

---

# ANÁLISE ESPACO-TEMPORAL DA ESTRUTURA TÉRMICA DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE – PB EM RELAÇÃO AO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO.

FELIPE FERREIRA MONTEIRO 1

LIDIANE CRITINA FÉLIX GOMES 2

1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

2 Universidade Federal do Ceara

felipefmonteiro@gmail.com, lidiane.geo@gmail.com.

---

**RESUMO** - O objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica da temperatura da superfície continental e o uso do solo, através de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento, para os anos 1984, 1995 e 2007 da área urbana do município de Campina Grande - PB. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5-TM e as informações extraídas pelo algoritmo SEBAL. Os resultados indicaram que a expansão do espaço urbano associada a impermeabilização e os materiais aplicados contribuíram para um aumento significativo da mancha térmica e das temperaturas ao longo dos anos, onde a ausência de vegetação na área urbana intensificam as temperaturas. A aplicação de dados orbitais se mostrou ideal, para os estudos urbanos e da dinâmica da temperatura, uma vez que é possível capturar os dados em diferentes datas.

**ABSTRACT** - The aim of this study was to evaluate the dynamics of land surface temperature and land use through satellite imagery and GIS techniques for the years 1984, 1995 and 2007 the urban area of the city of Campina Grande - PB. Satellite images Landsat-5 TM and the information extracted by the SEBAL algorithm were used. Results showed that the expansion of urban space and the associated sealing materials applied contributed to a significant increase in thermal spot and temperatures over the years, where the absence of vegetation in urban areas intensify temperatures. The application of satellite data proved ideal for urban and dynamic temperature studies, since it is possible to capture data at different dates.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano das cidades vem propiciando um ambiente de incertezas visto a falta de preocupação com o bem estar da população. A mudança brusca da cobertura do solo, normalmente substituindo um ambiente natural por edificações e pavimentos asfálticos., tem como consequência principal o aumento significativo da temperatura da superfície (Ts), levando a uma condição microclimática que é substancialmente mais quente do que as áreas circundantes não urbanizadas (Oke, 1973; Voogt e Oke, 2007; Gartland, 2010; Menberg et al., 2013). De acordo com Koenigsberger et al. (1980) nessas áreas a temperatura do ar pode ser acrescida de até 8 °C e a umidade relativa do ar reduzida de 5 a 10% devido a pavimentação que propicia rápida evaporação da água e ausência de vegetação.

De acordo com OKE (1978), o ar na camada urbana é usualmente mais quente que em áreas vizinhas vegetadas. Confirmando suas observações, GARTLAND (2010) afirma que as ilhas de calor são áreas onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que as áreas suburbanas vegetadas circunvizinhas.

A Ts é de primordial importância para o estudo da climatologia urbana, pois a mesma modula a temperatura do ar das camadas inferiores da atmosfera urbana, o balanço de energia à superfície e afeta as trocas de energia que interferem no conforto dos moradores das cidades (Voogt e Oke, 2007).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta importante na detecção de ICU (Yuan e Bauer, 2007; Essa *et al.*, 2012; Pichieri *et al.*, 2012; Clinton e Gong, 2013), pois e através da banda termal de alguns satélites permite a obtenção de produtos, como a temperatura da superfície. Outros produtos derivados de imagens orbitais permitem acompanhar as mudanças ocorridas durante os anos nas cidades, como é o caso da escassez de áreas verdes, áreas impermeabilizadas, dentre outras variáveis que podem interferir no clima urbano.

Diante da importância do acompanhamento das transformações no espaço urbano e suas implicações, este estudo objetivou verificar indicativos de formação de ilhas de calor urbano em Campina Grande - PB, conforme sua cobertura

do solo, nos anos 1984, 1995 e 2007, a partir de técnicas de sensoriamento remoto com auxílio do SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Land, com intuito de verificar possíveis alterações na temperatura da superfície derivadas do processo de urbanização.

## 2 Materiais e Métodos

A área de estudo compreende o município de Campina Grande (Figura 1), inserido na Unidade Geoambiental do Planalto da Borborema. Possui conforme IBGE (2010) uma área territorial de 584,182 (Km<sup>2</sup>), população de 385.231 e densidade demográfica 648,31 (hab/Km<sup>2</sup>).

Conforme classificação de Köppen, o clima do município se enquadra no tipo As', quente e úmido com chuva de outono, com período de estiagem de 5 a 6 meses (RIBEIRO *et al.*, 2007).

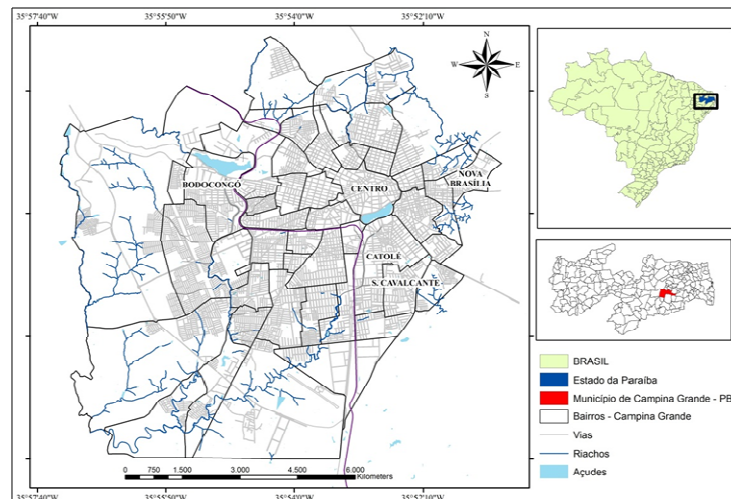


Figura 1 – Mapa de Localização do Município de Campina Grande, na Paraíba

O trabalho foi dividido em duas etapas, a primeira consistiu na confecção dos mapas de uso e ocupação do solo, no qual foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 TM, na órbita 214, ponto 65, nos anos de 1984, 1995 e 2007. A composição escolhida foi a 345RGB e o software utilizado foi o Spring 4.3.

Foi realizada uma classificação supervisionada utilizando o computador Maxver, onde a partir da análise visual das imagens foram definidas 6 classes para o estudo: Área urbana, Água, Solo exposto, Vegetação, Nuvem e Sombra de Nuvem. Com essa definição foram coletadas amostras para cada classe, as amostras passaram por um processo de análise estatística, executada pelo próprio software, para verificar a precisão das amostras coletadas. Após essa etapa o processo, consistiu na classificação propriamente dita, onde se tem como saída à imagem classificada, que depois passou por uma pós-classificação, que refinou os resultados encontrados na imagem da classificação e ao final o mapeamento de classes, que transforma a imagem final em categoria temática, permitindo extrair da imagem classificada a mensuração de cada classe identificada na imagem.

Para a análise climática desse estudo também foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5 TM, nos anos de 1984, 1995 e 2007 e a manipulação das imagens foi realizada no *software* Erdas com a aplicação do algoritmo SEBAL – *Surface Energy Balance Algorithms for Land*, que é um modelo utilizado para determinação do balanço completo da radiação e da energia da superfície da Terra. Ele é alimentado com imagens de satélite e dados de superfície.

### 1.2 Aplicação do Algoritmo SEBAL

De acordo com Rosa (2007), radiância é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície, por unidade de área. O cálculo da radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda_i}$ ) foi feito usando a equação proposta por Markham & Baker (1987), sendo a efetivação da calibração radiométrica e o número digital ( $ND$ ), de cada pixel da imagem, convertidos em radiância espectral monocromática.

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

Sendo:  $a_i$  e  $b_i$  as radiâncias espectrais mínimas e máximas, respectivamente, em  $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ,

$ND_{\underline{=}}$  é a intensidade do pixel (número digital, de 0 a 255);  $i$  corresponde as bandas de 1 a 7 do satélite Landsat 5 - TM.

A reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ) é razão entre o fluxo radiante refletido por uma superfície e o incidente. O cálculo foi feito usando a equação proposta por Allen et al. (2002).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Sendo:  $L_{\lambda_i}$  a radiância espectral de cada banda dada em  $Wsr^{-1}m^{-2}$ ;

$k_{\lambda_i}$  a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ),

$Z$  o ângulo zenital solar em radianos;

$d_r$  o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ), calculado pela equação citada por Iqbal (1983):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Em que o argumento da função cosseno é medido em radianos. O valor médio anual de  $d_r$  varia entre 0,97 e 1,03. O DSA corresponde ao dia sequencial do ano, também conhecido como dia Juliano.

$$\cos [Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right)] \quad (4)$$

Em área com declividade muito pequena ou nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol ( $E$ ), que se encontra no cabeçalho da imagem no momento da aquisição, através da Fórmula 4.

O Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI, ou seja, o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, para seu cálculo foi usada a Equação 5 (Huete, 1988), e pode ser calculado por:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

No qual  $L=0,5$  é o fator de ajuste do solo.

O índice de área foliar (IAF) foi calculado por expressão empírica proposta por Allen et al. (2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

Ainda obtendo índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN ou NDVI (Normalized Diference Vegetation Index), de acordo com PONZONI & SHIMABUKURO, (2009) vem sendo amplamente utilizado e explorado em diferentes abordagens em estudos agrícolas, florestais e climáticos. No qual é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), pela soma das mesmas, como mostra a fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (7)$$

Para a obtenção da temperatura da superfície, é necessário a obtenção da emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal do Landsat 5 TM, o  $\epsilon_{NB}$ , que pode ser obtida pela expressão introduzida por Allen et al (2002).

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

A emissividade poderá ser obtida para  $NDVI > 0$  e  $IAF < 3$ , porém para casos com o  $IAF \geq 3$ , o  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$  e para corpos de água,  $NDVI < 0$ ,  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ , recomendado por Allen et al. (2002).

Para a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ), em Kelvins, são utilizados a radiância espectral da banda termal  $T_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$ . Dessa forma, determina-se a temperatura da superfície ( $T_s$ ) pela equação de Markham e Barker (1987):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (10)$$

Em que  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 – TM. (SILVA et al, 2006).

## 1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de uso e ocupação do solo foram confeccionados com utilizando seis classes temáticas: Vegetação, água, área urbana, solo exposto, nuvem e sombra de nuvem. Para caracterizar a ocupação do solo na área urbana de Campina Grande.

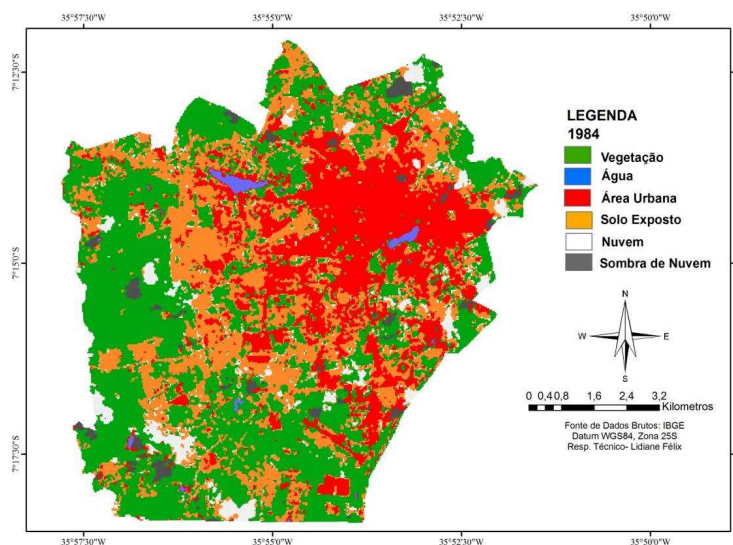


Figura 3. Mapa temático do uso e ocupação do solo da cidade de Campina Grande-PB, em 10.06.1984.

Podemos observar na Figura 3 que no ano de 1984 já iniciava um processo de expansão da cidade, com maior concentração na região correspondente ao centro da cidade. As regiões vegetadas estão concentradas com maior intensidade na área noroeste e sudoeste da Figura 3 e o solo exposto na região central.

No ano de 1995 pode ser verificado na Figura 4, houve uma redução da classe solo exposto e um aumento nas áreas de vegetação e área de expansão urbana, caracterizando o crescimento da cidade. Os corpos hídricos tiveram alteração, com uma redução de 17 ha, na área total, O que pode caracterizar uma invasão das regiões de margens dos corpos d'água.

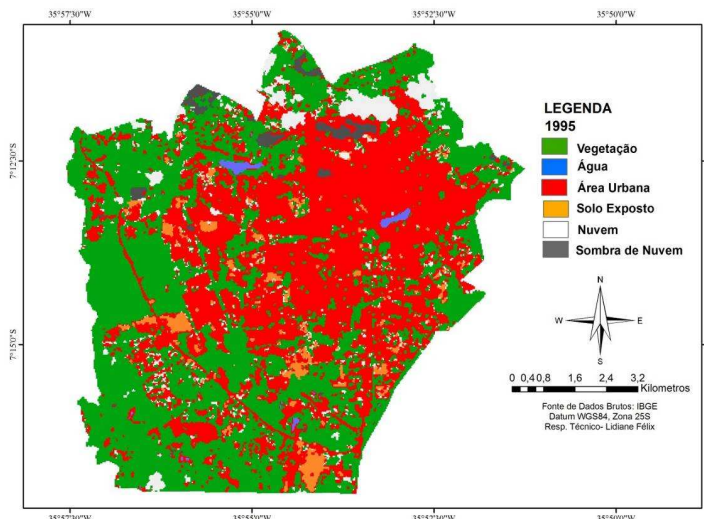


Figura 4. Mapa temático do uso e ocupação do solo da cidade de Campina Grande-PB, em 11.07.1995.

Para o ano 2007 a expansão urbana foi a maior no período, ocupando grande parte do atual perímetro urbano, a Classe vegetação, deu espaço para novas áreas edificadas e áreas de solo exposto, na região sudoeste (Figura 4) indicam regiões de uso agrícola.

A classe água, que havia reduzido sua área total entre os anos de 1984 a 1995, no ano 2007 aumentou em 8 hectares.

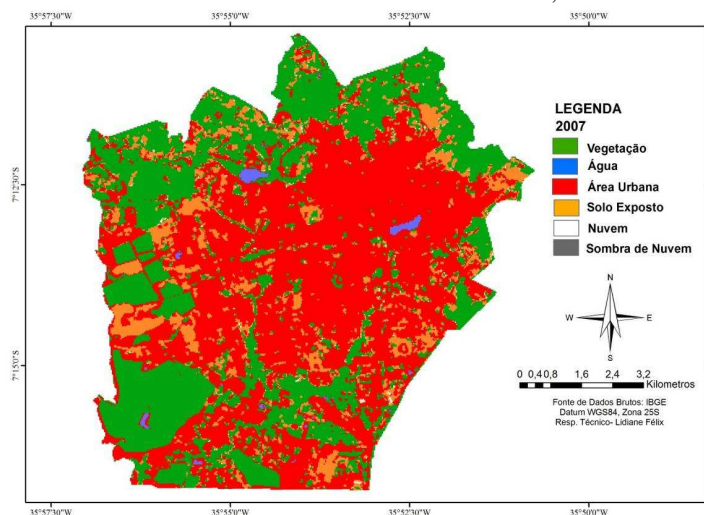


Figura 5. Mapa temático do uso e ocupação do solo da cidade de Campina Grande-PB, em 29.08.2007.

A fim de confirmar a análise visual espaço temporal do município de Campina Grande \_ PB, foram extraídos valores em Hectares, (Tabela 1). A coluna denominada Diferença 1, refere-se às mudanças ocorridas no município de Campina Grande entre os anos 1984 e 1995, no qual foi constatado um aumento nas classes de área urbana e vegetação e uma diminuição nas classes de solo exposto e água. Essa dinâmica é característica da expansão urbana, com ocupação de novas áreas e supressão da vegetação, com isso pode levar a aumentos de temperaturas com alterações do microclima local, devido às transformações urbanas.

Tabela 1. Valores extraídos das imagens de uso e ocupação do solo.

C. Temática (Ha)	1984	1995	2007	Dif. 1 (1995- 1984)	Dif. 2 (2007- 1995)
Área Urbana	2109,42	3874,50	4697,28	1765,08	822,78
Solo Exposto	2521,17	239,49	1114,74	-2281,68	875,25
Vegetação	3797,01	4314,24	3246,48	517,23	-1067,76
Água	57,87	40,32	48,24	-17,55	7,92

A coluna denominada Diferença 2 (Tabela 1), refere-se quantitativamente as mudanças nas classes temáticas entre os anos de 1995 a 2007, permitindo avaliar a completa transformação do uso do solo da região entre os anos analisados. Como esperado a classe urbana teve um crescimento na sua área total ocupada, bem como a classe solo exposto, refletindo o crescimento da cidade e das áreas ocupadas. A classe vegetação, de forma preocupante apresentou uma redução no total de área ocupado, podendo esta relacionado com o crescimento da mancha urbana.

As classes temáticas nuvem e sombra de nuvem serviram apenas para quantificar as áreas com perda de informações. As Figuras 6, 7 e 8 apresentam a temperatura da superfície entre os anos de 1984, 1995 e 2007. Com a legenda padronizada entre as cores e as temperaturas, podemos observar uma variação entre 14 e 38°C entre as 3 décadas avaliadas.

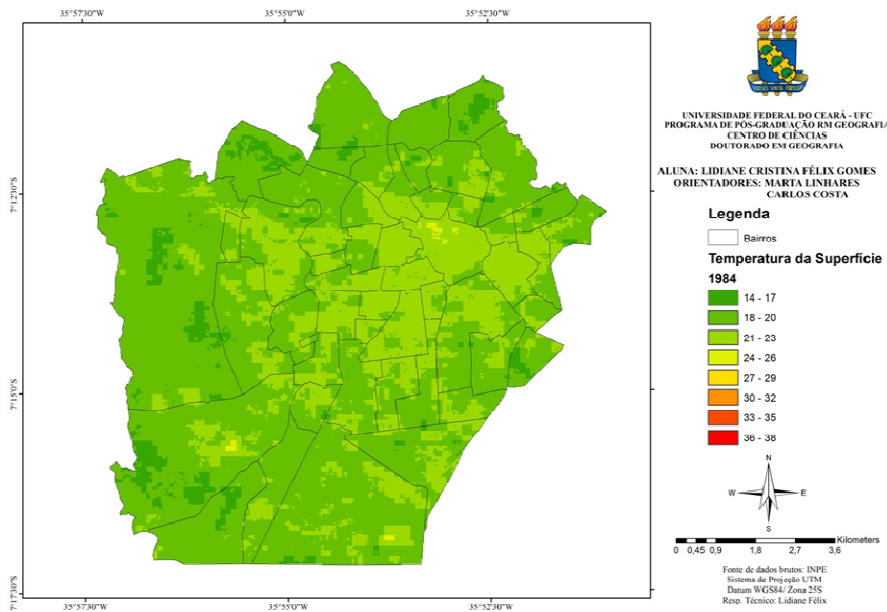


Figura 6. Mapa temático da temperatura da superfície da cidade de Campina Grande-PB, em 10.06.1984.

No ano de 1984 a temperatura da superfície (Figura 6) apresentou uma variação entre 14 a 26 graus, sendo a área urbana, região mais central da cidade e região nordeste que possuía as áreas mais aquecidas, com temperatura variando entre 21 a 26°C. As regiões mais frias concentram-se em áreas de agricultura e podem ser percebidas entre as bordas da imagem, com temperaturas entre 14 a 20°C.

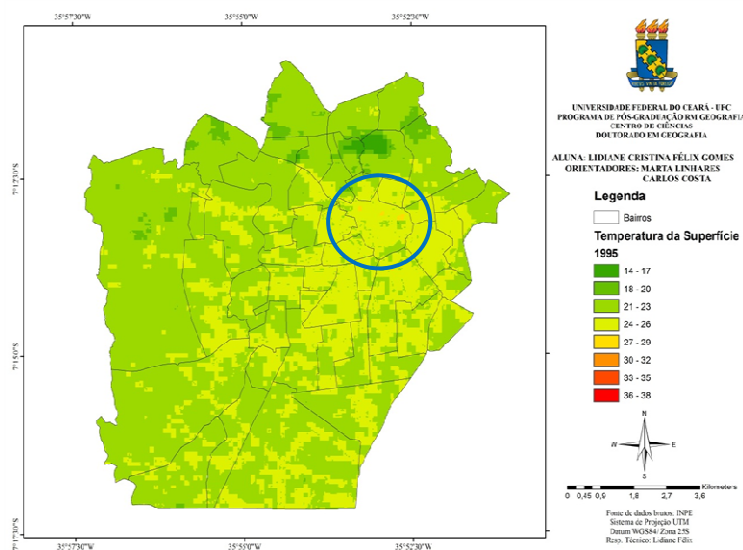


Figura 7. Mapa temático da temperatura da superfície da cidade de Campina Grande-PB, em 11.07.1995.

Já ano de 1995 pode ser observado que as transformações ocorridas durante a expansão urbana (Figura 3 e 4) alterou significativamente a temperatura da superfície, conforme Figura 7, com temperatura máxima de 29°C na região central da área de estudo, sendo maior concentração entre 21 a 26°C. Porém no mapa está destacado com um círculo o bairro Centro, começa suavemente a apresentar indicativos suaves de ilhas de calor. Também pode ser observado que houve uma redução das áreas com temperaturas entre 14 e 17°C. Na região norte do mapa as menores temperaturas são atribuídas à presença de nuvens, conforme visualizado na Figura 4.

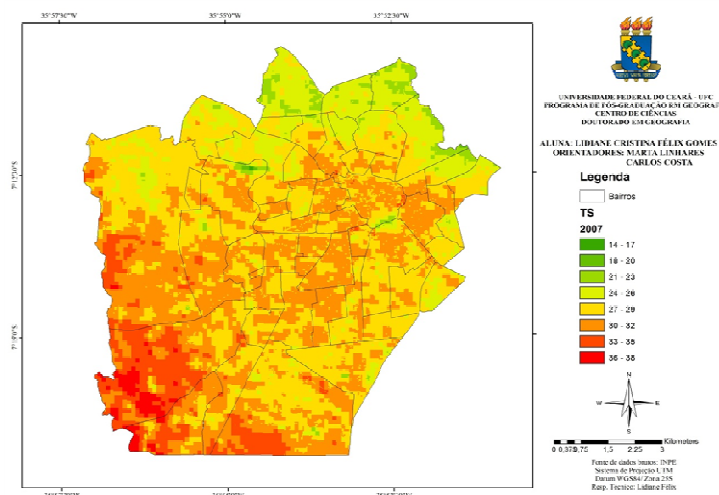


Figura 8. Mapa temático da temperatura da superfície da cidade de Campina Grande-PB, em 29.08.2007.

Na Figura 8, a temperatura da superfície apresenta temperaturas mais elevadas, com a região sudoeste marcada pela presença de solo exposto, vegetação rasteira e área urbana (Figura 5). Na região central da imagem os valores entre 18 a 20°C são atribuídos aos dois açudes, Novo e Bodocongó. Os valores entre 21 e 23°C são atribuídos à presença de vegetação densa. Vegetação de pequeno porte, vegetação rasteira, alguns tipos de edificações e solo exposto apresentam distribuídas entre o intervalo de 27 a 29°C. As demais áreas encontram-se distribuídas entre os intervalos entre 30 a 38°C, no qual está concentrada a maior parte da mancha urbana.

### Considerações Finais

Através das técnicas de Sensoriamento Remoto foi possível conhecer a dinâmica da temperatura da superfície ao longo dos anos, que é de fundamental importância para a gestão do espaço urbano, visto que essas alterações podem acarretar mudanças no microclima local.

Durante as 3 décadas observadas foi detectado uma grande expansão urbana (2587,86 ha) em Campina Grande –PB, no qual gradativamente foram modificando também o seu campo térmico e que já apresentam indícios de formação de ilhas de calor já no ano de 1995, no bairro Centro, um dos mais antigos na área urbana da cidade, e que já apresentou no ano de 2007 um aumento brusco em seu campo térmico.

Os resultados indicaram que a expansão do espaço urbano contribuiu para um aumento acentuado nas temperaturas ao longo dos anos, e que as áreas com temperaturas mais amenas foram derivadas da presença da vegetação e dos corpos hídricos presentes. Nas demais áreas foram verificadas um aumento de temperatura acima de 5°C, o que indica não só um desconforto térmico para a população, como o desencadeamento de problemas de saúde.

Uma forma de mitigar as ilhas de calor e melhoria na qualidade do ar seria no âmbito do planejamento urbano, repensar os espaços vazios dentro da cidade e quais ruas apresentam dimensões que possibilitem a inserção dos canteiros centrais, calçadas frias, teto jardim, controle dos materiais e tipos de pavimentos, como também viabilizar a construção de edifícios para que as novas edificações sejam mais compactas, mais altas e que tenham certo espaçamento entre elas, para que a sombra dos prédios e a ventilação das correntes de ar suavizem as temperaturas.

O uso de dados orbitais dá a compreensão espaço-temporal de uma determinada região, mas não isenta a possibilidade de se trabalhar com coleta de dados in situ, deste modo sugere-se em trabalhos futuros sejam utilizados dados de superfície para a comparação e complemento do estudo em questão.

### Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R. **Metric- Mapping evapotranspiration at high resolution and using internalized calibration. Advanced Training and Users Manual.** Version 1.0. 2002.

- ESSA, W.; VERBEIREN, B.; VAN DER KWAST, J.; VAN DE VOORDE, T.; BATELAAN, O. Evaluation of the DisTrad thermal sharpening methodology for urban areas. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.19, p.163-172, 2011.
- CLINTON, N.; GONG, P. MODIS detected surface urban heat island and sinks: Global locations and controls. **Remote Sensing of Environment**, v.134, p.294-304, 2013.
- GARTLAND, L. **Ilhas de Calor**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- IQBAL, M. **An introduction solar radiation**. Academic press, NY, 1983.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index – SAVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295–309, 1988.
- KOENIGSBERGER, O H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A; SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing**. 4.ed, Nova York, 1980.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517- 523, 1987.
- MENBERG, K.; BAYER, P.; ZOSSEDER, K.; RUMOHR, S.; BLUM, P. Subsurface urban heat islands in German cities. **Science of the Total Environment**, v.442, p.123-133, 2013.
- OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v.7, p.769-779, 1973.
- OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese. 2009.
- PICHERI, M.; BONAFONI, S.; BIONDI, R. Satellite air temperature estimation for monitoring the canopy layer heat island of Milan. **Remote Sensing of Environment**, v.127, p.130-138, 2012.
- Ribeiro, G.N.; Guimarães, C. L.; Teotia, H.S.; Maracajá, V.P.B.B.; Barros, D. F. Estudo dos Solos e Vegetação no Agreste Paraibano através de Tecnologias de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**. v.1,n.1, P. 46-52. 2007.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU. 2007.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V.; BRAGA, A. C.; SILVA, S. T. Obtenção do albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa. **III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. 2006.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.370-384, 2003.



YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.106, p.375-386, 2007.