do Rio de Janeiro é uma das 92 cidades do estado de mesmo nome, pertencente a região sudeste do Brasil (Figura 1). É a segunda cidade mais importante e mais populosa do Brasil, com mais de 6 milhões de habitantes, cuja economia é calcada no setor administrativo, de serviços e no turismo. Conta com uma diversa rede de serviços, uma densa infraestrutura urbana e de logística e exerce intensa centralidade no estado e na região sudeste.

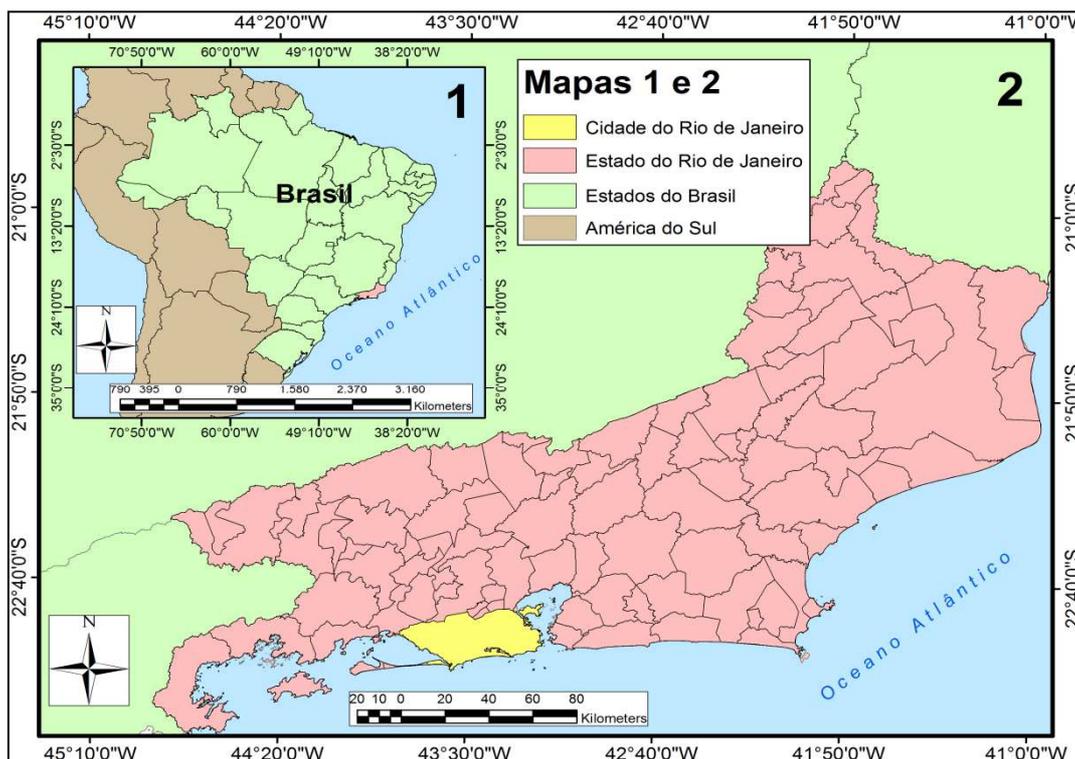


Figura 1: Localização da cidade e do estado do Rio de Janeiro no Brasil e América do Sul

O mapeamento e análise da temperatura desenvolveu-se a partir dos dados de temperatura do ar de duas estações meteorológicas e dados estimados de temperatura da superfície continental (TSC) por meio de sensoriamento remoto, provenientes do satélite Landsat 5 e 7.

Para as estações meteorológicas foram selecionadas duas estações, Jacarepaguá¹ e Realengo, localizadas na Zona Oeste da cidade e contíguas ao parque Olímpico da Barra da Tijuca e ao Complexo Esportivo de Deodoro², respectivamente, que juntas somam mais de 70%³ das localidades das provas (Figuras 2-5). Os dados das estações foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para o período 1951-2009.

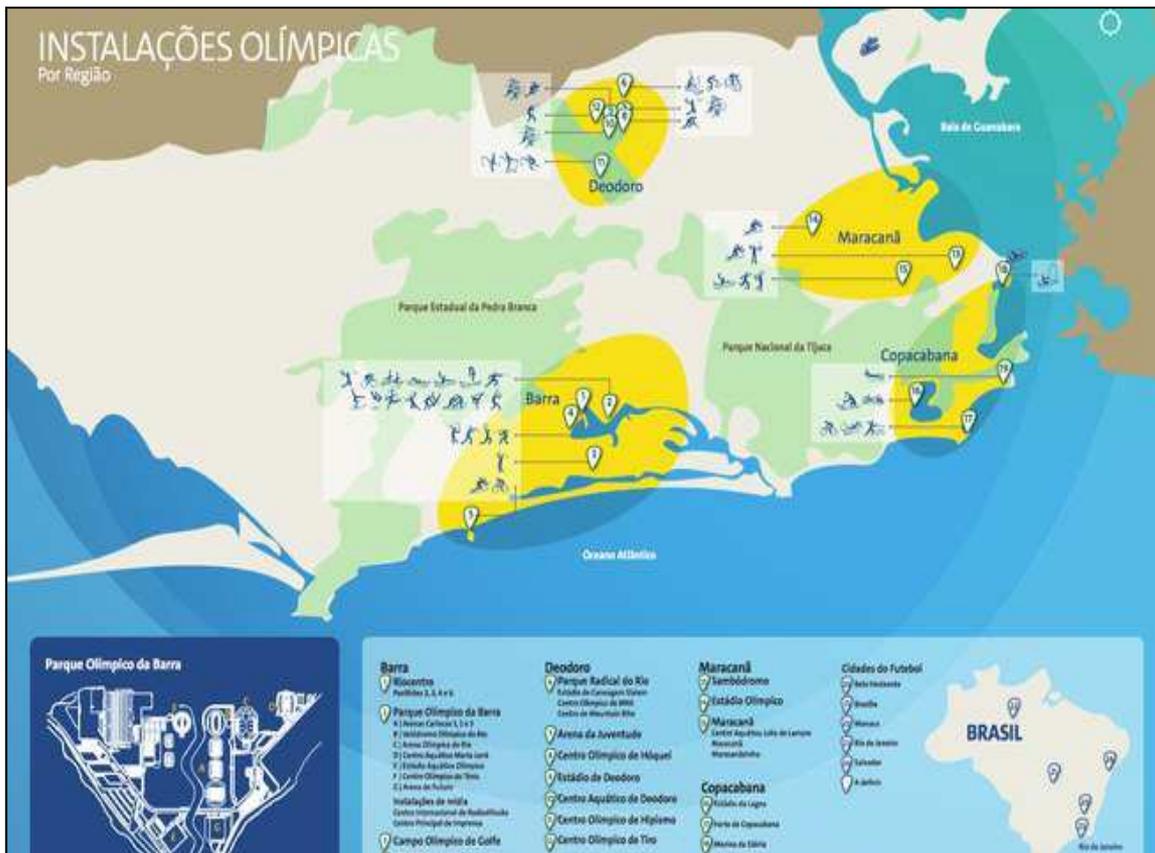


Figura 2: Localização das instalações olímpicas na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Comitê Rio 2016

¹ Enquanto a estação Realengo se situa no bairro de mesmo nome, a estação Jacarepaguá situa-se no bairro da Barra da Tijuca, embora um dos bairros limítrofes a Barra da Tijuca é nomeado como Jacarepaguá.

² Embora o nome dado ao complexo esportivo seja Deodoro, o limite administrativo do bairro da Vila Militar, que é contíguo ao bairro de Deodoro, abriga a totalidade dos equipamentos esportivos do Complexo.

³ Das 47 modalidades olímpicas, 23 ocorrerão na Barra da Tijuca e 11 na Vila Militar, totalizando 34.



Figuras 3 e 4: Imagens do Parque Olímpico da Barra da Tijuca (à esquerda) e do Complexo Esportivo de Deodoro (à direita).

Fonte: Comitê Rio 2016.

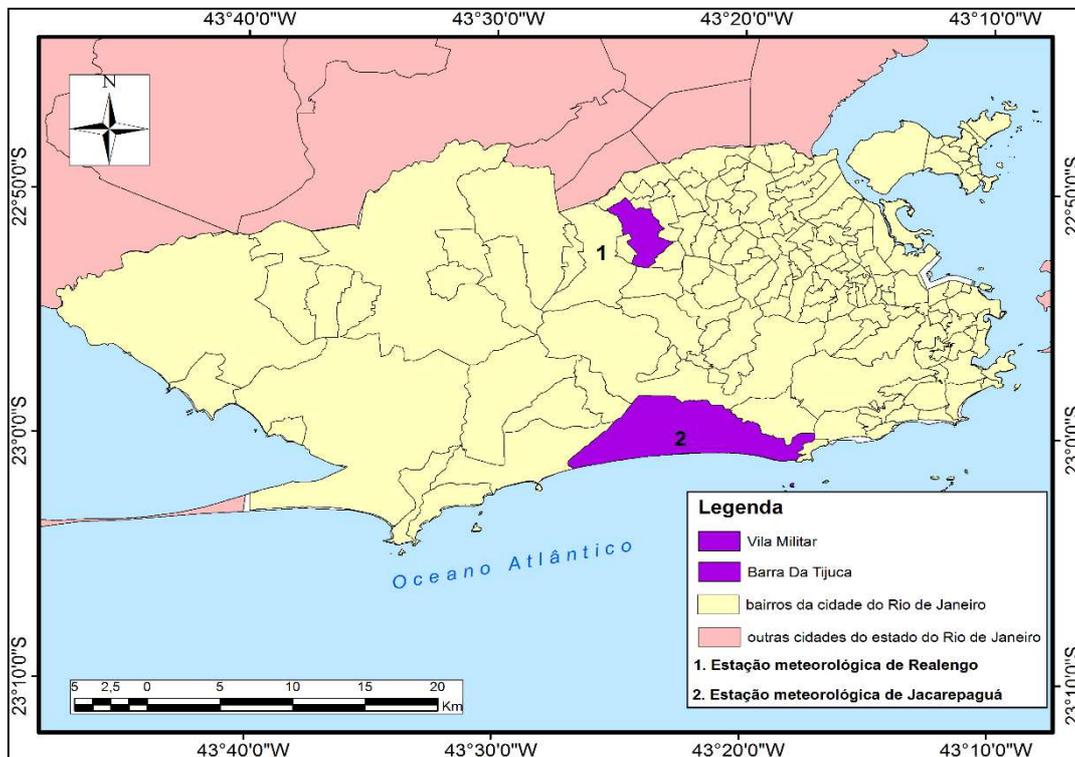


Figura 5: Localização dos bairros com instalações olímpicas, Vila Militar e Barra da Tijuca, e das estações meteorológicas de Realengo e Jacarepaguá.

A Zona Oeste é a atual área de expansão da malha urbana da cidade, destinada a diferentes segmentos sociais, seja a de alta renda, como é o caso da Barra da Tijuca, seja a de baixa renda, como no bairro de Realengo. A Zona Oeste representa mais de 50% da área territorial da cidade do Rio de Janeiro, o que atrai inúmeros empreendimentos industriais, de negócios, imobiliários, de cultura e lazer, e repercute em uma atração populacional, em detrimento a outras áreas da cidade consolidadas e saturadas, como a zona norte, a área central e a zona sul.

Para compreender a tendência da temperatura naqueles bairros utilizaram-se dois métodos estatísticos, a análise de regressão linear simples e a análise de variância. As técnicas estatísticas permitem caracterizar o comportamento de um fenômeno no espaço-tempo, bastante empregadas no campo das ciências ambientais, como a Hidrologia, Meteorologia e a Climatologia. Foram selecionados dados de temperatura média⁴ organizados por mês e agrupados em estações do ano: verão (dezembro, janeiro, fevereiro), outono (março, abril, maio), inverno (junho, julho, agosto) e primavera (setembro, outubro, novembro). Para a aplicação do modelo de regressão linear simples, considerou-se o tempo como variável explicativa, medido em meses, e, como possíveis variáveis, respostas à temperatura. Assim, tem-se o gráfico de regressão com a variável dependente Y (temperatura média do período sazonal) versus a variável independente X (série temporal).

Em toda série temporal é apontada a equação da regressão linear, a variação anual, a variação ao longo da série temporal, o coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de determinação ajustado (R^2) e a probabilidade de erro ou área de rejeição do teste de hipótese (p-valor). O nível de significância (p-valor) estipulado foi de 0,05%, isto é, um intervalo de confiança de 95%, para testar a hipótese de tendência crescente ou decrescente em comparação com a hipótese dita nula de que não houve mudança estatisticamente significativa. A tendência baseia-se na equação da reta dada pela regressão. O tratamento e análise estatística dos dados foram operados no pacote estatístico R versão 2.8.0, disponível gratuitamente em <http://www.R-project.org>.

A última etapa para analisar a série temporal é a análise por variância clássica, paramétrica (ANOVA), que se destina à detecção da diferença entre médias de classes ou grupos, além da determinação dos seus intervalos de confiança (Xavier e Pereira Filho, 2007). Os dados mensais médios sazonais foram agrupados em classes dentro de um intervalo de 10 anos. Cada década foi numerada iniciando em 1 e, então, organizadas: 1 (1951-1960); 2 (1961-1970); 3 (1971-1980); 4 (1981-1990); 5 (1991-2000); 6 (2001-2009). Nota-se que a última década, referente aos anos 2000, agrupa um ano a menos, por não possuir o ano de 2010. Foram elaborados gráficos de intervalos de confiança das médias, cujo eixo das abscissas (x) representa o fator, que corresponde à classe, e com o eixo das ordenadas (y) correspondente à resposta (temperatura ou pluviosidade). Junto aos gráficos, foram estipulados a média, o desvio padrão, o limite superior, o limite inferior e o p-valor de 5% para um intervalo de confiança de 95%. Serão apresentados os dois gráficos com maior expressão sazonal (elevação ou queda da temperatura).

Para o mapeamento e análise espacial da temperatura da superfície foram utilizadas toda a série de imagens Landsat 5 e 7 referentes à cidade do Rio de Janeiro e que reúne ao total 99 imagens, entre os anos de 1984 e 2010. A série de imagens do Landsat é

⁴ Para os dados de temperatura máxima e mínima, consultar Lucena, A.J. (2012) A ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro. 340p. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/156-2012/3150-andrews-jose-de-lucena>

disponibilizada gratuitamente aos usuários de forma instantânea pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e pelo United States Geological Survey – USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). O Landsat é uma das ferramentas pioneiras na investigação do clima urbano proporcionando o mapeamento espacial da temperatura e a detecção da ilha de calor urbana (Lougeay et al., 1996; Voogt e Oke, 2003).

As imagens foram processadas e georeferenciadas no código computacional SPRING 4.3. Em seguida, foi realizada a correção radiométrica com base nas equações e constantes de calibração de Chander (Chander et al., 2009) como parte do pré-processamento dos dados. Com suporte no trabalho de França e Cracknell (França e Cracknell, 1995), foram adotadas três técnicas de mascaramento de nuvens: a) técnica com base em limiar do valor da reflectância na banda 3; b) técnica com base em limiar do valor de temperatura de brilho na banda 6; c) técnica da razão entre as bandas 4 e 3. As três técnicas identificam se o píxel está coberto por nuvens ou não.

A temperatura da superfície continental (TSC) foi estimada utilizando a banda 6 do com base em diferentes parametrizações (Qin et al., 2001; Souza e Silva, 2005), onde a correção atmosférica é dada com os dados de estações meteorológicas da cidade. A TSC estimada é resultado da combinação entre a temperatura de brilho na banda 6 e um fator de correção que leva em conta a influência atmosférica e a emissividade da superfície no sinal registrado pelo instrumento a bordo do satélite. A emissividade foi obtida a partir do NDVI de acordo com Van de Griend e Owe (Van de Griend e Owe, 1993). A demonstração com as equações e algoritmos de correção geométrica e correção atmosférica podem ser apreciadas em Lucena (2012) ou em Lucena et al. (2013).

Finalmente, todas as imagens foram combinadas gerando uma única imagem por década, 1984-1990 (década de 1980); 1991-2000 (década de 1990) e 2001-2010 (década de 2000), utilizando o critério da composição de máximo valor (CMV). Neste método, seleciona-se o píxel com maior valor ao longo da série temporal para a composição final, eliminando os píxeis contaminados, com valores menores, ainda que aplicados o mascaramento de nuvens e a correção atmosférica. Desse modo, uma única imagem representa toda uma década. A utilização da CMV seleciona o píxel com maior temperatura, atendendo, a expectativa de identificar as áreas mais quentes (Eklundh, 1995).

3. Resultados e Discussão

3.1. Evolução e tendência da temperatura do ar entre 1951 e 2009

Para a estação Jacarepaguá a evolução da sua temperatura média tende ao aquecimento em todos os regimes sazonais. Ainda que nos últimos cinco anos a curva descenda em todos os regimes, a tendência observada é de ascensão, superior a 1,5^oC, e mais elevada no verão (2,3^oC) e outono (2,47^oC). A estatística da regressão linear é altamente significativa com probabilidade de erro igual a zero (Figura 6; Tabela 1).

As médias da temperatura média por década, para o verão e para o outono onde ocorreram as maiores elevações, e os respectivos intervalos de confiança de 95%, são

estatisticamente significativos com p-valor igual a zero. No verão, o aumento da temperatura é ascendente até a década de 90, quando a mesma decai na década seguinte (Figura 7). A diferença entre a década de 90, a mais quente (28,3°C), em relação à década de 50, a mais fria (26,2°C), é de 2,1°C, valor que se aproxima da variação total de aumento para todo o período de 58 anos. O intervalo de confiança da primeira década fica entre 27,8°C e 28,8°C, ao passo que o intervalo de confiança da segunda década mais fria fica entre 25,7°C e 26,7°C.

No outono, a trajetória da curva também é ascendente sem apresentar visivelmente uma depressão térmica, ainda que, nos anos 2000, a média descenda em 0,1°C em relação à década anterior (Figura 8). As décadas de ascensão mais pronunciadas ocorrem entre 60 e 70, quando a média da temperatura salta de 21,5°C para 22,2°C. A década de 90, mais uma vez, é a mais quente (22,7°C), porém com uma diferença mínima para a segunda mais quente, a década de 2000 (22,6°C). O intervalo de confiança da década de 90 fica entre 22,2°C e 23,2°C, e, na década de 50, a mais fria, o intervalo de confiança fica entre 20,7°C e 21,7°C.

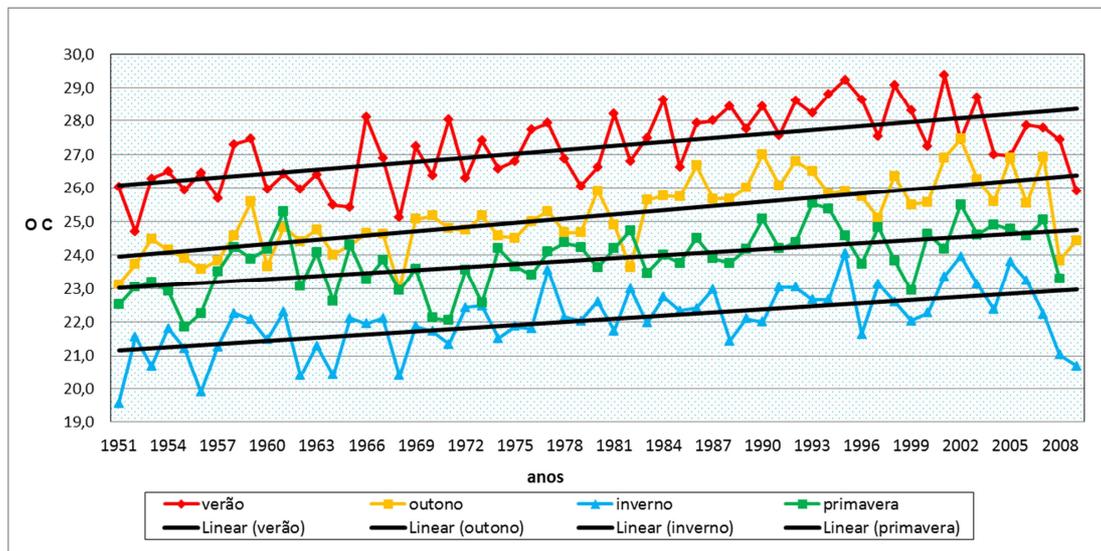
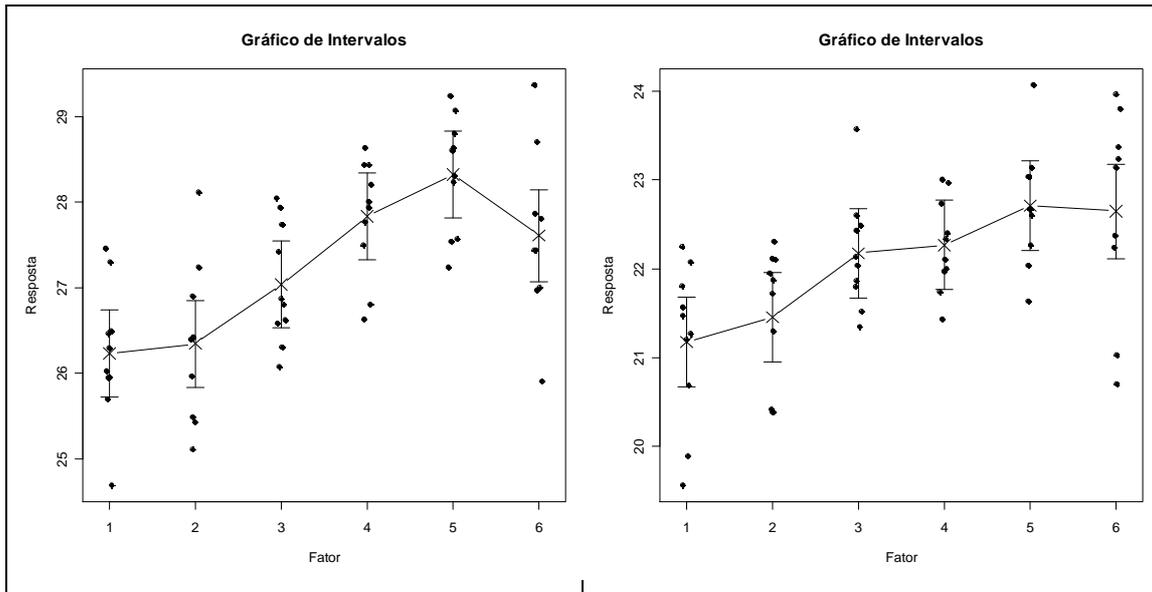


Figura 6: Variação sazonal da temperatura média em Jacarepaguá/RJ entre 1951-2009

Tabela 1: Estatística da variação sazonal da temperatura média em Jacarepaguá/RJ entre 1951 e 2009

| Estações | Equação | Variação anual (°C) | Variação ao longo de 1951-2009 (°C) | R ² | R ² ajustado | p-valor (95% IC) |
|-----------|------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Verão | 0,039x + 26,051 | 0,039 | 2,3 | 0,377 | 0,366 | 0,000 |
| Outono | 0,0419x + 23,907 | 0,0419 | 2,5 | 0,472 | 0,463 | 0,000 |
| Inverno | 0,0313x + 21,125 | 0,0313 | 1,8 | 0,316 | 0,304 | 0,000 |
| Primavera | 0,0299x + 22,994 | 0,0299 | 1,8 | 0,328 | 0,316 | 0,000 |



Figuras 7 e 8: Intervalo de confiança (95%) por década para a temperatura média em Jacarepaguá/RJ no verão (à esquerda), p-valor = 0, e outono (à direita), p-valor = 0, entre 1951-2009

Assim como ocorre em Jacarepaguá, na estação Realengo a evolução da sua temperatura média tende a elevação em todos os regimes sazonais ainda que menos acentuada. Os últimos meses do período também apresenta um descenso, mas a tendência linear observada é de ascensão da curva, que não alcança 2°C , conforme em Jacarepaguá, mas é superior a 1°C , mais elevada no outono ($1,9^{\circ}\text{C}$) e inverno ($1,5^{\circ}\text{C}$). A estatística da regressão linear é altamente significativa com probabilidade de erro igual a zero (Figura 9; Tabela 2).

As médias da temperatura média por década, para o outono e o inverno onde ocorreram as maiores elevações, e os respectivos intervalos de confiança de 95%, são estatisticamente significativos com p-valor igual a zero. No outono, as três primeiras décadas apresentam um padrão similar, com média no intervalo de confiança em torno de $24,5^{\circ}\text{C}$. A década de 70 é a década de transição, quando ocorre uma ascensão abrupta da temperatura para a década de 80, que alcança uma média de $25,6^{\circ}\text{C}$, isto é, $1,1^{\circ}\text{C}$ acima da década anterior, e se mantém nas décadas seguintes (Figura 10). A diferença entre as décadas de 80 e 90, as mais quentes ($25,6^{\circ}\text{C}$), em relação à década de 50, a mais fria ($24,2^{\circ}\text{C}$), é de $1,4^{\circ}\text{C}$, valor bem abaixo do aumento registrado no outono.

No inverno, a trajetória das médias dos intervalos de confiança é ascendente, alcançando o ápice na década de 90, a mais quente ($22,3^{\circ}\text{C}$), cujo intervalo de confiança oscila entre $21,5^{\circ}\text{C}$ e $22,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 11). A década de 50, a mais fria ($21,1^{\circ}\text{C}$), oscila seu intervalo de confiança entre $20,8^{\circ}\text{C}$ e $21,6^{\circ}\text{C}$ e a diferença entre as décadas mais contrastantes é de $1,2^{\circ}\text{C}$, também bem abaixo da média de aumento do inverno ($1,5^{\circ}\text{C}$).

Resguardadas as devidas proporções, as duas estações da Zona Oeste acenam para um aumento significativo da temperatura média do ar ao longo dos 60 anos de dados, bem acima de 1°C , sendo as últimas décadas, em particular a década de 90, as responsáveis pelos maiores acréscimos. O outono, estação intermediária entre o verão e o inverno, é a estação

com os maiores aumentos na temperatura, o que desponta a uma extensão do período mais quente do verão.

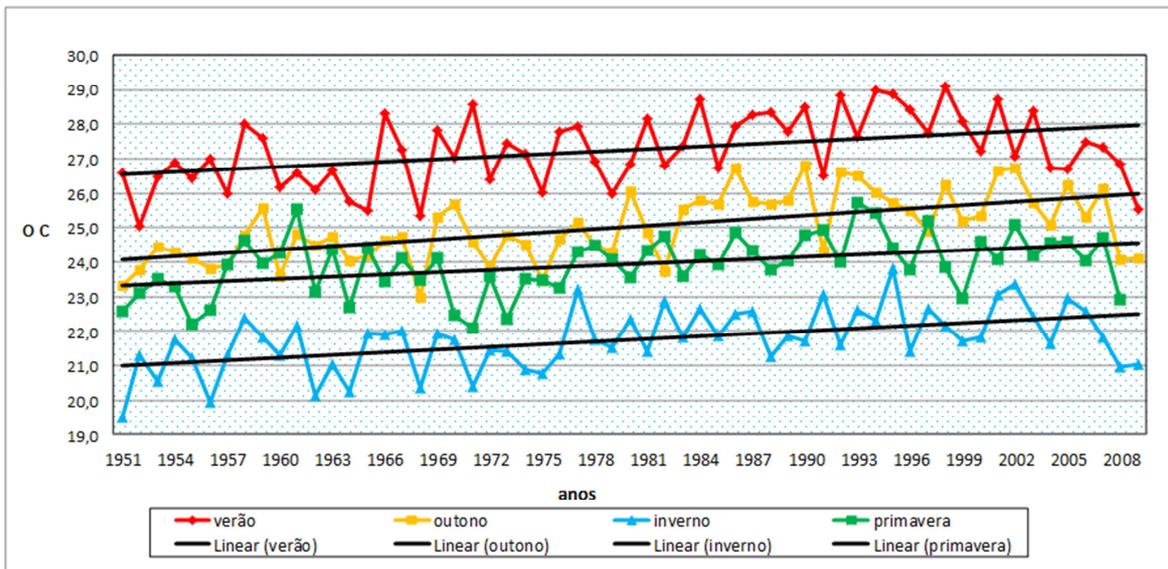
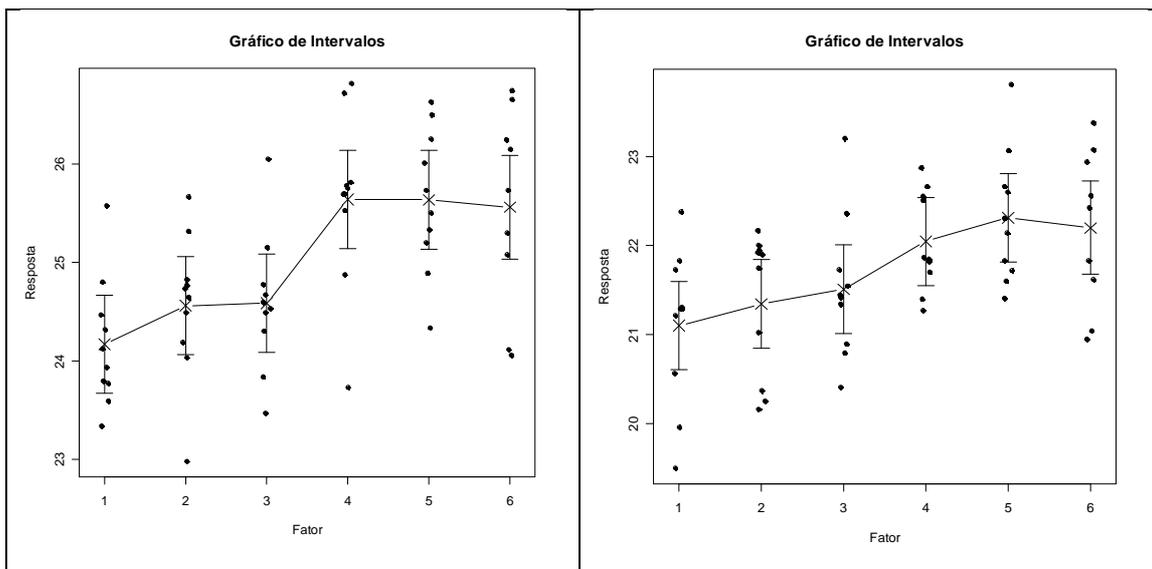


Figura 9: Variação sazonal da temperatura média em Realengo/RJ entre 1951-2009

Tabela 2: Estatística da variação sazonal da temperatura média em Realengo/RJ entre 1951 e 2009

| Estações | Equação | Varição anual (°C) | Varição ao longo de 1951-2009 (°C) | R2 | R2 ajustado | p-valor (95% IC) |
|-----------|--------------------|--------------------|------------------------------------|-------|-------------|------------------|
| Verão | $0,0242x + 26,539$ | 0,0242 | 1,43 | 0,169 | 0,155 | 0,001 |
| Outono | $0,0329x + 24,031$ | 0,0329 | 1,94 | 0,340 | 0,329 | 0,000 |
| Inverno | $0,0257x + 20,979$ | 0,0257 | 1,52 | 0,251 | 0,238 | 0,000 |
| Primavera | $0,0212x + 23,308$ | 0,0212 | 1,25 | 0,182 | 0,167 | 0,001 |



Figuras 10 e 11: Intervalo de confiança (95%) por década para a temperatura média em realengo/RJ no outono (à esquerda), p-valor=0, e inverno (à direita), p-valor = 0, entre 1951-2009

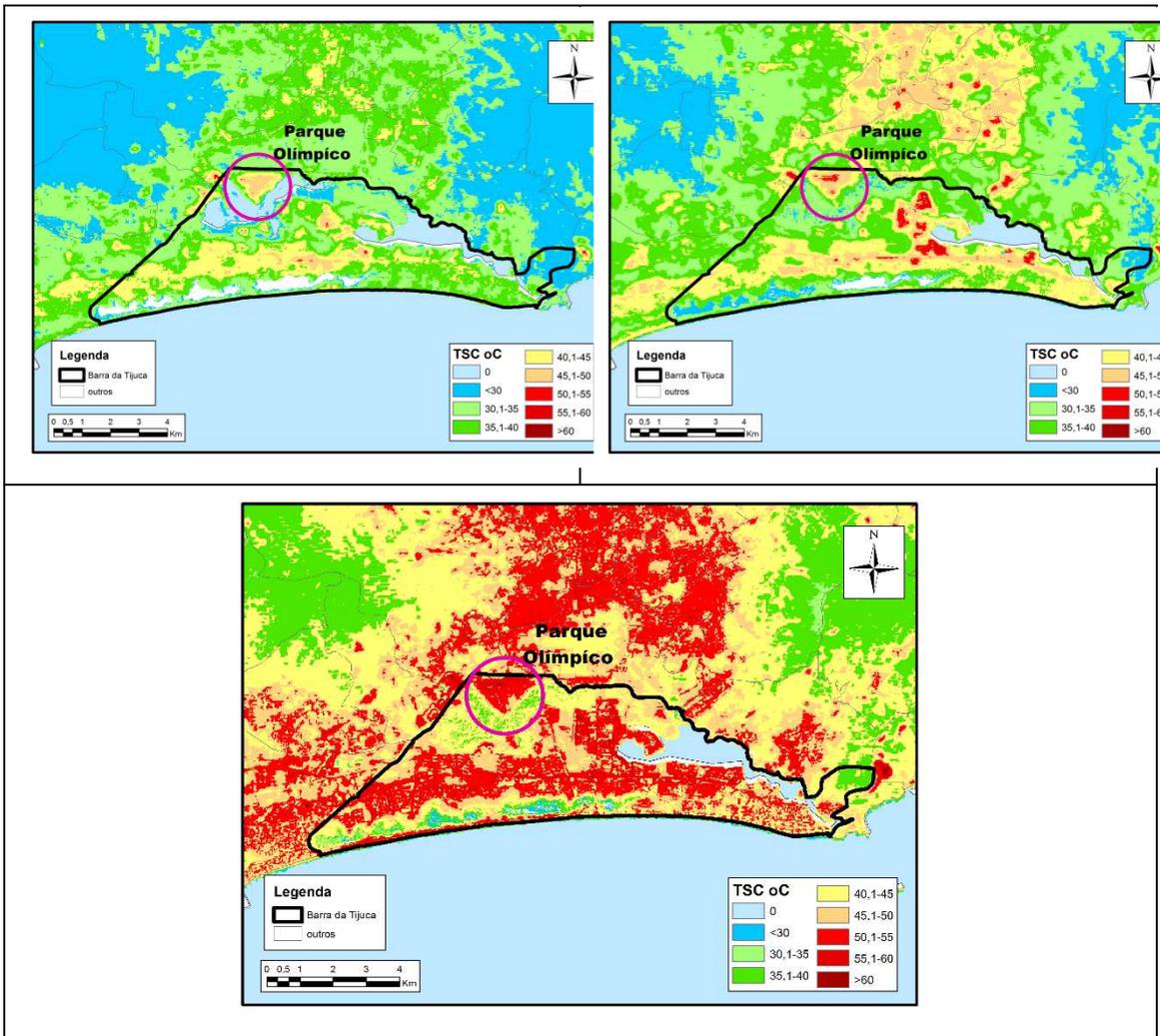
3.2. Mapeamento da Temperatura da Superfície Continental entre as décadas de 1980 e 2000

No bairro da Barra da Tijuca e no bairro da Vila Militar o mapeamento apresenta a evolução da mancha de calor ao longo das décadas (Figuras 12-17). Os mapas das décadas de 1980 e 1990 mostram composições semelhantes, contudo são notáveis cores mais quentes na década de 1990, ao passo que a década de 2000 se destaca consideravelmente com as cores mais quentes em toda porção do mapa. Tanto a Barra da Tijuca quanto a Vila Militar apresentam mapeamento com composições similares, mas o segundo bairro registra valores mais altos, seja para os valores médios, para a máxima ou mínima, conforme as Tabelas 3 e 4.

Na década de 1980, na Barra da Tijuca, a temperatura varia abaixo de 30°C até 50°C, na década de 1990 entre 30°C e 55°C e em 2000 entre 40°C e 60°C. Em todas as décadas o espaço do Parque Olímpico de sobressai como uma das áreas mais quentes de todo o bairro, que se acentua na última década. Na Vila Militar, na década de 1980, a distribuição espacial da temperatura varia entre 30°C e 50°C, na década de 1990 entre 30°C e 55°C e em 2000 entre 40°C e 60°C. Diferentemente da Barra da Tijuca, o Complexo Esportivo de Deodoro não se destacou como um dos espaços mais aquecidos, comportando-se com um padrão mais homogêneo à área de todo o bairro.

Os dois bairros, embora localizados na Zona Oeste, são distintos por questões de ordem humana e física, que podem influenciar o padrão espacial da temperatura identificado. Os dois bairros estão a uma distância de quase 30Km e representam espaços sociais bem distintos, conforme já comentado: a Barra da Tijuca absorve formalmente uma população de média e alta renda, enquanto Deodoro pertence a mancha suburbana da cidade compondo uma população de baixa renda. Esta realidade pode ser contemplada na paisagem dos bairros (Figuras 18 e 19): na Barra da Tijuca tem-se uma urbanização planejada e verticalizada, ao passo que na Vila Militar, Deodoro e adjacências predominam a ocupação residencial marcada por uma urbanização espontânea e pouco ordenada.

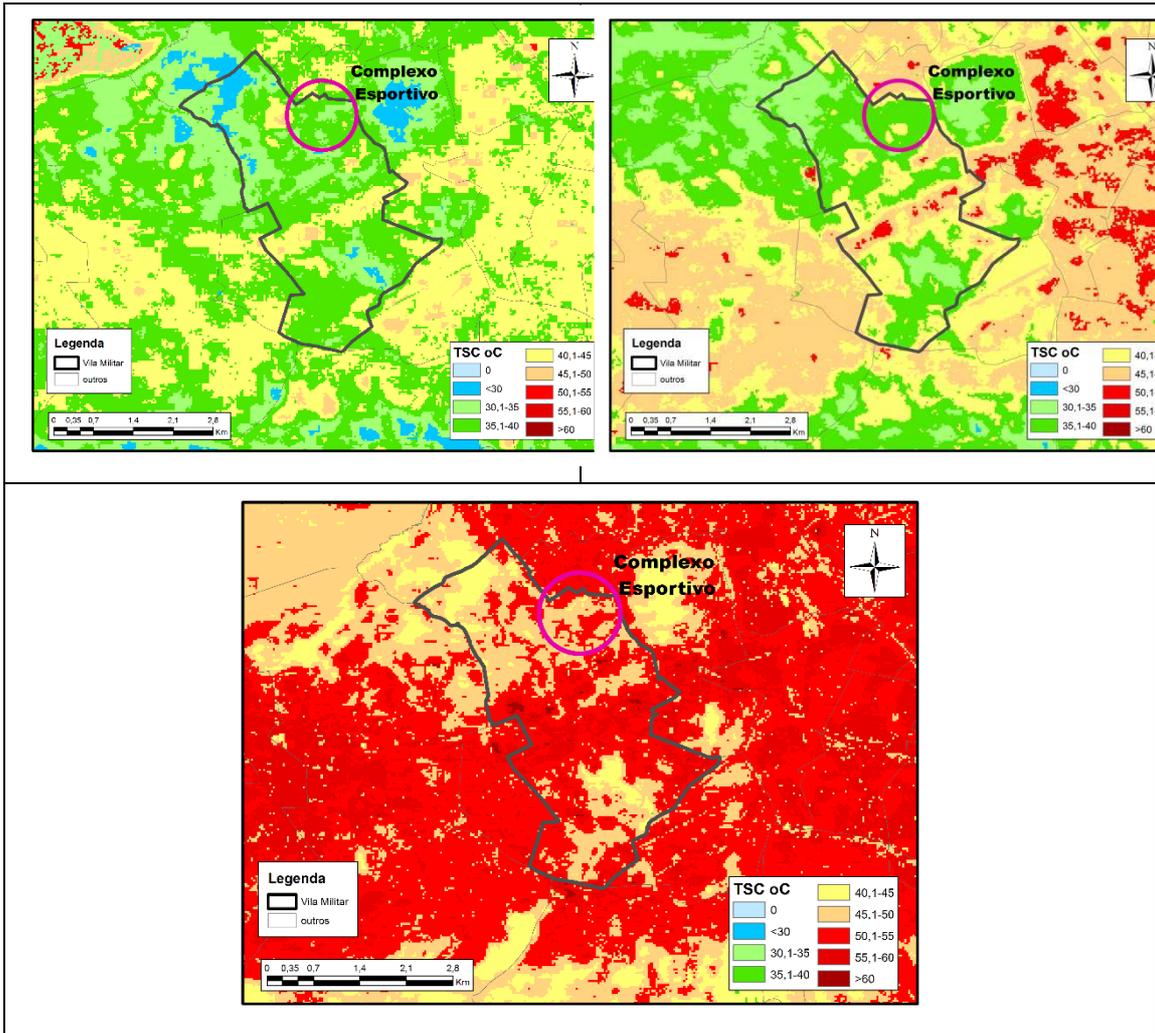
O segundo fator, de ordem física, refere-se à situação geográfica e a paisagem predominante: a Barra da Tijuca situa-se a beira mar e é recortada por inúmeras lagoas e cercada pela floresta do Maciço da Pedra Branca, ao passo que Deodoro é um bairro interiorizado, distante do mar, e sitiado entre dois maciços, o Maciço da Pedra Branca e do Gericinó-Mendanha, características que podem ser contempladas parcialmente nas Figuras 18 e 19.



Figuras 12, 13 e 14: Mapas da Temperatura da Superfície Continental (TSC) na Barra da Tijuca/RJ nas décadas de 1980, 1990 e 2000, respectivamente.

Tabela 3: Valores da temperatura da superfície continental (TSC) mínima, máxima e média e desvio padrão por década na Barra da Tijuca/RJ

| Década | TSC (°C) | | | DP |
|--------|----------|------|------|-----|
| | Tmin | Tmax | Tmed | |
| 1980 | 14,8 | 51,3 | 36,6 | 5,3 |
| 1990 | 13,1 | 60,7 | 39,1 | 6 |
| 2000 | 10,9 | 54,4 | 47,6 | 6,2 |



Figuras 15, 16 e 17: Mapas da Temperatura da Superfície Continental (TSC) na Vila Militar/RJ nas décadas de 1980, 1990 e 2000, respectivamente.

Tabela 4: Valores da temperatura da superfície continental (TSC) mínima, máxima e média e desvio padrão por década na Vila Militar/RJ

| Década | TSC (°C) | | | DP |
|--------|----------|------|------|-----|
| | Tmin | Tmax | Tmed | |
| 1980 | 26,3 | 49 | 36,8 | 3,7 |
| 1990 | 32,4 | 56,7 | 39,9 | 4,3 |
| 2000 | 39,8 | 63 | 50,9 | 3,9 |

Aquele primeiro fator está longe de determinar no padrão de temperatura observado, embora em estudo anterior tenha-se discutido o papel dos espaços sociais da cidade sobre a temperatura e o padrão de conforto térmico da população (Lucena e Peres, 2016). Naquele estudo discute-se que as condições sociais influenciam ou mesmo determinam o modelo das moradias de seus habitantes e a própria organização interna da cidade, o que pode resultar em uma paisagem urbana capaz de influenciar o estoque de energia e calor e definir os espaços mais quentes em áreas desprovidas de incipiente infraestrutura. Certamente este não é o caso destes dois bairros neste instante de observação e análise, embora uma intensa verticalização

mesclada com uma ocupação horizontal configure a atual paisagem residencial e comercial da Barra da Tijuca, diferentemente da Vila Militar, onde o predomínio das construções é horizontal e de uso residencial e militar.



Figura 18: Vista panorâmica do bairro da Barra da Tijuca.



Figura 19: Vista panorâmica do bairro da Vila Militar, Deodoro e adjacências

É mais conveniente conjugar a paisagem física ao comportamento da temperatura à dinâmica social dos bairros (ao menos neste instante). A Barra da Tijuca apresenta um espaço mais heterogêneo o que impacta na resposta térmica, principalmente por conta dos corpos

d'água integrados ao solo⁵, que implicam em padrões diferenciados de absorção e repulsão térmica. Este quadro é observado em todas as décadas na Barra da Tijuca, ainda que a década de 2000 acuse temperaturas mais elevadas e com disparidades térmicas espaciais menos evidentes. Em contrapartida, na Vila Militar, um sítio sem tantos contrastes, o quadro é mais distinto, com certa homogeneidade espacial da temperatura, em todas as décadas, incluindo a década de 2000.

4. Considerações finais

Os jogos olímpicos de 2016 no Rio de Janeiro já é um marco na história esportiva e urbana da cidade e que vai muito além de eventuais legados prometidos, principalmente em mobilidade e meio ambiente, que não necessariamente deverão ou poderão ser alcançados. A visibilidade internacional e a afirmação na promoção de eventos de grande porte da cidade são os verdadeiros frutos herdados pelas Olimpíadas. O espaço da cidade olímpica se transformou em um imenso canteiro de obras, mobílias urbanas nasceram e outras foram destruídas, novas configurações espaciais e de ordenamento funcional foram criadas e repercute sobre o sistema ambiental, que é afetado.

Este trabalho analisou a evolução da temperatura (do ar e da superfície) até 2010 nos espaços reservados as principais modalidades olímpicas, os bairros da Barra da Tijuca e da Vila Militar na Zona Oeste da cidade, e revelou aumento, mais pronunciado na última década. Ainda que os dados não estejam atualizados até 2016, o quadro verificado não será muito alterado, uma vez que a cidade atravessa intensas intervenções que poderão fortalecer o cenário de aquecimento da baixa atmosfera nos espaços olímpicos.

A evolução da temperatura média do ar definiu um cenário de elevação, marcadamente na década de 1980, mantendo-se nas duas décadas seguintes. O outono é a estação mais quente o que infere uma extensão de um período relativamente quente após o verão, resguardando apenas os três meses do inverno com o período mais frio do ano. Quanto à temperatura da superfície continental, as décadas de 1980 e 1990 apresentam pouca diferença, contudo as médias térmicas são mais elevadas em 1990, enquanto a década de 2000 se destaca totalmente, com elevadíssimas médias térmicas que tomam grande parte dos bairros estudados.

A metodologia deve ser aperfeiçoada, processo em andamento, para confirmar os resultados aqui obtidos e apurar novos resultados, dentre os quais: ampliação da cobertura temporal e espacial dos dados de temperatura do ar e da temperatura da superfície continental via estações meteorológicas e sensoriamento remoto; incorporação de outras técnicas estatísticas para a análise dos dados; utilização de outras plataformas de satélite a disposição para consulta.

⁵ A Barra da Tijuca localizada na Baixada de Jacarepaguá possui um solo altamente instável. Trata-se de uma planície flúvio-lagunar (a Baixada de Jacarepaguá) com terrenos constituídos por gleissolos e solos orgânicos e altamente suscetíveis a eventos de inundação (Dantas et. al. 2001).

Os estudos em clima urbano precisam ser intensificados na cidade do Rio de Janeiro para mapear os espaços mais vulneráveis ao stress térmico e propor medidas de mitigação a garantir situações de maior conforto em um clima tropical. Em tempos de constantes intervenções espaciais, que culminaram com a realização das Olimpíadas, a engenharia, o planejamento e a gestão da cidade precisam dialogar e se adequar ao meio ambiente urbano, em especial a atmosfera urbana, componente do sistema ambiental físico que acumula consideráveis mudanças.

5. Referências bibliográficas

CASTRO, D.G. (2013). Governança urbana empreendedorista e megaeventos esportivos, *GeoUerj* [Online], 15 (24), 37-60. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/5058>. [Acedido em 12 de janeiro de 2016];

CHANDER, G., MARKHAN, B., L., HELDER, D. L. (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* [Online], 113, 893–903. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425709000169>. [Acedido em 10 de janeiro de 2016];

DANTAS, M.E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A.I.M.; SILVA, C.R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J.F.; CALDERANO, S.B. e CARVALHO FILHO, A. (2001). Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, Brasília/CPRM [Online]. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/artigo_geoambientalRJ.pdf. [Acedido em 09 de janeiro de 2016];

EKLUNDH, L. R. (1995) Noise estimation in NOAA AVHRR maximum-value composite NDVI images, *International Journal of Remote Sensing* [Online], 16 (15), 2955–2962. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169508954601>. [Acedido em 11 de janeiro de 2016];

ENDERS, A. (2015). A história do Rio de Janeiro, 3ª ed. Rio de Janeiro: Gryphus. 420p;

FRANÇA, G. B., CRACKNELL, A. P. (1995) A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. *International Journal of Remote Sensing* [Online] 16, 1697–1705. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169508954506>. [Acedido em 12 de janeiro de 2016];

LOUGEAY, R., BRAZEL, A., HUBBLE, M. (1996) Monitoring intra-urban temperature patterns and associated land cover in Phoenix, Arizona using Landsat thermal data, *Geocarto International* [Online] 11, 79–89. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049609354564>. [Acedido em 08 de janeiro de 2016];

LUCENA, A.J., PERES, L.F. (2016). Situações de ilhas de calor e espaços de segregação socioambiental: um estudo de caso na região metropolitana do Rio de Janeiro, *The overarching issues of the european space: spatial planning and multiple paths to sustainable and inclusive*

development. Porto. FLUP [Online] 189-206. Disponível em: <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/14247.pdf>. [Acedido em 10 de janeiro de 2016];

LUCENA, A.J. (2012) *A ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro*. Dissertação de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro;

LUCENA, A.J., ROTUNNO FILHO, O. C., PERES, L.F., FRANÇA, J.R.A. (2013) Algorithms implementation for land surface temperature estimation based on Landsat data as an indicator of urban heat island. In *Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*. [Online]. São Paulo/SP, Brasil. IEEE. 262-266. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6550715/?reload=true>. [Acedido em 11 de janeiro de 2016];

MASCARENHAS, G. (2014). Cidade mercadoria, cidade-vitrine, cidade turística: a espetacularização do urbano nos megaeventos esportivos. *Caderno Virtual de Turismo (UFRJ)* [Online], 14, 52-65. Disponível em: <http://www.ivt.coppe.ufrj.br/caderno/index.php?journal=caderno&page=article&op=view&path%5B%5D=1021>. [Acedido em 05 de janeiro de 2016];

QIN, Z., KAMIELI, A., BERLINER, P. (2001) A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing* [Online], 22, 3719–3746. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160010006971>. [Acedido em 09 de janeiro de 2016];

SOUZA, J. D., SILVA, B. B. (2005) Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica* [Online], 23, 349-358. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2005000400002. [Acedido em 09 de janeiro de 2016];

VAN DE GRIEND, A. A., OWE, M. (1993) On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing* [Online], 14, 1119–1131. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169308904400>. [Acedido em 11 de janeiro de 2016];

VOOGT, J. A., OKE, T. R. (2003) Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* [Online], 86: 370–384. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000798>. [Acedido em 12 de janeiro de 2016];

XAVIER, T.M.B.S., PEREIRA FILHO, A.J. (2007). Análise das medições e observações meteorológico-climáticas de superfície. In: Pereira Filho, A.J., Santos, P.M., Xavier, T.M.B.S. (ed), *Evolução do tempo e do clima na região metropolitana de São Paulo* (capítulo 6), São Paulo: Linear B.