

## **Análise do comportamento das condições térmicas do município de Belém (PA), por meio da combinação de dados observacionais e imagem de satélite.**

Flávio Augusto Altieri dos Santos  
Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM)  
Av. Júlio César s/n – 66820-000 – Belém – PA - Brasil  
flavio.santos@sipam.gov.br

**Abstract.** This paper aimed to assess the behavior of thermal conditions of the city of Belém (Pará State), by examining the behavior of air temperature, the average maximum and minimum, the phenomenon of urban heat islands and the process of occupation and use of soil. Data analysis of air temperature, the average maximum and minimum recorded in the meteorological station of INMET indicates a trend in the increase in air temperature from the 60s. This result was compared with multitemporal analysis of the use and occupancy of the soil and conditions of the change of surface temperatures obtained from the Landsat images, bands of visible from the thermal infrared, respectively.

In a preliminary assessment of the data, it was observed that the process of urbanization that has occurred in recent decades to the north and northeast (NE) of the center of Belém must have contributed to the changes in air temperature.

**Palavras-chave:** Urban heat islands, urban occupation, image processing, ilhas de calor urbanas, ocupação urbana, processamento de imagem.

### **1. Introdução**

Os espaços urbanizados cada vez mais sofrem com as alterações causadas a partir de intervenções provocadas pelo homem, principalmente pela falta de planejamento da ocupação urbana adequada e ausência de áreas verdes. Grande parte desse problema ocorre pela substituição das áreas verdes por casas e prédios, ruas e avenidas e uma série de outras construções, que é tanto maior quanto mais se aproxima do centro das grandes cidades, fazendo aumentar significativamente a irradiação de calor para a atmosfera em comparação com as zonas periféricas ou rurais, onde, em geral, é maior a cobertura vegetal. Além desse problema, nas áreas mais centrais da cidade, se registra também, uma maior concentração de gases e materiais particulados suspensos no ar, lançado principalmente pelos automóveis e pelas fábricas, proporcionando o aparecimento do “efeito estufa” localizado, colaborando para a formação de ilhas de calor urbanas. Este fenômeno é considerado o exemplo mais evidente de mudança climática provocada pelo homem, e que tem sido um dos temas mais abordados nos últimos anos, devido sua ocorrência em praticamente todas as cidades do mundo. Segundo LOMBARDO (1985), essas mudanças climáticas elevam a temperatura, provocando uma baixa na pressão atmosférica, gerando uma circulação local, contribuindo para a concentração da massa úmida existente no entorno e provocando anomalias na precipitação sobre estas áreas.

Desta forma, o uso e a ocupação do solo acabam se tornando elementos preponderantes na formação de diferentes microclimas no interior e ao redor dos espaços urbanos, conforme observado em diversos estudos realizados (LOMBARDO, 1985; MENDONÇA, 2003).

A cidade de Belém pela sua localização geográfica, circundada pela Baía do Guajará e pelo Rio Guamá, tem reflexos por conta do problema da ocupação urbana desordenada, influenciada principalmente pela perda dos seus últimos remanescentes de vegetação e pela impermeabilização do solo.

## 2. Objetivo

O objetivo deste estudo visa avaliar as condições térmicas do município de Belém através de análise estatística da temperatura do ar (médias das máximas e mínimas) referente a série histórica registrada pela estação meteorológica do INMET e imagens óticas e termais do satélite Landsat.

Procura-se também analisar o fenômeno de ilhas de calor urbanas decorrente do processo de uso e ocupação solo e sua influência sobre as condições térmicas da cidade de Belém, através de análise estatística da temperatura do ar (médias das máximas e mínimas) da série histórica registrada pela estação meteorológica do INMET.

## 3. Área de Estudo

A área de estudo compreende um raio de 20 km a partir da estação meteorológica do INMET, localizada a  $48^{\circ} 10' 20''$  W e  $01^{\circ} 23' 33''$  S, que abrange grande parte da área urbana de Belém e parte dos municípios de Ananindeua e Marituba (Figura 1).



Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo.

## 4. Materiais e Métodos

Para a análise do uso e ocupação do solo foram utilizadas as imagens do Landsat MSS-2 e TM-5, órbitas-ponto 240-061 de 25/06/1979 e 223-061 de 09/08/2006, respectivamente. Para a identificação das ilhas de calor foram selecionadas as órbitas-ponto de 223-061 de 27/07/1984 e 09/08/2006. A avaliação da temperatura do ar foi realizada a partir dos dados da estação meteorológica do INMET, correspondente aos períodos de 1923 a 2006 e 1923 a 1970, respectivamente.

A análise preliminar do comportamento da temperatura do ar referente à estação de Belém possibilitou identificar a existência de um ponto de flexão na curva de tendência no ano de 1961 com um registro de anormalidade negativa. Em 1979, observa-se que a curva de tendência aproxima-se da normalidade (Figura 2). Com base neste resultado, os dados foram analisados de forma separadamente para os períodos de 1953 a 1979 e de 1980 a 2006. O objetivo deste desmembramento visou avaliar o comportamento da temperatura do ar (médias das máximas e mínimas) em relação aos dados de ocupação urbana extraídas das imagens de satélite.

A escolha das cenas do Landsat para a interpretação e quantificação do uso e ocupação do solo, foi com base no critério aplicado na análise dos dados observacionais da temperatura do ar. Desta forma, foram selecionadas as datas de 25/06/1979 e de 09/08/2006 a fim de quantificar o incremento da ocupação ocorrida ao longo do período de 1953-1979 e de 1980-2006.

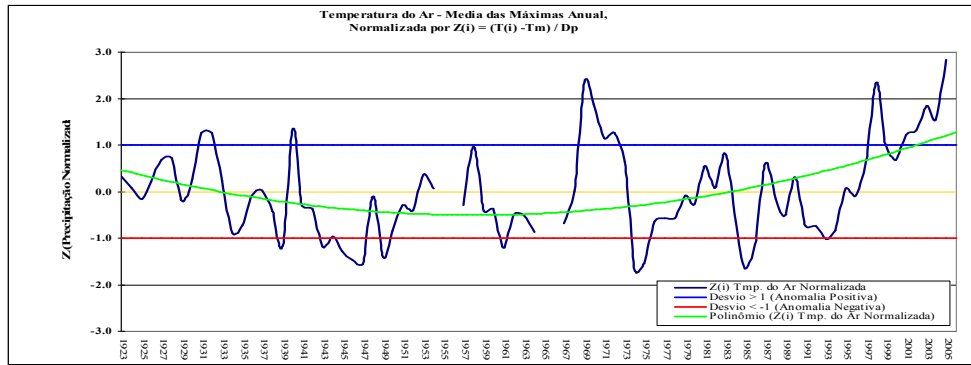


Figura 2 - Temperatura do Ar - Média das Máximas Anual, Normalizada por  $Z(i) = (T(i) - T_m) / D_p$  – 1923 a 2006.

Para a análise multitemporal das imagens foi aplicado uma correção geométrica utilizando o modelo polinomial 1º grau e o interpolador vizinho mais próximo, que teve como base as imagens Geocover, compostas de dados da série de satélites Landsat (MSS, TM e ETM+). O processamento foi feito no software ENVI. O procedimento técnico utilizado para a interpretação das cenas do satélite Landsat foi o de classificação supervisionada e aplicado o classificador Máxima Verossimilhança - *Iterated Conditional Modes* (Maxver-ICM). Ao final do processamento foi extraído 3 classes: vegetação, urbano/solo exposto e hidrografia.

O mapeamento das ilhas de calor urbanas foi determinado a partir da banda 6 do Landsat TM5, com a transformação o sinal digital infravermelho termal em radiância ( $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ), através da Equação 1.

$$L = \left\{ \left[ \frac{L_{max} - L_{min}}{NC_{max} - NC_{min}} \right] * (NC - NC_{min}) \right\} + L_{min} \quad (1)$$

Onde  $L_{max}$  e  $L_{min}$  representam os valores de máxima e mínima radiância detectados pelo sensor,  $NC_{max}$  representa o nível de cinza máximo, dada a quantização,  $NC_{min}$  representa o nível de cinza mínimo e  $NC$  representa o nível de cinza de cada *pixel* da imagem. Posteriormente, foi realizada a conversão em temperatura através do inverso da lei de Planck (Equação 2), onde  $K_1$  e  $K_2$  são constantes de calibração para a banda do infravermelho termal (10,4 – 12,5 $\mu m$ ). Todo o processamento foi realizado no software ENVI.

$$Temp(^{\circ}C) = \left\{ \frac{K_1}{\ln[K_2 / L]} + 1 \right\} - 273,15 \quad (2)$$

## 5. Resultado

### 5.1. Análise observacional da Temperatura do Ar (Máxima e Mínima)

A média anual da temperatura do ar máxima e mínima obtidas para o período de 1923 a 2006 da estação meteorológica do INMET, revela a ocorrência da média das máximas de 33,0 °C registrada no ano de 2005 e da média das mínimas de 21,1 °C relativa ao ano de 1976.

Para a análise dos dados da temperatura do ar (médias das máximas e mínimas) foram considerados dois períodos de 1953 a 1979 e de 1980 a 2006. O objetivo da análise compartimentada visou avaliar a ocorrência de alterações no comportamento da temperatura observada na estação meteorológica, e sua relação com as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo de Belém e adjacências até o ano de 1979, e posteriormente, com as alterações registradas entre os anos de 1980 a 2006.

No período de 1953 a 1979, observa-se no gráfico da Figura 3a, que nos anos de 1969 e 1975 ocorreram duas grandes anomalias, segundo Santos et al (2006), as temperaturas em

Belém nesses anos foram influenciadas pelas TSM do Atlântico Norte (AN). Entretanto, apesar da alta da temperatura da média das máximas registrada em decorrência dessas anomalias, não se identifica nenhuma tendência de aumento da temperatura média das máximas no período analisado. Já com relação à temperatura média das mínimas, fica bem evidente a existência de uma tendência de redução da mesma como observado no gráfico da Figura 3b.

No período de 1980 a 2006, ocorreram dois fortes fenômenos de El Niños, um em 1982/1983 e outro em 1997/1998, porém, no de 82/83 não foi identificado nenhuma anomalia na temperatura do ar em Belém, já o de 97/98 atuou em conjunto com o aquecimento do AN e provocou grandes valores de temperaturas máximas (SANTOS et al., 2006). Pode ser observado também que a temperatura média das máximas ao longo desse período apresenta uma forte tendência de alta como mostra o gráfico da Figura 3c.

Para a temperatura média das mínimas, observa-se que diferentemente do período anterior (1953 a 1979) que apresentou uma tendência de queda, no período de 1980 a 2006 acompanha a mesma tendência de elevação registrada para a temperatura média das máximas, conforme visualizado no gráfico da Figura 3d.

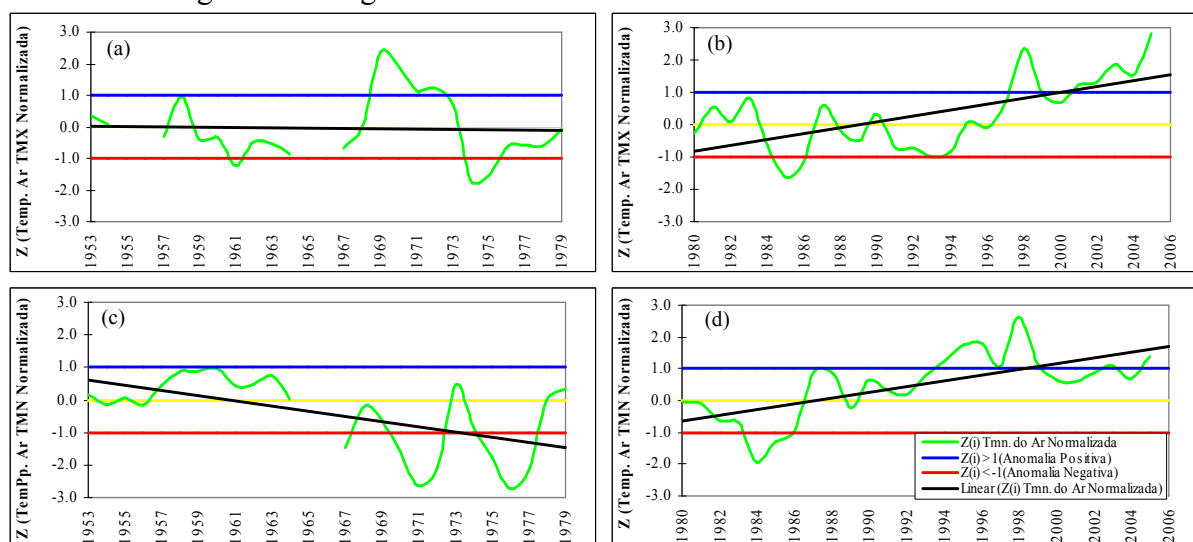


Figura 3 - Temperatura do Ar - Média das Máximas e Mínimas Anual, Normalizada por  $Z(i) = (T(i) - T_m) / D_p$ .

## 5.2. Análise do Uso e Ocupação do Solo

Os dados gerados a partir da classificação supervisionada das imagens referente às datas de 25/06/1979 (Figura 4a) e 09/08/2006 (Figura 4b) mostram que a classe vegetação teve uma redução ocasionada principalmente pelo avanço da ocupação humana, o que pode ser confirmado através dos dados obtidos para a classe urbano/solo exposto que passou de 8,32% registrado em 1979 para 14,89% em 2006 (Tabela 1). A maior perda de vegetação é identificada a nordeste da área de estudo.

Tabela 1 – Classes de cobertura do solo.

Ano	Vegetação (%)	Urbano / solo exposto (%)	Massa d'água (%)	Nuvem/sombria (%)	Total (%)
1979	68,30	8,32	23,38	0,00	100
2006	59,01	14,89	23,38	2,72	100

## 5.3. Análise do gradiente térmico

Com base no gradiente térmico obtido nas imagens na faixa do infravermelho termal do Landsat TM5 (banda 6), é possível identificar as diferenças de temperatura de superfície entre

a área urbana e seu entorno. Este fato ocorre devido à substituição da cobertura natural da superfície por equipamentos urbanos constituídos por materiais do tipo concreto, asfalto, solo exposto, etc. Nas Figuras 5a e 5b pode ser visualizado o resultado da classificação das temperaturas de superfície para a área de estudo referente aos anos de 1984 e 2006. Observa-se que as ilhas de calor urbanas identificadas pelos tons de cor alaranjados mais escuros (Figuras 5a e 5b), coincidem com a área urbanizada. Conforme as áreas urbanizadas se aproximam dos locais que ainda existe cobertura vegetal, as temperaturas superfície tendem a diminuir. As temperaturas abaixo de 21,6 °C registradas pelo sensor do satélite foram descartadas por coincidirem com as ocorrências de nuvens na imagem do ano de 2006.

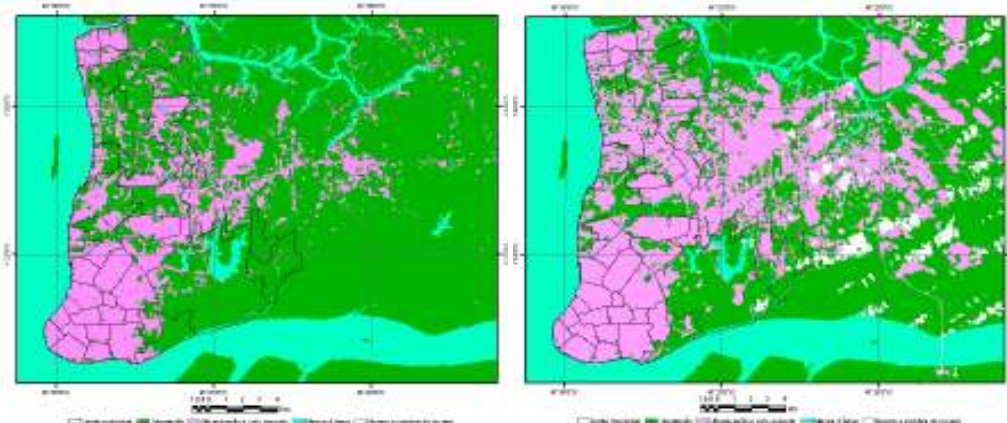


Figura 4 – Mapa de uso e ocupação de 1979 (a) e de 2006 (b).

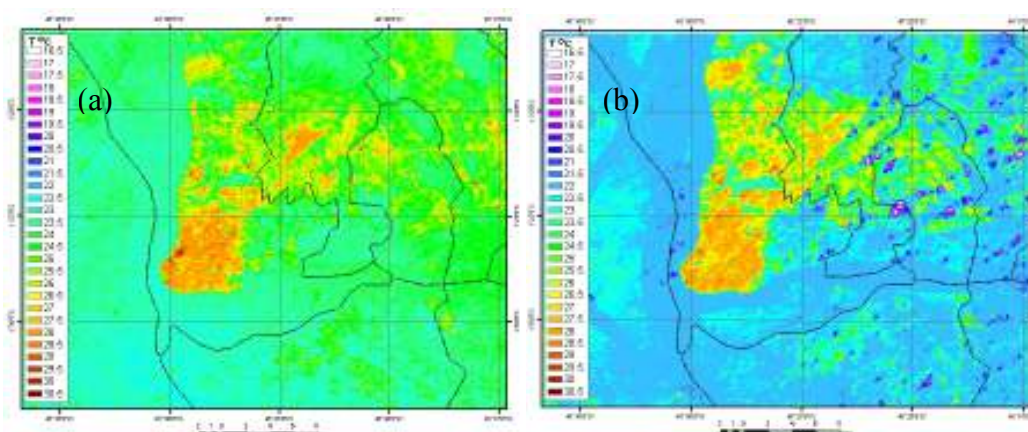


Figura 5 – Ilhas de calor urbanas extraídas do sensor termal do Landsat TM5 de 27/07/84, 12h52min GMT (a) e de 09/08/06, 10h16min GMT (b).

A visualização da temperatura de superfície mais elevada em pontos semelhantes na imagem do ano de 1979 em relação à de 2006, está associada com a hora de imageamento do satélite. A mais antiga ocorreu por volta das 12h37min e da mais recente por volta das 10h16min o que influencia as condições térmicas da superfície.

O comportamento do campo térmico observado ao longo do perfil A-B (SO-NE) (Figura 6) mostra que as temperaturas de superfície mais amenas registradas ao longo do perfil, identificados pelos pontos (1), (2) e (3), estão relacionadas às áreas com algum tipo de vegetação. O ponto (3) corresponde à área de vegetação do Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves. No perfil C-D (SO-NE) apresentado na Figura 7, observa-se que no ponto (1) é registrada a temperatura de superfície mais elevada localizada no bairro do Reduto. Este bairro tem como característica a presença de grandes galpões com cobertura de fibro-cimento ou zinco, lotes residenciais pequenos, quase todo edificado e pouca arborização.

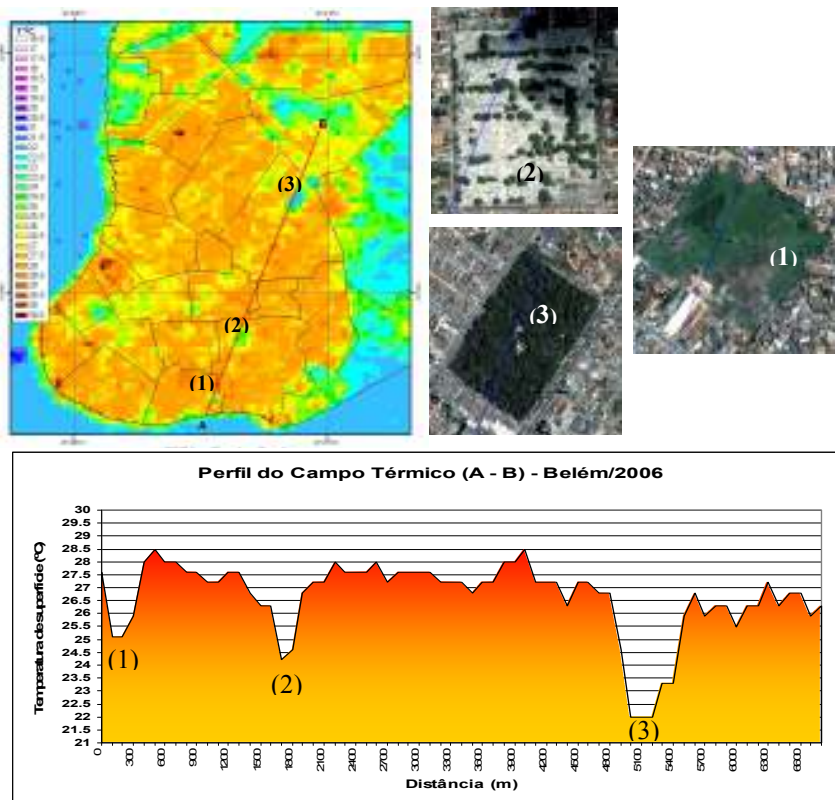


Figura 6 – Perfil do campo térmico (AB) extraído da imagem Landsat TM5 (B6) de 09/08/06 (10h16min GTM).

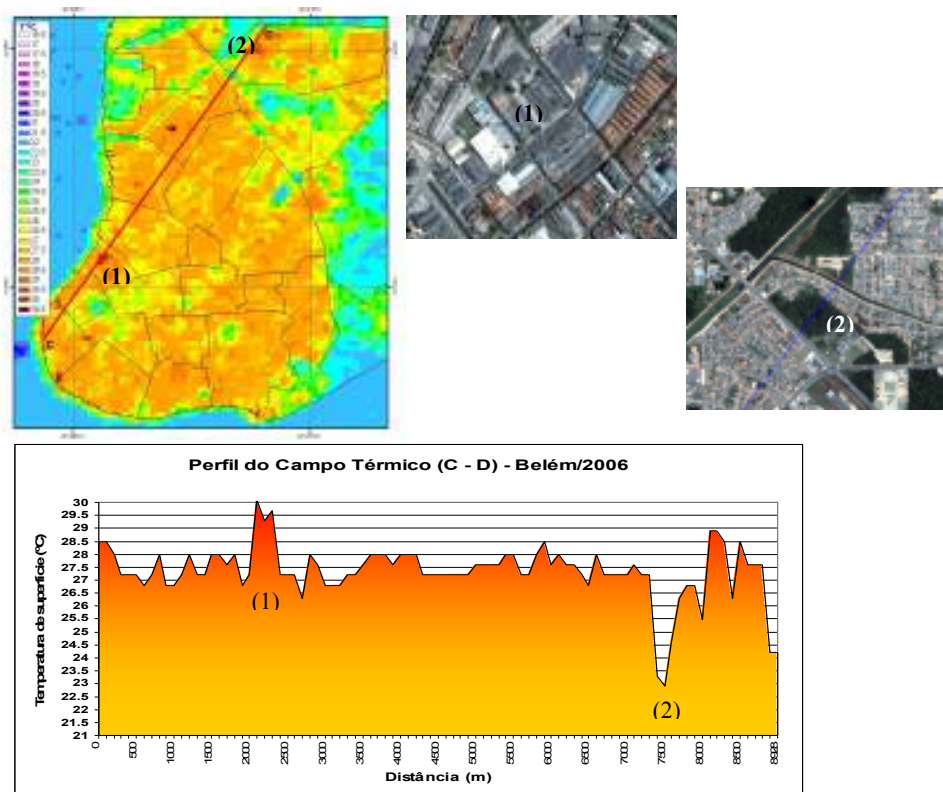


Figura 7 – Perfil do campo térmico (CD) extraído da imagem Landsat TM5 (B6) de 09/08/06 (10h16min GTM).

## 6. Conclusão

Com base nos resultados dos dados observados na estação meteorológica para o período de 1923 a 2006, conclui-se que a temperatura do ar (média das máximas e mínimas) registra uma tendência de aumento a partir do final da década de 70. Observa-se também, a partir das imagens do sensor termal do Landsat TM5, que a expansão urbana propicia a intensificação da formação de ilhas de calor urbanas na cidade de Belém, que se agravam a cada ano com a implementação de novos equipamentos públicos responsáveis pela impermeabilização do solo. Este processo faz com que a água da chuva evapore com maior rapidez diminuindo a capacidade de resfriamento do ambiente e proporcionando um desconforto térmico à população. A diferença de temperatura registrada pelo sensor termal entre as áreas urbana e rural em alguns casos chega até 6 °C.

Com base nos dados da imagem do Landsat de 09/08/2006 (sensor termal), observou-se através das médias das temperaturas de superfície calculada por bairro (Figura 8), que o Reduto com 27,5°C, seguido de Canudos e Fátima com 25,5°C cada, registraram as médias mais elevadas. Os bairros de Curió-Utinga com 22,8°C, da Guanabara e Aura com 23,5°C cada, registraram as médias mais baixas. As temperaturas de superfície mais elevadas foram localizadas nos bairros da Sacramenta (30,5°C), Reduto (30,1°C) e Mangueirão (30,1°C).

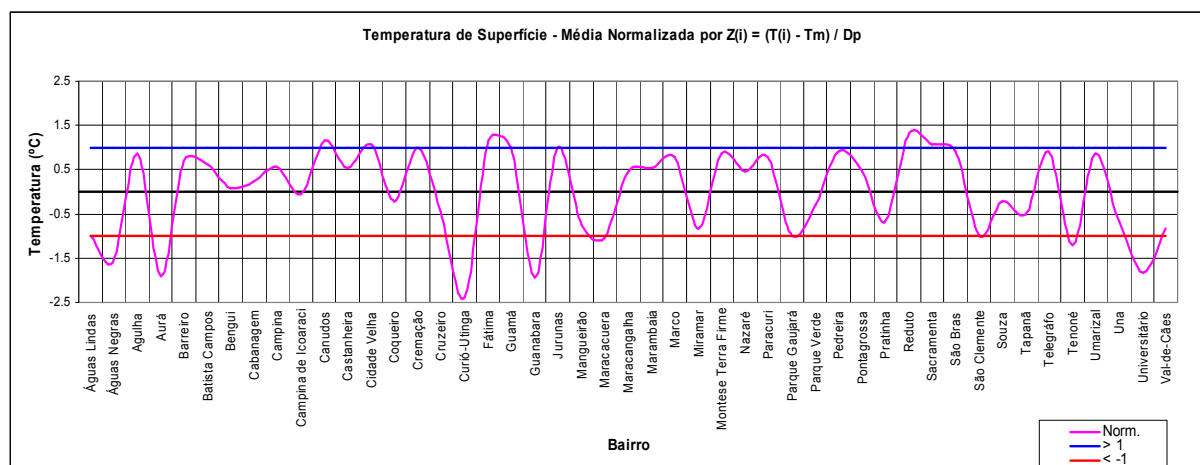


Figura 8 - Comportamento da Temperatura do ar média por bairro.

O incremento do uso e ocupação do solo localizado a nordeste da estação do INMET e inserido nos limites municipais de Belém, Ananindeua e Marituba, provavelmente, podem estar influenciando as alterações no comportamento da temperatura do ar registradas pela estação meteorológica. A direção predominante dos ventos ao longo do ano segundo dados do INMET é de Nordeste (NE), ou seja, as ilhas de calor que se formam nessas áreas ocupadas são transportadas na direção da estação do INMET.

Os pontos observados ao longo do perfil térmico nas Figuras 6 e 7 mostram que para reduzir o desconforto térmico causado pela formação das ilhas de calor é necessário evitar o avanço da ocupação urbana sobre os últimos remanescentes de vegetação, e melhorar a arborização ao longo das áreas já urbanizadas visando amenizar a temperatura do ar.

## 7. Referências

- LOMBARDO, M. A. **Iha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985, 244 p.
- MONTEIRO, C. A. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um “clima urbano”. **Geosul**. v. 5, n. 9. Florianópolis, 1990c, p. 80-114.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.
- BRANDÃO, A. M. P. M. **O Clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP), 1996. 362p. (Tese de Doutorado em Geografia Física)
- TARIFA, J.R. **Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos**. São Paulo: GEO/USP, 1977. (Série Climatologia 07).
- TEZA, C.T.V. BAPTISTA, G.M.DE M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. **Anais XII SBSR**, Goiânia, Brasil, 16 – 21 abril 2005, INPE, p. 3911 – 3918.
- U.S.GEOLOGICAL SURVEY. **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges**. Disponível em: [http://www.landsat7.usgs.gov/technical\\_details/calibration\\_files/15\\_cal\\_notices/](http://www.landsat7.usgs.gov/technical_details/calibration_files/15_cal_notices/). Acesso em: 26 jun.2006.
- SANTOS, D.M., ROLIM, P. A. M, ROCHA, E.J.P. **Influencia dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade da Temperatura em Belém do Pará**. Belém, Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, 6p.
- SOUZA. J.D.S. SILVA, B.B. Correção Atmosférica para Temperatura da Superfície Obtidas com Imagem TM – Landsat 5. **Campina Grande: Revista Brasileira de Geografia**, n.4 2005, 10p.
- FREIRE, M.L.F. BASTOS, E.J.B. Correção atmosférica de Imagem Landsat Contaminadas por Efeito de Adjacências: Atmosfera Rayleigh. **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador: INPE, 1996, p. 905-907.