

# Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB

*Influence of land use on surface temperature: a case study in João Pessoa - PB*

Jussara Freire de Souza  
Richarde Marques Silva  
Alexandro Medeiros Silva

## Resumo

**E**ste artigo investiga as mudanças no uso do solo e analisa seus impactos na temperatura da superfície em João Pessoa–PB entre os anos de 1991 e 2010. Neste estudo foram utilizadas imagens do TM/Landsat 5 para quantificar as mudanças no uso do solo e a variabilidade da temperatura da superfície em 1991, 2006 e 2010. As imagens foram pré-processadas usando técnicas de calibração e correções geométricas e atmosféricas. Para a classificação do uso do solo foi utilizado o método de classificação supervisionada, pela Máxima Verossimilhança. Cinco usos e ocupação do solo foram identificados (vegetação herbácea, urbano, vegetação arbórea/arbustiva, solo exposto e água). A integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas foram ainda aplicados para examinar os impactos das mudanças do uso do solo nas temperaturas de superfície. Os resultados revelam uma mudança no uso do solo na área de estudo. As principais mudanças no uso do solo ocorreram nas classes área urbana e vegetação herbácea. Os maiores valores de temperatura da superfície foram estimados sobre as classes área urbana e solo exposto. Os resultados mostraram também uma maior variação da temperatura no período entre 2006–2010, devido ao fato do aumento da classe área urbana em praticamente todas as porções de João Pessoa.

**Palavras-chaves:** Clima urbano. Planejamento urbano. Geotecnologias.

## Abstract

*This paper investigates land use change and assesses its impact on surface temperature in the city of João Pessoa, Paraíba State, between 1991 and 2010. Landsat images were utilized to quantify the changes and surface temperature variability in 1991, 2006 and 2010. The images were pre-processed using calibration techniques and geometric and atmospheric corrections were performed. Supervised classification using the Maximum Likelihood technique and spatial reclassification were employed for land use classification. Five land-use/land-cover categories (urban area, shrubland vegetation, herbaceous vegetation and water) were identified. The integration of Remote Sensing and Geographical Information Systems was applied to examine the impact of land-use change on surface temperatures. The results revealed a notable land-use change in the study area. The most significant changes in land use and land cover classes occurred in urban areas and herbaceous vegetation. The highest values of surface temperature were estimated on the urban classes and bare soil. The results also showed that the greatest temperature variation occurred in the period between 2006 and 2010 due to the increase in the urban area class in all areas of João Pessoa.*

**Keywords:** Urban climate. Urban planning. Geotechnologies.

Jussara Freire de Souza  
Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa - PB - Brasil

Richarde Marques Silva  
Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa - PB - Brasil

Alexandro Medeiros Silva  
Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa - PB - Brasil

Recebido em 28/02/14  
Aceito em 23/07/15

## Introdução

As interações de superfícies urbanas com a atmosfera são governadas pelos fluxos de calor de superfície, cuja distribuição é drasticamente modificada pela urbanização. O principal fator que contribui para as alterações nas características físicas da superfície (albedo, capacidade térmica, condutividade de calor) é a substituição da vegetação pelo asfalto e o concreto, que acarreta na diminuição da umidade da superfície disponível para a evapotranspiração, mudanças nos fluxos radiativos e no fluxo de superfície (DOUSSET; GOURMELON, 2003).

Enquanto os processos físicos são difíceis de monitorar apenas com instrumentos *in situ*, sensores instalados em satélites fornecem dados quantitativos do espaço físico em altas resoluções espaciais e temporais. Sistemas de sensoriamento remoto nas bandas visível e infravermelha têm sido amplamente utilizados para classificar fenômenos como o crescimento da cidade, mudanças no uso e ocupação do solo, alterações de índices de vegetação e estatísticas populacionais (GALLO; XIAN, 2014). No entanto, aplicações sobre climatologia urbana têm sido um campo de estudos menos comum, quando comparado a áreas rurais, devido à complexidade das interações das radiações do infravermelho termal e em micro-ondas (AMIRI *et al.*, 2009).

A utilização dessas técnicas vem sendo adotada em várias partes do mundo (SILVA *et al.*, 2008; THORESON; ALLEN, 2005; FEIZIZADEH; BLASCHKE, 2012), com o propósito de descrever a variação espacial de parâmetros micrometeorológicos em superfícies heterogêneas, com base em funções semiempíricas. Esses trabalhos apresentaram resultados satisfatórios e têm contribuído para avaliar as alterações na temperatura da superfície em diferentes usos do solo. Recentemente, com a melhoria na resolução espacial e novas técnicas para a estimativa de fluxos de calor por imagens orbitais, o uso de conjuntos de dados multissensor com maior precisão tem permitido novas aplicações em estudos sobre a climatologia urbana, como, por exemplo, o conhecimento da influência das modificações no uso do solo na temperatura da superfície e o impacto da geometria urbana no conforto térmico e qualidade do ar em áreas urbanas (KRÜGER *et al.*, 2011).

A temperatura de superfície é um dos principais dados que podem ser estimados a partir das imagens da banda termal. A temperatura da superfície terrestre tem sido tema de diversos estudos (ADAMI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2011; FORMIGONI *et al.*, 2011) e bastante aplicada na

meteorologia e na análise de recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície.

Para esses estudos, o uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de sistemas de informações geográficas constituem-se em importantes instrumentos para a avaliação das alterações ambientais, principalmente na relação do uso e ocupação do solo no campo térmico em áreas urbanas, pois permitem a compreensão da dinâmica de processos biofísicos e da interação entre solo, planta e atmosfera em áreas urbanas (SANTANA *et al.*, 2014). A utilização de técnicas de SIG e sensoriamento remoto em diferentes áreas da superfície terrestre tem alcançado resultados satisfatórios, consistentes e importantes para o monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais, sobretudo em áreas urbanas.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar a influência das mudanças do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície na cidade de João Pessoa entre 1991 e 2010, mediante técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. Dessa forma, considera-se que a realização deste estudo contribui com informações acerca da relação da dinâmica entre os usos do solo presentes na cidade de João Pessoa e o clima da região, devido ao rápido crescimento urbano da cidade, à especulação imobiliária e às transformações de seu espaço.

## Caracterização da área de estudo

Esse estudo foi realizado no município de João Pessoa, localizado no litoral da Região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas 7° 03' 00" e 07° 15' 00" de latitude sul e entre 34° 58' 00" e 34° 47' 30" de longitude oeste (Figura 1). O clima da cidade, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, está inserido no bioclima 3dth - Regime mediterrâneo ou nordestino subseco, na faixa climática do tipo As', descrita como clima quente e úmido (Tropical chuvoso – classe A). A precipitação máxima ocorre entre os meses de maio e julho, com precipitação média de 1.896 mm/ano. As temperaturas diárias máximas e mínimas variam de 30 a 21 °C respectivamente, e a umidade relativa varia entre 73% e 82%. Com relação à situação dos ventos, a cidade recebe a influência dos ventos úmidos de sudeste (alísios), por estar situada no extremo oriental do Brasil, com sua frequência alterada pelos ventos de leste e de nordeste e da

zona de convergência intertropical (SANTOS, 2011).

## Materiais e métodos

Para a realização deste estudo alguns procedimentos metodológicos para o processamento de imagens foram realizados, como:

- (a) calibração radiométrica;
- (b) refletância monocromática;
- (c) determinação do índice de vegetação ajustado do solo (SAVI) e do índice de área foliar (IAF);
- (d) estimativa da emissividade da superfície;
- (e) mapeamento do uso do solo e da temperatura da superfície; e
- (f) elaboração dos perfis topográfico e termográfico.

A Figura 2 representa o fluxograma das etapas necessárias para a espacialização das temperaturas de superfície e elaboração do perfil termográfico.

## Calibração radiométrica

Para corrigir as degradações radiométricas em função de desajustes na calibração dos sensores,

erros esporádicos na transmissão dos dados ou influências atmosféricas, faz-se necessária a calibração radiométrica. Essa etapa consistiu no cômputo da radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda_i}$ ), ou seja, a conversão do número digital (ND) de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática em  $W/m^2/sr/\mu m$ . Para a obtenção do conjunto da radiância monocromática de todas as sete bandas de cada cena, utilizou-se a Equação 1, proposta por Markham e Barker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left( \frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad \text{Eq. 1}$$

na qual  $a$  e  $b$  são radiâncias espectrais mínimas e máximas ( $W/m^2/sr/\mu m$ ),  $ND$  é a intensidade do pixel, que varia de 0 a 255, e  $i$  corresponde às bandas espectrais 1 a 7. Os valores para o coeficiente de calibração máxima ( $b$ ), válidos para as imagens obtidas entre 1984 e 1991 para as bandas 1 e 2, correspondem a 169 e 333 respectivamente, como sugerido em Chander *et al.* (2009). A Tabela 1 apresenta a descrição das bandas do TM/Landsat 5, os coeficientes de calibração mínima ( $a$ ) e máxima ( $b$ ) (para o período: maio/2003 abril/2007) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera.

Figura 1 - Localização geográfica da cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba

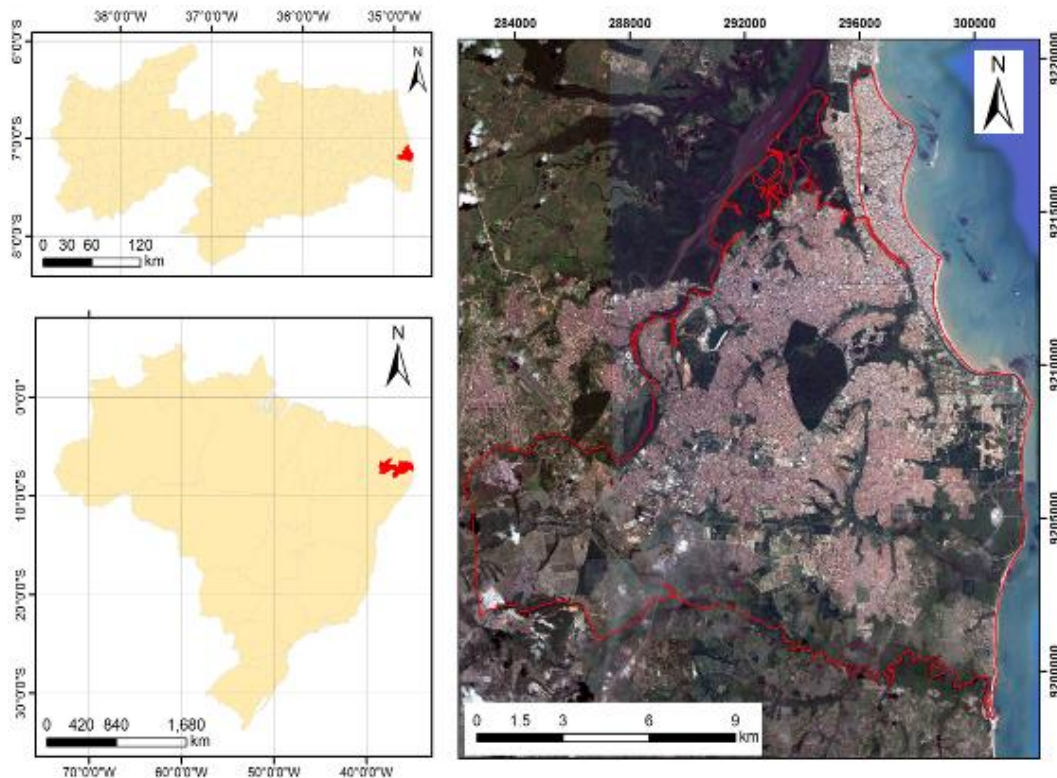


Figura 2 - Etapas do processamento das imagens utilizadas para a determinação da temperatura da superfície e elaboração dos perfis topográfico e termográfico

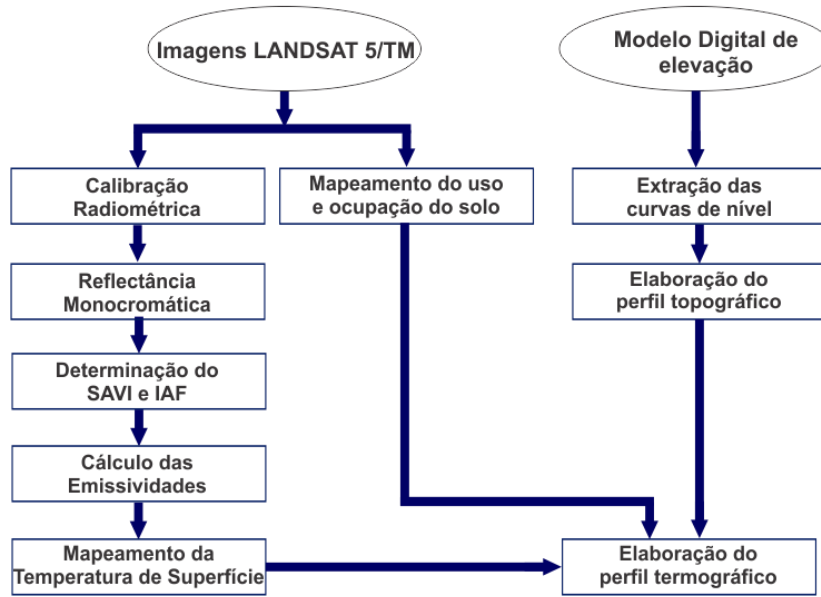


Tabela 1 - Descrição das bandas do TM/Landsat 5, com os respectivos intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (a) mínima, (b) máxima (para o período maio/2003 a abril/2007) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de onda (µm)	Coeficientes de calibração (W/m <sup>2</sup> /sr/µm)		Irradiância espectral no topo da atmosfera (W/m <sup>2</sup> /µm)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1.957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1.826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1.554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1.036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	–
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

### Refletância monocromática

Para corrigir os efeitos da atmosfera, foi realizado o cálculo da refletância, que tem por função eliminar possíveis interferências nas imagens e quantificar a radiação solar refletida por cada pixel. Essa etapa auxiliou na identificação dos objetos nas diferentes faixas do espectro e representa o cômputo da refletância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), definida como sendo a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar global incidente, sendo obtida pela Equação 2 (ALLEN *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

$L_{\lambda_i}$  a radiância espectral de cada banda (W/m<sup>2</sup>/sr/µm);

$k_{\lambda_i}$  a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (W/m<sup>2</sup>/µm) (Tabela 1);

Z o ângulo zenital solar (obtido no próprio catálogo de imagens do INPE);

$d_r$  o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_o$ ) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DJ), que, de acordo com Iqbal (1983), é dado pela Equação 3.

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DJ \times 2\pi/365) \quad \text{Eq. 3}$$

### Estimativas das emissividades e determinação do SAVI e IAF

Para determinar as emissividades de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$  (10,4 a 12,5

$\mu\text{m}$ ) e a emissividade no domínio da banda larga  $\epsilon_0$  (5  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ ), foram utilizadas as Equações 4 e 5.

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,0033 \times \text{IAF} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times \text{IAF} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$\epsilon_0$  é a emissividade da banda larga;

$\epsilon_{\text{NB}}$  é a emissividade no domínio espectral da banda termal, IAF é o índice de área foliar ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ), que representa a razão entre a área total de todas as folhas contidas em dado pixel pela área do pixel.

Considerou-se  $\epsilon_{\text{NB}} = \epsilon_0 = 0,98$  quando  $\text{IAF} \geq 3$ , e para corpos de água  $\epsilon_{\text{NB}} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$  (ALLEN *et al.*, 2002).

A determinação do índice de área foliar (IAF), que é um indicador da biomassa de cada *pixel* da imagem, foi computada pela Equação 6, empírica:

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

Para a determinação do IAF foi utilizado o SAVI, que é um índice que busca amenizar os efeitos da refletância espectral do solo na vegetação, mediante a Equação 7 (HUETE, 1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}})}{(L + \rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}})} \quad \text{Eq. 7}$$

Na qual  $\rho_{\text{IV}}$  e  $\rho_{\text{V}}$  correspondem às bandas 4 e 3 do TM/Landsat 5, L é uma constante do tipo de solo, e neste estudo utilizou-se o valor  $L = 0,1$  por proporcionar resultados mais realistas para os valores estimados de IAF que mais se aproximem daqueles obtidos por métodos diretos (BOEGH *et al.*, 2002; GALVÍNIO *et al.*, 2009).

Para a obtenção da temperatura da superfície foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{\text{NB}}$ , qual seja: 10,4–12,5  $\mu\text{m}$ . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por

cada pixel, deve ser considerada a emissividade no domínio da banda larga  $\epsilon_0$  (5-100  $\mu\text{m}$ ).

## Determinação da temperatura na superfície

Para a obtenção da temperatura na superfície ( $T_s$ ) foram utilizadas a radiância espectral da banda termal e a emissividade, utilizando a Equação 8.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{\text{NB}} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad \text{Eq. 8}$$

Sendo  $K_1 = 607,76 \text{ W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$  e  $K_2 = 1.260,56 \text{ W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$  constantes para a calibração da banda termal do TM/Landsat 5 (SILVA *et al.*, 2005).

## Mapeamento do uso do solo e dados climatológicos utilizados

Neste estudo foram utilizadas três cenas do sensor TM instalado no satélite Landsat 5, adquiridas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. As imagens foram obtidas em formato geotiff com projeção UTM e Datum WGS-84. As cenas selecionadas correspondem às datas de 5/11/1991, 26/08/2006 e 8/10/2010, órbita 214 e ponto 65, e foram escolhidas por apresentar os maiores intervalos de tempo e pela inexistência de nuvens sobre a área de estudo. A Tabela 2 mostra as características das imagens selecionadas neste estudo.

As imagens utilizadas para a classificação do uso e ocupação do solo do município foram obtidas partindo-se do processo de composição, cor natural, da banda 4 associada ao filtro vermelho, banda 3 ao filtro verde, e banda 2 associada ao filtro azul (4R3G2B). Esses correspondem respectivamente aos comprimentos de ondas vermelho, verde e azul. Para o processamento das imagens, as sete bandas de cada imagem foram empilhadas e depois recortadas usando o limite do município de João Pessoa no software ArcGIS 10.1. Em seguida foi realizada a classificação do uso e ocupação do solo para as três cenas, aplicando-se o método de classificação supervisionada, pela máxima verossimilhança, seguido da conversão matricial em vetor e correção de polígonos.

Tabela 2 - Características das imagens do TM/Landsat 5 utilizadas neste estudo

Imagens	Elevação do Sol (°)	Azimute do Sol (°)	Cobertura de Nuvens (%)
5/11/1991	57,2287	107,413	Q1-80 / Q2-40 / Q3-80 / Q4-80
26/08/2006	55,6194	59,2117	Q1-70 / Q2-80 / Q3-70 / Q4-70
8/10/2010	63,2127	88,4564	Q1-90 / Q2-30 / Q3-80 / Q4-40

Na área de estudo foram identificadas cinco classes de uso e ocupação do solo:

- (a) solo exposto;
- (b) área urbana;
- (c) vegetação arbórea/arbustiva;
- (d) vegetação herbácea; e
- (e) água.

A partir da classificação supervisionada, foram calculados a área ocupada (km<sup>2</sup>) e o percentual de cada classe de uso do solo das três cenas, com o propósito de se analisar sua evolução na cidade de João Pessoa.

Para a elaboração das bases cartográficas foi utilizado o limite vetorial municipal e bairros, em formato *shapefile*, adquirido no site do IBGE<sup>1</sup> e no portal da Prefeitura Municipal de João Pessoa<sup>2</sup>. Os mapeamentos e processamento dos dados vetoriais e matriciais foram realizados no ArcGIS 10.1 (ENVIRONMENTAL..., 2010), no sistema de projeção UTM, Datum SAD-69 e Zona 25 Sul.

As informações climatológicas utilizadas neste estudo compreenderam dados diários de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica, adquiridos no Laboratório de Energia Solar (LES), localizado no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, e no Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), localizado no prédio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A Tabela 3 mostra os dados climatológicos utilizados no estudo.

## Mapeamento da temperatura da superfície e elaboração dos perfis topográfico e termográfico

Para o mapeamento da temperatura da superfície foram utilizadas as mesmas imagens do uso e ocupação do solo. Neste estudo também foram gerados mapas de temperatura da superfície para o bairro de Tambaú, comparando as curvas de nível e as temperaturas da superfície.

Para a análise da variação das alterações na temperatura da superfície foi empregada a técnica conhecida como álgebra de mapa, que aplica a técnica de sobreposição dos planos de informação

mediante a operação de subtração das imagens de temperatura da superfície das seguintes datas:

- (a) 1991–2006;
- (b) 2006–2010; e
- (c) 1991–2010.

Esse procedimento foi realizado no software ArcGIS 10.1 utilizando a função Raster Calculator (ENVIRONMENTAL..., 2010).

Para a determinação dos perfis topográficos foi utilizado o Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 30 m, adquirido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais<sup>3</sup> (VALERIANO *et al.*, 2009). Para a análise dos perfis termográficos foram definidos dois eixos, A–B (no sentido oeste–leste) e C–D (no sentido norte–sul), para cada cena utilizada neste estudo (Figura 3). O primeiro eixo representa o principal corredor de circulação da cidade, a Avenida Epitácio Pessoa, e o segundo eixo retrata a direção do crescimento da urbanização mais recente em João Pessoa.

## Resultados e discussão

### Transformações recentes no uso e ocupação do solo na cidade de João Pessoa

A Tabela 4 e as Figuras 4a, 4b e 4c mostram a distribuição dos usos do solo na cidade de João Pessoa para as três datas utilizadas neste estudo. Analisando a classificação do uso do solo referente ao dia 5/11/1991 (Figura 4a), observou-se que as classes área urbana e vegetação herbácea foram os principais usos do solo existentes na área de estudo, e que as classes água, solo exposto e vegetação arbórea/arbustiva ocupavam menor área nessa data. A classe área urbana compreendeu as edificações e/ou áreas construídas.

Percebeu-se ainda que a concentração da urbanização foi mais intensa nas porções norte, nordeste e oeste, apresentando características de espraiamento (JAKOB, 2002; PASSOS *et al.*, 2012). Esses resultados corroboram os achados de Rafael *et al.* (2009), os quais relatam que a cidade de João Pessoa apresentou entre 1990 e 2001 uma taxa de crescimento da área urbana em torno de 1,85% ao ano, com características de uma ocupação espraiada, com intensificação na ocupação dos espaços livres da cidade e tendência de crescimento em direção ao sul da cidade.

<sup>1</sup>Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/galeria-arcgis-online>>.

<sup>2</sup>Disponível em: <<http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/htmls/downloads.html>>.

<sup>3</sup>Disponível em: < disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata>>.



Tabela 3 - Dados climatológicos observados utilizados neste estudo

Dia da Imagem	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosférica (KPa)
5/11/1991	28,60	70	101,40
26/08/2006	27,80	63	101,56
8/10/2010	29,20	71	101,73

Figura 3 - Localização dos eixos A-B e C-D para elaboração dos perfis termográficos e das estações climatológicas

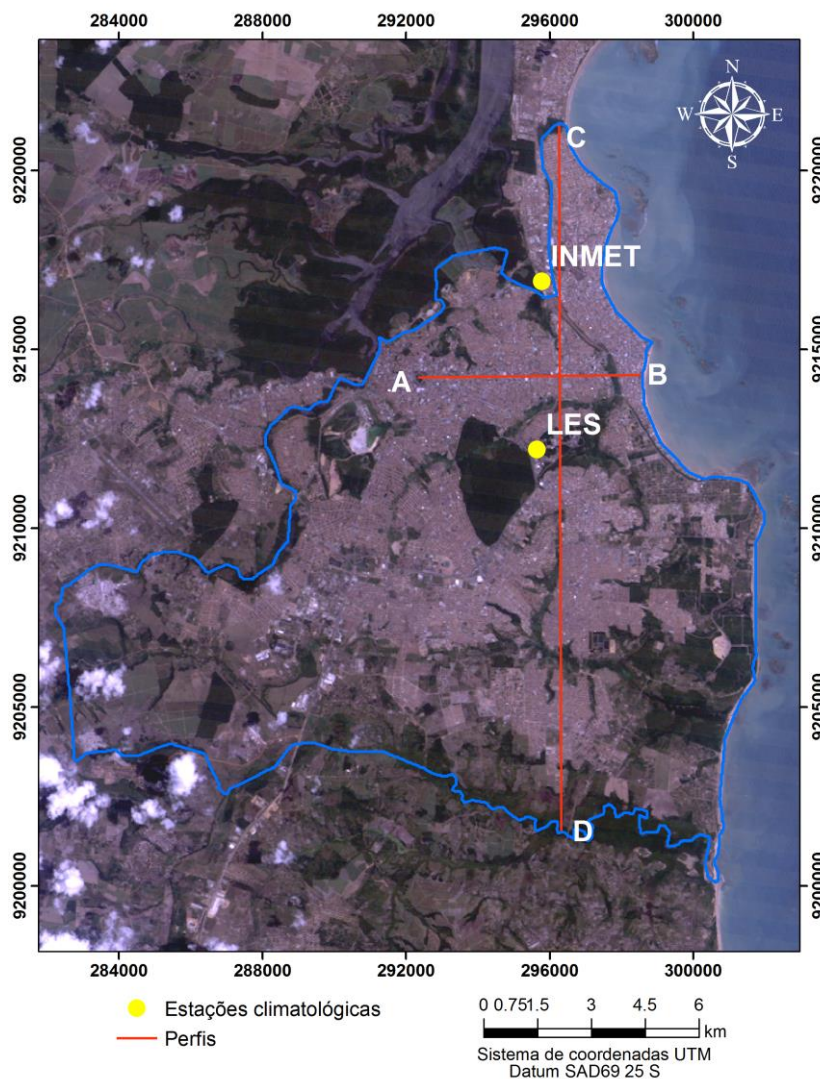


Tabela 4 - Área em km<sup>2</sup> e em percentual do uso e ocupação do solo da cidade de João Pessoa para os três anos analisados neste estudo

Uso e Ocupação do Solo	1991		2006		2010	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Água	2,6	1,3	2,8	1,4	3,0	1,5
Solo Exposto	8,8	4,4	5,3	2,6	7,0	3,5
Urbano	80,1	40,0	82,6	41,3	90,0	45,0
Vegetação Arbórea/Arbustiva	24,4	12,2	33,9	16,9	35,0	17,5
Vegetação Herbácea	84,1	42,0	75,4	37,7	65,0	32,5

A Figura 4b mostra o uso e ocupação do solo na cena de 26/08/2006. Notou-se que nessa data houve substituição das áreas de solo exposto e de vegetação herbácea pela classe área urbana, sendo possível visualizar a mudança na paisagem local, caracterizada pelo crescimento dessa classe sobre as classes solo exposto e vegetação herbácea. Contudo, apesar de ter havido crescimento da classe área urbana entre 1991 e 2006, considerou-se que esse fato não foi significativo (Figuras 4a e 4b), mesmo levando em conta o maior intervalo de tempo (16 anos) entre as duas cenas. Comparando as Figuras 4a e 4b, percebeu-se que houve crescimento do adensamento das áreas urbanas em 2006. Esses resultados são o reflexo de uma desaceleração da taxa de crescimento da área urbana entre 2001 e 2006 (0,66% ao ano), menor do que entre os anos de 1990 e 2001 (SOBREIRA *et al.*, 2011).

A diminuição da expansão urbana entre 2001 e 2006 pode ser explicada pelo aumento na tendência de substituição do padrão horizontal das edificações (casas) pelo padrão de verticalização (edifícios), principalmente nas regiões litorânea e sul de João Pessoa. Com relação à classe de vegetação arbórea/arbustiva, percebeu-se um pequeno crescimento, mais precisamente na porção sul na cena de 2006, quando comparada com a cena de 1991.

A Figura 4c apresenta o uso e ocupação do solo em João Pessoa em 2010. Essa figura mostra uma expansão contínua da área urbana nas porções norte, oeste e central da cidade, em detrimento da diminuição da classe vegetação herbácea. Apesar de essas porções apresentarem menor crescimento urbano, percebeu-se ainda maior adensamento das edificações, quando comparado com os anos de

1991 e 2006. Isso se deve ao fato de que essas áreas constituem-se praticamente o único viés possível de expansão urbana em João Pessoa atualmente.

### Variabilidade espaço-temporal na temperatura da superfície

A Tabela 5 mostra as diferenças entre os valores estimados para as datas estudadas e os valores de temperatura observados nas estações meteorológicas do INMET e LES. Observou-se que no dia 5/11/1991 houve a maior diferença entre a temperatura observada no LES e a estimada (2,68 °C). A cena de 5/11/1991 também apresentou a menor diferença entre o valor estimado e o observado, quando comparada com o dado do INMET (0,79 °C). Verifica-se que as temperaturas radiométricas estimadas foram superiores às temperaturas medidas nas estações meteorológicas. Esse resultado era esperado, visto que a comparação realizada envolveu dois níveis diferenciados de medição, quais sejam: superfície do solo (temperatura radiométrica) e a 1,5 m de altura (temperatura das estações).

Qin *et al.* (2001) e Souza e Silva (2005) apresentam uma metodologia aplicada da correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM/Landsat 5. Nesses estudos os autores mostraram que a diferença entre a temperatura média do ar na ascendente e na descendente é menor que 5 °C, o que acarreta uma pequena diferença entre o cálculo das radiancias ascendente e descendente. Assim, os valores obtidos neste estudo estão dentro do intervalo.

Figura 4 - Uso e ocupação do solo na cidade de João Pessoa em 5/11/1991 (a), 26/08/2006 (b) e 8/10/2010 (c)

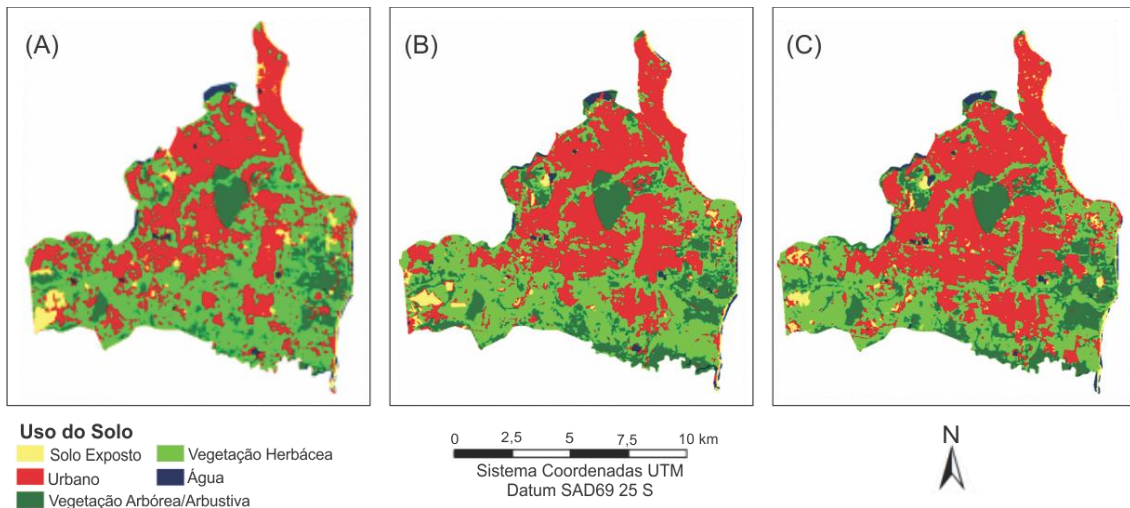




Tabela 5 - Diferenças de temperatura entre os dados observados e os estimados

Datas	Estação	Temperatura Observada (°C)	Temperatura Estimada (°C)	Diferença (°C)
05/11/1991	Inmet	28,6	29,4	0,8
	LES	28,6	25,9	2,7
26/08/2006	Inmet	27,8	27,9	0,2
	LES	27,0	27,8	0,8
08/10/2010	Inmet	29,2	29,4	0,2
	LES	26,8	28,1	1,3

A cena do dia 26/08/2006 apresentou a menor diferença entre os valores estimados e os observados nas duas estações, cujos valores foram de 0,18 °C entre o observado no INMET e o estimado, e de 0,8 °C entre o valor observado no LES e o estimado. Na cena de 8/10/2010 a diferença foi de 0,19 °C entre o INMET e o estimado, e de 1,32 °C entre o LES e o estimado. Dessa forma, considera-se que houve pouca variação entre os dados estimados e os observados, sobretudo em 2006 e na estação do INMET, com pequena ressalva em 1991 e 2010, quando a diferença foi maior na comparação entre o LES e o estimado.

Os resultados mostram um excelente ajuste utilizando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os dados de temperatura observados no LES e também no INMET com os dados estimados. Para a comparação entre os dados observados e estimados, foram utilizados dados de dois pontos (INMET e LES) em três imagens. O ajuste entre os dados observados no LES e os estimados foi de  $R^2 = 0,99$ , e entre os dados da estação do INMET e os valores estimados foi de  $R^2 = 0,81$ .

A Tabela 6 apresenta as análises estatísticas da temperatura na superfície em João Pessoa para as imagens utilizadas neste estudo. Notou-se que os maiores valores de temperatura da superfície foram obtidos sobre as classes de solo exposto, área urbana e vegetação herbácea respectivamente. Na imagem do ano de 1991 os maiores valores médios de temperatura na superfície ocorreram na classe área urbana (31,4 °C), solo exposto (31,1 °C) e vegetação herbácea (30 °C).

Como esperado, os menores valores de temperatura foram encontrados sobre água e vegetação arbórea/arbustiva em todas as cenas analisadas, corroborando com os valores apresentados por Corrêa et al. (2012), que também identificaram valores mínimos de temperatura sobre vegetação arbórea/arbustiva e corpos d'água. De acordo com Souza (2010), a vegetação e a massa d'água interferem de forma parecida na

temperatura de dado lugar ou na composição de um microclima. A vegetação absorve energia em forma de calor e a utiliza no processo de fotossíntese, pois libera energia em forma de oxigênio e gás-carbônico, além de aumentar na evaporação, renovando o ar atmosférico e umidificando o ambiente. Assim, áreas com vegetação contribuem para amenizar o clima e reduzir as temperaturas urbanas.

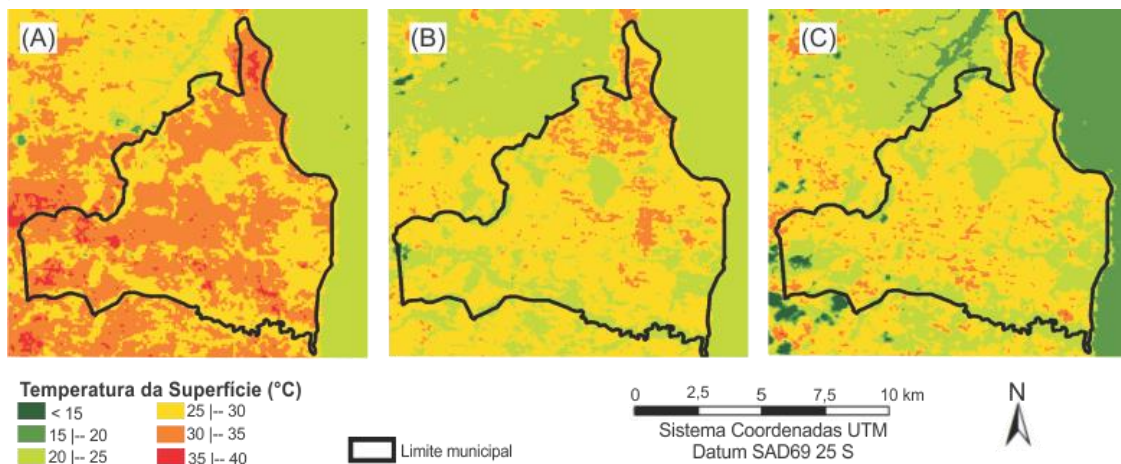
Os maiores valores de temperatura da superfície foram obtidos na cena de 1991, e os menores em 2010. Isso ocorre, possivelmente, por perturbações durante a transferência de energia irradiada através da atmosfera, que de certa forma interferem na resposta dos alvos, ou pela influência do período sazonal em que cada uma das imagens está inserida, sobretudo a de 1991, que corresponde ao período de estiagem da região. Os resultados também mostraram que o maior valor de desvio padrão foi encontrado sobre a classe solo exposto em todas as imagens analisadas, cujos valores foram de 3,1°C (1991), 2,7°C (2006) e 4,8°C (2010).

As Figuras 5A-C ilustram a espacialização dos valores estimados de temperatura da superfície para as imagens analisadas. Na Figura 5A percebeu-se menor ocorrência das temperaturas mais baixas, aquelas entre os intervalos de 0 a 25 °C, cujos valores são observados na porção norte, em áreas ocupadas por vegetação arbórea/arbustiva e corpos d'água respectivamente. Os valores intermediários, entre o intervalo de 25 e 30 °C, ocorreram em todas as porções do município, mais precisamente sobre as classes de vegetação arbórea/arbustiva e herbácea. A temperatura máxima obtida, com valores de temperatura entre o intervalo de 30 a 35 °C, foi encontrada sobre as classes área urbana, solo exposto e vegetação herbácea. Os maiores valores de temperatura, ocorridos entre 35 e 39 °C, foram obtidos sobre áreas densamente urbanizadas e com maior quantidade de solo exposto.

Tabela 6 - Análises estatísticas da temperatura da superfície

Usos do solo	Temperatura da Superfície (°C)					
	Média			Desvio Padrão		
	1991	2006	2010	1991	2006	2010
Vegetação Herbácea	30,0	26,1	26,1	2,1	1,6	2,2
Urbano	31,4	28,4	28,2	2,0	1,8	1,9
Vegetação Arbórea/Arbustiva	27,4	24,7	23,2	1,8	1,5	1,8
Solo Exposto	31,1	26,1	24,8	3,1	2,7	4,8
Água	26,9	24,8	22,1	2,1	2,2	2,3

Figura 5 - Mapas de temperatura da superfície para os dias 5/11/1991 (a), 26/08/2006 (b) e 8/10/2010 (c)



As Figuras 5b e 5c mostram semelhança em relação aos valores de temperatura encontrados nos usos do solo utilizados. Nas duas figuras as temperaturas mínimas foram localizadas em áreas de vegetação arbórea/arbustiva e água, contudo o intervalo entre 0 e 15 °C corresponde à interferência de nuvens, localizadas na porção sudoeste das imagens. As áreas com valores intermediários (20-30 °C) correspondem à grande parte da cena nas duas figuras, na qual os usos do solo que abrangem esses valores são de vegetação herbácea, arbórea/arbustiva e área urbana. As temperaturas máximas (30-35 °C) foram encontradas sobre áreas densamente urbanizadas, como a porção norte, e em áreas de solo exposto na porção sul da cidade. Na análise dessas figuras, praticamente não houve ocorrência de valores máximos de temperatura entre o intervalo de 35 e 39 °C, diferentemente da Figura 5a.

Nas cenas de 2006 e 2010 foram registrados os maiores valores de temperatura estimada. Entretanto, os pixels com valores variando entre 35 e 39 °C foram observados em menor quantidade, diferentemente da cena de 1991, que apresenta maior quantidade desses valores, distribuídos por toda a cena. Esses valores estão em concordância com os apresentados por Araújo (2006), para a cidade de Maceió, e por Corrêa *et al.* (2012), em

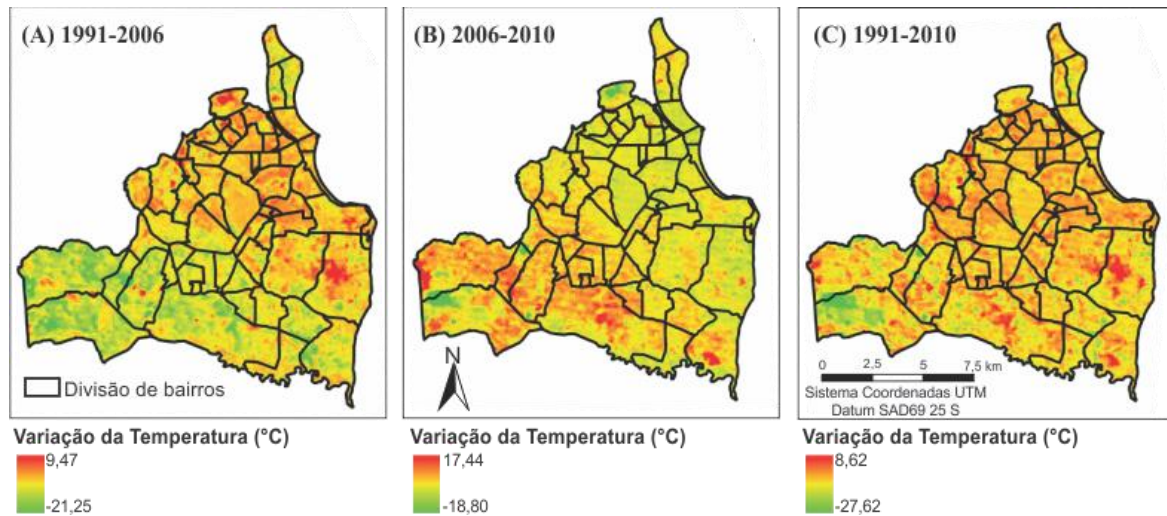
Santarém, PA. Em ambos os estudos os autores identificaram valores de temperatura entre 27 e 34 °C, dentro da malha urbana das duas cidades e em áreas mais adensadas.

Dessa forma, pode-se considerar que os maiores valores de temperatura estão sobre as áreas mais urbanizadas e adensadas. Para tanto, considera-se que as áreas que apresentaram temperaturas mínimas, caracterizadas por vegetação e corpos d'água, podem atenuar os efeitos da urbanização sobre a temperatura.

### Variações da temperatura da superfície em João Pessoa

As Figuras 6A-C mostram as variações da temperatura da superfície obtidas entre os períodos (a) 1991–2006, (b) 2006–2010, e (c) 1991–2010. Comparando as Figuras 6a, 6b e 6c, observa-se maior variação da temperatura no período entre 2006 e 2010, com aumento de valores entre 17,46 e -18,80 °C. Na Figura 6a observou-se que no período entre 1991 e 2006 houve aumento da temperatura nas porções central, leste e norte da cidade. Notou-se também que na porção sul as temperaturas variaram negativamente, em virtude de possível regeneração e áreas de matas na cena mais recente.

Figura 6 - Variações entre as temperaturas estimadas para a cidade de João Pessoa



A Figura 6b mostra aumento da temperatura nas porções sudoeste e sudeste da cidade em relação ao período 2006–2010. Isso pode ser explicado devido ao fato de essas áreas possuírem grande presença de solo exposto e crescimento da malha urbana. Entretanto, observou-se que a temperatura variou negativamente em grande parte da cidade nesse período, mostrando uma diminuição da temperatura até mesmo em áreas mais urbanizadas da cidade, como nas porções oeste, leste e norte da cidade. Deve-se ressaltar que as imagens isoladas não têm como explicar a totalidade das alterações de temperatura na superfície em decorrência das constantes mudanças no uso do solo e por serem estáticas. As imagens captam a resposta espectral no momento da tomada, mas têm como finalidade melhorar o conhecimento sobre a variabilidade espacial da temperatura nos diversos usos do solo.

A Figura 6c indica que no período de 1991–2010 houve aumento da temperatura, sobretudo nas porções oeste, leste e sul, em função do aumento da área urbanizada e, conseqüentemente, de materiais como asfalto e concreto, onde antes havia a presença de vegetação. A presença desses materiais interfere diretamente no balanço de energia em zonas urbanas. Analisando a Figura 6c percebeu-se que a variação da temperatura foi de 35 °C (8,82 e -27,62°C) e que esta cidade apresenta temperaturas mais elevadas em relação às outras análises. Os maiores valores de temperatura ocorrem principalmente sobre as áreas adensadas e as que se expandiram continuamente no decorrer dos anos, como na porção sul da cidade, onde estão os bairros de Mangabeira e Valentina.

### Perfil do campo térmico de superfície

As Figuras 7 e 8 mostram os perfis termográficos entre os eixos A–B e C–D para os três anos analisados. Essas figuras têm por objetivo revelar, em escala de detalhe, o comportamento da temperatura da superfície do traçado dos dois perfis, com base nos distintos usos do solo. Percebeu-se semelhança no padrão de curvas nos dois eixos entre todos os anos analisados. Entretanto, o perfil da cidade de 1991 apresentou temperaturas mais elevadas em relação aos outros anos, com picos que ultrapassam os 33 °C.

Nos perfis do traçado A–B notou-se comportamento homogêneo das linhas de temperatura, com valores variando entre 25 e 33 °C (Figura 7), com queda abrupta após 5 km, mas com aumento logo em seguida. Esse fato se deve à presença do vale do Rio Jaguaribe. As áreas que apresentam os maiores valores de temperatura são constituídas por asfalto e edificações, tanto verticais quanto horizontais.

Nos perfis do eixo C–D notou-se também similaridade no comportamento homogêneo das temperaturas, com variação dos valores entre 20 e 36 °C (Figura 8). Foram registradas quedas de temperaturas acentuadas nas regiões cortadas por rios da região, onde há a presença de vegetação herbácea, que influencia diretamente na temperatura da superfície. Os valores elevados de temperatura, na Figura 8, localizam-se nas áreas com maior concentração de edificações verticalizadas e com a presença de asfalto em todas as ruas (característica dos bairros de Manaíra, Tambaú e Mangabeira).

Na Figura 8, representada pelo perfil termográfico entre os pontos C–D, observou-se também similaridade no comportamento da temperatura para todos os anos analisados. Entretanto, identificou-se que 1991 apresentou valores mais elevados de temperatura em relação aos outros anos, cujo maior valor foi de 36,5 °C entre o intervalo 3,13 e 4,17 km. Verificou-se também que em 2010 as temperaturas foram menores, sobretudo nos intervalos entre 0 e 1,04 km (21,0 °C), 9,39 km (21,6 °C) e entre 14,60 e 15,64 km (23,7 °C). Em 2006 as temperaturas variaram de 24 °C a pouco mais de 31 °C, apontando uma média entre os dois anos.

Analisando a relação da temperatura com o perfil topográfico da cidade de João Pessoa, identificou-se que as temperaturas em áreas com elevação abaixo de 10 m permanecem elevadas. As exceções ocorrem apenas entre o intervalo de 8,6 e 9,7 km, que apresenta temperatura de 22 °C, e no intervalo de 0 a 1,1 km, cuja temperatura varia de 21 a 24 °C. As áreas mais elevadas, cuja máxima elevação ultrapassa os 50 m, apresentam variação da temperatura entre 24 °C e 34 °C para os anos analisados.

Dessa forma, entende-se que a altitude não esteja interferindo de forma determinante na variação da temperatura dos pontos C–D, pois algumas áreas com elevação abaixo de 10 m, que poderiam apresentar temperaturas mais baixas, não demonstram esse comportamento. São regiões altamente urbanizadas, com aglomerados de edificações, entre os intervalos de 0 a 6,5 km.

### Perfil do campo térmico de superfície em detalhe e topografia

Com base nos perfis topográficos, constatou-se que as maiores elevações ocorrem na porção leste da cidade, mais precisamente na orla da cidade, no bairro de Tambaú, que, segundo Nascimento *et al.* (2009), é o local considerado como um dos mais aptos para a ocupação urbana. Assim, foram realizadas sobreposições dos mapas térmicos de temperatura e imagem de alta resolução espacial. As Figuras 9, 10 e 11 têm por objetivo revelar, em escala de detalhe, o comportamento da temperatura de superfície, com base nos distintos usos e coberturas, como construções, pavimentos e vegetação, no bairro de Tambaú, nas três imagens utilizadas neste estudo.

Figura 7 - Perfis termográficos do eixo A–B em 5/11/1991 (A), 26/08/2006 (B) e 8/10/2010 (C)

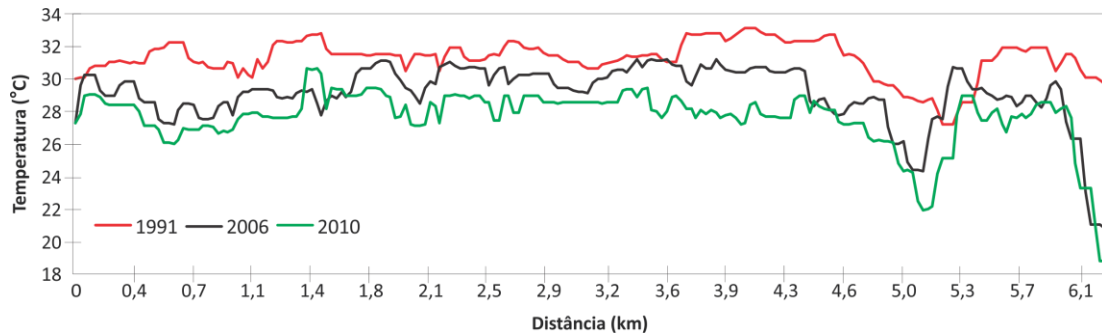


Figura 8 - Perfis termográficos do eixo C–D em 5/11/1991, 26/08/2006 e 8/10/2010

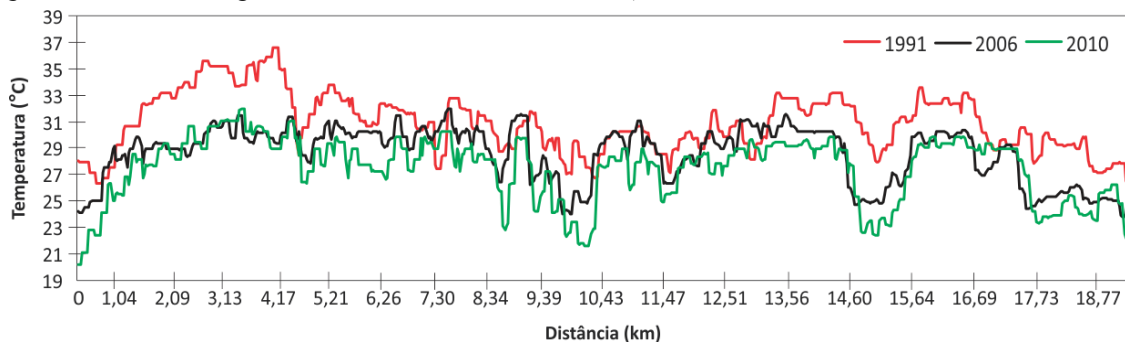




Figura 9 - Mapas altimétrico e térmico em escala de detalhe do bairro de Tambaú em 5/11/1991

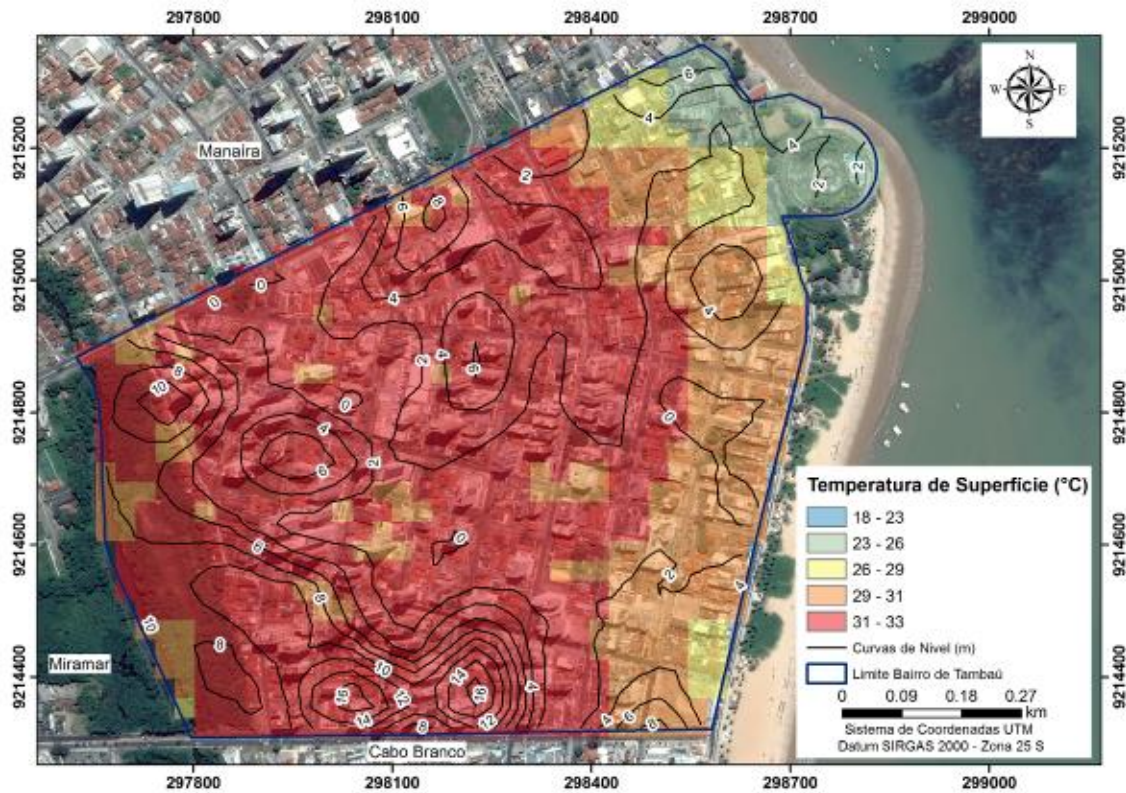


Figura 10 - Mapas altimétrico e térmico em escala de detalhe do bairro de Tambaú em 26/08/2006

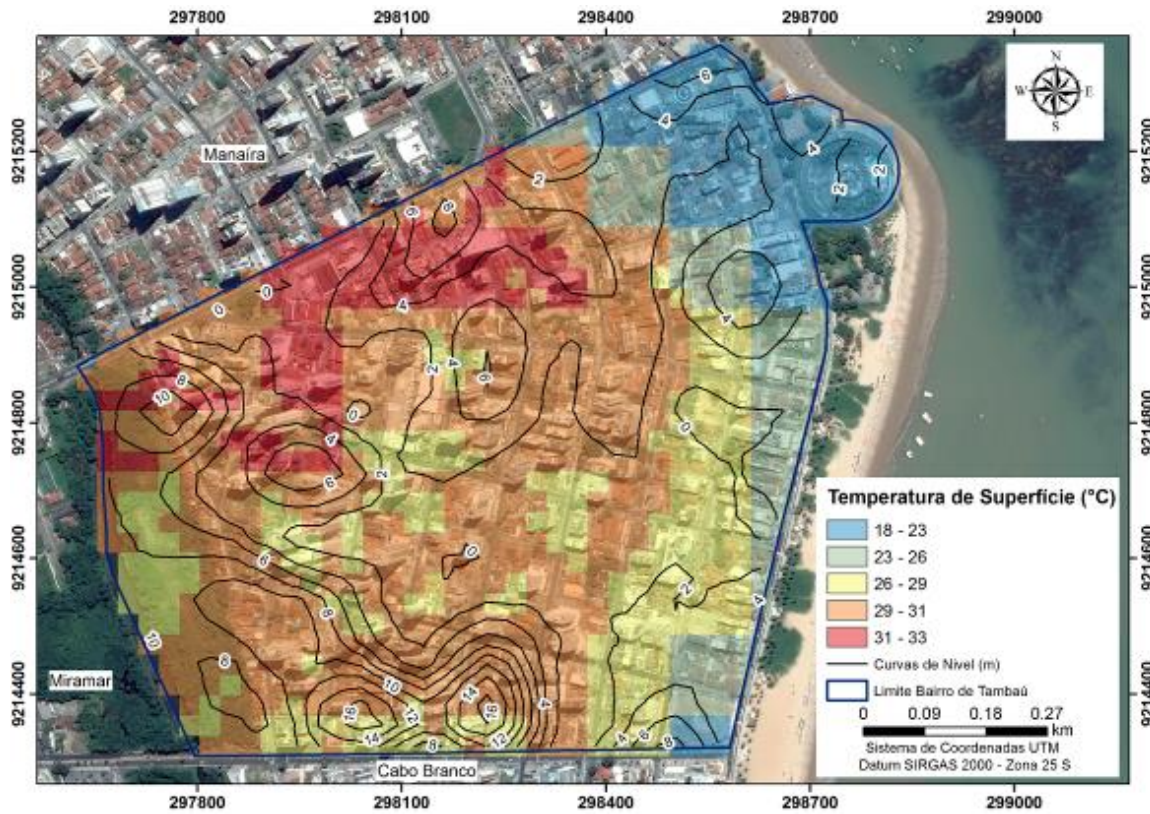
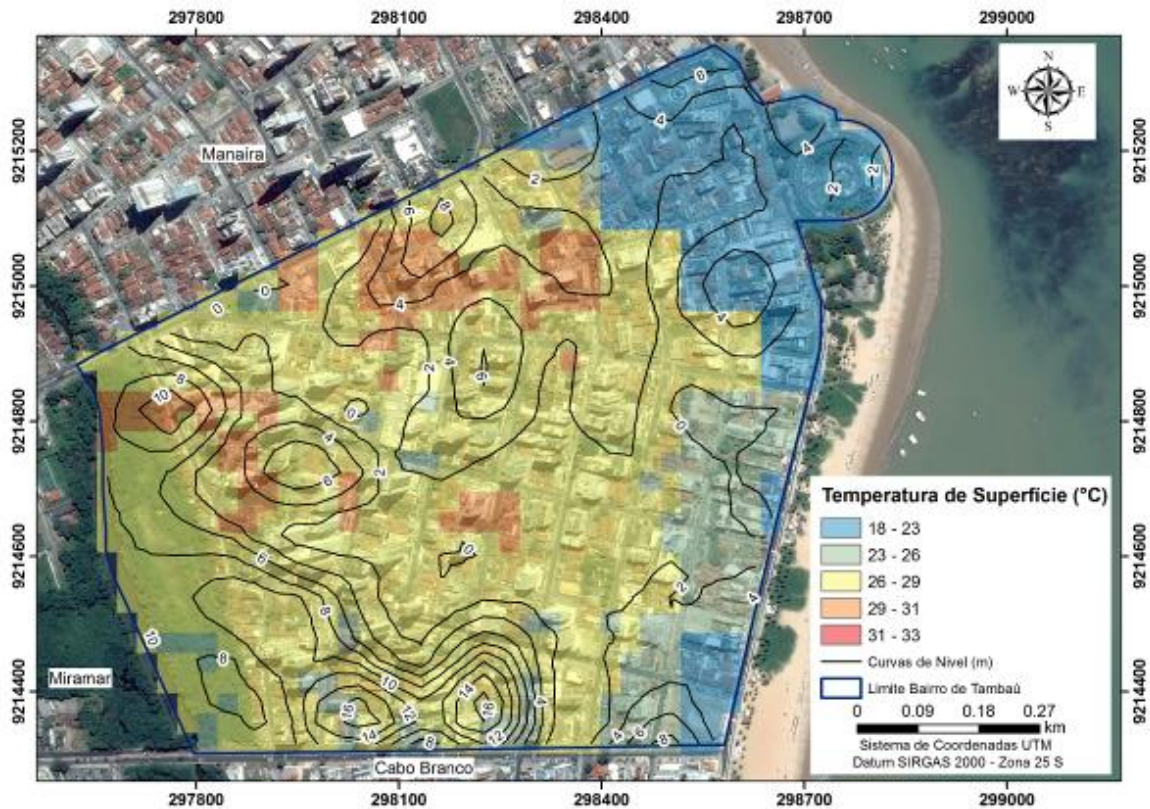




Figura 11 - Mapas altimétrico e térmico em escala de detalhe do bairro de Tambaú em 8/10/2010



O conhecimento das feições topográficas de determinado recorte espacial de detalhe é de extrema importância nos estudos climáticos, pois estes podem apresentar diferenças de microclimas oriundas da morfologia da superfície. Nesse sentido, aspectos relacionados à orientação, inclinação das vertentes e posição geográfica, conjugados com a trajetória aparente do sol, podem promover uma diferenciação no balanço de energia. Isso pode ocorrer por meio do sombreamento das encostas, modificando os padrões espaciais e temporais dos elementos do clima (COELHO; CORREA, 2013), que influenciam na ventilação e, conseqüentemente, no microclima.

Na área de estudo foram identificadas, em diversos pontos, diferenças de temperaturas de superfície. A exemplo das figuras antes mencionadas, com o mesmo padrão de rugosidade, há o predomínio de equipamentos residenciais e baixa concentração de áreas verdes, revelando que o fator topográfico interferiu no balanço de energia, por meio do sombreamento das edificações e das pequenas variações na elevação. Essa constatação, como já mencionada, pode colaborar no estudo da formação do fenômeno de ilhas de calor e de frescor, fornecendo subsídio para uma melhor compreensão do clima urbano local. Percebe-se em todas as figuras que os maiores valores de

temperatura ocorrem na porção central do bairro, onde há maior presença de edificações de maior porte.

## Conclusões

A análise do uso e ocupação do solo da cidade de João Pessoa apontou que, no decorrer dos dias analisados (5/11/1991, 26/08/2006 e 8/10/2010), a cidade teve um considerável crescimento da malha urbana sobre áreas de vegetação herbácea e solo exposto. O município apresentou crescimento com características de espraiamento, sobretudo a sudeste e sudoeste da região, considerado único viés possível de expansão da malha urbana. Também se observou que houve maior adensamento das áreas construtivas, causadas pela substituição de áreas que tinham características horizontais por áreas verticais. Para tanto, as imagens e os dados estatísticos mostraram que as áreas com vegetação arbórea/arbustiva tiveram crescimento gradativo ao longo do período analisado.

A temperatura da superfície ( $T_s$ ) apresentou maiores valores sobre área urbana, vegetação herbácea e solo exposto nos três dias analisados. Isso ocorreu, sobretudo, para o dia 5/11/1991, quando se obtiveram valores máximos de temperatura em comparação aos outros dias. A

maior temperatura média de superfície foi de 31,4 °C sobre área urbana, 30 °C sobre vegetação herbácea e de 31,1 °C em solo exposto. Em 2006 e 2010, obtiveram-se os menores valores de temperatura em relação a 1991, sobretudo na classe água e vegetação arbórea/arbustiva.

Os resultados apresentados pela álgebra de mapas também apresentam temperaturas mais elevadas em áreas com densidade urbana maior, e em áreas que se expandiram continuamente com o decorrer dos anos, como a porção central, leste e toda a porção sul da cidade. As áreas menos adensadas, concentradas mais a sudoeste da cidade, apresentaram temperaturas menos elevadas.

Dessa forma, percebeu-se que a temperatura da superfície é maior em áreas densamente urbanizadas, onde há predomínio de concreto e solo exposto, e menor em regiões onde há certa quantidade de vegetação e áreas menos adensadas. Contudo, considera-se que o período sazonal em que as imagens estão inseridas tenha contribuído para os resultados obtidos.

Na análise dos perfis termográficos entre os pontos A-B e C-D, observou-se que a variação da temperatura ocorre em virtude da mudança da densidade urbana e do uso do solo da região. Pode-se identificar também que a topografia não foi um fator determinante nessa variação.

## Referências

- ADAMI, M. et al. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1371-1378, 2008.
- ALLEN, R. G. *et al.* **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land): advanced training and user manual – Idaho Implementation, version 1.0**, 2002.
- AMIRI, R. *et al.* Spatial–Temporal Dynamics of Land Surface Temperature in Relation to Fractional Vegetation Cover and Land Use/Cover in the Tabriz Urban Area, Iran. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 12, p. 2606-2617, 2009.
- ARAÚJO, L. M. **A Produção do Espaço Intraurbano e as Ocupações Irregulares no Conjunto Mangabeira – João Pessoa**. João Pessoa, 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- BOEGH, E. *et al.* Evaluating Evapotranspiration Rates and Surface Conditions Using Landsat TM to Estimate Atmospheric Resistance and Surface Resistance. **Remote Sensing of Environmental**, v. 79, n. 2, p.329-343, 2002.
- CHANDER, G. *et al.* Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients For Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.
- COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, 31-45, 2013.
- CORRÊA, P. B. *et al.* Análise da Temperatura de Superfície da Área Urbana de Santarém Através de Imagens Termais do Landsat 5. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 714-722, 2012.
- DOUSSET, B.; GOURMELON, F. Satellite Multi-Sensor Data Analysis of Urban Surface Temperatures and Landcover. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, n. 1, p. 43-54, 2003.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE INC. **ArcGIS Desktop 10.1**. New York, 2010. 1 CD-ROM.
- FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. Thermal Remote Sensing for Land Surface Temperature Monitoring: Maraqeh County, Iran. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2012. **Proceedings...** 2012.
- FORMIGONI, M. de H. *et al.* Análise Temporal da Vegetação na Região do Nordeste Através de Dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p.1-8, 2011.
- GALLO, K.; XIAN, G. Application of Spatially Gridded Temperature and Land Cover Data Sets For Urban Heat Island Analysis. **Urban Climate**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2014.
- GALVÍNCIO, J. D. *et al.* Análise da Temperatura do Ar e da Superfície no Sítio Boa Felicidade em São José do Sabugi – PB no Semi-Árido do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 124-141, 2009.
- HUETE, A. R. A Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 2, p. 295-309, 1988.
- IQBAL, M. **An Introduction to solar Radiation**. New York: Academic Press, 1983.
- JAKOB, A. A. E. Urban Sprawl: custos, benefícios e o futuro de um modelo de desenvolvimento do uso da terra. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., Ouro Preto, 2002. **Anais...** Ouro Preto: ABEP, 2002.

- KRÜGER, E. L. *et al.* Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort and Air Quality From Field Measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 621-634, 2011.
- 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.
- NASCIMENTO, V. M. L. C. *et al.* SIG na Avaliação de Áreas Para Ocupação Urbana de João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, v. 9, n.1, p. 107-123, 2009.
- PASSOS, L. A. *et al.* Processo de Expansão Versus Sustentabilidade Urbana: reflexão sobre as alternativas de deslocamento na cidade de João Pessoa, PB. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 4, n. 1, p. 47-59, 2012.
- QIN, Z. *et al.* A Mono-Window algorithm for Retrieving Land Surface Temperature From Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3719-3746. 2001.
- RAFAEL, R. A. *et al.* Caracterização da Evolução Urbana do Município de João Pessoa/PB Entre os Anos de 1990 e 2006, Com Base em Imagens Orbitais de Média Resolução. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009.
- SANTANA, E. F. *et al.* Multispectral Image Unsupervised Segmentation Using Watershed Transformation and Cross-Entropy Minimization in Different Land Use. **GIScience and Remote Sensing**, v. 51, n. 7, p. 613-629, 2014.
- SANTOS, J. S. **Campo Térmico Urbano e a Sua Relação Com o Uso e Cobertura do Solo em Uma Cidade Tropical Úmida.** Campina Grande, 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- SILVA, B. B. *et al.* Mapeamento do Albedo de Áreas Heterogêneas do Estado do Ceará Com Imagens TM – Landsat 5. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 2, p. 33-52, 2008.
- SILVA, B. B. *et al.* Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.
- SILVA, R. M. *et al.* Estimation of Evapotranspiration in Brigida River basin (Brazil) by Satellite Remote Sensing. **IAHS-AISH Publication**, v. 344, p. 208-214, 2011.
- SOBREIRA, L. C. *et al.* Expansão Urbana e Variações Mesoclimáticas em João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 125-138, 2011.
- SOUZA J. D.; SILVA, B. B. Correção Atmosférica Para Temperatura da Superfície Obtida Com Imagem TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 349-358, 2005.
- SOUZA, F. X. S. Alterações do Macroclima Urbano de Paranaguá Devido à Ação Antrópica – PR. **Revista de Divulgação Científica e Cultural do Isulpar**, v. 1, n. 1, p. 52-68, 2010.
- THORESON, B. P.; ALLEN, R. G. SEBAL Model With Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 85-93, 2005.
- VALERIANO, M. M. *et al.* Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, 2009. **Anais...** São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelas bolsas de mestrado do primeiro e terceiro autores, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de produtividade do segundo autor.

**Jussara Freire de Souza**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia | Universidade Federal da Paraíba | Cidade Universitária | João Pessoa - PB - Brasil | CEP 58051-900 | Fone: (83) 3216-7393 | E-mail: jussarafsouza@yahoo.com.br

**Richarde Marques Silva**

Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza | Universidade Federal da Paraíba | Tel.: (83) 3216-7750 | E-mail: richarde@geociencias.ufpb.br

**Alexandro Medeiros Silva**

Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza | Universidade Federal da Paraíba | Tel.: (83) 3216-7595 | E-mail: medeiros\_alexandro@hotmail.com

***Revista Ambiente Construído***

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)