

Análise do desconforto térmico causado pela ilha de calor urbana em um bairro do Recife-PE utilizando sensoriamento remoto

Luciana Mayla de Aquino França¹

Mariana Soares dos Santos¹

Taynã Maria Pinto Lins¹

João Antonio dos Santos Pereira¹

Josiclêda Domiciano Galvêncio¹

¹Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/PE

CEP: 50670-901 – Cidade Universitária – PE, Brasil

lucianamayla@hotmail.com; a_mari_ana@yahoo.com.br; tay-lins@hotmail.com;

antoniopereira.278@gmail.com; josicleda@hotmail.com

Abstract. The Brazilian cities has suffered a constant change since its origins, mainly due to the expansion of urban areas. This expansion, when poorly organized, cause serious risks to the local population. That said, the objective of this study is to identify and analyst the areas in which it occurs in the heat islands of Boa Vista, Recife, PE. For this, we used two images of satellite Landsat 5 TM, for the years 1989 and 2010 and went and applied the algorithm SEBAL for leaf area index and surface temperature. The results show that over the years there has been removal of the vegetation cover and the consequent increase of the temperature, however in some cases this does not occur due to environmental factors at the time of passage of the satellite.

Palavras-chave: Remote Sensing, surface temperature, leaf área índex, heat island, Sensoriamento Remoto, Temperatura do Solo, Índice de Área Foliar, Ilha de Calor.

1. Introdução

Quando se pensa em metrópoles e sua relação com a natureza, o primeiro ponto que nos vem à cabeça é o fato que, atualmente, está sendo um dos maiores problemas dessa geração. Nessa interação entre o meio ambiente e a sociedade, a degradação ambiental é tida como uma consequência do aumento das cidades e, conseqüentemente, das condições de vida que vieram mudando com a evolução contemporânea.

Com o aumento da urbanização em certas áreas, gerou além de uma melhoria na vida de boa parte da população, o aumento da renda dessas regiões, contudo vale lembrar que essa melhoria coletiva também provocou impactos negativos. De tanto pontos que contribuíram para essa expansão urbana, vale salientar como os mais importantes: o aumento da frota de veículos para uma maior mobilidade nas metrópoles, a degradação ambiental em prol do crescimento urbano e a impermeabilização do solo que fora substituído por asfalto, e acabaram por transformar essas regiões em verdadeiros ‘caldeirões quentes’.

Nesse contexto, surge a definição de “ilhas de calor”. Segundo Moreira e Galvêncio (2009), o fenômeno da ilha de calor pode ser definido como uma anomalia térmica onde a temperatura da superfície do ar urbano é mais elevada do que as áreas circunvizinhas. A ilha de calor pode acontecer em diferentes escalas, tanto em localizações dentro da própria cidade (escala local) quanto na diferença da temperatura entre a área urbana e rural (escala regional). A ilha de calor pode de maneira geral ser controlada por diversos elementos, destacando-se a localização da cidade (corpos hídricos, natureza do solo, vegetação, uso do solo, arquitetura, os materiais de construção e fontes antropogênicas), localização geográfica, topografia, climatologia urbana, sazonalidade e condições sinóticas de tempo (Oke, 1982).

Um exemplo claro dessas mudanças pela intensa construção e mudança do meio natural para o artificial (a retirada das áreas com vegetação para se construir, gerando os fenômenos antropológicos) é o caso da Avenida conde da Boa Vista, no centro do Recife, onde a temperatura aumentou tanto nas últimas décadas que está escoando para suas ruas periféricas e trazendo um calor intenso para a região. Segundo Ayoade (1998), o maior impacto

ocasionado pelo homem sobre o clima é nas áreas urbanizadas, como no caso da região metropolitana do estado pernambucano.

Com base nas informações anteriores, desde a década de 70 vem surgindo metodologias alternativas para os estudos ambientais, dentre elas, o sensoriamento remoto, que consiste na utilização de imagens de satélite para acompanhar em larga escala determinado local. Os dados de sensoriamento remoto orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície terrestre através de satélites e seus sensores, e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, entre outros (Novo,1988; Crósta, 1993). De acordo com Jensen (2009) Sensoriamento Remoto consiste no registro da informação de uma determinada região, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem. O sensoriamento remoto tem sido utilizado em áreas urbanas para avaliar o fenômeno de “Ilha de Calor Urbano”, para realizar classificação de uso de solo e também para fornecer dados de entrada para modelos de trocas atmosféricas e de superfície urbana (Voogt & Oke, 2003). O sensoriamento remoto termal tem a vantagem de proporcionar em tempo-sincronizado uma densa rede de dados de temperatura para toda uma cidade e ou para uma área distinta da mesma (Nichol, 1996).

Com os dados obtidos através do sensoriamento remoto e a aplicação de alguns algoritmos, como o SEBAL (Surface energy Algorithm for Land)

Com isso, o objetivo deste trabalho é identificar áreas de maior desconforto térmico no bairro da Boa Vista, centro do Recife, através do Índice de Área Foliar (IAF) e a temperatura da superfície.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização e localização da área em estudo

O bairro da Boa vista está localizado no centro da cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco (Figura 1). É um importante centro de comércio e lazer para a região.

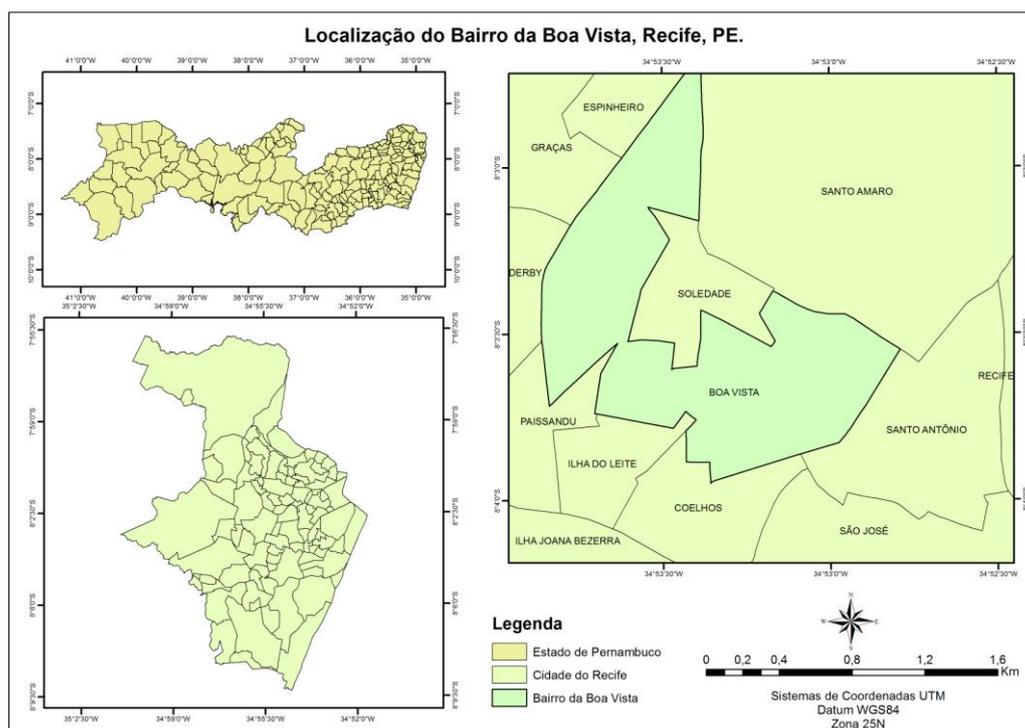


Figura 1 – Mapa de Localização do Bairro da Boa Vista-PE.

2.2 Aquisição dos dados e processamento das imagens

Foram utilizadas imagens de satélite da órbita e ponto 214/66, com passagem nos dias 28 de setembro de 1989 e 06 de setembro de 2010 do mapeador temático (TM) do satélite Landsat5, adquiridas gratuitamente através do catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As imagens foram escolhidas por conter pouca ou nenhuma nuvem. Após a aquisição das imagens elas foram registradas e ortorretificadas tendo como base a imagem adquirida através do site Landsat.org. Para os demais processos, foi utilizada parte das equações que compõem o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), tendo sido inseridas na ferramenta Model Maker do software ERDAS Imagine 9.1. A classificação e montagem final dos layouts serão realizados no ArcGIS 9.3

Para o cômputo da temperatura da superfície, são necessários os seguintes processos:

Calibração radiométrica – A calibração radiométrica ou radiância (Eq. 1) é, segundo Jansen (2009) a medida radiométrica mais precisa em sensoriamento remoto, e consiste na intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica. Também pode ser considerada como o valor da energia solar refletida por cada pixel da imagem. É obtida pela seguinte fórmula proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (entre 0 e 255) e i corresponde as bandas (1 a 7) do satélite Landsat 5.

Reflectância - A reflectância de cada banda é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente. (Allen et al., 2002) (Eq. 2). A reflectância é obtida pela seguinte equação:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_i} \quad (2)$$

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_i é o quadrado da razão entre as distâncias média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano.

NDVI – O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Eq. 3) é um índice de vegetação muito utilizado no Sensoriamento Remoto, através dele podemos avaliar as mudanças que ocorrem na cobertura vegetal. Segundo Jansen (2009), é importante porque sua aplicação permite observar as variações sazonais e interanuais da vegetação, contribuindo para o seu monitoramento. O NDVI pode ser obtido através da seguinte fórmula.

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (3)$$

Onde, ρ_{iv} é a reflectância no infravermelho próximo (banda 4) e o ρ_v é a reflectância no vermelho (banda 3). Através da imagem de NDVI foi realizada uma classificação multiespectral supervisionada, que classificou a região em áreas com vegetação, solo exposto e corpos hídricos (Chagas et al, 2010).

SAVI- Heube (1988) propôs um índice de vegetação ajustado por solo introduzindo um fator no NDVI para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do NDVI dentro de -1 a +1 (Eq. 7). Esse índice é calculado pela equação:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{iv}-\rho_v)}{(L+\rho_{iv}+\rho_v)} \quad (7)$$

Onde ρ_{iv} e ρ_v corresponde respectivamente as bandas do infravermelho próximo e do vermelho e L é constante, tendo como valor mais usado 0,5.

IAF - O Índice de Área Foliar (IAF) (Eq.8), é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação pela unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem, sendo desenvolvido por Allen et al. (2002).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69-SAIV}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

Albedo Planetário - O albedo planetário não corrigido (Eq. 4) é obtido através da soma das reflectâncias monocromáticas, sendo:

$$\alpha_{toa} = 0,254_{\rho_1} + 0,149_{\rho_2} + 0,147_{\rho_3} + 0,311_{\rho_4} + 0,103_{\rho_5} + 0,036_{\rho_7} \quad (4)$$

Onde de ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são os albedos planetários das respectivas bandas, segundo (Tasumi, 2008).

Transmissividade Atmosférica - Em condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen et al., 2002) (Eq. 5):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (5)$$

Onde Z corresponde a altitude de cada pixel (m). Devido à área apresentar uma grande variação de altitude se fez necessário à utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDT) da área.

Albedo de Superfície - No SEBAL – *Surface Energy Balance algorithm for Land*, o albedo da superfície r_0 ou albedo corrigido devido aos efeitos atmosféricos, foi obtido através da expressão (Bastianssen, 1995; Morse et al., 2000; Allen et al., 2002), aplicável a dias de céu claro, (Eq. 6).

$$r_0 = \frac{r_p - a'}{b'} \quad (6)$$

Em que a' representa o albedo da atmosfera e b' corresponde ao quadrado da transmissividade atmosférica.

Para a obtenção da temperatura da superfície, são necessários os seguintes processos:

Emissividades - Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, surge a necessidade de se introduzir a emissividade de cada pixel (ϵ_{NB}) no domínio espectral da banda termal do TM – Landsat 5 (10,4 a 12,5 μm) (Eq. 9); por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, deve-se considerar a

emissividade de banda larga (ϵ_0) (Eq. 10). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ϵ_0 e ϵ_{NB} podem ser obtidas para $IVDN > 0$ e $IAF < 3$ com base nas seguintes equações:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (9)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF \quad (10)$$

Temperatura da superfície - A temperatura da superfície (T_s), em graus Kelvin, foi determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e ϵ_{NB} através da seguinte expressão (Morse et al., 2000; Allen et al., 2002; Silva et al., 2005): em que K_1 e K_2 são constantes iguais a 607,76 W m² sr⁻¹ μ m⁻¹ e 1260,56 K, respectivamente.

$$T_s = \frac{K_2}{1n\left(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{L_{1,6}} + 1\right)} \quad (11)$$

Em que K_1 e K_2 são constantes iguais a 607,76 W m² sr⁻¹ μ m⁻¹ e 1260,56 K, respectivamente.

3. Resultados e discussão

Observando a imagem abaixo (Figura 2) vemos que para os dois anos em estudo prevalece a coloração mais escura, devido, principalmente, ao rio Capibaribe localizado à direita do mapa, visto que o IAF não é sensível na presença de água. Esses valores foram inferiores a 0,122 Nas demais áreas, nota-se que a presença de valores mais altos diminui ao longo dos anos, e quando comparada essas áreas com o mapa de temperatura (Figura 3), vemos nitidamente que essas áreas “verdes” apresentam menor temperatura do solo, simbolizando uma área de frescor com a presença de vegetação, fato correlacionado com as áreas de lazer da região, como parques e praças. No centro de cada mapa, é visto uma linha da coloração mais escura, essa área se refere a Avenida Conde da Boa Vista e seus arredores, principal eixo de ligação das zonas leste-oeste da cidade, onde existe a circulação de dezenas de linhas de transporte coletivo e automóveis, além da maior concentração de comércio e ambientes concretados, o que aumenta consideravelmente a temperatura e a sensação térmica. É estimado que cerca de 400 mil pessoas e cerca de 9.700 veículos circulem por essa avenida todos os dias (segundo dados da Prefeitura Municipal do Recife), além do histórico de degradação que envolve seu início – quando o mangue ali localizado fora aterrado para que houvesse a construção da Rua Formosa (1870), que posteriormente veio a se tornar a Conde da Boa Vista – só remete à intensa mudança pela qual o ambiente já passou e ainda passa. Como visto no mapa de temperatura, a mesma pode ter amplitude de 4°C em áreas com menos de 1km de distância. Através da figura 3, também fica claro a oscilação da temperatura nessa área, variando em 6°C e que no ano de 2010, quando comparado com 1989, existem mais áreas de pico de temperatura, ultrapassando os 30°C e IAF de menor valor.

No caso do Recife, nota-se uma elevada expansão desses ambientes construídos, ao mesmo tempo que se diminuem as áreas verdes (chamadas também de áreas de amenidade), que serviam como contraponto para regularizar a temperatura nesses locais. Agora, sem muitas dessas pequenas zonas, as áreas mais quentes tornam-se ainda piores, gerando o que se chamam de ‘ilhas de calor’. Ao verificar o caso do bairro da Boa Vista, é visto que o parque treze de maio traz algum benefício por ser uma área de amenidade e grande presença de vegetação saudável, assim como o corredor vertical que se forma com a avenida e faz o vento escoar rumo ao Rio Capibaribe. Contudo, esse mesmo corredor faz com que o vento só corra

para uma única direção e assim faz com que as zonas periféricas dessa avenida - cheia de casas e construções maiores – sofram com um aumento gradativo de calor. É nessas áreas onde estão localizados os maiores índices de temperatura dessa avenida, chegando a se medir uma diferenciação de cerca de 13°C durante o dia. É nessas partes edificadas, que não possuem telhados verdes e nem vegetação que diminua essa sensação térmica, onde se aumentam a temperatura dos elementos que possuem uma maior capacidade de absorção térmica (como o metal dos automóveis e o concreto das construções) e que acabam por contribuir com o aumento da temperatura, gerando uma sensação térmica maior (Moreira e Galvêncio, 2007).

É visto que ilhas de calor são um problema de difícil solução, já que o progresso não pode parar. Então, o que se fazer para amenizá-las, se é que isso é possível. No caso do bairro da Boa Vista, os edifícios altos e a pouca circulação dos ventos atuam como um fator forte a favor desse aquecimento, mas vale salientar que assim como ocorre no pina e até no próprio Treze de Maio, as zonas de amenização diminuem a alta temperatura da região, podendo ser um bom ponto a ser estudado futuramente para que haja um trabalho contra esse aumento gradativo de calor e que afeta grande parte da população.

Então, se as ilhas de calor são resultado da elevação da temperatura média na zona urbana (áreas centrais), ocorrendo pela diferença de irradiação de calor entre as regiões edificadas, regiões onde há cobertura vegetal e há esse contraste de temperatura, regiões com alta concentração de poluentes, e zonas centrais das cidades. Essa substituição da paisagem natural (leia-se arborizada) por concreto, como vemos no caso da Conde da Boa vista, maior é a alteração nos processos de absorção, transmissão e reflexão de calor para a atmosfera. Isso em comparação com as zonas onde há essa cobertura vegetal.

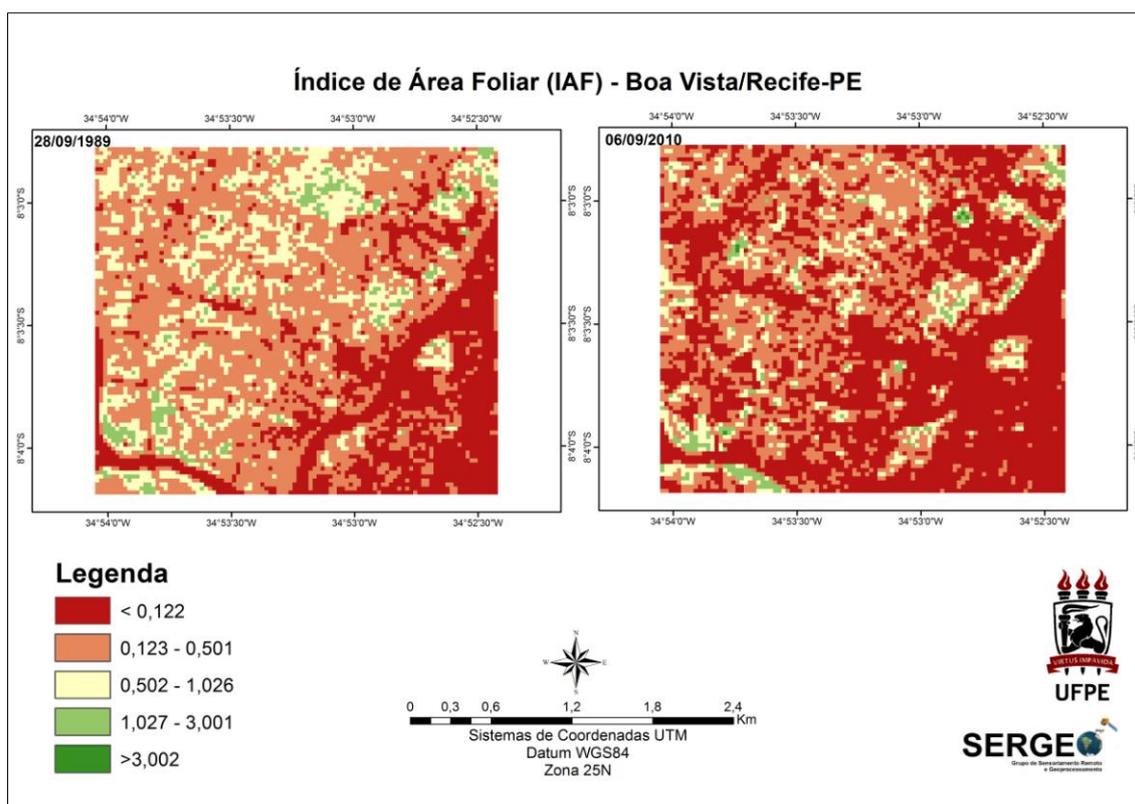


Figura 2 – Mapa do IAF para a área em estudo.

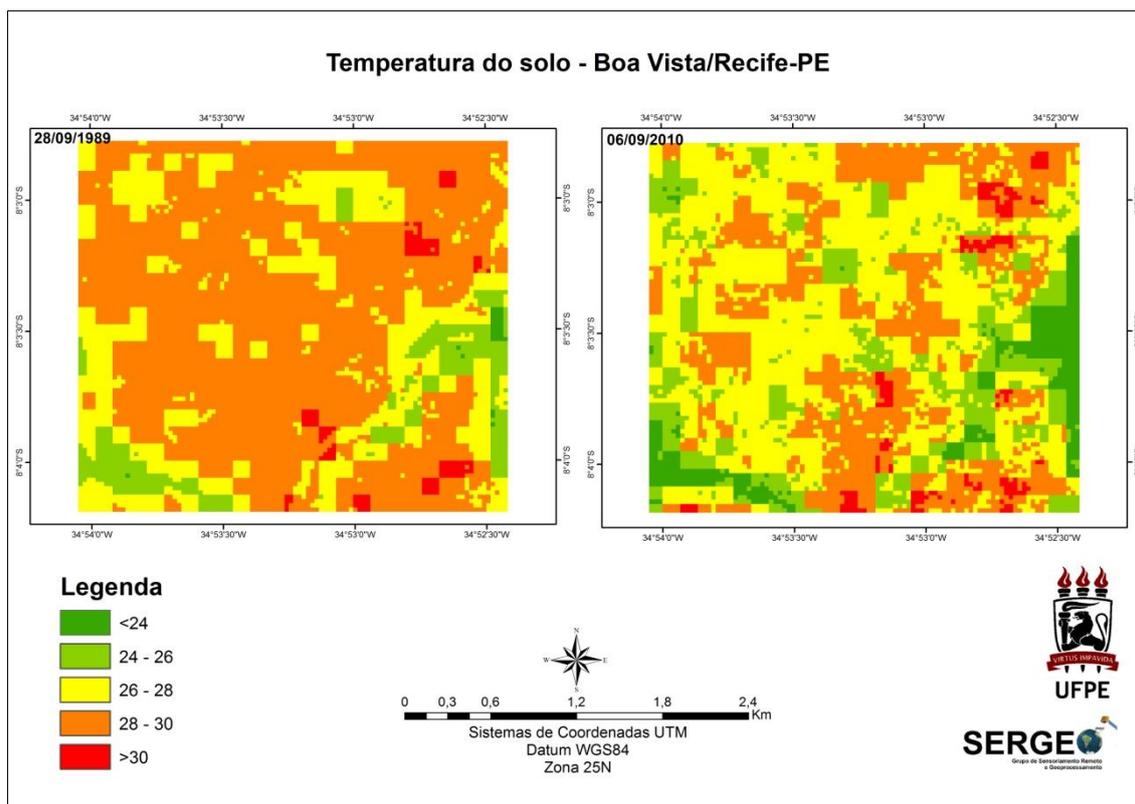


Figura 3 – Mapa de temperatura do solo para a área em estudo.

4. Conclusões

Através deste trabalho, nota-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta de extrema importância para os estudos ambientais nas grandes cidades. Foi notado que a região possui grande amplitude térmica, fator que causa grande desconforto na população e que caracteriza as ilhas de calor. O índice de área foliar e a temperatura da superfície apresenta boa correlação para o objetivo deste estudo. Foi possível associar áreas de retirada da vegetação com áreas de aumento de temperatura, bem como, associar áreas de frescor (temperaturas menores) com áreas vegetadas.

5. Referências Bibliográficas

5.1 Artigos em periódicos

Allen, R. G., Trezza, R. & Tasumi M. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual, version 1.0, pp.98, 2002.

Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Wageningen, The Netherlands: WAU, 1995. 273p. Ph.D Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1995.

Huete, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**. v. 4, n. 4, p. 367-376, 1988.

Markham, B. L. & Barker, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

Moreira, E. B. M.; Galvêncio, J. D. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat - 7. **Revista de Geografia UFPE/DCE**, v.20, n 3, p. 77-89, 2007.

Nichol, J.E., High-Resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. **Journal of Applied Meteorology**. V35, 135-146, 1996.

Silva, B.B. da, Lopes, G.M., Azevedo, P.V. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 –TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.13, p.51-63, 2008.

Voogt, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, n.86, 2003, p.370-384.

5.2 Livro

Ayoade, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand. Brasil, 1998. 332 p.

Crósta, A. P. (1993). **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. ver. Campinas: UNICAMP/IG. 164p.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspect.

Morse, A., Allen, R. G., Tasumi, M., Kramber, W. J., Trezza, R., Wright, J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive use of Water Through Remote Sensing**. Final Report, 220p. 2000.

Novo, E. M. L. M. (1988). **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blüncher. 308p

Oke, T. R.1982. **The Energetic basis of the Urban Heat Island**. Q. J. R. Meteorol. Soc. 108: 1-23.

5.3 Eventos

Moreira, E. B. M.; Galvêncio, J. D. **Análise multitemporal da ilha de calor urbana na cidade do Recife, através de imagens do Landsat TM-5**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.1441-1448.