

ILHAS DE CALOR E INDUÇÃO A CHUVAS URBANAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT5-TM

Andrews José de Lucena¹; Marcello Guerreiro²; Otto Corrêa Rotunno Filho³; José Ricardo de Almeida França⁴; Leonardo de Faria Peres⁵; Ana Luíza Coelho Netto⁶; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva⁷

Resumo – Este trabalho visa identificar relações entre a ilha de calor urbana e situações propícias à chuva na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Foram selecionadas duas imagens de satélite do sensor Landsat5-TM, que permitiram o mapeamento da cobertura e uso do solo e da temperatura da superfície. Adicionalmente, calculou-se o efeito da variação da temperatura entre a borda e o interior de áreas urbanizadas e vegetadas. Os resultados mostram padrões distintos da temperatura entre a borda e o interior conforme a estação do ano e o tipo da variável térmica, ou seja, temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura média, fatores que influenciam de forma significativa na temporalidade e espacialidade da chuva.

Abstract – This paper aims to identify relationships between the urban heat island and situations conducive to rain in the metropolitan region of Rio de Janeiro (RMRJ). We selected two images from satellite sensor Landsat5-TM, which allowed the mapping of the cover and land use and surface temperature. In addition we calculated the effect of temperature variation between the border and inside urban areas. The results show distinct patterns of temperature between the edge and the interior with respect to the season and to the type of the variable temperature, that is, minimum temperature, maximum temperature and average temperature, factors which significantly influence the temporality and spatiality of rain.

Palavras-Chave – ilhas de calor; chuvas urbanas; efeitos de borda e de interior em áreas urbanas; sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

Reconhece-se que há uma estreita ligação física entre a superfície e a atmosfera, e que até mesmo pequenas alterações nas condições de superfície podem ter um efeito pronunciado sobre o tempo e o clima. A influência do tipo de paisagem determina alterações significativas no albedo, nos fluxos de calor latente e sensível e na turbulência da atmosfera (Pielke e Avissar, 1990).

As áreas urbanas são exemplos peculiares de paisagens transformadas, sujeitas a diversas situações que envolvem problemas ambientais, a saber, movimentos de massa, enchentes e

¹ Doutorando em Engenharia – Ciências Atmosféricas em Engenharia - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia/COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente / PEC / COPPE / UFRJ Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Tel. 2562-7840. e-mail: lucenageo@yahoo.com.br

² Mestrando em Engenharia Civil - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia/COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente / PEC / COPPE / UFRJ Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Tel. 2562-7840. e-mail: marcellofloresta@gmail.com

³ Professor da Escola Politécnica e da COPPE / UFRJ, Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente / PEC / COPPE / UFRJ Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Tel. 2562-7840; e-mail: otto@coc.ufrj.br

⁴ Professor Doutor do Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ; Av. Athos da Silveira Ramos, 274. Prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, bloco G1, sala G1-011, Cidade Universitária; e-mail: jricardo@lma.ufrj.br;

⁵ Professor Doutor do Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ; Av. Athos da Silveira Ramos, 274. Prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, bloco G1, sala G1-011, Cidade Universitária; e-mail: leonardo.peres@igeo.ufrj.br

⁶ Professora Doutora do Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ, e-mail: ananetto@globo.com

inundações, poluição da água e do ar, extremos térmicos e pluviométricos, entre outros. Esses problemas devem-se, em muitos casos, às profundas transformações ocorridas no espaço natural original que comprometem, em grande parte, o funcionamento e equilíbrio do sistema ambiental físico.

Para as situações de extremos de temperatura e pluviosidade, muitos estudos mostram que suas causas podem estar associadas às mudanças climáticas globais ou a mudanças em escala local (Voogt, 2002). Na escala local, muitas alterações devem-se à paisagem heterogênea da cidade que altera significativamente o balanço térmico e hídrico da superfície urbana.

No início do século XIX, em 1833, Howard, inaugurou as primeiras pesquisas em clima urbano ao comparar a temperatura da cidade com o meio rural, encontrando, na primeira, valores bem mais elevados, acima de 2°C (Stewart, 2001). Em meados do século XX, Manley (1958), pela primeira vez, denominou esse gradiente térmico mais elevado, encontrado na cidade, como ilha de calor. Os trabalhos de Landsberg e Chandler para a cidade de Londres são obras clássicas para o estudo do clima urbano. Landsberg (1956) comparou o centro urbano de Londres com suas imediações e observou médias térmicas anuais superiores na cidade, principalmente no que concerne à temperatura mínima, bem como no que diz respeito às chuvas e ao nevoeiro. Em relação à umidade relativa e à velocidade do vento, foi observado um decréscimo de 6% e 25%, respectivamente. Chandler (1965) monitorou a ilha de calor e encontrou diferenças de até 2,0°C na área central, no verão, em relação a sua circunvizinhança.

No transcorrer do século XX e do atual século XXI, novos estudos em ilhas de calor foram desenvolvidos (Arnfield, 2003; Stewart, 2011). Taha (1997) esclarece as causas e efeitos da ilha de calor urbana, de modo particular, o papel do calor antropogênico na intensificação da ilha de calor, os impactos no albedo da superfície e na evapotranspiração. Voogt e Oke (2003) resumizam os principais aspectos, implicações e efeitos da ilha de calor, destacando sua forma, configuração, intensidade e a localização do seu núcleo mais quente. Roth (2007) reúne os principais trabalhos sobre ilhas de calor para as regiões subtropicais. Rizwan et al. (2008) discutem os conceitos básicos, os métodos, metodologias e as ferramentas usadas na compreensão, determinação e mitigação da ilha de calor.

As circunstâncias favoráveis para o desenvolvimento de uma ilha de calor são caracterizadas por uma concentração relativamente alta de fontes de calor nas cidades (Oke, 1981; 1988; 2006), favorecidas pelas propriedades térmicas dos materiais de construção, que facilitam a condução de calor mais rapidamente do que o solo e do que a vegetação das áreas rurais. A perda de calor durante a noite, por radiação infravermelha, para a atmosfera é parcialmente compensada, nas

⁷ Professora do Departamento de Meteorologia - IGEO/UFRJ; e-mail: justi.meteoro@gmail.com

idades, pela liberação de calor das fontes antropogênicas, tais como veículos, indústrias, construções em geral e materiais de construção relativamente densos (Freitas e Silva Dias, 2005).

Há evidências que mostram que as áreas mais aquecidas dos centros urbanos favorecem o incremento de chuvas, como demonstrado nos trabalhos pioneiros de Changnon (1968) e Holtzman and Thom (1970) para La Porte e Chicago nos Estados Unidos. Huff and Changnon Jr. (1973) identificaram um acréscimo entre 9 e 17% nas chuvas das maiores cidades norte-americanas nas estações mais quentes do ano. Para um período mais recente, entre 1988 e 2000, Shepherd *et al.* (2000) também identificaram acréscimo de até 28% nos índices pluviométricos das maiores cidades americanas nas estações mais quentes. Estudos com o uso da modelagem têm observado aumento na convecção e na precipitação, associadas aos altos índices de urbanização (Rozoff *et al.*, 2003).

Com base nesse referencial, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o padrão espacial de ilhas de calor e de eventos de chuva na região metropolitana do Rio de Janeiro. Em especial, empregam-se imagens Landsat5-TM para realizar o mapeamento da cobertura e uso do solo e da temperatura de superfície. Adicionalmente, estuda-se o comportamento da variação da temperatura no ambiente de borda e no interior das manchas de cada uma das classes de uso e ocupação do solo, procurando-se levar em conta, também, o efeito da sazonalidade. Estes fatores, mediante análise conjunta, permitem melhor identificar potenciais situações de chuvas urbanas estimuladas pela convecção urbana forçada.

ÁREA DE ESTUDO

A região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), localizada na região sudeste do Brasil, é uma das oito regiões de governo do estado do Rio de Janeiro, regionalizada em 19 municípios (Figura 1), constituindo-se no segundo pólo de concentração demográfica e de atividades econômicas do país e concentrando, em média, 90% da população estadual.

A mancha urbana na RMRJ desenhou, ao longo de sua história de ocupação, uma forma tentacular de expansão. A partir da área central da cidade do Rio de Janeiro, direções diversas de urbanização desenvolvem-se por toda a metrópole, com destaque para quatro vetores ou eixos de crescimento que se consolidaram nos anos de 1960 e de 1970, a saber: eixo 1- Centro-Zona Sul-Recreio; eixo 2- Centro-Zona Norte-Baixada Fluminense; eixo 3- Centro-Zona Norte-Zona Oeste-Costa Verde; eixo 4- Niterói-Tanguá (Figura 2).

O espaço físico é marcado por duas unidades geomorfológicas distintas, os maciços e as baixadas (Figura 3), palco de intensas transformações humanas. As baixadas e os maciços representaram um grande desafio ao crescimento urbano que, desde o início da história de ocupação, estabelece uma luta árdua do homem diante dos obstáculos naturais.

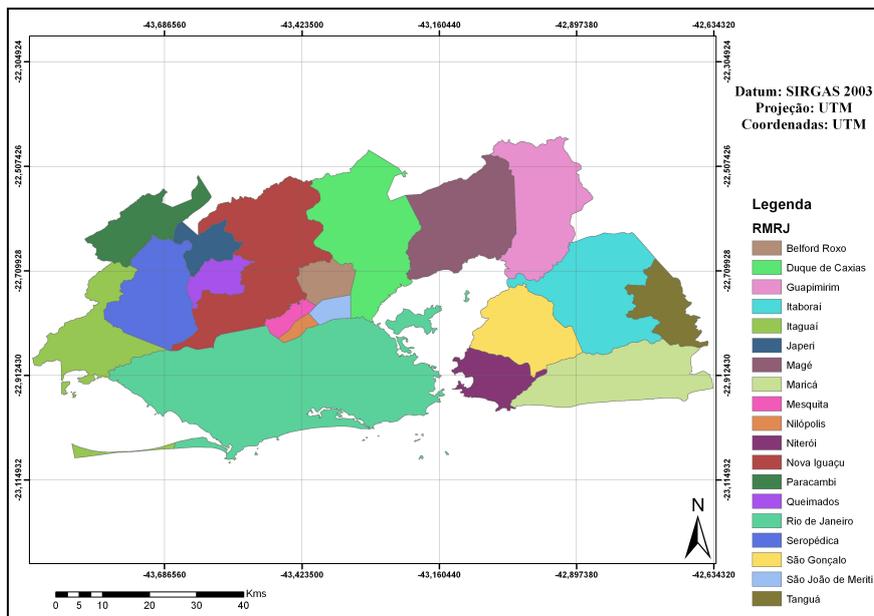


Figura 1: Região metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ

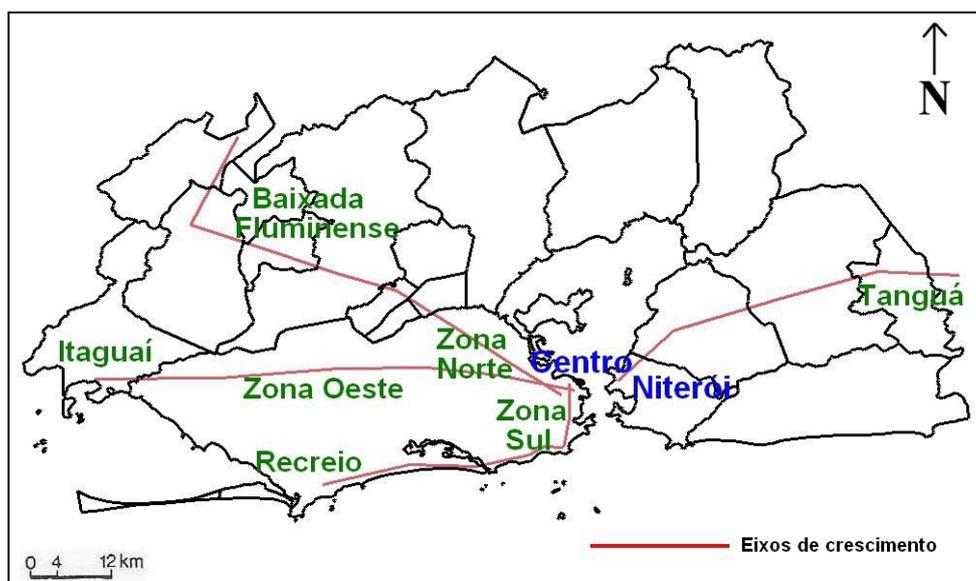


Figura 2: Eixos/vetores de ocupação da mancha urbana na RMRJ

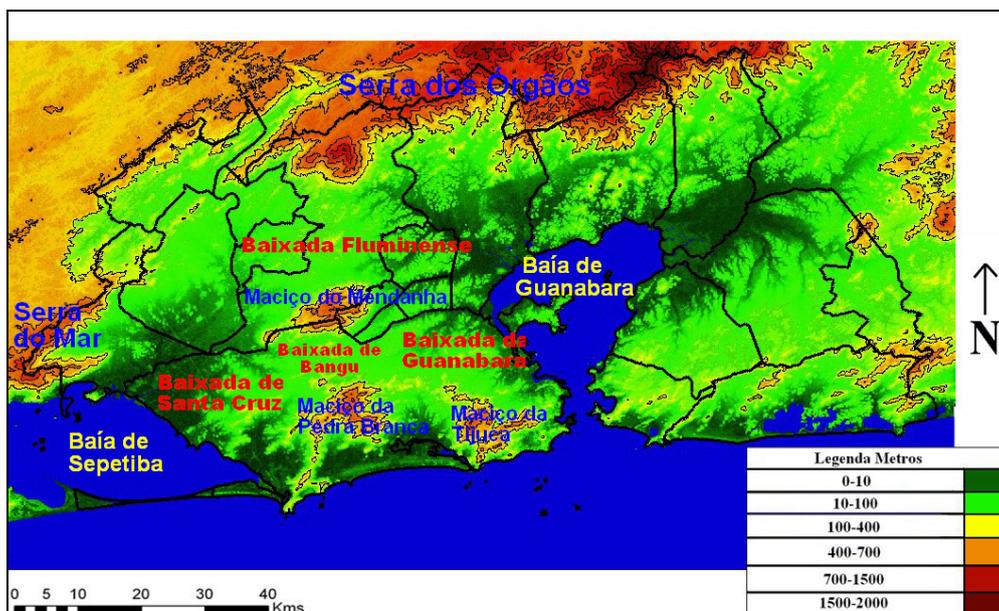


Figura 3: Mapa de relevo da RMRJ

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram elaborados mapas do uso e ocupação do solo e mapas temais com base nas imagens de satélite Landsat do sensor TM-5 da órbita-ponto 217-76, que abrange a área correspondente a RMRJ. Todas as etapas de processamento digital das imagens, elaboração de algoritmos e técnicas de geoprocessamento foram efetuadas com suporte nos códigos computacionais Spring, Matlab e Arcgis.

Duas imagens do sensor Landsat5-TM foram selecionadas para análise (Tabela 1), sendo uma de inverno (11/08/1987) e outra de verão (11/03/2007), no intuito de observar o campo térmico da ilha de calor urbana em períodos temporais e situações sazonais distintos. Como critérios, empregaram-se imagens com ausência de nuvens ou com baixa nebulosidade.

Tabela 1 - Características das imagens para a RMRJ

Características	LANDSAT-5 (1987)	LANDSAT-5 (2007)
Sensor	TM	TM
Data de Aquisição	11/08/1987	11/03/2007
Horário (Brasília)	9h17min	9h46min
Órbita/Ponto	217/76	217/76
Cobertura de Nuvens	5%	2,5%
Bandas Espectrais	7	7
Resolução Espacial	1, 2, 3, 4, 5, 7 (30 metros); 6(120)	1, 2, 3, 4, 5, 7 (30 metros); 6(120)
Projeção	UTM, Zona 23S	UTM, Zona 23S
Datum	WGS-84	WGS-84

Todas as imagens foram georeferenciadas a partir de uma correção geométrica utilizando o modelo polinomial de 1º grau e o interpolador do vizinho mais próximo, que teve como base as imagens Geocover_2003 compostas a partir de dados da série de satélites Landsat (MSS, TM e ETM+) referentes à RMRJ.

Foram criados os mapas de uso do solo para os anos de 1987 e 2007, a partir da classificação de imagens segmentadas que utiliza a informação espectral de cada píxel e reconhece as áreas homogêneas da imagem, com base em suas propriedades espectrais e espaciais. O classificador utilizado foi o da medida da distância de Battacharya que mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Ao final do processamento, foram extraídas 4 classes: urbano, rural ou urbano de baixa densidade, vegetação e corpos de água.

Os mapas termais de temperatura da superfície continental foram elaborados a partir da banda 6, de intervalo espectral entre 10,2 e 12,4 um, com base nas equações e constantes de calibração contidos em Chander e Markham (2003) e Chander *et al.* (2009). Observa-se que é necessário obter a temperatura definida como temperatura da superfície continental com o intuito de corrigir as possíveis interferências da atmosfera, como o vapor de água, que possam influenciar na temperatura da superfície continental. Assim, todo o cálculo para obtenção da temperatura da superfície continental consiste das seguintes etapas: transformação dos dados brutos, originalmente em números digitais (ND), para radiância; cálculo da temperatura de brilho através da inversão da função de Planck; cálculo da transmitância atmosférica a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar e estimativa da emissividade da superfície. Toda a operacionalização com os cálculos e descrição das equações podem ser obtidos em Lucena et al. (2010).

A última parte foi avaliar os padrões de distribuição da temperatura de superfície em um gradiente de distâncias, medidas da borda para o interior das manchas de cada uma das classes do mapa de uso e ocupação do solo. Toda essa seqüência e os algoritmos foram implementados com as seguintes etapas:

- construção de um arquivo de polígonos, em separado, para cada classe de uso do solo, derivado de cada ano dos mapas de uso do solo, gerando um mapa específico para as áreas urbanas, de floresta e rurais ou urbano de baixa densidade;
- transformação dos arquivos de polígonos para um arquivo de linhas que representem os limites dos polígonos de cada uma das classes de uso do solo;
- construção de um mapa de superfícies de distâncias euclidianas, que possuem, como ponto de partida, os limites dos polígonos, representado pelo arquivo de linhas obtido na etapa anterior; para a realização dessa etapa, destaca-se que, no cálculo, os pixels da diagonal possuem valores calculados para uma distância medida ao longo da diagonal do píxel, enquanto, para os pixels

em posições adjacentes, é feita uma medida linear de distância, como mostra a Figura 4. Nessa figura, os píxeis com valor 1, na primeira imagem, representam a feição a partir da qual são medidas as distâncias, que, para o caso deste estudo, representam os limites dos polígonos de cada uma das manchas das classes do mapa de uso do solo;

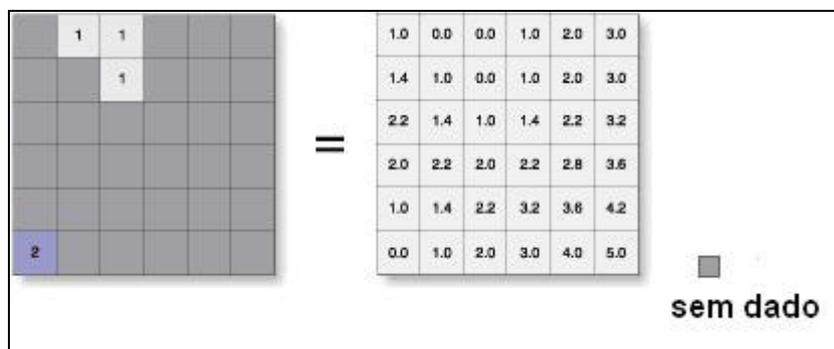


Figura 4: Medida linear de distância

- como o objetivo é medir a variação do gradiente da temperatura para o interior das manchas de cada uma das classes, foi realizado um recorte da superfície de distâncias gerado na etapa anterior, para que se obtenha uma superfície de distâncias que represente a variação de distância da borda de cada mancha para o seu interior;
- realizou-se o cálculo da estatística zonal de cada uma das classes de distância medidas da borda para o interior de cada uma das manchas; calculam-se as estatísticas de média, máximo e mínimo para cada uma das classes de distância de uma variável espacialmente distribuída, que, para este estudo, foi a temperatura;
- foram gerados, ao final, mapas dos dados obtidos para descrever os padrões observados.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O uso do solo em 1987 apresenta uma concentração da classe “urbano” na borda oeste e leste da baía de Guanabara, estende-se por toda orla e concentra-se como uma grande mancha na porção centro-leste da imagem. Aglomerados ou enclaves da classe são identificados no extremo leste, oeste e norte. A classe “rural ou urbano de baixa densidade” configura-se como uma mancha rosada em grande parte da baixada fluminense, no extremo oeste e pelo entorno norte e leste da baía de Guanabara. A classe “vegetação” está concentrada principalmente nos maciços costeiros (Tijuca, Pedra Branca e Mendanha), no sopé da serra do Mar e dos Órgãos até as suas partes mais elevadas, na área de mangue, a nordeste da baía de Guanabara, e no entorno das lagoas costeiras da costa leste (Figura 5).

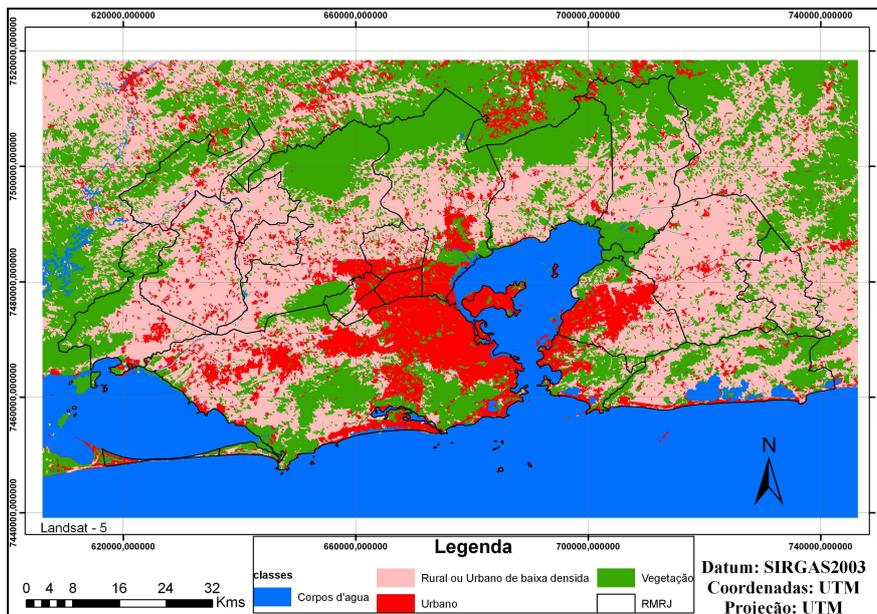


Figura 5: Uso do solo na RMRJ em 1987

A distribuição espacial da temperatura da superfície para o dia 11/08/87 mostra que seus valores mais baixos, entre 19 e 26°C, representada pela cor verde, estão situados nas áreas com vegetação. Valores em tom amarelado, entre 30 e 33°C, e alaranjados e vermelhos, entre 34 e 42°C, cobrem grande parte da classe urbana e rural ou urbana de baixa densidade. Esses últimos, em laranja e vermelho, concentram-se nos sopés dos maciços costeiros e das serras e no extremo oeste, locais de ocupação de encostas e de expansão da franja urbana metropolitana (Figura 6).

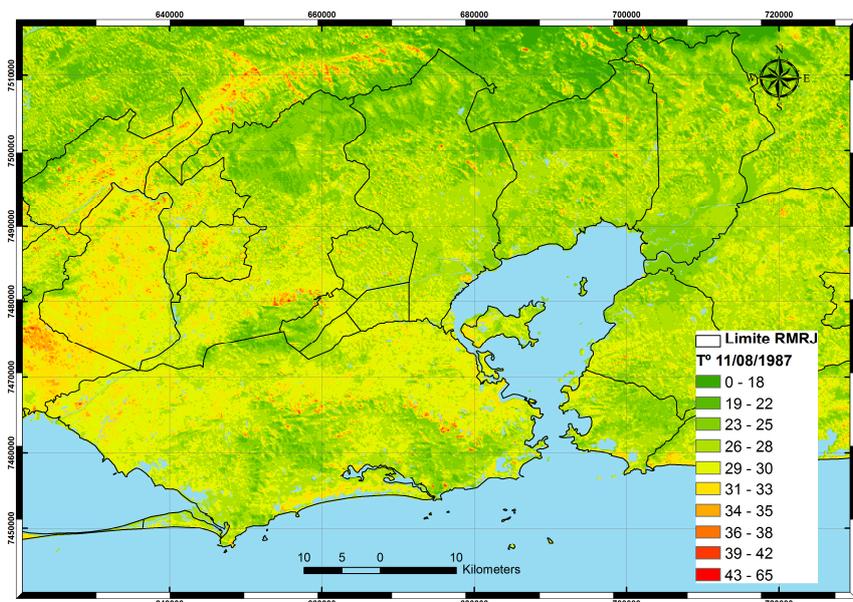


Figura 6: Mapa da temperatura da superfície continental da RMRJ para o dia 11/08/1987

Analisando-se a temperatura, especificamente para as classes “urbano” e “vegetação”, observam-se padrões bastante diferenciados. Para a classe “urbano”, os píxeis máximos de temperatura apresentam valores mais elevados, entre 38 e 52°C, nas áreas de borda sul e borda leste da baía de Guanabara e no extremo norte, enquanto os valores mais baixos, entre 26 e 34°C, localizam-se nas bordas a oeste da baía de Guanabara e se espriam em direção ao interior oeste (Figura 7).

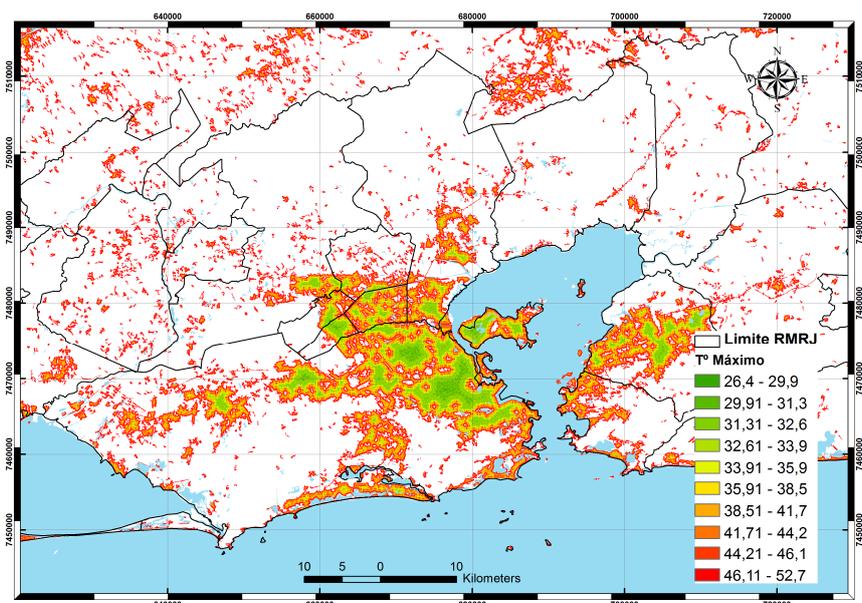


Figura 7: Temperatura máxima para a classe de uso do solo “urbano”- 11/08/1987

Para os píxeis com temperatura média (Figura 8), o comportamento espacial da temperatura é bastante diferente em relação à configuração disposta na Figura 7. Na borda sul e no extremo oeste e norte, tem-se os valores médios mais baixos, entre 26 e 28°C, o que reflete um pouco mais o efeito da brisa marítima, combinado com uma vegetação mais densa e uma classe urbana de baixa densidade. No núcleo mais denso do uso do solo urbano com os menores índices de vegetação de toda região metropolitana, exatamente nas bordas leste e principalmente a oeste da baía de Guanabara, encontram-se os valores médios mais elevados, entre 30 e 32°C. Finalmente, para os píxeis mínimos (Figura 9), o padrão é semelhante ao da temperatura média, e até mesmo mais acentuado, isto é, valores mais elevados localizados no interior da mancha urbana, tanto a leste e, principalmente, a oeste da baía de Guanabara, entre 22 e 32°C, e os valores mais baixos, entre 6 e 14°C, localizados na borda sul e no extremo norte e oeste.

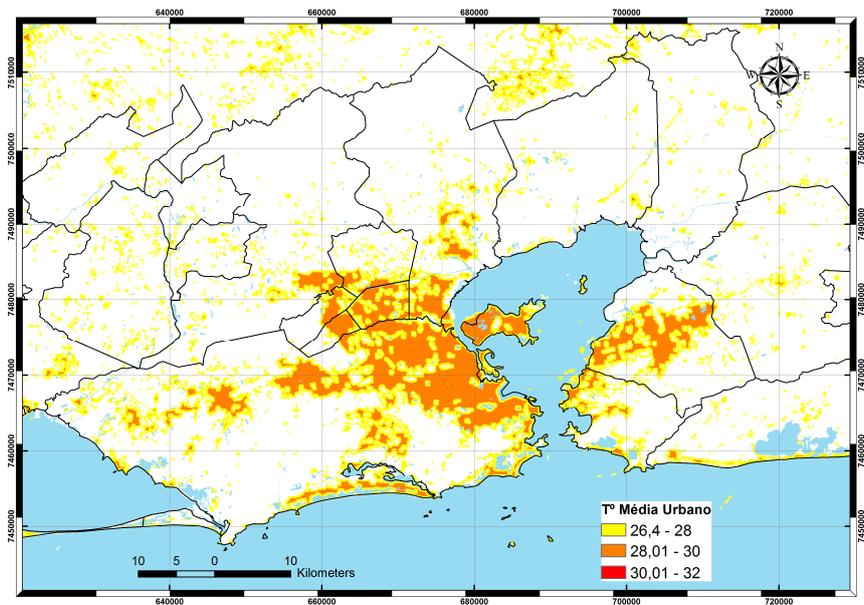


Figura 8: Temperatura média para a classe de uso do solo “urbano” – 11/08/1987

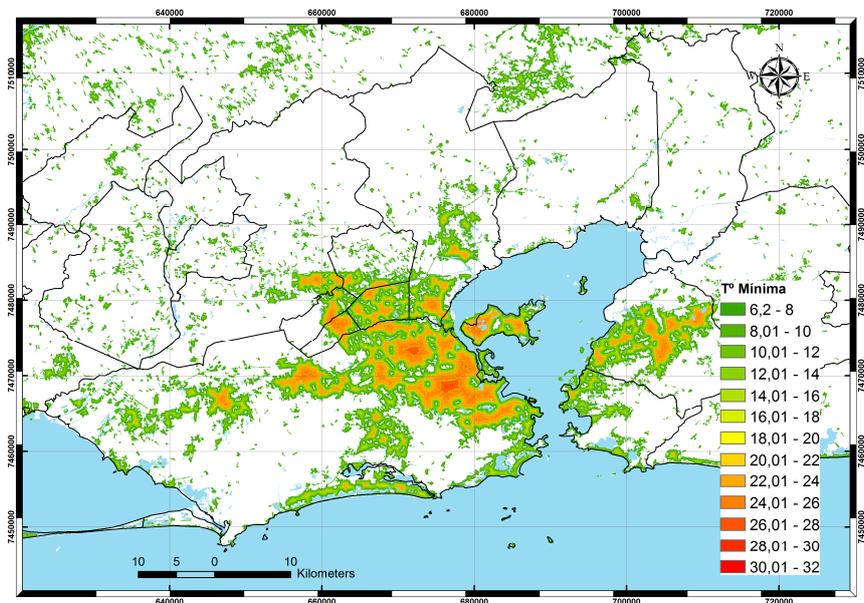


Figura 9: Temperatura mínima para a classe de uso do solo “urbano”- 11/08/1987

Para a classe “vegetação”, os píxeis máximos de temperatura mostraram seus valores mais elevados, entre 34 e 52°C, nas encostas dos maciços e serras e nas proximidades das classes “urbano” e “rural ou urbano de baixa densidade” (Figura 10). Os valores mais baixos, entre 21 e 32°C, estão localizados nas grandes manchas de vegetação, especialmente em altitudes mais elevadas das serras e maciços. Para os píxeis de temperatura média (Figura 11), não se observa um gradiente térmico tão acentuado quanto para a temperatura máxima. Contudo os valores mais baixos, entre 21 e 24°C, em tom esverdeado, repetem-se nas áreas mais densas de vegetação, em especial maciços e serras, e um leve tom, menos esverdeado, graduando para a cor amarela, entre 24

e 28°C, concentram-se nos limites com a classe “urbana” e “rural ou urbana de baixa densidade” na periferia e encostas da classe “vegetação”. Os píxeis de temperatura mínima tem um comportamento completamente diferente daquele esperado. Os valores mais elevados, entre 13 e 27°C, estão localizados no topo dos maciços e serras e mais para o interior, enquanto os valores mais baixos, entre 4 e 13°C, situam-se em suas encostas e mais próximo das bordas (Figura 12). Nesse caso, os resultados indicam que a brisa teve um efeito bem mais rigoroso sobre as temperaturas mínimas mais baixas do que o fator altitude.

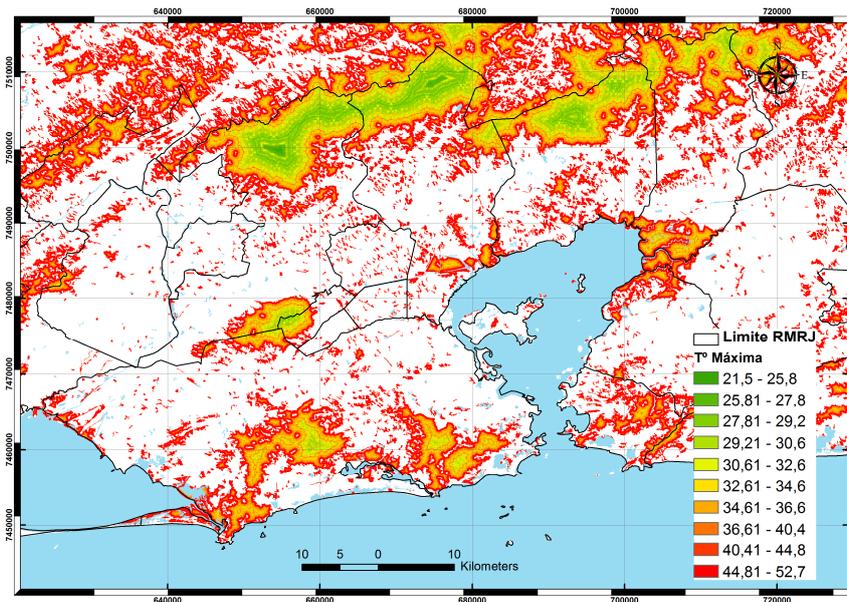


Figura 10: Temperatura máxima para a classe de uso do solo “vegetação”- 11/08/1987

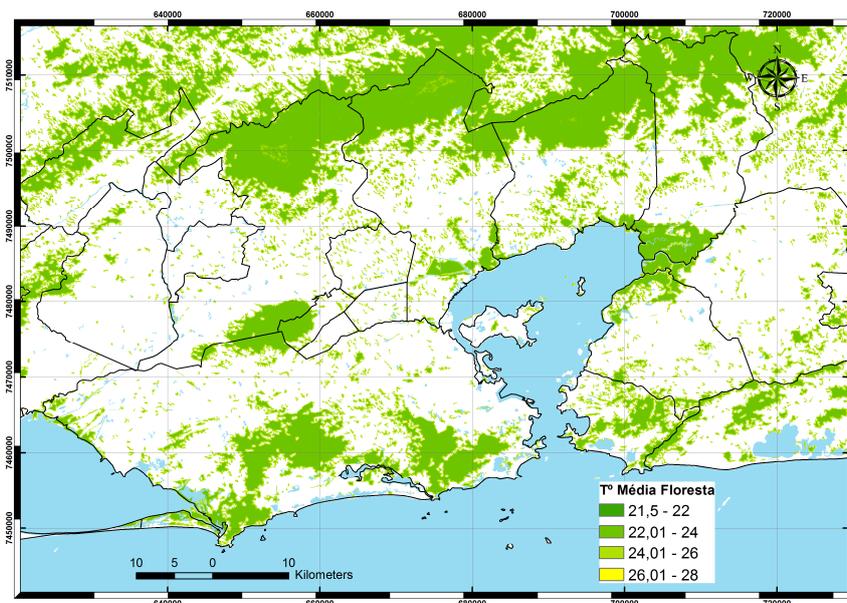


Figura 11: Temperatura média para a classe de uso do solo “vegetação” – 11/08/1987

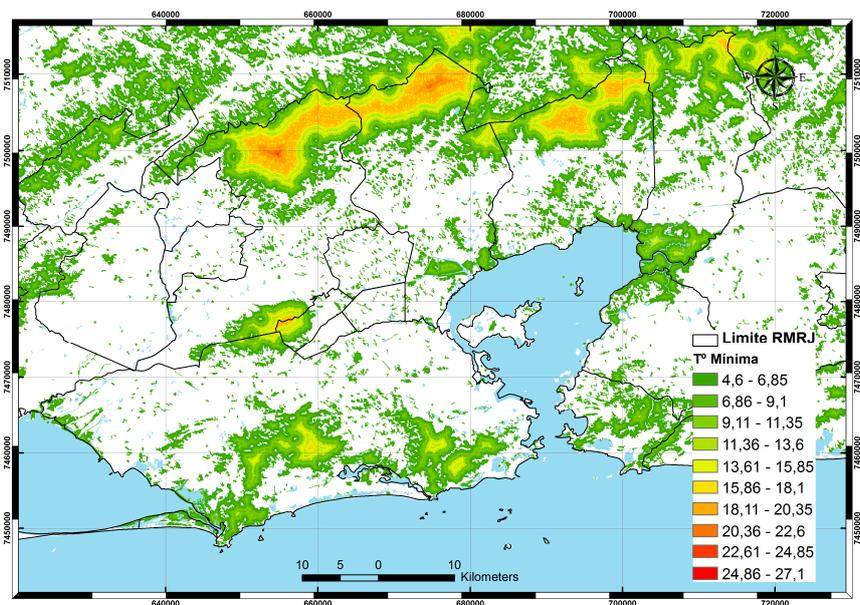


Figura 12: Temperatura mínima para a classe de uso do solo “vegetação”- 11/08/1987

Um mapa que reúne a temperatura média para as duas classes, em conjunto, é mostrado na Figura 13. Nota-se o importante papel da vegetação na amenização da temperatura, funcionando como um regulador térmico no ambiente urbano. Das bordas para o interior, a temperatura tende a decair de 30 para 26°C, mas que ocorre mais rapidamente a partir da borda sul, com decréscimos de 30 para até 22°C, onde os índices de urbanização estão entrelaçados à densa vegetação dos dois maciços costeiros (Pedra Branca e Tijuca), situação bastante diferente na borda oeste da baía de Guanabara.

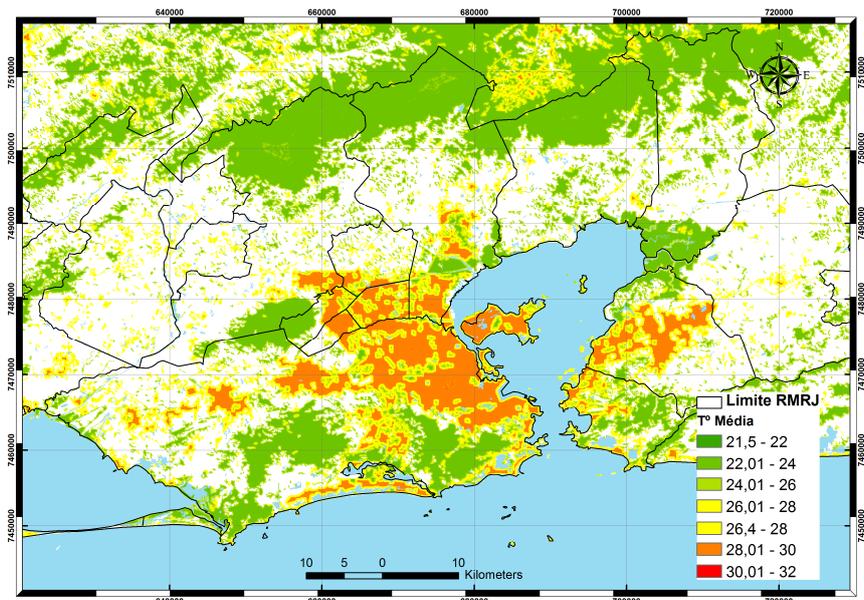


Figura 13: Mapa da temperatura média para as classes do uso do solo “urbano” e “vegetação”- 11/08/1987

Em 2007, o mapa de uso do solo define um padrão semelhante ao de 1987. Há um espraiamento e justaposição da mancha urbana em direção à orla sul, entre os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, ao extremo oeste, na baixada de Bangu e Santa Cruz, à Baixada fluminense, além de filetes e núcleos isolados em direção ao extremo leste da baía de Guanabara. A classe “rural ou urbano de baixa densidade” declina, tornando-se mais rarefeita na Baixada Fluminense, mas ainda bem homogênea no setor leste da baía de Guanabara. A classe “vegetação” mantém o mesmo padrão espacial, isto é, concentrada principalmente nos maciços costeiros e serras, no entorno das lagoas costeiras do setor leste e na área de mangue no fundo da baía de Guanabara. Nas áreas planas, constituídas pelas baixadas, há enclaves verdes em um espaço muito heterogêneo, como ainda se observa um aumento visual de uma mancha verde na porção norte da baía de Guanabara (Figura 14).

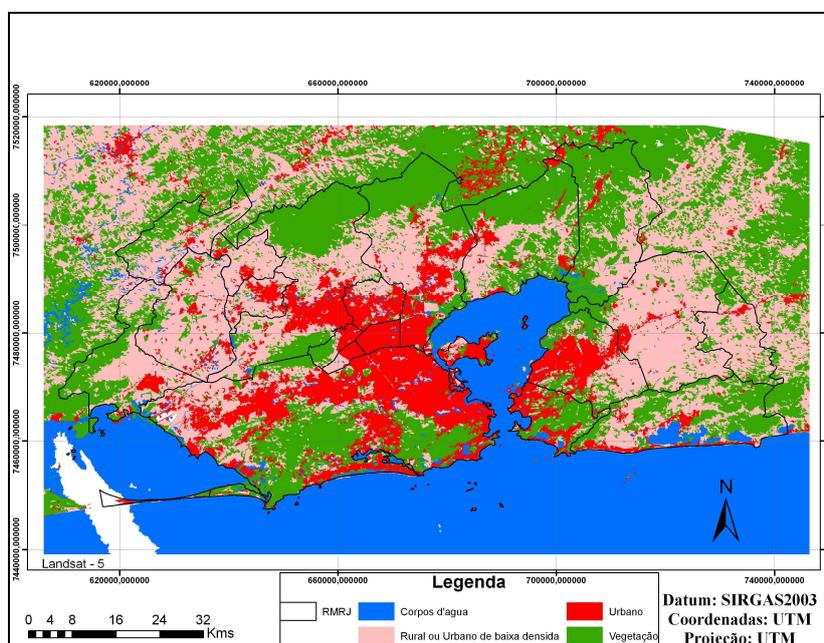


Figura 14: Uso do solo na RMRJ em 2007

A imagem do dia 11/03/2007, referente à temperatura da superfície, mostra uma grande mancha avermelhada por toda região metropolitana com temperaturas bastante elevadas entre 38 e 65°C. Manchas amareladas e esverdeadas com temperaturas bem mais baixas, entre 17 e 38°C, ocupam as áreas de maciços e serras e as bordas sul do continente e o setor a nordeste da baía de Guanabara (Figura 15).

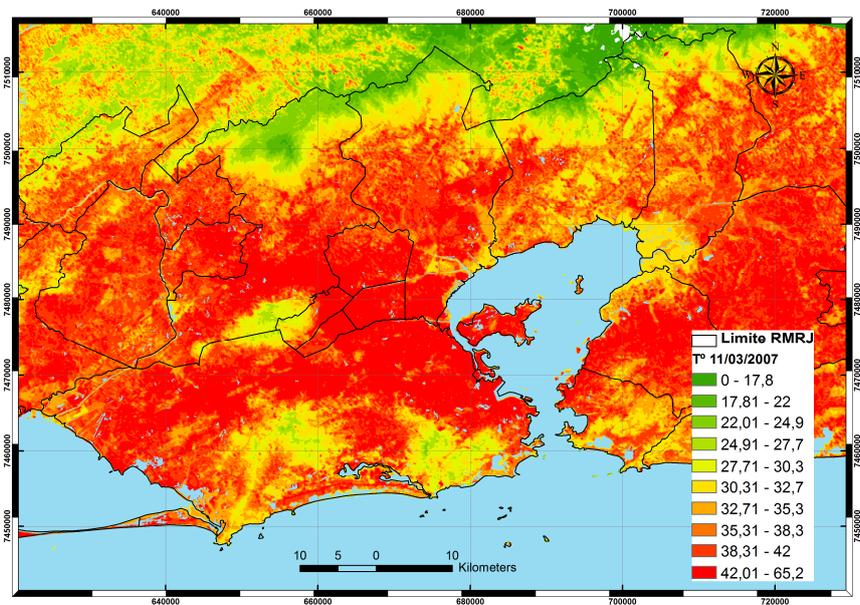


Figura 15: Mapa da temperatura da superfície continental da RMRJ para o dia 11/03/2007

Os píxeis de temperatura máxima para o “urbano” apresentam um padrão bastante homogêneo com pouca variação da temperatura entre as bordas e o interior (Figura 16). Ainda assim, os valores mais elevados da temperatura máxima estão localizados na borda, principalmente na borda sul (entre 50 e 56°C). No setor mais urbanizado, a oeste da baía de Guanabara, a temperatura decai, variando entre 44 e 52°C.

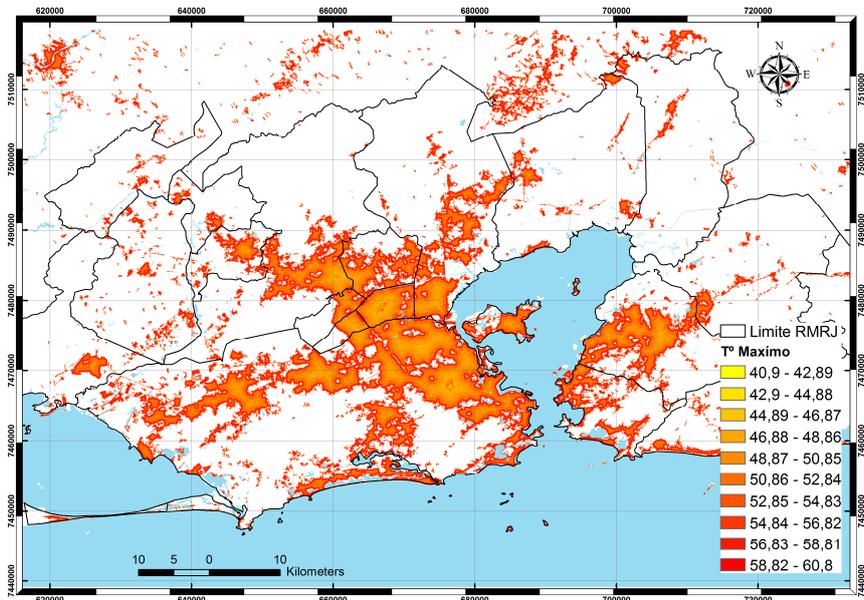


Figura 16: Mapa da temperatura máxima para a classe do uso do solo “urbano” – 11/03/2007

Os píxeis de temperatura média apresentam um padrão bem distinto em relação àquele encontrado para a temperatura máxima na relação entre borda e interior, concentrando, nesse

último, os valores mais elevados, entre 42 e 46°C, e os mais baixos, entre 32 e 42°C, nas bordas (Figura 17). Entretanto, nota-se que, nas bordas, o gradiente térmico é muito acentuado, mostrando a complexidade física e urbana dessa área, que alterna extensas áreas edificadas, fragmentos de vegetação e ação de brisas. Finalmente, o mapa da temperatura mínima (Figura 18) é bem mais definido, com as temperaturas mais elevadas no interior (entre 32 e 42°C) e as mais amenas nas bordas (entre 8 e 18°C). O gradiente térmico pouco oscilou na borda, enquanto, no interior, as manchas em tom laranja-vermelho foram rodeadas por um cinturão de temperaturas mais baixas, em tom verde, que, neste caso, pode ter uma provável ação da vegetação dos maciços.

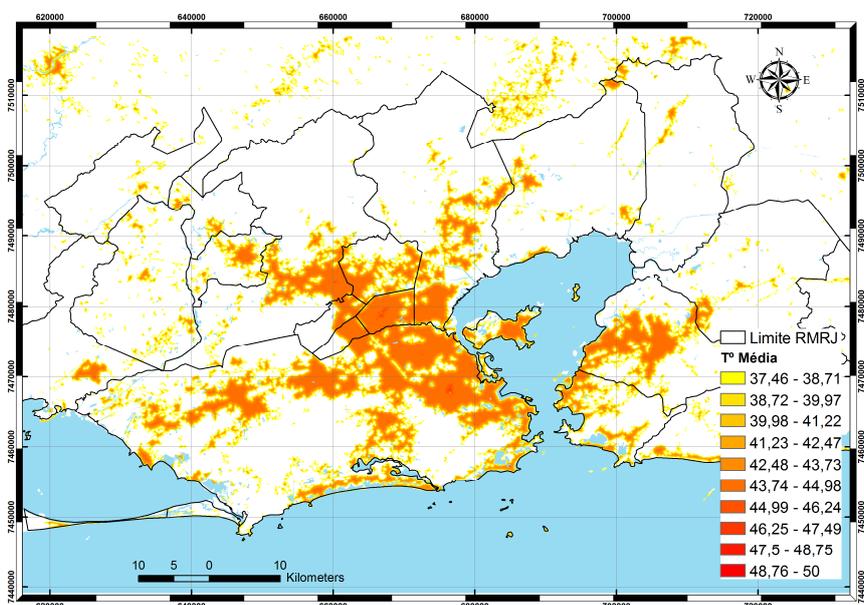


Figura 17: Mapa da temperatura média para a classe do uso do solo “urbano” - 11/03/2007

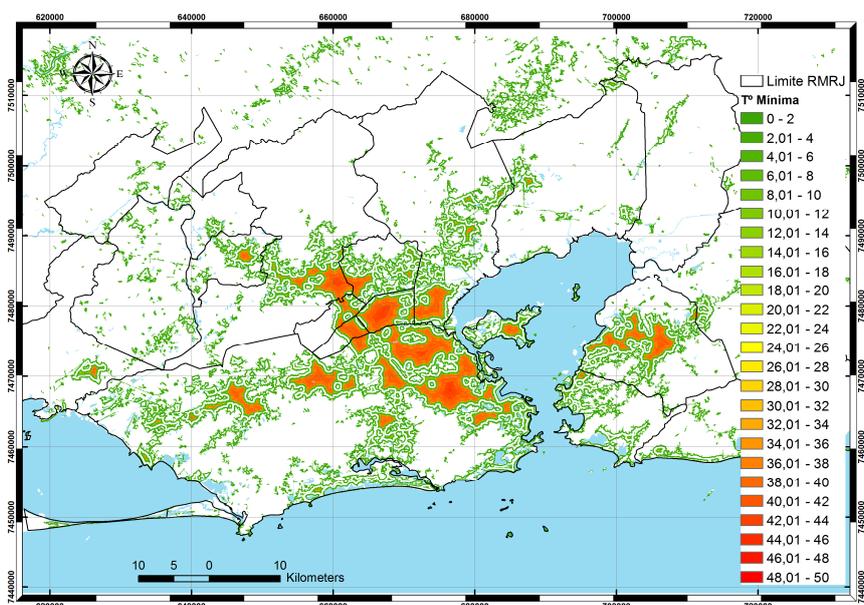


Figura 18: Mapa da temperatura mínima para a classe do uso do solo “urbano” - 11/03/2007

Para a classe “vegetação”, os píxeis máximos da temperatura mostram um gradiente acentuado tanto para as bordas quanto para o interior (Figura 19). O gradiente ocorre possivelmente pelas várias fácies da cobertura vegetal associada com a altitude, observado tanto nos maciços costeiros, quanto na serra interiorana. O gradiente varia desde os 23°C , localizado nas partes mais elevadas, até 55°C na vegetação de encosta, litorânea e de área plana. Mais uma vez, a vegetação funciona como um regulador térmico importante e eficiente para o ambiente urbano.

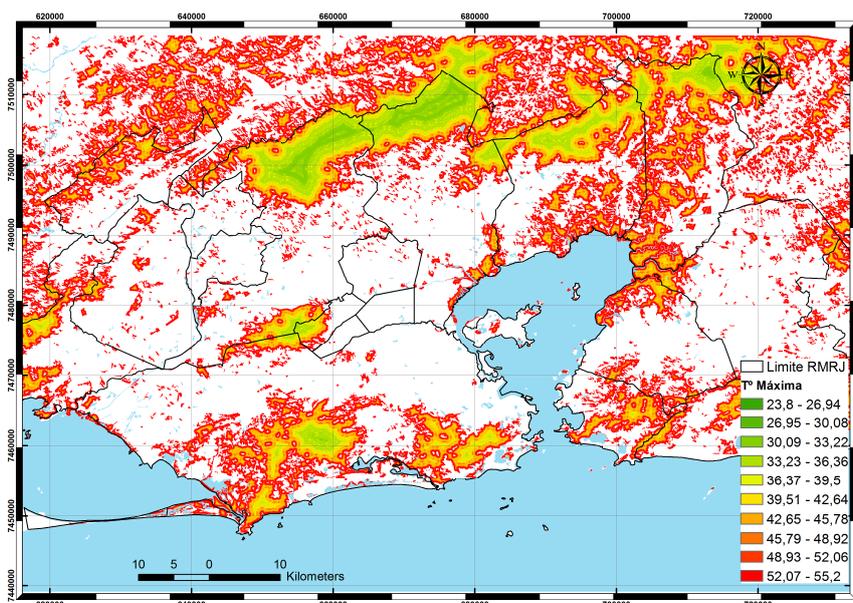


Figura 19: Mapa da temperatura máxima para a classe do uso do solo “vegetação”- 11/03/2007

A temperatura média na classe “vegetação” (Figura 20) repete o padrão observado para a temperatura máxima. Mas além de temperaturas bem mais baixas, o gradiente térmico é menor, e a temperatura no topo dos maciços e serras são relativamente mais elevadas que as copas inferiores. Não obstante, nos maciços costeiros e na serra interiorana, concentram-se os valores mais baixos, entre 20 e 28°C, tanto nas bordas quanto no interior. Para a temperatura mínima (Figura 21), o gradiente térmico não foi acentuado, principalmente nas bordas (médias entre 2 e 6°C). No entanto, na serra interiorana, há um gradiente (entre 2 e 30°C) desde a sua encosta, com os valores mais baixos, até o topo, com os valores mais elevados.

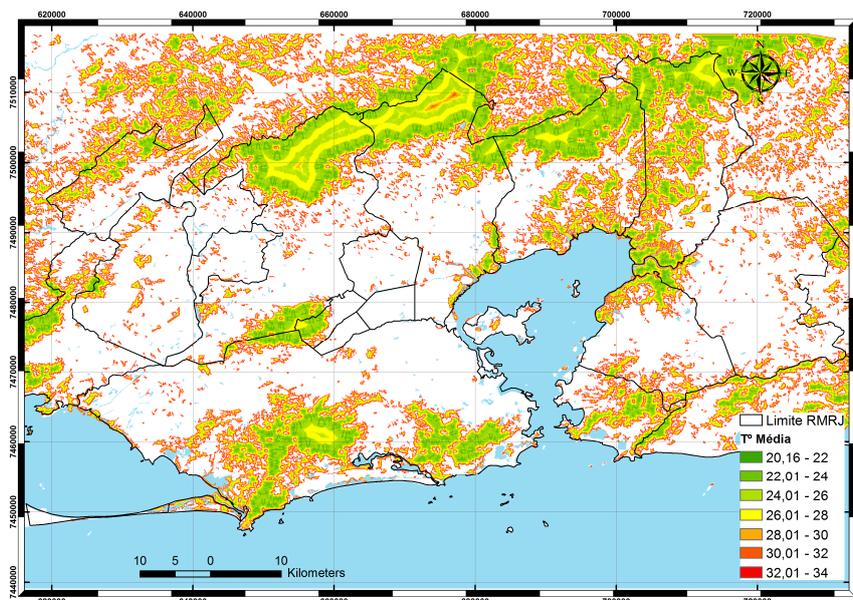


Figura 20: Mapa da temperatura média para a classe do uso do solo "vegetação"- 11/03/2007

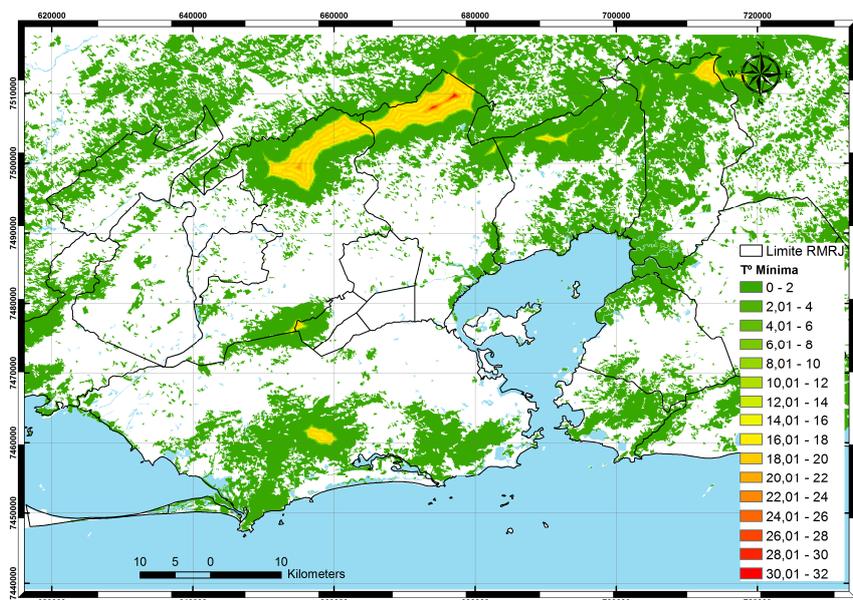


Figura 21: Mapa da temperatura mínima para a classe do uso do solo "vegetação" – 11/03/2007

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho inaugurou uma frente de estudos na região metropolitana do Rio de Janeiro que buscou analisar os efeitos da ilha de calor urbana e seus impactos na incidência de chuvas e explorados os efeitos de borda e de interior no gradiente espacial de temperatura, associados às classes de uso do solo "urbano" e "vegetação".

Tanto no inverno quanto no verão a temperatura apresentou padrões espaciais semelhantes, tanto para a classe "urbano" quanto "vegetação", variando apenas a escala da temperatura, bem mais elevada no verão. A temperatura máxima apresentou valores mais elevados nas bordas que no

interior. Para a temperatura média os valores mais elevados migraram para o interior, mas foi com a temperatura mínima que este padrão foi bem definido, isto é, as temperaturas mais elevadas no interior e as mais baixas nas bordas. Outro fato relevante é o maior gradiente térmico nas bordas, diferente do interior.

Embora não diretamente, estes resultados mostram possíveis evidências que possam inferir certa probabilidade às chuvas urbanas, seja pela indução da convecção na superfície urbana, seja pela indução da evapotranspiração no substrato vegetal florestal. Somam-se os efeitos da brisa marítima, da irregularidade topográfica e das intensas atividades urbanas que contribuem para uma enorme complexidade física e urbana na região metropolitana.

A análise do comportamento da temperatura entre a borda e o interior e segundo as classes de uso do solo precisa de uma investigação mais detalhada. Outros parâmetros precisam ser considerados, tais como, um maior número de imagens de satélite e períodos sazonais, a adoção da modelagem atmosférica, a utilização do desvio padrão e de outras técnicas estatísticas paramétricas e não paramétricas, além do entendimento do efeito da topografia e das faces de exposição das vertentes.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece o apoio concedido pela FAPERJ mediante bolsa de doutorado concedida para a realização do presente trabalho. Agradecimentos extensivos são dedicados ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ pelo apoio do Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, ao Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ, e ao INPE, mediante dados e infraestrutura disponibilizadas por essas instituições para a realização desta pesquisa. Reconhece-se o apoio do CNPq, por meio do projeto PROSUL – Processo 490684/2007-6, que trata de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico e de mudanças climáticas bem como dos auxílios MEC-SESu – CAPES – AUX-PE-PET-1228/2009 (PET CIVIL UFRJ), Projeto PEC/COPPE - FAPERJ Edital 014/2010 (2010-2012), Projeto IME-PEC/COPPE – CAPES – Aux-PE-PRO-Defesa 1783/2008 (2008–2012) e MCT/FINEP/CT-HIDRO - Bacias representativas 04/2005 (2005-2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNFIELD, A.J. (2003). “*Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*”. Int. J. Climatol. (23), pp. 1–26;
- CHANDER, G., MARKHAMB, 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, (113), pp. 893–903.
- CHANDER, G., MARKHAN, B. (2003). “*Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges*”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41 (11), pp. 2674 – 2677.

- CHANDLER, T. J. (1965). *The climate of London*. Hutchinson e Co. Publishers LTD London, 220;
- CHANGNON, S. A., Jr. (1968). “*The La Porte weather anomaly – fact or fiction?*”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (49), pp.4-11;
- FREITAS, E. D., SILVA DIAS, P. L. (2005). “*Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor*”. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 20 (3), pp. 355-366.
- GOMEZ, A.L. (1993). *El Clima de las ciudades*. Cátedra Madrid/Espana, 187p;
- HOLTZMAN, B. G. AND THOM, H. C. S. (1970). “*The La Porte precipitation anomaly*”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (51), pp. 335-337;
- HUFF, F.A. and CHANGNOM Jr, S.A. (1973). “*Precipitation modification by major urban areas*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (54), pp. 1220-1232;
- LANDSBERG, H.E. (1956). “*The Climate of Towns*” in: *Man’s Role in Changing the Face of Earth*. Thomas, W.E. (org), pp. 584-606
- LUCENA, A. J.; ROTUNNO FILHO, O. C.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. (2010). “*Aplicação da correção atmosférica para imagens de satélite Landsat-TM*” in *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belém, Ago 2010, 1;
- MANLEY, G. (1958). “*On the frequency of snowfall in metropolitan England*”. *Quart. J. Roy. Meteorological. Society* (84), pp.70–72; OKE, T. R., 1978, *Boundary Layer climate*. London, Methuem e Co-LTD.
- OKE TR. (1988). “*The urban energy balance*”. *Progress in Physical Geography* (12) pp. 471–508;
- OKE, T. R. (1981). “*Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation*”. *Journal of Climatology* (1), pp. 237-254.
- OKE, T. R. (2006). “*Towards better scientific communication in urban climate*”. *Theoretical and Applied Climatology* (84), pp. 179–190;
- PIELKE, R.A. and AVISSAR, R. (1990). “*Influence of landscape structure on local and regional climate*”. *Landscape Ecology* (4) 3-3, pp 133-155;
- RIZWAN, A. M., DENNIS Y.C., LEUNG, L. C., et al. (2008). “*A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*”. *Journal of Environmental Sciences* (20), pp. 120–128;
- ROTH, M. (2007). “*Review of urban climate research in (sub) tropical regions*”. *Int. J. Climatol.* (27), pp. 1859–1873;
- ROZOFF, C.M, COTTON, W.R. and ADEGOKE, J.O. (2003). “*Simulation of St. Louis, Missouri, land use impacts on thunderstorms*”. *J. Appl. Meteor.* (42), pp. 716-738;
- STEWART, I.D. (2011). “*A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature*”. *Int. J. Climatol.* (31), pp. 200–217;

SHEPHERD, J.M., PIERCE, H. and NEGRI, A.J. (2000). “*Rainfall modification by major urban areas: observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite*”. J. Appl. Meteor. (41), pp. 689-701;

TAHA, H. (1997). “*Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*”. Energy and Buildings (25), pp. 99-103;

VOOGT, J. A. (2002). “*Urban Heat Island, Causes and consequences of global environmental change*”. Encyclopedia of Global Environmental Change (3), pp. 660-666;

VOOGT, J. A., OKE, T. R. (2003). “*Thermal remote sensing of urban climates*”. Remote Sensing of Environment (86), pp. 370–384.