

Aplicação do sensor aerotransportado MSS para o estudo de comportamento termal

Breno Ricardo de Araújo Leite^{1,2}
Gustavo Macedo de Mello Baptista²

¹ Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação – 2º/6º GAV
Caixa Postal 811 - 75001-970 - Anápolis - GO, Brasil
guardiao78@gmail.com

² Universidade de Brasília - UnB/IGD
Caixa Postal 4465 - 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
gmbaptista@unb.br

Abstract. The aim of this paper is present the capabilities of MultiSpectral Scanner of R-99 aircraft to detect the temperature of materials and demonstrate its contribution to the studies on thermal targets. Initially, the selected image was spectrally resampled to the exclusion of the bands for the visible, near infrared and shortwave infrared. After that, the digital values of the pixels were converted in units of temperature, by applying a scale factor of 10^{-2} , for the conversion into units of degrees Celsius. To verify the processing response was raised a histogram that showed that 98% of the pixels had values between 20 and 40° C. The results showed that the Paranoá Lake has the lowest temperatures of the whole scene, around 26° C spread evenly around the lake, the riparian vegetation that surrounds much of the lake and the entire neighborhood of the tributaries was ranked slightly higher temperature, which ranged between 27 and 28° C. Intermediate temperatures fit mostly to the exposed soil and grass areas, because the areas of high concentration of houses and other buildings had the highest values of the whole image. This study made it possible to demonstrate the capabilities of the MSS sensor to generate images of high spatial resolution in thermal band, in addition to the potential use of the data in the study of temperature of materials, by converting to degrees Celsius.

Palavras-chave: remote sensing, thermal images, multispectral scanner, sensoriamento remoto, imagens termais, sensor multiespectral de varredura

1. Introdução

O sensoriamento remoto termal baseia-se em estimativas da temperatura radiométrica da superfície terrestre, por meio de sensores aerotransportados ou embarcados em satélites. Essas estimativas são determinadas pela intensidade da radiação emitida da superfície, que sofre variações em função da temperatura cinética (medida em contato direto com os materiais), emissividade (eficiência de um corpo em irradiar energia) e a absorção da camada de atmosfera presente entre o sensor e o alvo, entre outros.

Existem inúmeras aplicações ambientais para as imagens termais, dentre as quais podemos citar: detecção de ilhas de calor e amenidade, monitoramento agrometeorológico, estudos climáticos, identificação de focos de queimadas, acompanhamento do estado da superfície do mar, além de diversos outros fenômenos físicos (Ferreira et al., 2004).

Cabe ressaltar que uma característica importante dos produtos de sensoriamento remoto é o fato da imagem fornecida pelo sistema sensor ser apresentada em números digitais (ND), que correspondem à digitalização da tensão gerada pelo detector. Deste modo, o ND é proporcional à medida do sensor, a qual está relacionada à temperatura e emissividade dos corpos reais, além de outros fatores (Andrade et al., 2010).

Entretanto, para que seja possível utilizar as imagens nas suas diversas aplicações, é desejável que se converta um ND de um pixel de uma imagem em uma grandeza física, seja radiância, temperatura ou emissividade.

O MultiSpectral Scanner da aeronave R-99 (MSS R-99), além de ser capaz de gerar imagens com alta resolução espacial/espectral e voar a baixas altitudes, eliminando grande parte da influência da absorção atmosférica, também oferece ao usuário a praticidade de converter facilmente os dados da banda termal em temperatura de brilho.

Portanto, o objetivo deste estudo é reconhecer as capacidades do MSS R-99 na detecção da temperatura dos materiais e valorar sua contribuição para os estudos sobre comportamento termal dos alvos.

1.1 Sensor imageador multiespectral de varredura MSS (MultiSpectral Scanner)

O MSS é um sensor aerotransportado de varredura linear, que é operado pela Força Aérea Brasileira a partir da aeronave R-99 (Figura 1), responsável pela coleta de dados para o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).

O sensor trabalha com dois modos espectrais: *Low Resolution* (11 bandas) e *High Resolution* (31 bandas), abrangendo a região espectral do visível ao infravermelho termal. O campo de visada instantâneo (IFOV) pode ser selecionado entre as opções de 1,25 e 2,5 mRad e a velocidade de varredura é ajustável entre 2 e 100 scan/seg, sendo capaz de gerar imagens com até 50 cm de resolução espacial e 16 bits de resolução radiométrica. O canal termal, utilizado nesse estudo, compreende a faixa de 8,5 μm a 12,5 μm , com centro em 10,5 μm (Geophysical and Environmental Research, 2002).



Figura 1. Aeronave R-99 e a localização dos seus sensores aerotransportados. Os sensores SAR e OIS não foram utilizados nessa pesquisa.

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo compreende o município de Brasília-DF, mais especificamente a porção sul do Lago Paranoá e suas cercanias. Essa área foi selecionada principalmente pela possibilidade de, numa única faixa de imageamento, levantar os dados sobre alvos urbanos mais homogêneos e/ou alvos mais representativos, tais como: complexo industrial, áreas desabitadas e de solo exposto, regiões densamente povoadas, porções de mata ciliar e um grande corpo d'água, conforme pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Área de estudo, com destaque para a faixa analisada na pesquisa.

As imagens MSS utilizadas no presente trabalho foram obtidas em 28 de maio de 2009, às 10h30min. O modo de imageamento utilizado foi o *High Resolution* (31 bandas) e a imagem possui resolução espacial de 2 metros. Foi selecionada para esse estudo somente a segunda faixa do imageamento, pois ela possibilitou a melhor visualização da área de estudo.

As imagens foram processadas no software ENVI[®], versão 4.7. Apesar de existirem estudos recentes que utilizam a correção atmosférica nos dados MSS, como o de Lisita e Moreira (2009), esse procedimento não foi adotado, pois o estudo em questão dedicou-se somente às bandas do visível e infravermelho próximo, portanto não abrangendo o canal termal, objeto desta pesquisa.

Doravante, devido à baixa altura da aeronave no voo de coleta e à condição atmosférica favorável, em virtude do início da época de estiagem no Centro-Oeste e da janela atmosférica no comprimento de onda de 10,5 μm , estima-se que a absorção por conta do vapor d'água não tenha atuado de forma determinante no resultado obtido.

Inicialmente, a imagem selecionada foi reamostrada espectralmente para a exclusão das bandas 1 a 30, referentes ao visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, com o intuito de manter apenas os dados correspondentes ao infravermelho termal do espectro eletromagnético, conforme identificado na Figura 3.



Figura 3. Imagem termal da banda 31 do sensor MSS, antes da calibração radiométrica.

A calibração radiométrica dos dados termais, isto é, a transformação dos valores digitais dos pixels em unidades de temperatura de brilho foi executada aplicando-se um fator de escala de 10^{-2} , para a conversão em unidades de graus Celsius. Tal transformação foi implementada de uma só vez, conforme as recomendações nos manuais do fabricante (Geophysical and Environmental Research, 2000), em um processamento matemático utilizando a relação descrita pela Equação 1:

$$TU = \frac{PV}{100} \quad (1)$$

Onde PV é o valor do pixel e TU o valor de temperatura em graus Celsius.

3. Resultados e Discussão

De imediato, por meio de uma análise prévia dos dados, foi possível observar boa correlação e coerência entre as temperaturas indicadas e o comportamento esperado dos materiais.

No entanto, para verificar os resultados do processamento e descartar eventuais variações abruptas ou absurdas de temperatura, foi gerado um histograma, constante da Figura 4, que apresenta os valores obtidos. Foi constatado que 98% dos pixels teve valores entre 20 e 40 °C, portanto dentro dos parâmetros aceitáveis de medida do comportamento termal dos materiais.

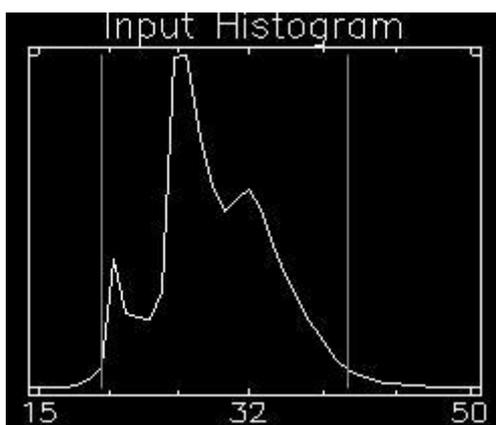


Figura 4. Histograma obtido a partir da imagem termal, com os valores de temperatura em graus Celsius. As barras verticais demarcam os pontos de 20 e 40 °C.

Para proporcionar uma melhor visualização e facilitar a análise foram separadas quatro classes (Tabela 1), utilizando os dados do histograma como base e por meio da ferramenta *Density Slice* efetuou-se o fatiamento de classes da temperatura, para discriminar os dados da imagem por cores, nas quais a cor vermelha representa as áreas de maior temperatura. O resultado da classificação pode ser observado na Figura 5.

Tabela 1. Intervalos de classes por temperatura de brilho e suas respectivas cores.

<i>Intervalo de classe</i>	<i>Cor utilizada</i>
15 – 26	Azul
27 – 28	Verde
29 – 34	Amarelo
35 – 50	Vermelho

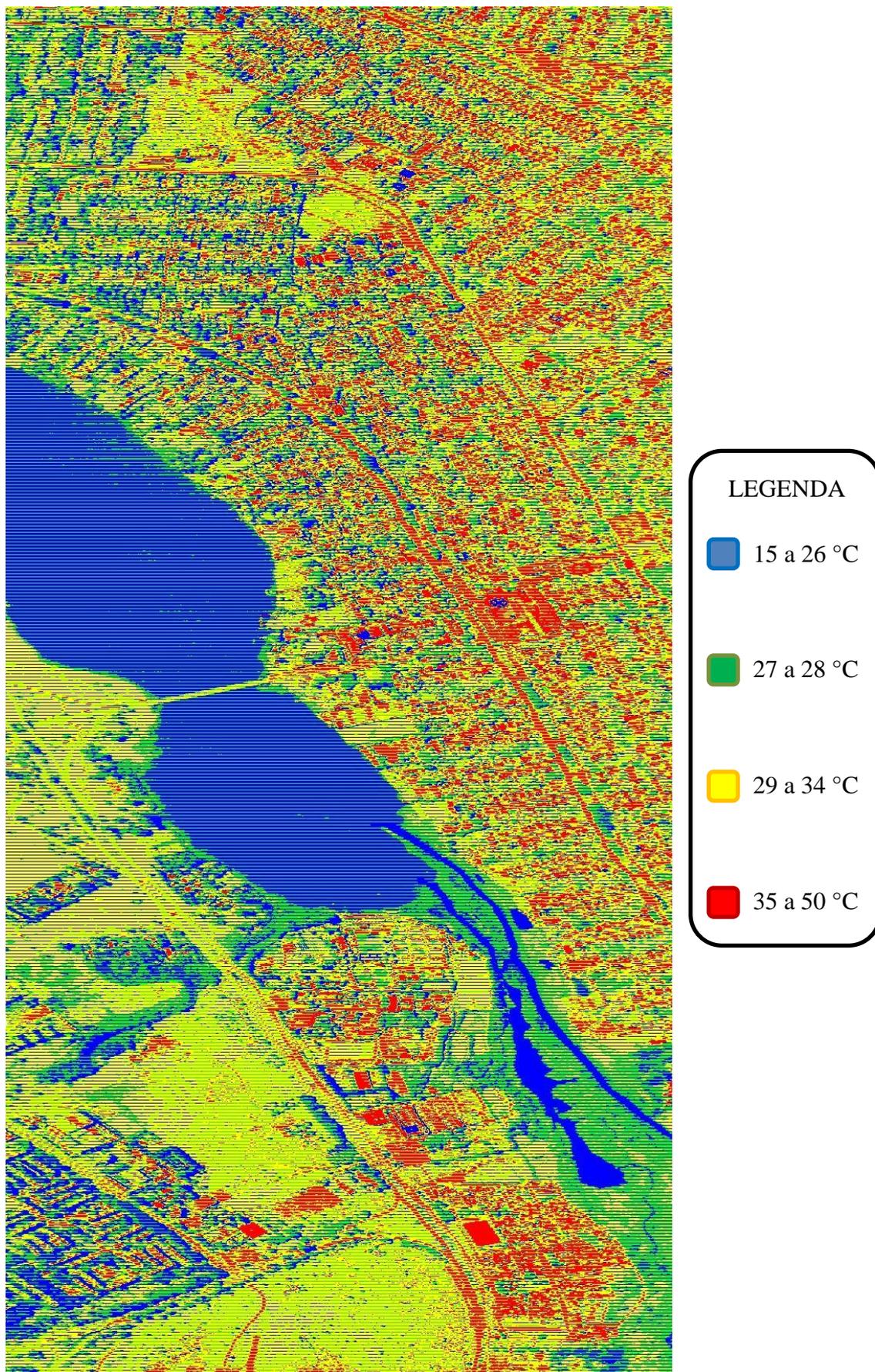


Figura 5. Imagem termal da área de estudo após a classificação, na qual a cor vermelha representa as maiores temperaturas.

A Figura 5 apresenta resultados bem interessantes, a começar pelo Lago Paranoá, que demonstrou possuir as menores temperaturas de toda a cena, em torno de 26 °C distribuídos de forma uniforme por todo o lago. As únicas estruturas que também foram classificadas em azul referem-se às piscinas residenciais e às grandes concentrações de cobertura vegetal urbana.

Por sua vez, a mata ciliar que envolve grande parte do lago e toda a vizinhança dos afluentes foi classificada em verde, haja vista que a temperatura detectada variou entre 27 e 28 °C, provavelmente pela proximidade com o lago e por altos índices de sequestro de carbono, conforme indicado por Borges et al. (2011). Alguns grupos de árvores também receberam essa classificação, principalmente aqueles que estavam mais afastados dos grandes centros urbanos.

Ainda segundo os mesmos autores, esses resultados estão totalmente condizentes com a literatura, já que são esperadas temperaturas mais amenas nas áreas cobertas por vegetação, sendo estes valores ainda menores nas áreas de vegetação nativa e nas proximidades de mata ciliar e corpos d'água.

Já a demarcação em amarelo coube principalmente ao solo exposto e às áreas de gramíneas, com uma pequena diferença de temperatura entre eles, tendo o solo obtido valores maiores. Cabe ressaltar que nesse período, normalmente, já teria iniciado o período de estiagem no Centro-Oeste e a vegetação rasteira já deveria estar menos sadia do que a correspondente ao período chuvoso, o que justificaria o resultado alcançado.

Por fim, as áreas de grande concentração de casas e o pequeno complexo industrial receberam a cor vermelha, representando as maiores temperaturas detectadas na imagem, influenciadas principalmente pelos materiais empregados na construção civil, além de alguns picos de temperatura em telhados, provavelmente de origem metálica. Os maiores índices atingiram valores próximos a 50 °C nos telhados.

Cabe ressaltar que os valores apresentados após o processamento referem-se a temperatura de brilho, visto que a conversão de ND para graus Celsius decorre de um simples fator de escala de 10^{-2} , ou seja, totalmente dependente da calibração prévia do equipamento, considerando tanto a emissividade dos materiais quanto a transmitância da atmosfera igual a 1.

Contudo, o estudo conduzido por Lisita e Moreira (2009) constatou uma representativa coerência no posicionamento das bandas de absorção por vapor d'água, um indício de boa calibração espectral do sensor, bem como da magnitude dos valores de reflectância, o que estaria relacionado a uma calibração radiométrica bem adequada.

Além disso, o principal ganho oferecido pelo MSS R-99 diz respeito ao estudo de imagens termais com elevada resolução espacial, cujos valores podem alcançar escalas centesimais, agregando maiores níveis de precisão e discretização de alvos em centros urbanos, conforme comprovação atestada por Andrade et al. (2007) e Sousa e Baptista (2005).

Existem estudos acerca da correção radiométrica das bandas termais do sensor HyperSpectral Scanner (HSS), que é muito similar ao MSS e também parte integrante do SIPAM. Os resultados foram muito promissores, conseguindo transformar os ND's em dados de radiância e avaliar a temperatura em função da emissividade dos materiais (Andrade et al., 2010). É possível que tal metodologia seja adaptável para aplicação no MSS, o que traria maior eficácia e precisão nos valores obtidos das imagens do sensor.

4. Conclusões

O presente estudo permitiu comprovar as capacidades do sensor MSS para gerar imagens de alta resolução espacial na banda termal, além da potencial utilização dos dados no estudo de temperatura de brilho dos materiais, mediante a conversão para graus Celsius.

Imagens que possuem pixels menores favorecem a precisão e discretização de alvos em centros urbanos, possibilitando análises detalhadas acerca do comportamento termal dos alvos e dos materiais, mesmo nessas regiões caracterizadas por grande concentração de prédios, casas, ruas e árvores em áreas tão pequenas.

Sugere-se para pesquisas futuras o estudo sobre a correção radiométrica utilizada para o HSS, visando sua adaptação para o MSS, o que possibilitaria transformar os dados para radiância e obter as temperaturas em função da emissividade dos materiais.

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio do COMAER, do COMGAR e do 2º/6º Grupo de Aviação, que cederam equipamentos e dados para sua realização.

Referências Bibliográficas

- Andrade, L. L.; Castro, R. M.; Galvão, L. S. Conversão dos ND's em radiância e temperatura de imagem de sensoriamento remoto termal. In: Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação do IEAV (SICI), 4., 2010, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: IEAV, 2010. Artigos, p. 95-96.
- Andrade, L. L.; Souza, L. H.; Sakuragi, J.; Castro, R. M. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p.473-480. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.10/doc/473-480.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- Borges, E. F.; Anjos, C. S.; Baptista, G. M. M. Análise multitemporal da temperatura de superfície no oeste da Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 6358-6364. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.20.13.32/doc/p1038.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2012.
- Ferreira, N. J. (Coordenador) Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- Geophysical and Environmental Research Corporation. – GER. EPS-A 31T Operator's Manual - Rev. G. DOC52A006, 2002.
- Geophysical and Environmental Research Corporation. – GER. MSS Ground Processing Specification. SDRL A015, 2000.
- Geophysical and Environmental Research Corporation. – GER. MSS Interface Control Document. Rev. J. SDRL A003, 2000.
- Lisita, A.; Moreira, R. C. Estudo espectral com imagens do sensor aerotransportado MSS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1127-1133. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.12.24.27/doc/1127-1133.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2012.
- Sousa, D. O.; Baptista, G. M. M. Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4525-4530. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.16.41/doc/4525.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2012.