



TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES

SURFACE TEMPERATURE SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METHODOLOGY AND APPLICATIONS

André Luiz Nascentes Coelho
Professor do Depto. de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo
Coordenador do Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias
alnc.ufes@gmail.com

Wesley de Souza Campos Correa
Discente do programa de Pós Graduação em Geografia UFES
wesley.campos.correa@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, contribuir na difusão e operacionalização das geotecnologias, apresentando os algoritmos para obtenção de temperatura da superfície horizontal Celsius na faixa infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat-8, banda 10. A aplicação das equações proporcionou não só identificar os maiores percentuais de temperatura de superfície, em diferentes escalas espaciais, como também, definir o perfil do campo térmico em distintas texturas. Além disso, foi possível comparar, em imagens, a melhoria da resolução espacial do canal infravermelho termal Landsat-8 em relação ao Landsat-5. Tal metodologia possibilita a aplicação em outros intervalos de datas e locais distintos, contribuindo nas pesquisas e no auxílio de tomadas de decisões.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, infravermelho termal, correção atmosférica.

ABSTRACT

This study aims to contribute to the dissemination and operationalization of geotechnologies presenting a formula for obtaining horizontal surface temperature Celsius of the thermal infrared sensor TIRS/Landsat-8 band 10. The application of the algorithm provided not only identify the highest percentages of surface temperature at different spatial scales, staffing the thermal field in distinct textures and to compare images in improving the spatial resolution of the thermal infrared channel sensor Landsat-8 compared the Landsat-5. This methodology enables the application to other date ranges and different places, contributing to the understanding of the problems and aid decision making.

Keywords: remote sensing, thermal infrared, atmospheric correction.

1. INTRODUÇÃO

As geotecnologias com destaque para o sensoriamento remoto (SR) integrado com o sistema de informações geográficas (SIG) possuem grande relevância no auxílio à pesquisa em seus diversos âmbitos (Coelho, 2010; Fitz, 2008; Lo e Yeung, 2008). Particularmente, o sensoriamento remoto, vem adquirindo nas últimas décadas grande aceitação no meio acadêmico em função do acesso a hardwares, softwares e produtos gratuitos como as imagens de satélites, dados interferométricos, entre outros, complementando as análises e aplicações, a exemplo das pesquisas geográficas.

Estudos expressivos que utilizam dados e técnicas de sensoriamento remoto orbital e suborbital são encontrados em trabalhos como Coelho (2010, 2009), Ponzoni e Shimabukuro (2010), Jensen (2009), Florenzano (2008, 2007 e 2005), Liu (2006), Vieira (1993), na identificação de áreas de riscos, estudos geológicos, geomorfológicos, crescimento urbano, conforto térmico, uso e cobertura da terra, entre outros.

Já as pesquisas que fazem o uso da imagem termal são diversas merecendo destaque para Rao (1972), que foi o primeiro a demonstrar que as áreas urbanas poderiam ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite. Pesquisadores como Fialho (2012), Souza e Ferreira Júnior (2012), Nascimento (2011), Weng (2010 e 2003), Jensen (2009), Liu (2006), Weng *et al.* (2004), Oke (2003 e 1978), Streutker (2002), Mendonça (1995 e 2003), Lombardo (1985), 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 de destaque foi a publicada por Chander *et al.* (2009) que discutiram e aplicaram fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica e obtenção de temperaturas Kelvin, para imagens de satélite Earth Observer-1(EO-1) e da série Landsat 1 a 7.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo contribuir na difusão e operacionalização das geotecnologias apresentando a fórmula de obtenção de temperatura da superfície Celsius do Thermal Infrared Sensor TIRS/Landsat-8, banda 10 em ambiente SIG. Como objetivos específicos: apresentar, em detalhe, as fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica para obtenção de temperaturas Celsius, da faixa do infravermelho termal, do satélite Landsat-8 com resolução espacial de 30 metros; contribuir nas pesquisas geográficas relacionadas com o clima regional/urbano, como também na produção de material de apoio para elaboração de diretrizes/planos municipais.

2. LANDSAT-8: CARACTERÍSTICAS GERAIS

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7. A sua passagem na linha do equador ocorre às 10:00 horas, com diferença de 15 minutos para mais ou para menos (USGS, 2013).

A cobertura das imagens desse satélite é de praticamente todo o globo, com exceção para as mais altas latitudes polares, ocorrendo a revista a cada 16 dias. Ou seja, uma resolução temporal de 16 dias. O tamanho aproximado da cena é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste.

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, sendo o primeiro, *Operational Land Imager (OLI)*, com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, apresentando as seguintes características:

- Banda 1 - Visível Ultra-Azul (0.43 - 0.45 μm) 30 m - ideal para estudos costeiros e aerossol.
- Banda 2 - Visível Azul (0.450 - 0.51 μm) 30 m

- Banda 3 - Visível Verde (0.53 - 0.59 μm) 30 m
- Banda 4 - Visível Vermelho (0.64 - 0.67 μm) 30 m
- Banda 5 - Infravermelho Próximo (0.85 - 0.88 μm) 30 m
- Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1 (1.57 - 1.65 μm) 30 m
- Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm) 30 m
- Banda 8 - Pancromática (PAN) (0.50 - 0.68 μm) 15 m
- Banda 9 - Cirrus (1.36 - 1.38 μm) 30 m – útil para detecção de nuvens

O outro sistema imageador é o *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013).

- Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.
- Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2 (11.5 - 12.51 μm) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.

As características dos produtos/imagens são consistentes com o padrão de Nível 1 (ortorretificadas) semelhantes aos da série Landsat 1 ao 7. O formato dos dados disponibilizados - de forma gratuita, baixado via internet - é um TXT (metadados) e GeoTIFFs em arquivo compactado com cerca de 1 GB (comprimido) a cerca de 2 GB (descompactado). A resolução radiométrica é de 16 Bits, Datum WGS 1984, projeção UTM (polar estereográfica para a Antártida), sendo necessário reprojeta-las para sul.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para que os objetivos propostos desse estudo fossem alcançados, o mesmo foi dividido em duas principais etapas, sendo a primeira: aquisição de referencial bibliográfico selecionado abordando a temática, informações de temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos, na data de passagem do satélite provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia, estação meteorológica convencional de Vitória (INMET/BDMEP, 2013), que serviram de parametrização / comparação com a temperatura de superfície registrada pelo sensor, além da consulta das condições de tempo no CPTEC(2013) e em jornal do Estado (A Tribuna, 2013).

Segunda: aquisição de imagem orbital digital gratuita, banda 10, correspondente a faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19 μm - micrômetro), com resolução espacial de 30 metros do satélite Landsat-8 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2013), sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), órbita 215, ponto 74, com data de passagem 04/08/2013 e horário central 9:45 h.

Já a organização e tratamento do dado raster iniciou-se com o recorte da imagem infravermelha termal (banda 10) na área desejada (Figura 1) seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin, fundamentado nas equações 1 e 2 disponibilizadas no Serviço Geológico Americano e Tabelas 1 e 2.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Tabela 1 - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.

L_{λ}	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m ² sr μm)
M_L	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
A_L	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000
Q_{cal}	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

Conforme exposto, 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:

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

Tabela 2 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
$K2$	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
$K1$	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
L_{λ}	Radiância espectral em Watts/(m ² sr μm)

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), que foi posteriormente validado com o registro de temperatura do ar da estação meteorológica de Vitória, seguido do recorte da imagem com base no limite do objeto de estudo. Na Figura 1, é mostrada a captura da tela do SIG com a imagem termal extraída/cortada para a área de estudo e adjacências - salva como "banda10.tif"- e a inclusão dos algoritmos (equação 1 e 2) na calculadora raster do ArcGIS 10.1.

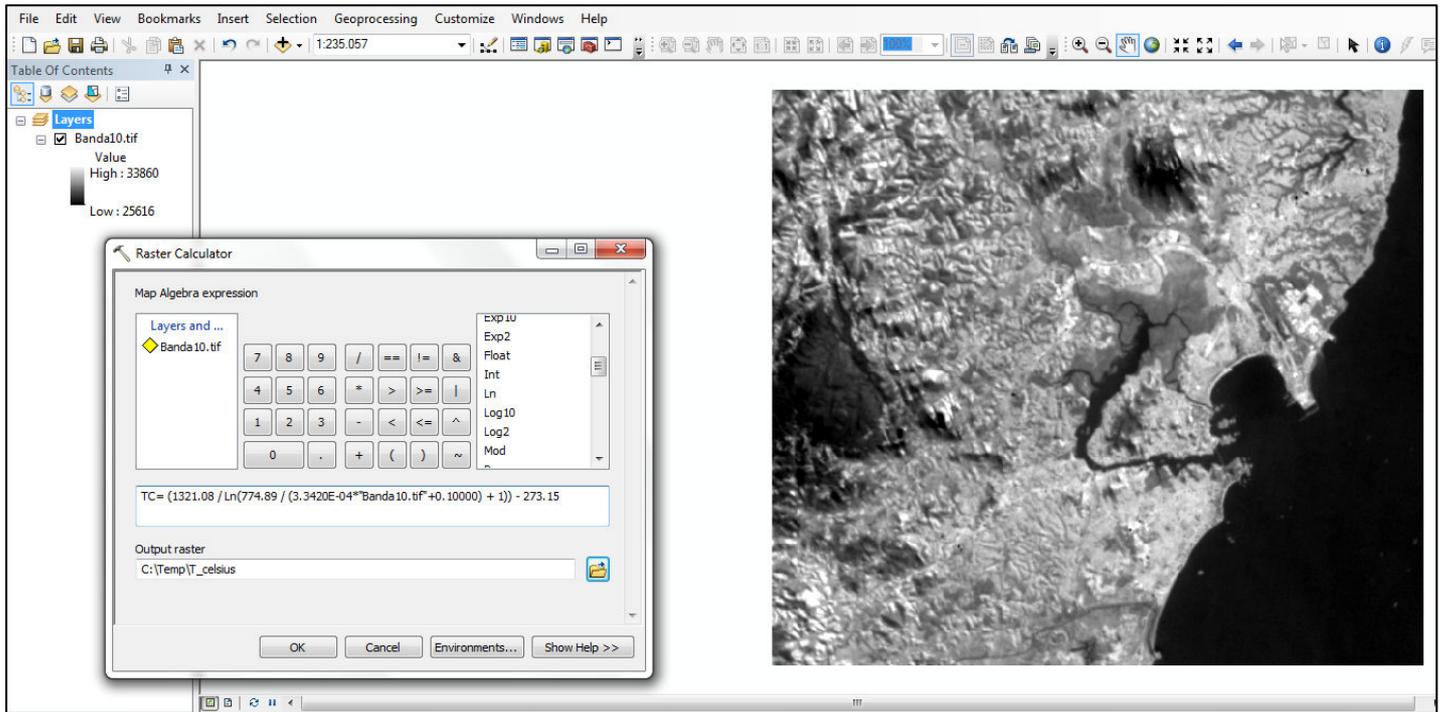


Figura 1 – Captura da tela do ArcGIS 10.1 com a banda 10 cortada, sem cobertura de nuvens. Na janela da calculadora raster, a inserção conjunta das equações 1, 2 e a subtração de 273,15 para obtenção da temperatura Celsius.

Fórmula completa: $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000) + 1)) - 273.15$

3.1. Validação do produto

As condições de tempo às 10:00 h da manhã, registrados pela estação meteorológica convencional do INMET de Vitória foram de temperatura média do ar 21 °C, direção predominante do vento norte-nordeste com média de 1,4m/s (INMET, 2013). Já o jornal (A Tribuna, 2013), noticiou temperaturas entre 18 e 31 °C, com probabilidade de chuva igual a zero, valores próximos aos detectados pelo sensor.

Nesse dia, boa parte da região Sudeste, inclusive a área de estudo, estava sob a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), fato que favoreceu o bloqueio da Frente Fria (FF) que estava estacionada sobre a região Sul do Brasil, resultando na diminuição de nuvens no céu e, conseqüentemente, no aquecimento da superfície proporcionada pela incidência de radiação solar sobre Vitória e adjacências (CPTEC, 2013). Segundo o Incaper (2013), no Estado do Espírito Santo o respectivo mês compreende um dos períodos de inverno mais intensos e secos pela atuação frequente das frentes frias, acompanhadas de massas de ar polar, que provocam com a sua passagem, a diminuição nas temperaturas com as máximas médias em torno de 27,0 °C. Já Correa (2011), em pesquisa realizada sobre o comportamento dos elementos climáticos do Município de Vitória (ES) entre 1978 e 2007, identificou que a temperatura média para o mês de agosto é de 26,4 °C e a precipitação média para o respectivo mês é de 62,01mm.

Ao realizar a parametrização da temperatura média do ar (T_a) registrada pela estação meteorológica convencional no Município de Vitória de 21 °C, com o pixel de temperatura média de superfície (T_s) registrada pelo sensor na localização da respectiva estação (22,5 °C) foi observado um gradiente térmico ($T_s - T_a$) de 1,5 °C. Weng (2003), salienta que a temperatura média de superfície (T_s) apresenta, normalmente, valores mais elevados em relação a temperatura média do ar (T_a) o que já era esperado. Na prática essa diferença não infere nos resultados, uma vez que a temperatura quantificada pelo satélite é a temperatura radiante da superfície.

4. APLICAÇÕES

Os Mapas a seguir apresentam as classes de temperaturas de superfície derivadas do satélite Landsat-8 em 04/08/2013 e horário central 9:45 h, com temperatura mínima de 20,4 °C, temperatura máxima 32,8 °C, média de 20,4 °C e amplitude de 12,4 °C em relação aos valores dos pixels. Esta amplitude elevada está relacionada diretamente a resposta da radiação dos materiais/cobertura do solo 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.

Com base nesses dados foi realizado, em ambiente SIG, a reclassificação com os intervalos de temperaturas em: ≤ 23 °C; 23,1 a 25 °C; 25,1 a 27 °C; 27,1 a 29 °C; e > 29 °C.

4.1. Espacialização dos Principais Usos e Intervalos de Temperaturas de Superfície

O procedimento de elaboração do mapa de uso e cobertura da terra teve início com a aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), - <http://landsat.usgs.gov/> - sensor OLI (Operational Land Imager) órbita 215, ponto 74, com data de passagem 04/08/2013 e horário central 9:45 horas, bandas: 2, 3 e 4 com resolução espacial de 30 metros e banda 8 pancromática com resolução de 15 metros.

Bases cartográficas no formato shapefile: Limite Municipal e Bairros adquiridas no IBGE (2013) - <http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/galeria-arcgis-online> - e na Geoweb da prefeitura de Vitória - <http://geoweb.vitoria.es.gov.br>. Os mapeamentos e processamento de todos os dados vetoriais e matriciais foram realizados no SIG ArcGIS 10.1, iniciando com a adição dos Planos de Informações do Município e adjacências que foram ajustados, quando necessário, no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 Zona 24 sul, com todo o mapeamento produzido seguindo a padronização cartográfica segundo propostas de Lo e Yeung (2008) e Fitz (2008).

A imagem utilizada para classificação do uso e cobertura da terra do Município foi derivada de técnicas variadas partindo do processo de composição, cor natural, da banda 4 associada ao filtro vermelho, banda 3 ao filtro verde e a banda 2 associada ao filtro azul (4R; 3G; 2B), correspondendo, respectivamente, aos comprimentos de ondas vermelho, verde e azul. Após a criação da imagem multiespectral recorreu-se a técnica de fusão de imagem - *Pan Sharpening* - da banda 8, que consiste basicamente, em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática preservando o conteúdo / cor da imagem composta.

O método de classificação do uso e cobertura da terra empregado foi o híbrido iniciando-se pela classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança (MAX-VER), seguido da conversão em vetor e correção de polígonos com base na imagem composta/fusionada, na imagem da DigitalGlobe / ArcGIS online, com resolução de 0,5 metros de 04/06/2012 e, em campanhas de campo. As classes de uso e cobertura da terra foram definidas com base no *Manual Técnico de Uso da Terra* (IBGE, 2006), adaptadas ao objeto de estudo, sendo: 1) *Afloramento de rochas*; 2) *Corpo D'água*; 3) *Floresta / Manguezal / Restinga*; 4) *Praia*; 5) *Silvicultura*; 6) *Solo Exposto / Matacão*; e 7) *Urbano / Industrial*.

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, respectivamente, 44,8 km² e 24,8 km² 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 Ilha do Lameirão, um dos maiores manguezais urbanos do mundo (Figura 2).

Os intervalos de temperaturas de superfície que mais predominaram no território, no momento da passagem do satélite, foram de 23,1 a 25 °C e 27,1 a 29 °C abrangendo 33,4 km² e 21,2 km² respectivamente, cobrindo ambos, mais de 63 % do território.

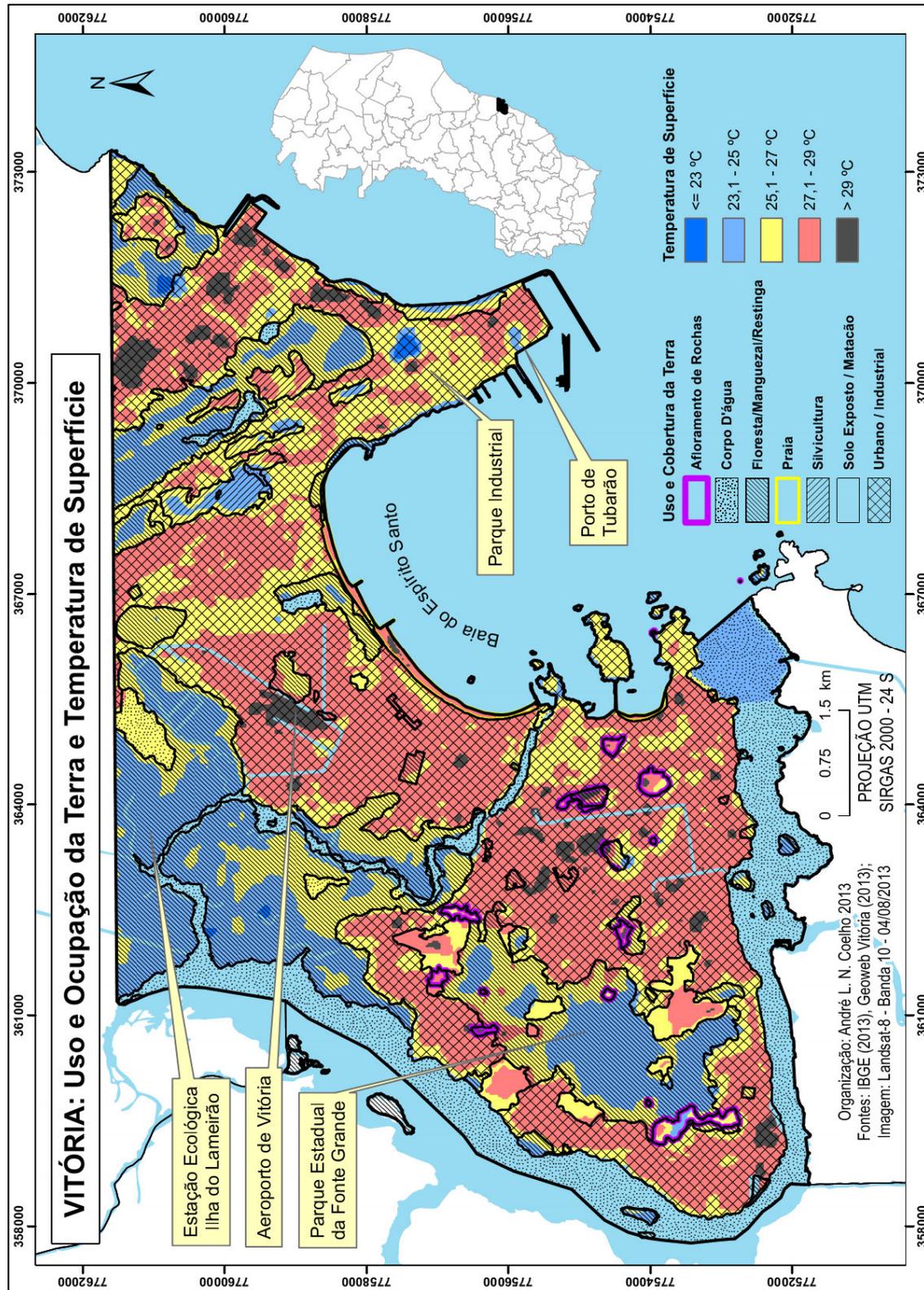


Figura 2 - Mapa da relação do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície

4.2. Perfil do Campo Térmico de Superfície

As Figuras 3 e 4 têm por objetivo revelar, em escala de detalhe, o comportamento da temperatura de superfície do traçado do perfil “A-B” de 3,9 km com base nos distintos usos e coberturas como construções, pavimentos, água e vegetação.

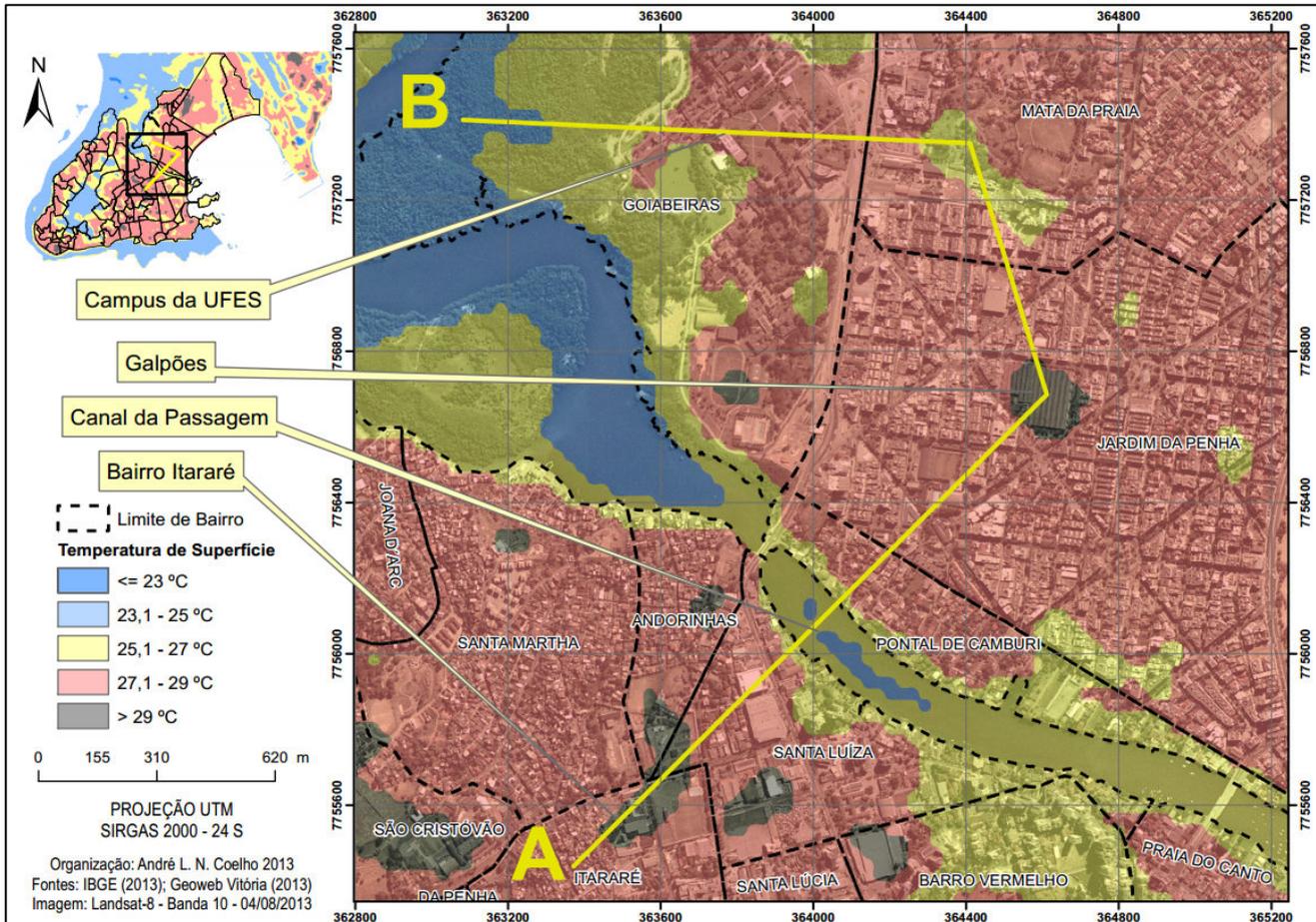


Figura 3 - Mapa do traçado Perfil “A-B” com objetivo de registrar temperaturas de superfície com base nos usos e coberturas.

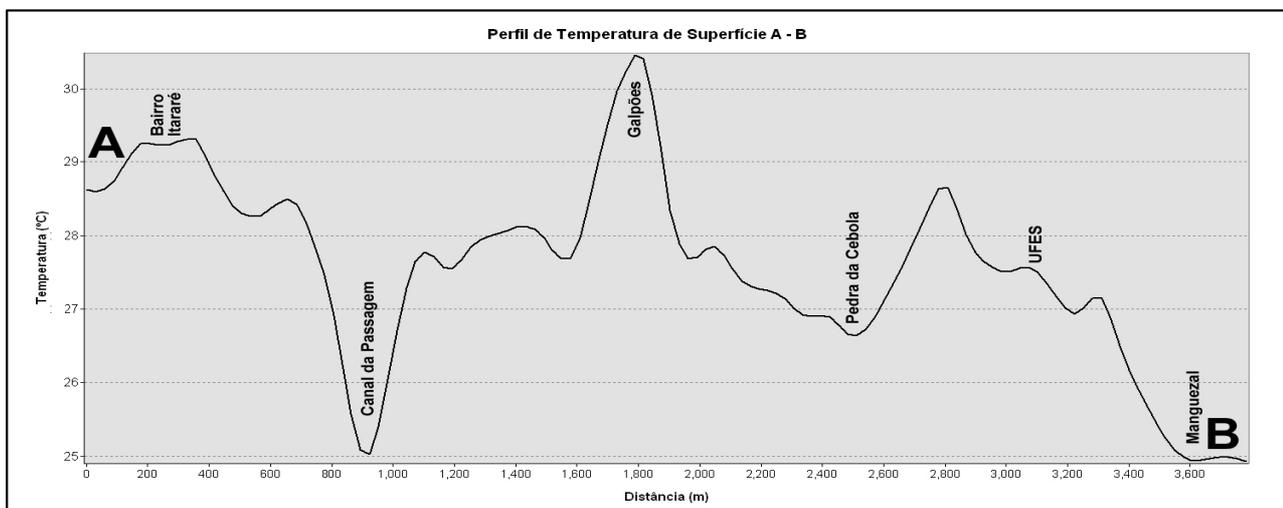


Figura 4 - Gráfico do perfil “A-B” do campo térmico de superfície (°C) da imagem termal TIRS/Landsat-8, em 04/08/2013 e o horário central 9:45 h, registrando variações conforme usos e coberturas da terra.

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 detectados na superfície da água (Canal da Passagem) e manguezal do Campus da UFES, enquanto os maiores foram identificados nas áreas construídas com intensa existência termal, a exemplo das telhas dos galpões da Conab no Bairro Jardim da Penha (ver Figuras 3 e 5) registrando valores superiores a 30,6 °C.



Figura 5 - Foto aérea 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 TIRS/Landsat-8 canal 10. Foto do Autor: Outubro/2012.

4.3. Perfil do Campo Térmico de Superfície e Topografia

O conhecimento das feições topográficas de um determinado recorte espacial de detalhe é de extrema importância nos estudos climáticos, pois neles podem apresentar diferenças de microclimas oriundas da morfologia da superfície. Nesse sentido, aspectos relacionados à orientação, inclinação das vertentes e a posição geográfica, conjugados com a trajetória aparente do sol, podem promover uma diferenciação no balanço de energia, por meio do sombreamento das encostas, modificando os padrões espaciais e temporais dos elementos do clima (Fialho, 2009 e 2012).

Na área de estudo foram identificados, em diversos pontos, diferenças de temperaturas de superfície, a exemplo da Figura 6, com o mesmo padrão de rugosidade no sentido “A-B” havendo o predomínio de equipamentos residenciais e baixa concentração de áreas verdes, inclusive no reverso, revelando que o fator topográfico interferiu no balanço de energia, por meio do sombreamento da encosta.

Essa constatação, como já mencionado, evidencia a formação do fenômeno ilha de frescor que fornece subsídio para a uma melhor compreensão do clima urbano do Município (Assis, 2010; Brandão, 2011 e Jensen, 2009).

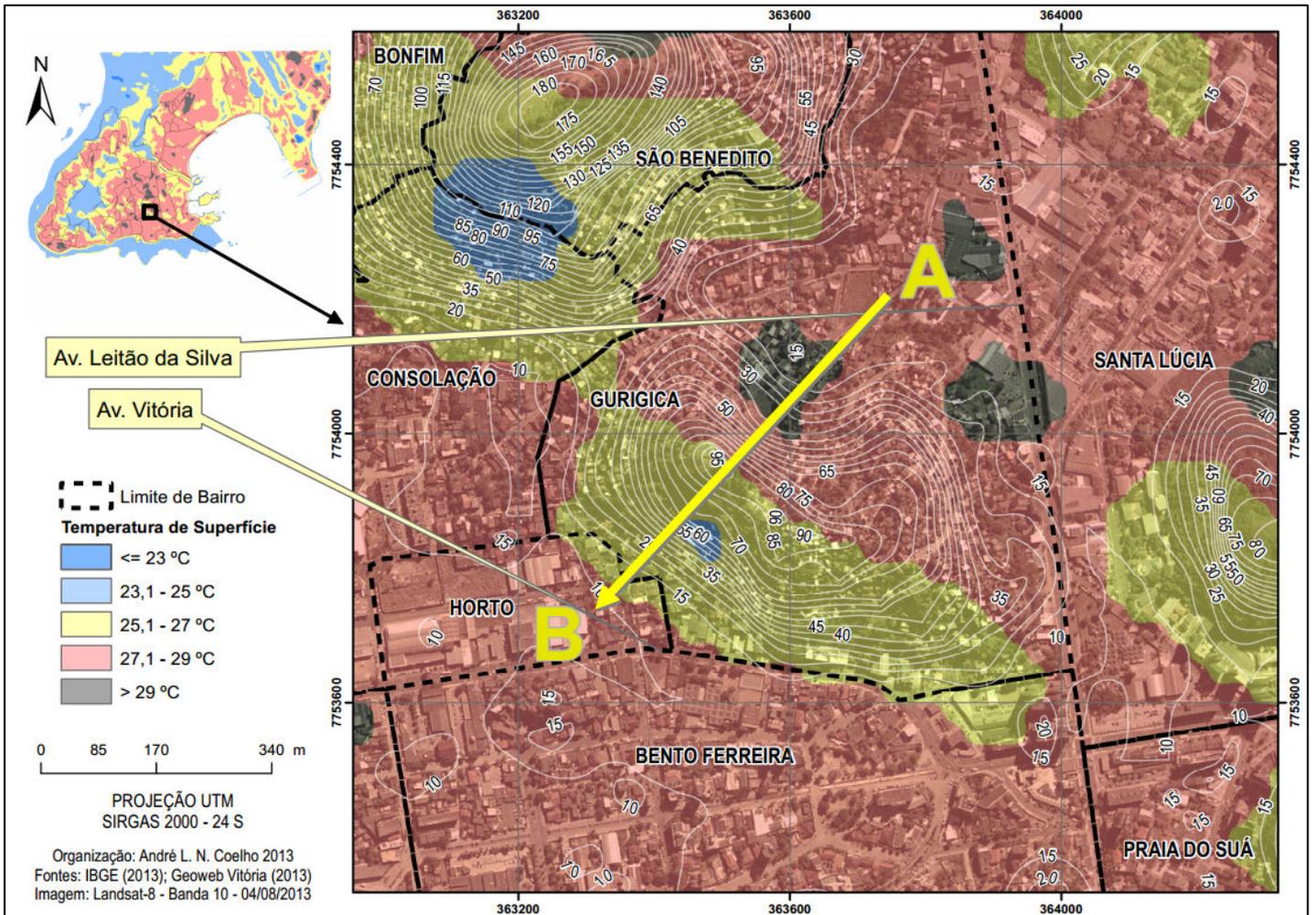


Figura 6 - Mapa da equidistância da curva de nível e temperatura da superfície no sentido “A-B”. Em “A” há o predomínio da temperatura alta até a cota máxima de elevação do bairro Gurigica (95 metros), enquanto no reverso, observa-se a queda da temperatura proporcionada pela baixa incidência da radiação solar ocasionado pelo fator topográfico/inclinação da vertente, em direção ao bairro Horto, no momento da passagem do satélite.

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

Na Figura 7, é apresentado o resultado da estatística por região do uso e cobertura da terra em relação aos intervalos de temperaturas (°C) expressos em percentuais, obtendo uma média dos valores máximos superiores a 60%.

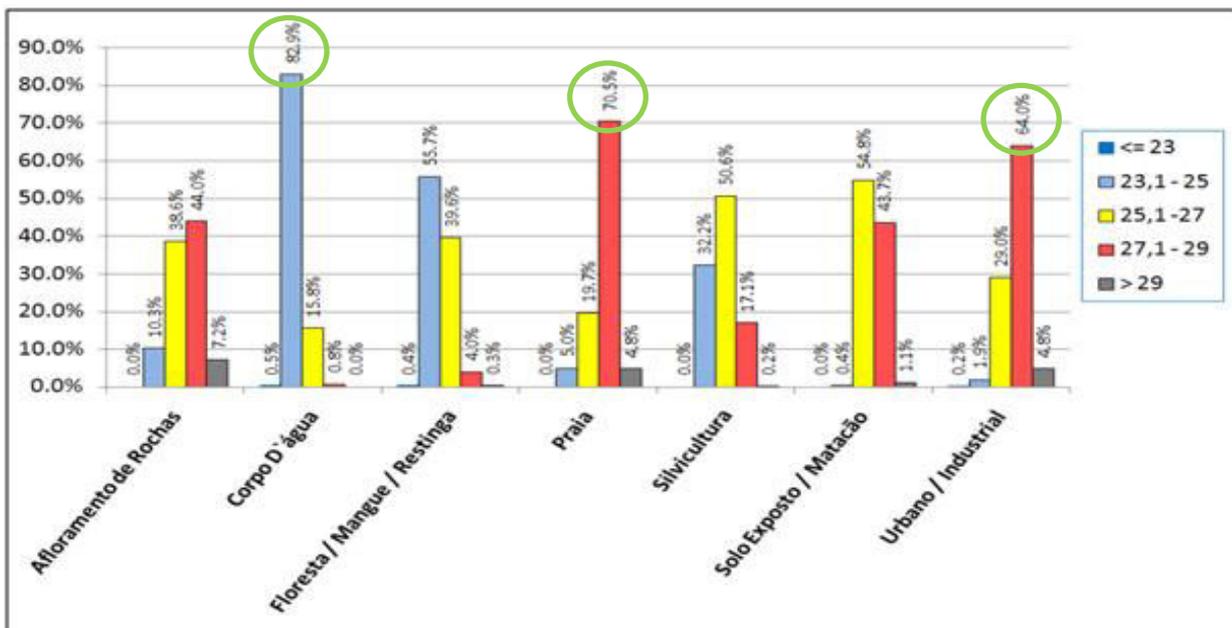


Figura 7 - Gráfico com os percentuais para cada tipologia de Uso e Cobertura da Terra.

Há o destaque para a classe *Corpo D'água* apresentando um percentual de 82,9% no intervalo de temperaturas entre 23,1 - 25 °C, seguido da *Praia* e *Urbano / Industrial*. Estes valores elevados ocorrem em função dos usos e coberturas que predominam nesses ambientes como asfalto, concreto, areia e telhas de amianto, fato também observado por Jensen (2009).

4.5. Outras Considerações

Foram identificados no momento da passagem do satélite efeitos característicos de ilhas de calor, canyons e ilhas de frescor (sombreamento). As ilhas de calor, identificadas na Figura 2, ocorrem praticamente em todos os setores da classe de cobertura da terra denominada *Urbano / Industrial* com temperaturas superiores a 29 °C. Porém, as manchas maiores, correspondem às regiões como o parque industrial e o aeroporto situados na porção centro-norte.

Em relação ao parque industrial, o elevado valor de temperatura de superfície observado, está associado ao calor originado pelos processos industriais de siderurgia e mineração, mesmo que situados próximo a linha de costa recebendo o efeito direto da brisa marítima, as temperaturas permaneceram elevadas. No aeroporto foi observada uma grande área de solo exposto e asfalto associadas ao baixo calor específico e a pouca eficiência em seu mecanismo de dissipação, fato que contribuiu para as temperaturas elevadas obtidas no momento da passagem do satélite (Figura 2).

Já o efeito ilha de frescor decorrente das áreas verdes, corpos d'água e inclinação das vertentes, estão situados na porção sudeste do território, na ilha do Boi, ilha do Frade, como também, na porção sudoeste, no entorno da baía de Vitória e adjacências do canal da Passagem. Os canyons identificados estão localizados a leste do Município na região da Praia do Canto onde foram registrados valores de temperatura de superfície menores do que no entorno. Esta diferença térmica é causada pelo efeito de sobreamento proporcionado pela geometria dos prédios impedindo que a radiação atinja a superfície, conseqüentemente, em um aquecimento mais lento da área (Figuras 2 e 3).

O efeito semelhante ao tampão foi identificado no setor norte da Avenida Leitão da Silva, no reverso do maciço destituído de vegetação e densamente coberto por construções no entorno. Tal 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.

5. CONCLUSÕES

Os resultados extraídos durante a passagem do satélite evidenciaram áreas no Município de Vitória com intensa emitância termal como prédios, pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a distribuição heterogênea dessas respostas, resultando em temperaturas da superfície com amplitudes elevadas superiores a 12 °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 (re)arborização dos locais onde foram detectadas as ilhas de calor, com a finalidade de amenizar as condições de temperatura. Outra medida mais complexa é aplicar uma legislação que defina uma relação adequada entre espaço construído e área verde.

A partir desse levantamento de temperatura da superfície, permite outros estudos / pesquisas como análise do conforto térmico e suporte para elaboração e ou revisão dos Planos Diretores.

É importante ressaltar também, que o sensoriamento remoto e ou sistema de informações geográficas seja de uso comercial, livre ou gratuito quando dominado e, de preferência, operado por especialistas (ex.: geógrafos, arquitetos, entre outros), possibilita um maior aproveitamento dos recursos oferecidos pelo software, conseqüentemente, uma análise espacial mais aprofundada, integrada e coerente com o território analisado.

Enfim, as informações de temperatura da superfície do canal infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat-8, banda 10 - com o destaque para melhoria da resolução espacial de 30 metros (Figura 8) - sob o aspecto da utilização de geotecnologias em ambientes urbanos, contribuem na identificação, espacialização e na compreensão da dinâmica climática operante de microclimas locais e, conseqüentemente, na adoção de diretrizes como planos de arborização no sentido de amenizar as temperaturas nesses ambientes, podendo ser aplicada em outros intervalos de datas e locais distintos.

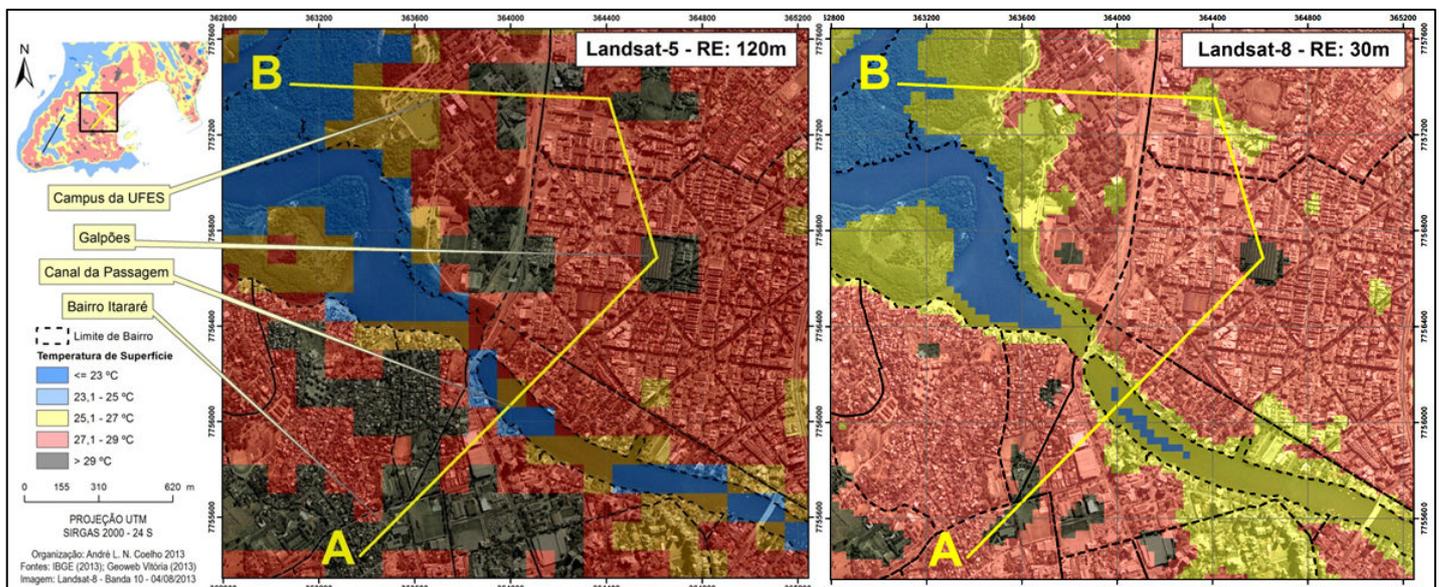


Figura 8 - Comparação da resolução 120 metros do Landsat-5 (a esquerda) e a melhora da resolução espacial do Landsat-8 com pixel de 30 metros.

A utilização dessa técnica também permite o conhecimento espacial e temporal da expansão urbana e dos problemas delas oriundos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Tribuna (2013). Caderno Cidades Tempo e Temperatura, pg. 10, Vitória, ES, Domingo, 04 de Agosto de 2013.
- Assis, W. L. (2010). O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 299f.
- Brandão, A. M. P. M. (2011). O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro, in: Monteiro, C. A. F.; Mendonça, F. Clima Urbano. 2ª Edição. São Paulo: Contexto. p. 121-154.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (2013). Boletim Técnico do dia 04/08/2013. Acesso em 29 de setembro. 2013. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml>.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113, p. 893-903.
- Coelho, A. L. N. (2009). Sistema de Informações Geográficas (SIG) como Suporte na Elaboração de Planos Diretores Municipais. Caminhos de Geografia (UFU), v. 10, p. 93-110.
- Coelho, A. L. N. (2010). Uso de Produtos de Sensoriamento Remoto para Delimitação de Área Efetivamente Inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benevente Anchieta - ES. Revista Geográfica Acadêmica, v. 4, p. 53-63.
- Correa, W. S. C. (2011). Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no Município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES.
- Fialho, E. S. (2009). Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, USP, 248f.
- Fialho, E. S. (2012). Estudos Climáticos em Sítios Urbanos e Rurais, (Orgs.) SILVA, Charlei Aparecido da e FIALHO Edson Soares, Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica e-book. ED. UFGD, PP-83-112.
- Fitz, Paulo R. (2008). Geografia Tecnológica. In: Geoprocessamento sem complicação, Ed. Oficina de Textos. São Paulo. p 19-29.
- Florenzano T. G. (2008). Geomorfologia Conceitos e Tecnologias Atuais, Oficina de Textos, São Paulo – SP.
- Florenzano, T. G. (2007). Iniciação em Sensoriamento Remoto: Imagens de satélites para estudos ambientais. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 97 p.
- Florenzano, T. G. (2005). Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso, Revista do Departamento de Geografia, USP nº 17, ISSN 0102-4582, p. 24 – 29.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013). Mapas Interativos. acesso em 12 setembro 2013. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/galeria-arcgis-online>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (2006). Manuais Técnicos em Geociências, nº 7, Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ.

- Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER (2013). Estações no Espírito Santo: Inverno. Acesso em 15 de setembro. 2013. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=estacinverno>>.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2013). Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa - BDMEP. Brasília. acesso em 16 abril 2013. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>
- Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, Editora Parêntese, São José dos Campos, SP, 598p.
- Liu, W. T. H. (2006). Aplicações de Sensoriamento Remoto. Editora Uniderp, Campo Grande – MS.
- Lo, Chor Pang, Yeung, Albert K.W. (2008). Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, 2nd Edition, Ph. Series in Geographic Information Science, Prentice-Hall.
- Lombardo, M. A. (1985). Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 244p.
- Mendonça, F. A. (1995). 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, Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Mendonça, F. de A. (2003). Clima e Planejamento Urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: Monteiro, C. A. de F; Mendonça, F. (Org.). Clima urbano. São Paulo: Contexto, p. 9-67.
- Nascimento, D. T. F. (2011). Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sociais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 96f.
- Oke, T. R. (1978). Boundary Layer Climate, London, Methuen e Ltd. A. Halsted Press Book, Jhon Wiley e Sons, 372 pp., New York.
- Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote sensing of environment, New York. 86, n. 3, p. 371–384.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. (2010). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José Dos Campos - SP: Parêntese.
- Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. Bulletin of the American Meteorological Society, Boston, v. 53, p.647-648.
- Souza, S. B. de; Ferreira Júnior, L. G. (2012), Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). Revista Espaço Geográfico em Análise. Vol. 26. Paraná, p. 75 – 99.
- Streutker, D. R. (2002). 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.
- USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8: data de passagem 04/08/2013 EUA. Acesso em 22 agosto 2013. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>.



Vieira, I. M. (1993). Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos. 1993. 142 f. Dissertação de Mestrado - INPE, São José Dos Campos.

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

Weng, Q. (2003). Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v.69.

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