

Distribuição das Classes de Temperatura de Superfície a Partir da Faixa do Infravermelho Termal do Sensor TM/Landsat-5 no Município de Vitória (ES)

André Luiz Nascentes Coelho

Universidade Federal do Espírito Santo – Depto. de Geografia/CCHN/UFES
Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias
Av. Fernando Ferrari, 514 - 29075-973 - Vitória - ES, Brasil
alnc.ufes@gmail.com

Abstract. This paper aims at investigating the relationship between the classes of surface temperatures and classes of land cover and use the city of Vitória (ES) based on orbital and suborbital products and remote sensing techniques, in particular, the application channel image thermal infrared sensor TM/Landsat-5 through the identification and analysis of surface temperature. Study results appeared satisfactory, as it allowed not only to identify the highest percentages of surface temperature variations in the different uses, but also to define the profile of the thermal field in different textures. Such methodology also allows the definition and analysis of other areas in the state and regions of Brazil, becoming important information to aid in decision making, like, the indication of areas to be vegetated.

Palavras-chave: remote sensing, TM/Landsat-5, thermal infrared, atmospheric correction, thermal discomfort - sensoriamento remoto, TM/Landsat-5, infravermelho termal, correção atmosférica, desconforto térmico.

1. Introdução

Segundo Coelho (2003), o processo de urbanização constitui uma das formas espaciais concebidas pela sociedade humana que mais alteram o ambiente físico, principalmente pela falta de planejamento da ocupação. Parte considerável desse processo ocorre com supressão das áreas verdes e substituição da superfície do solo por materiais não-evaporativos e não-porosos, como asfalto, concreto, entre outros, resultando em um aumento geral da temperatura da paisagem, um clima próprio ou clima urbano (MONTEIRO e MENDONÇA, 2011; MONTEIRO, 1976).

Seus efeitos mais diretos são sentidos pela população através da alteração do conforto térmico, da qualidade do ar, além de outras manifestações, deteriorando a qualidade de vida dos habitantes (MENDONÇA e DANNI-OLIVERIA, 2007).

De acordo com Brandão (2011), o efeito “ilha de calor” é um dos mais significativos no clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e mesoclimáticas locais como as diversas edificações, usos e cobertura do solo, morfologia dos materiais constituintes, da baixa concentração de áreas verdes, dentre outros, como fatores potencializadores na geração do clima urbano.

Uma das maneiras de se investigar o clima urbano de uma dada região é com emprego de dados e técnicas de sensoriamento remoto infravermelho termal para detectar as características térmicas das superfícies urbanas. Rao (1972) foi o primeiro a demonstrar que áreas urbanas poderiam ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite.

Pesquisadores como Lombardo (1985), Mendonça (1994), Streutker (2002), Weng et al. (2004), Liu (2006), Jensen (2008), Weng (2010), entre outros, também usaram sistemas de sensoriamento remoto infravermelhos termais para documentar o efeito de ilha de calor urbana, assim como extrair informação de temperatura da superfície de distintos materiais.

Contribuição importante foi a publicada por Chander et al. (2009) discutindo e aplicando fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica e obtenção de temperaturas Celsius °C, para imagens TM/Landsat-5 canal 6, técnica que será empregada nesse trabalho.

Assim, o presente estudo objetiva investigar a relação entre as classes de temperaturas de superfície e usos e coberturas da terra do município de Vitória (ES) por meio de produtos orbitais e suborbitais, técnicas de sensoriamento remoto e controle de campo. Como objetivos específicos explorar a aplicação da imagem do canal do infravermelho termal do sensor TM/Landsat-5, por meio da detecção e análise de temperaturas de superfície; difundir o uso integrado e a aplicação das geotecnologias referentes aos produtos de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas nos estudos geográficos, e no auxílio nas tomadas de decisões, a exemplo da proposição de diretrizes.

1.1 Área de Estudo

A área objeto desse estudo abrange o município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo, importante centro comercial da Região Metropolitana da Grande Vitória – RMGV, situada na latitude 20°10'09" Sul, e longitude de 40°20'50" a Oeste de Greenwich.

Do ponto de vista populacional, Vitória é uma cidade cem por cento urbana, com uma densidade demográfica de aproximadamente 3.527 hab/km² e cerca de 330 mil habitantes, de acordo com a estimativa populacional publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em 2011.

Como características geográficas, Vitória se assemelha a Florianópolis e São Luiz, pois a capital do Espírito Santo se estabeleceu sobre uma ilha, mais precisamente, por um conjunto de 34 ilhas com uma extensão total de 87 km², dos quais 40% são áreas cobertas por morros. O clima operante é definido como tropical úmido com temperatura média anual de 23 °C, enquanto a maior temperatura máxima absoluta registrada foi 39,6 °C e a menor de 9 °C, segundo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

2. Materiais e Métodos

Para que os objetivos propostos desse estudo fossem alcançados, o mesmo foi dividido em duas principais etapas, sendo: Primeira, aquisição de referencial bibliográfico selecionado abordando a temática e consulta das condições de tempo no dia da passagem do satélite.

Segunda, aquisição de imagem orbital digital gratuita do satélite *Thematic Mapper-TM/Landsat-5*, Órbita 215, ponto 74, com data de passagem 31/08/2011 e horário central 12:27 h, canais/bandas 1, 2, 3 e 6, correspondendo o último ao infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5 µm - micrômetro) com resolução espacial de 120 x 120m do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2012). Bases cartográficas: Limite Municipal, Área Urbana, Bairros, Ortofotomosaico Digital 1/5.000 cedidas pela Coordenação de Geoprocessamento do Instituto Jones dos Santos Neves - CGEO/IJSN (2011).

Registro de pontos de interesse com aparelho receptor de GPS (Global Positioning System) Garmin Série H, Microcomputador PC, Excel e Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 10.

A organização dos dados vetoriais teve início com a criação de um projeto no SIG e a adição dos Planos de Informações abrangendo o município adjacências ajustados, quando necessário, no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 Zona 24 Sul com todo o mapeamento produzido seguindo a padronização cartográfica segundo Fitz (2008).

Já a organização e tratamento dos dados raster iniciou-se com o georreferenciamento das imagens TM/Landsat-5 seguido da utilização de parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin e finalmente para graus Celsius (°C) conforme metodologia discutida por Chander et al. (2009) expressa nas Equações 1 e 2, inseridas na calculadora raster do SIG ArcGIS.

$$L_{\lambda} = ((lmax_{\lambda} - \lambda Lmin) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + \lambda Lmin \quad (1)$$

Tabela 1 – Elementos da fórmula de conversão para radiância

L_{λ}	Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts
QCAL	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN.
$L_{min \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMIN em Watts = 0.000.
$L_{Max \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMAX = 17.040.
QCALMIN	O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{min \lambda}$), em DN = 1
QCALMAX	Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{Max \lambda}$) no DN = 255.

Fonte: Chander et al. (2009).

Conforme mencionado, após a transformação dos valores em radiância aplicou-se a Equação 2 com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (2)$$

onde:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K2 = Constante de calibração = 1.260,56

K1 = Constante de calibração = 607,76

L = Radiância espectral em Watts / (metros quadrado).

Tabela 2. TM + Constante de Calibração da banda termal.

	Constant 1 - K1 Watts / (metros quadrado ster * * mm)	Constant 2 – K2 Kelvin
TM/Landsat-5	607,76	1.260,56

Fonte: adaptado de Chander et al. (2009).

Após este procedimento os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C). Na sequência foi realizado o redimensionamento do pixel de 120 x 120m para 60 x 60m da imagem de temperatura seguida do recorte com base nos limites municipais e reclassificação.

Posteriormente foi elaborado o mapa de uso e cobertura da terra com base na imagem de satélite TM/Landsat-5 composta nas bandas RGB colorido com a combinação da banda 1 ao filtro azul, banda 2 ao filtro verde e a banda 3 associada ao filtro vermelho (1R; 2G; 3B), correspondendo, respectivamente, aos comprimentos de ondas azul, verde e vermelho, além do ortofotomosaico digital para detalhamentos de alguns polígonos.

As classes de uso e cobertura da terra foram definidas com base nas emissividades dos seguintes materiais: 1) Corpo D'água, compreendendo as águas superficiais do município; 2) Floresta/Mangue/Restinga, abrangendo todas as áreas verdes com exceção da silvicultura; 3) Silvicultura, particularmente eucalipto; 4) Solo Exposto / Matacão, abrangendo áreas sem equipamentos e sem qualquer cobertura vegetal, como também os campos de matações; 5) Urbano / Industrial, abrange equipamentos residenciais, industriais e institucionais, a exemplo do aeroporto Eurico de Aguiar e a Vale. 6) Praia, correspondendo exclusivamente a porção arenosa. De posse dos dois produtos principais foram realizadas em ambiente SIG a elaboração de mapas e também análises estatísticas obtendo valores para cada classe de uso e cobertura da terra nos intervalos de temperaturas com base na média geral da amostra $\leq 20,5$; 20,6 à 24,5; 24,6 à 27,5, 27,6 à 30,5, e $> 30,6$.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o mapa da relação entre as classes de temperaturas de superfície do satélite TM/Landsat-5 e classes de uso e cobertura da terra do município de Vitória (ES) em 30/08/2011 e o horário central 12:27 hs, registrando temperatura mínima de 18,7 °C, máxima de 35,9 °C, média de 22 °C e amplitude de 17,2 °C.

Esta amplitude elevada está relacionada diretamente a resposta da radiação dos materiais e dos diversos usos que são realizados no território, a exemplo no parque industrial da Vale e da Arcelor, situados no extremo norte de Vitória, registrando valores máximos e mínimos.

Nessa data, a previsão do tempo apontou máxima de 33 °C e mínima de 21 °C com probabilidade de chuva igual zero, ou seja, forte insolação, ausência de nuvens no decorrer do dia, condições estas que favorecem a emissividade dos materiais. Na comparação com o histórico de temperaturas médias registradas em agosto pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, aponta valores máximos em torno de 31 °C e 33 °C.

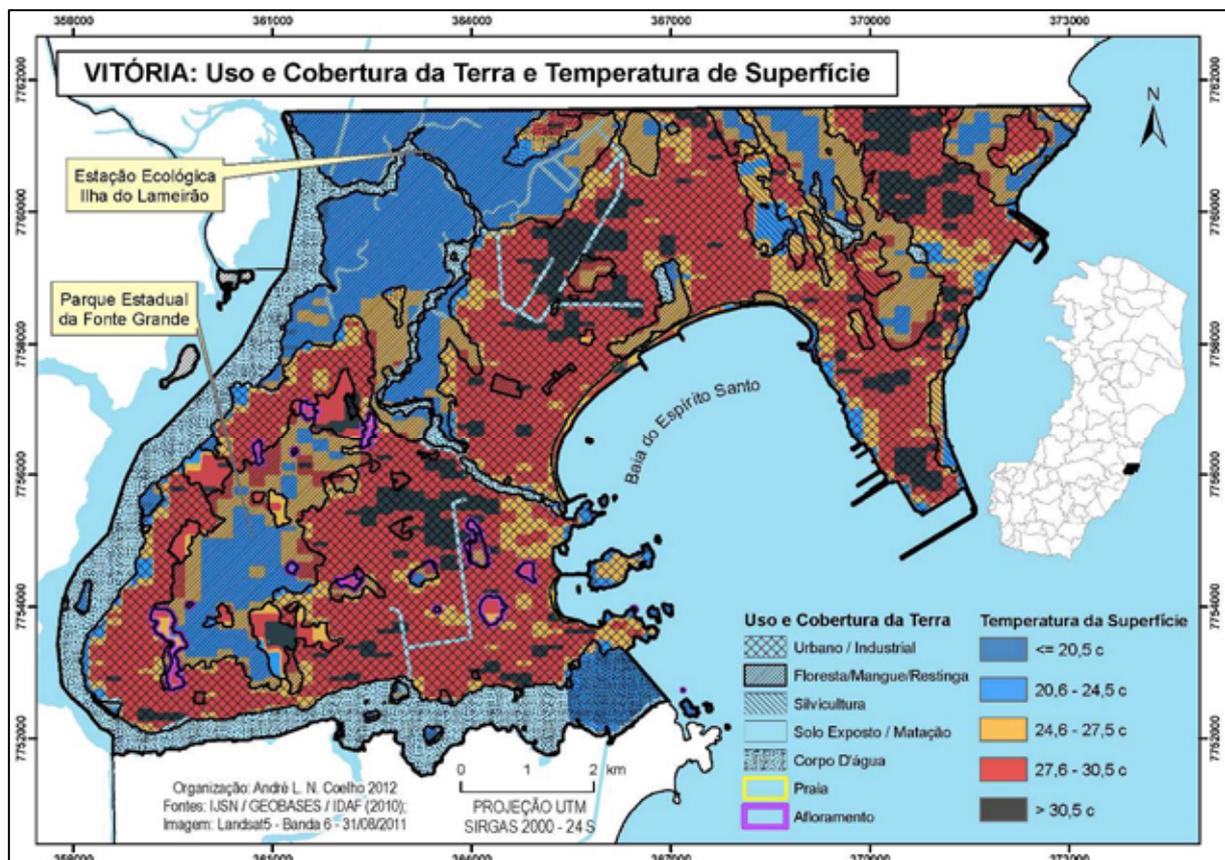


Figura 1 - Mapa da relação do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície.

3.1 Espacialização dos Principais Usos e Intervalos de Temperaturas de Superfície

No que se refere às classes de uso e cobertura da terra, há o predomínio do Urbano / Industrial seguido da Floresta / Mangue / Restinga que ocupam 44,8 km² e 24,8 km² respectivamente, abrangendo, ambas as classes, mais de 80% da área de estudo.

A classe Floresta / Mangue / Restinga ocorre, sobretudo na porção noroeste e centro sul como o Parque Estadual da Fonte Grande e a Estação Ecológica do Lameirão, um dos maiores manguezais urbanos do mundo (Figura 1).

Os intervalos de temperaturas de superfície que mais predominaram no território, no momento da passagem do satélite, foram de 27,6 a 30,5 °C e 20,6 a 24,5 °C abrangendo 33,4 km² e 21,2 km² respectivamente e ambas cobrindo mais de 63 % território.

3.2 Perfil do Campo Térmico de Superfície

As Figuras 2 e 3 têm por objetivo revelar o comportamento da temperatura de superfície do traçado do perfil A-B de 3,9 km com base nos distintos materiais como solo exposto, construções, água e vegetação.

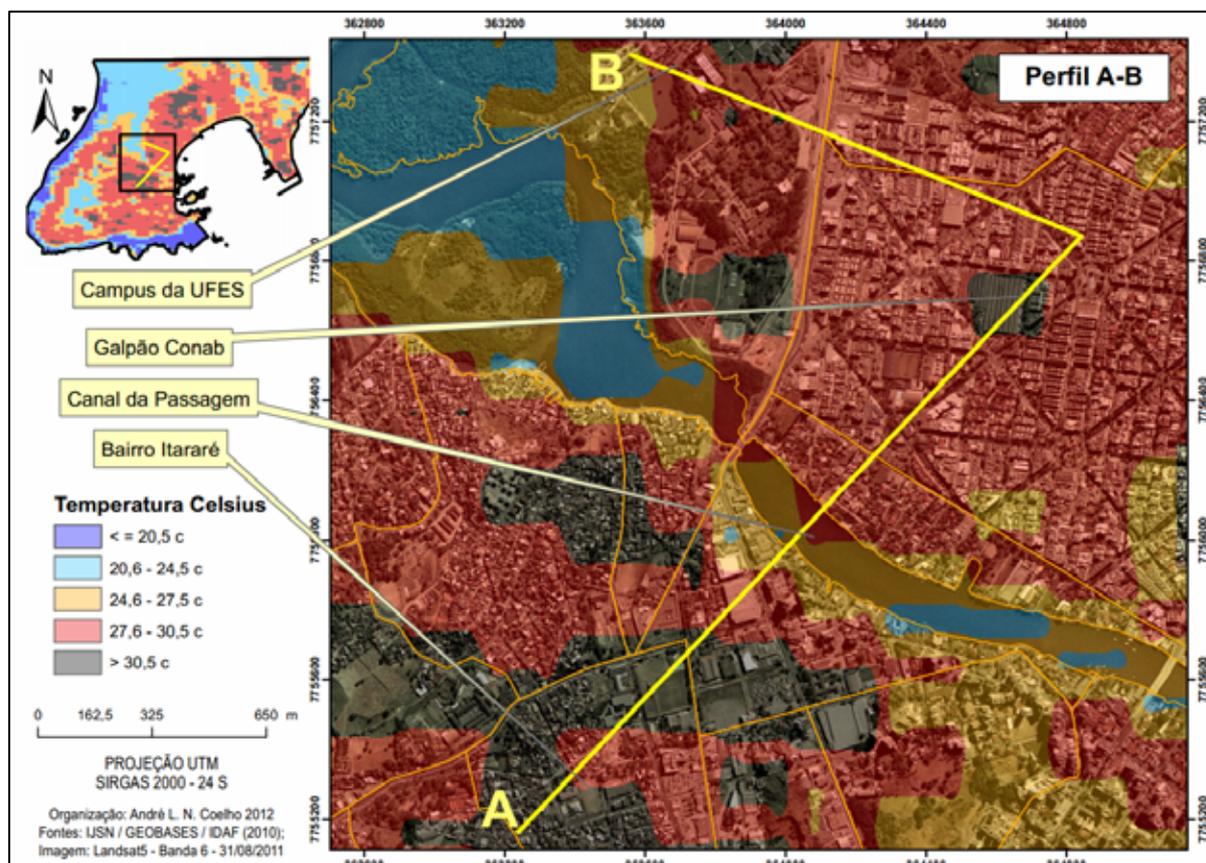


Figura 2 – Mapa mostrando o traçado Perfil A-B com objetivo de registrar temperaturas de superfície com base nos materiais.

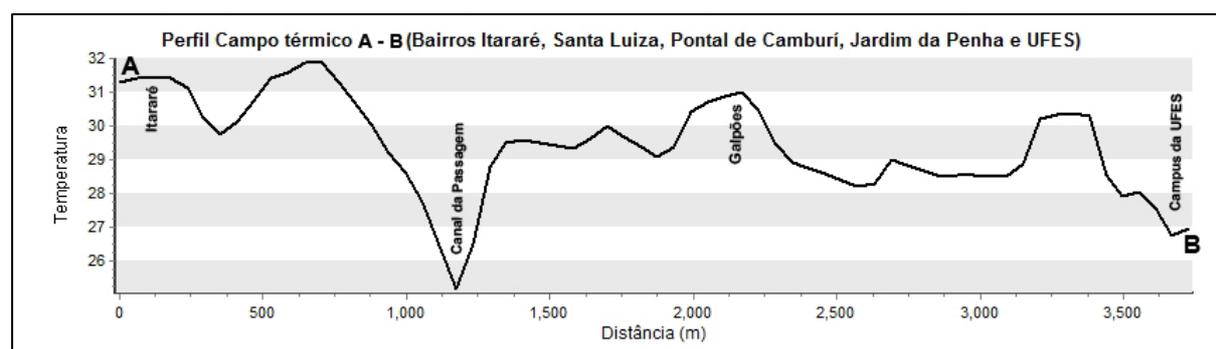


Figura 3 – Gráfico do perfil A-B do campo térmico de superfície (°C) da imagem termal do satélite TM/Landsat-5 em 30/08/2011 e o horário central 12:27 hs registrando variações conforme os materiais.

A amplitude registrada nesse perfil no momento da passagem do satélite foi de 6 °C, considerada elevada, com os menores valores de 24,7 °C registrados na superfície da água (Canal da Passagem) e Manguezal do Campus da UFES enquanto os maiores foram localizados nas áreas construídas com intensa exatância termal dos galpões com telhados de

zinco e amianto (Ex.: Galpão da Conab no Bairro Jardim da Penha ver Figuras 2 e 4) registrando valores superiores a 30,6 °C.



Figura 4 – Foto aérea em outubro/2012 do bairro Jardim da Penha, tendo ao centro da imagem as telhas dos galpões da Conab com registro de temperatura superior a 30,6 °C no momento da passagem do satélite TM/Landsat-5 canal 6.

3.3 Dados Estatísticos do Uso e Cobertura da Terra nos Intervalos de Temperatura

Abaixo, na Tabela 3 é apresentado o resultado da estatística por zona do uso e cobertura da terra em relação aos intervalos de temperaturas (°C) expressos em percentuais, obtendo uma média dos valores máximos superior a 53%.

Tabela 3. Percentuais de uso e cobertura da terra em relação aos intervalos de temperatura

Intervalos de Temperaturas Celsius – °C	Uso e Cobertura da Terra						
	Afloramento	Floresta / Mangue / Restinga	Praia	Silvicultura	Solo Exposto / Matação	Urbano / Industrial	Corpo D'Água
≤20,5	0,0%	1,0%	3,4%	0,8%	0,2%	0,5%	50,5%
20,6 - 24,5	5,5%	56,9%	14,1%	24,2%	6,6%	4,1%	36,3%
24,6 - 27,5	33,5%	32,0%	38,9%	46,3%	19,8%	17,2%	10,4%
27,6 - 30,5	59,0%	9,8%	36,2%	28,3%	57,3%	64,3%	2,4%
> 30,5	2,0%	0,4%	7,4%	0,4%	16,2%	13,8%	0,4%
Totais	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Há o destaque para a classe Urbano / Industrial apresentando um percentual de 64,3% no intervalo de temperaturas entre 27,6 a 30,5. Estes valores elevados são em função dos materiais que predominam nesses locais como asfalto, concreto, metais (zinco) e telhas de amianto.

Outra classe que chamou a atenção é o Solo Exposto / Matação com um percentual de 57,3% estando no mesmo intervalo de temperaturas da classe Urbano / Industrial (27,6 a 30,5 °C), situado no setor centro-sul do município.

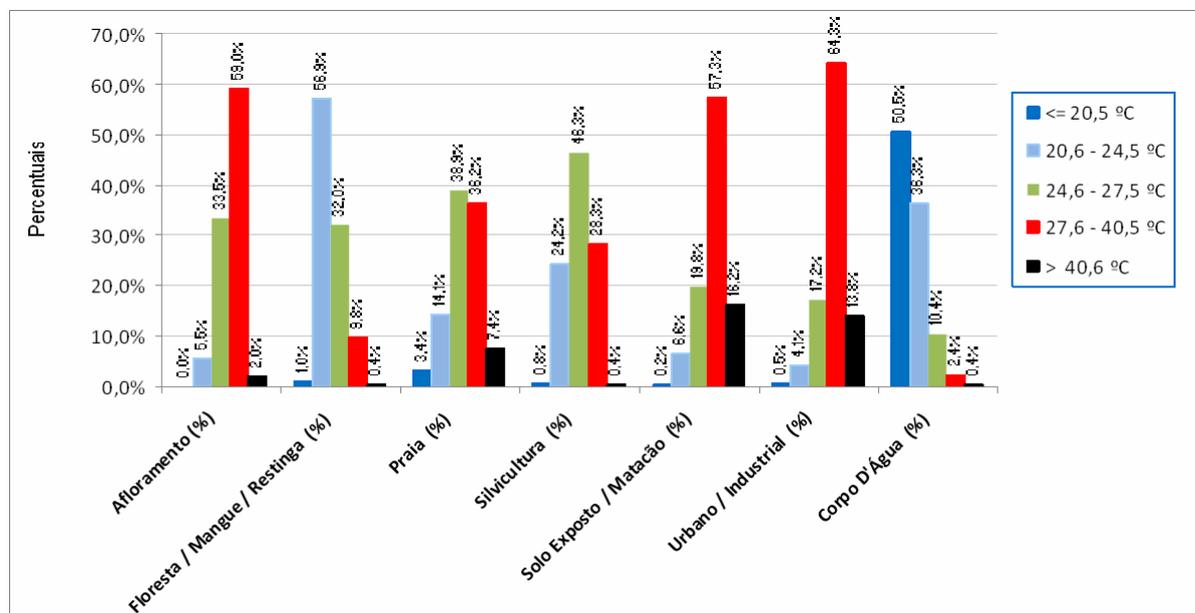


Figura 5 – Gráfico representando os percentuais para cada tipologia de Uso e Cobertura da Terra.

Já a classe Corpo D'água predomina no intervalo de <= 20,5 °C, estando situada sobretudo ao longo da Baía de Vitória (50,5 %), enquanto a classe Floresta / Mangue / Restinga Parque Estadual da Fonte Grande e a Estação Ecológica do Lameirão registrou o intervalo de 20,6 a 24,5 °C com 56,9%.

3.4 – Outras Considerações

Foram identificadas no momento da passagem do satélite efeitos característicos de ilhas de calor, oásis, canyons e áreas tampão urbanos. As Ilhas de Calor identificadas na Figura 1 ocorrem em praticamente em todos os setores da classe de cobertura da terra denominada Urbano / Industrial com temperaturas superiores a 30,5 °C, porém as manchas maiores correspondem a regiões como o parque industrial e o aeroporto situado na porção centro-norte.

Já o efeito Oásis, decorrente do frescor derivado de áreas verdes ou corpos d'água, estão situados na ilha do Boi, ilha do Frade, porção sudeste do território, como também na porção sudoeste, no entorno a Baía de Vitória e adjacências do canal da Passagem.

Os Canyons identificados estão localizados a leste do município em maciços mais elevados cobertos por vegetação (Figuras 1 e 2).

O efeito tampão ocorre de forma pontual como no setor norte da Avenida Leitão da Silva, normalmente em regiões do reverso dos maciços destituídos de vegetação e densamente cobertos por construções. Esse efeito, inicia-se com entrada do ar quente proveniente do corpo d'água adjacente formando um tampão impedindo a ascensão do ar mais frio que está próximo do solo, causando uma inversão térmica natural.

4. Conclusões

Os resultados extraídos durante a passagem do satélite evidenciaram áreas no município de Vitória com intensa exitância termal como prédios, pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a distribuição heterogênea dessas

respostas, resultando em temperaturas de superfície e amplitudes elevadas de 17,2 °C. Constatou-se também, a influência e a importância da cobertura vegetal na amenização da temperatura, a exemplo do Parque Estadual da Fonte Grande.

Como diretrizes sugere-se a elaboração de um plano de rearboreização dos locais onde foram detectadas as ilhas de calor, de forma a amenizar as condições de temperatura. Outra medida mais complexa é aplicar uma legislação que defina uma relação adequada entre espaço construído e área verde.

Enfim, as informações de temperatura da superfície adquirida através de técnicas de sensoriamento remoto com o uso do canal infravermelho termal do TM/Landsat-5, mostraram-se satisfatórias sob o aspecto da utilização de geotecnologias em ambientes urbanos, contribuindo na identificação, espacialização e na compreensão dos problemas, podendo ser aplicada em outros intervalos de datas e locais distintos.

Referências Bibliográficas

Brandão, A. M. P. M. O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro, in: Monteiro, C. A. F.; Mendonça, F. Clima Urbano. 2ª Edição. São Paulo: Contexto, 2011. p. 121-154.

Coordenação de Geoprocessamento do Instituto Jones dos Santos Neves - CGEO/IJSN, Bases cartográficas: Limite Municipal, Área Urbana, Bairros, Ortofotomosaico Digital 1/5.000, 2011.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2009, p. 893-903.

Coelho, André L. N. O histórico da ocupação e impactos socioambientais no eixo norte da RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte) em áreas do município de Ribeirão das Neves - MG – 2003 (dissertação de mestrado)

Fitz, Paulo R. Geografia Tecnológica. In: Geoprocessamento sem complicação, Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. p 19-29.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, censo demográficos 2011 (estimativa).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Catálogo de imagens TM/Landsat-5, Órbita 215, ponto 74, com data de passagem 31/08/2011 e horário central 12:27 h. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/cdsr/>>. acesso em: 31 ago. 2012.

Jensen, John R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, Editora Parêntese, São José dos Campos, SP, 2009, 598p.

Liu, William T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto editora Uniderp, Campo Grande – MS, 2006.

Lombardo, Magda Adelaide. Ilhas de Calor nas metrópoles. São Paulo: Hucitec: 1985.

Mendonça, F., Danni-Oliveria, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. Editora Oficina de texto. São Paulo. 2007. 206p.

Mendonça, F.A. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina / PR São Paulo, 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

Monteiro, C. A. F.; Mendonça, F. Clima Urbano. 2ª Edição. São Paulo: Contexto, 2011. 192 p.

Monteiro, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e clima urbano. São Paulo: USP/IG, 1976.

Rao, P. K. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, v.53, p.647-648, 1972.

Streutker, D. R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.23, n.13, p.2.595-2.608, 2002.

Weng, Q, Remote sensing and GIS integration : theories, methods, and applications, New York : McGraw-Hill, 2010.

Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, Oxford, v.89, 2004. p.467-483.