

## **Estimativa da temperatura da superfície terrestre, destinada ao monitoramento agrometeorológico de dias com temperaturas elevadas, utilizando dados do sensor AVHRR**

Camila Giorgi Lazarim<sup>1</sup>  
Jurandir Zullo Junior<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEAGRI  
Caixa Postal 6011 - CEP 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
camila@cpa.unicamp.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura-  
CEPAGRI/UNICAMP  
CEP 13083-970 - São Campinas - SP, Brasil  
jurandir@cpa.unicamp.br

**Abstract.** The acquirement of surface temperature data, necessary to the agricultural monitoring, still is a challenge stumbled upon due to factors like: the difficult access to the places where the surface stations are installed, the acquisition price of meteorological ground stations, and the difficulty of communication and operation. Therein, the meteorological satellites represent an alternative for the acquisition of the necessary data to the agricultural monitoring. Within the existing orbital systems, the sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) is indicated for the estimations of surface temperature for having five spectral bands in the electromagnetic spectrum distributed from the visible to the thermal infrared. This article analyses the correlation between values of surface temperature values estimated from AVHRR/NOAA with air temperature data registered in meteorological ground stations. The images were processed and, using three different models, the surface temperature was estimated. This procedure was made for three different dates when maximum temperatures were greater than 30°C: January 08, 2008; September 05, 2008 and September 10, 2008. The correlation between remote sensing data and ground station data was not significant ( $R^2=0,1$ ) pointing out the need of improvements in the models used and available in literature to estimate mainly high temperatures that can become more frequent in a warmer world.

**Palavras-chave:** coffee, elevated temperatures, air temperature, image processing, café, temperaturas elevadas, temperatura do ar, processamento de imagens.

### **1. Introdução**

A obtenção de valores precisos, confiáveis, em quantidade adequada e com a maior agilidade possível da temperatura da superfície terrestre é estratégica para aplicações de grande interesse prático, como os estudos de mudanças climáticas e o monitoramento agrometeorológico. As redes meteorológicas de superfície, automáticas e manuais, são de grande utilidade e imprescindíveis, mas, normalmente, apresentam limitações que dificultam a sua utilização efetiva e confiável em escala regional. Os dados provenientes dos sensores a bordo dos satélites orbitais representam uma alternativa que deve ser considerada visando o aumento da densidade, confiabilidade e agilidade de obtenção dos dados de temperatura da superfície terrestre em estudos regionais.

Dentre os sensores remotos existentes, o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) está entre os mais indicados para o monitoramento agrometeorológico e estudos climáticos por viabilizar a aquisição de dados em varreduras globais diárias, possuir bandas espectrais termais calibradas e ter disponibilidade ampla de dados devido à operação simultânea em vários satélites meteorológicos. Dos vários produtos que podem ser obtidos através destes dados, a temperatura de superfície é um dos principais devido à sua grande utilidade no monitoramento agrícola, na detecção de queimadas, no acompanhamento do estado da superfície do mar e nos estudos de mudanças climáticas (Ferreira et al., 2004).

Uma aplicação importante da estimativa da temperatura da superfície está relacionada ao monitoramento agrometeorológico da cultura do café, que é uma das culturas agrícolas mais significativas do Brasil quanto ao seu valor econômico e social. Um problema que pode alterar os locais atuais de produção da cultura cafeeira é a elevação do risco climático associado ao aumento das temperaturas, segundo apresentado nos relatórios do IPCC (Nobre, 2001 e IPCC, 2007).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é correlacionar valores de temperatura do ar de estações meteorológicas de superfície com a temperatura de superfície, obtida a partir de imagens do satélite AVHRR/NOAA e de três algoritmos de estimativa distintos, avaliando se estes modelos também são adequados para mapear a temperatura de superfície no estado de São Paulo, em três datas com temperaturas elevadas, assim como observado em dias com temperaturas amenas.

## 2. Metodologia de Trabalho

Foram escolhidas três datas com temperaturas elevadas no estado de São Paulo, isto é, aquelas que tiveram mais municípios com temperatura máxima superior a 30°C, que não tiveram registro de ocorrência de chuvas e que as imagens correspondentes do AVHRR/NOAA não tivessem muita contaminação de nuvens. As datas escolhidas foram: 08 de janeiro de 2008, 05 de setembro de 2008 e 10 de Setembro de 2008.

Os dados de temperatura máxima para essas datas foram obtidos no sistema de monitoramento agrometeorológico AgriTempo (<http://www.agritempo.gov.br>) para os municípios de São José do Rio Pardo, São Carlos, Barretos, Cachoeira Paulista, Campos do Jordão, Caraguatatuba, Guaratinguetá, Iguape, Jau, Miguelópolis, Votuporanga, Jaboticabal, Ourinhos, Piracicaba, Pradópolis, Mogi Guaçu, Mogi Mirim, Avaré, Bauru, Campos do Jordão, Catanduva, Franca, Iguape, São Carlos, São Simão, Sorocaba, Taubaté, Ubatuba, Lins, Rancharia, São Miguel Arcanjo, Jales, Valparaíso, José Bonifácio, Ariranha, Ibitinga, Casa Branca, Itapira, São Luís do Paraitinga, Botucatu, Ilha Solteira, Bauru, Junqueirópolis, Marinópolis, Campinas e Limeira.

As imagens utilizadas foram obtidas no banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), e estavam no formato padrão Level-1B da NOAA, sendo processadas através do sistema NAV (Esquerdo et al. 2006).

Para estimar a temperatura de superfície foi criada uma rotina em linguagem IDL (*Interactive Data Language*), utilizando o método *Split-Window* baseado em três modelos: Sobrino et al. (1997) corrigido por Quaidrari et al. (2002), denominado de Sobrino, Ulivieri et al., 1994, corrigido por Quaidrari, denominado Ulivieri, e Almeida (1996), que foi chamado Carlos.

O modelo Sobrino é dado pela Equação 1.

$$T_s = 12,3626 + 0,9549 * T_4 + 1,8474 (T_4 - T_5) + 0,2038 (T_4 - T_5)^2 + (2,0049 * TV + 52,3183)(1 - \epsilon) \quad (1)$$

onde,  $T_4$  e  $T_5$  são as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do AVHRR/NOAA.

Sendo que TV tem valor 3g.cm<sup>2</sup> A emissividade da superfície ( $\epsilon$ ) foi obtida a partir do índice de vegetação NDVI pelas Equações 2 a 4.

$$\Delta\epsilon = 0,01019 + 0,0134 * \ln(\text{NDVI}) \quad (2)$$

$$\epsilon_4 = 0,9897 + 0,039 * \ln(\text{NDVI}) \quad (3)$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_4 - \Delta\varepsilon \quad (4)$$

O cálculo do NDVI é feito com as refletâncias das bandas 1 e 2 do AVHRR, por meio da Equação (5).

$$\text{NDVI} = (\alpha_2 - \alpha_1) / (\alpha_2 + \alpha_1) \quad (5)$$

onde,  $\alpha_1$  é a refletância no vermelho e  $\alpha_2$  a refletância no infravermelho próximo.

O valor final de  $\varepsilon$  será a média aritmética entre  $\varepsilon_4$  e  $\varepsilon_5$ .

$$\varepsilon = (\varepsilon_4 + \varepsilon_5) / 2 \quad (6)$$

O modelo Ulivieri é dado pela Equação (7).

$$T_s = 0,9947 * T_4 + 2,6212 (T_4 - T_5) + (2,5551 * TV + 52,1904) * (1 - \varepsilon) \quad (7)$$

Da mesma forma que a Equação 1,  $T_4$  e  $T_5$  são as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do AVHRR/NOAA. A mesma metodologia é utilizada para o cálculo do valor de TV e  $\varepsilon$  (emissividade da superfície).

O modelo Carlos é dado pela Equação 8.

$$T_s = T_4 + [a_0 + a_1 (1 - \varepsilon_4) + a_2 \Delta\varepsilon] (T_4 - T_5) + T_4 [(1 - \varepsilon_4) / \varepsilon_4 * (b_{04} + b_{14} \Delta\varepsilon) - (1 - \varepsilon_5) / \varepsilon_5 * (b_{05} + b_{15} \Delta\varepsilon)] \quad (8)$$

Sendo,

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_4 - \varepsilon_5$$

Os dados de  $T_4$ ,  $T_5$  e emissividade  $\varepsilon$  são obtidos da mesma forma que os métodos descritos anteriormente.

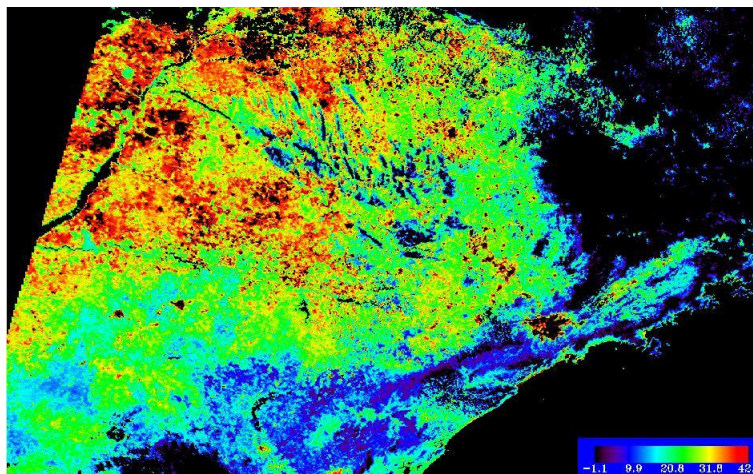
**Tabela 1. Coeficientes da equação Carlos conforme o modelo atmosférico.**

Modelo Atmosférico	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_{04}$	$b_{14}$	$b_{05}$	$b_{15}$
Tropical	2,49	4,33	-5,16	0,08	-0,11	0,03	-0,08
Lat. média - Verão	2,13	3,18	-7,49	0,22	-0,51	0,06	-0,26
Lat. média - Inverno	1,71	1,30	-9,10	0,41	-1,34	0,22	-1,56
USA - 76	1,57	0,76	-9,08	0,45	-1,59	0,26	-1,59

Os coeficientes utilizados são referentes à zona tropical onde se encontra o estado de São Paulo. O Agritempo forneceu as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de cada estação. Através destes dados foi possível corresponder as coordenadas das estações com as dos pixels (cada pixel representa 1,1km) na imagem processada e, assim, obter o valor da temperatura de superfície estimada para os locais de interesse. Após isso, foram feitos gráficos correlacionando as temperaturas fornecidas pelas estações meteorológicas, sendo que foram selecionadas apenas as temperaturas próximas ao horário de passagem do satélite, com a temperatura de superfície fornecida pelo satélite.

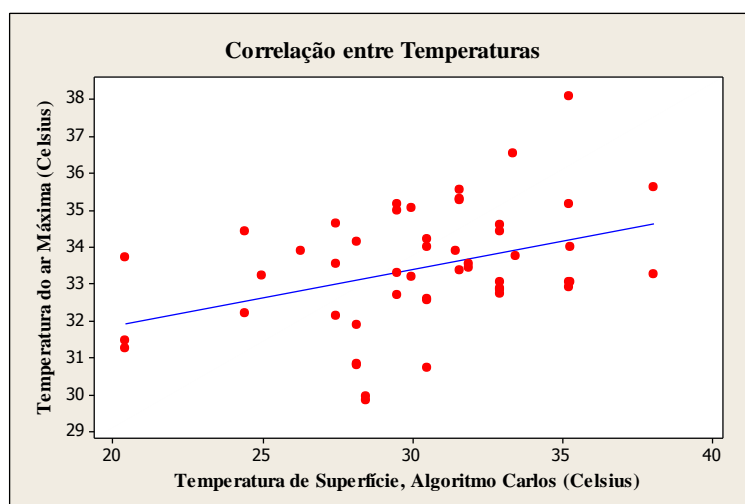
### 3. Resultados e Discussão

Foram gerados mapas de temperatura de superfície, conforme os apresentados na Figura 1. As regiões representadas por preto correspondem a “contaminações” por nuvens e ao mar, que foram desconsideradas para a estimativa da temperatura de superfície.

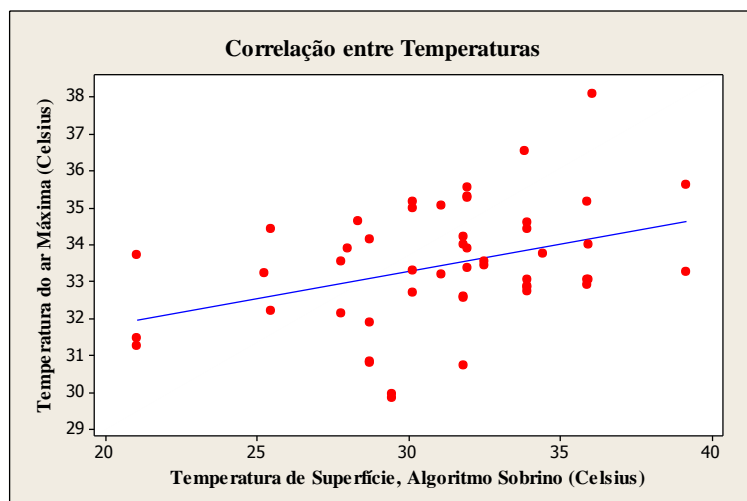


**Figura 1. Temperatura da superfície estimada através do modelo Carlos, no dia 08 de Janeiro de 2008.**

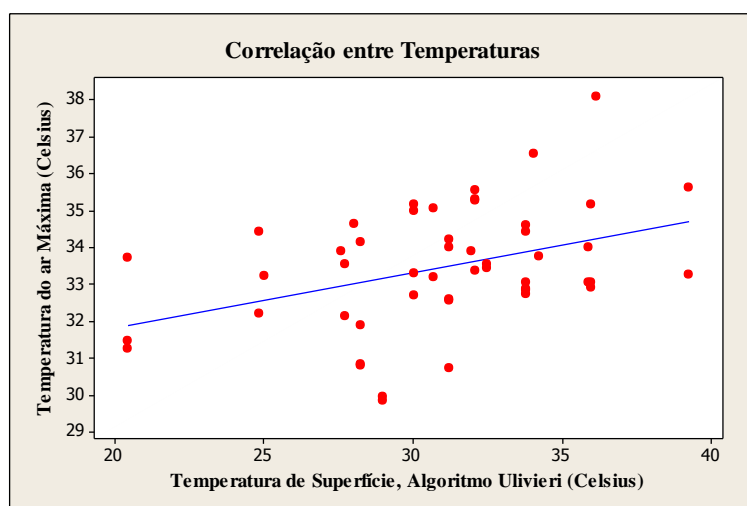
Foram feitos gráficos de comparação (como exemplificado nas Figuras 2 a 4) entre os valores fornecidos pelos mapas de temperatura de superfície com aqueles obtidos pelas estações meteorológicas de superfície do Agritempo.



**Figura 2. Gráfico de correlação entre a temperatura máxima da estação de superfície e o método Carlos no dia 05 de Setembro de 2008.**



**Figura 3. Gráfico de correlação entre a temperatura máxima da estação de superfície e o método Sobrino no dia 05 de Setembro de 2008.**



**Figura 4. Gráfico de correlação entre a temperatura máxima da estação de superfície e o método Ulivieri no dia 05 de Setembro de 2008.**

A Tabela 2 mostra os valores das correlações lineares obtidas para cada método, nos três dias de ocorrência de temperaturas elevadas.

**Tabela 2. Correlações lineares para cada dia de temperatura elevada.**

Datas	Modelos	Correlação R <sup>2</sup> (%)
08/01/2008	Sobrino	1,3
	Ulivieri	1,4
	Carlos	1,7
05/09/2008	Sobrino	13,7
	Ulivieri	15,2
	Carlos	14,8
10/09/2008	Sobrino	16,5
	Ulivieri	16,1
	Carlos	16,0

Analisando-se os resultados, constata-se que as correlações não foram significativas para as equações e datas utilizadas. As correlações para o dia 05 e 10 de Setembro de 2008 foram superiores à do dia 08 de Janeiro de 2008 devido à menor contaminação por nuvens. Lazarim e Zullo Junior (2009), Rodrigues et al. (2007) e Esquerdo et al. (2007) tiveram correlações significativas utilizando os modelos Sobrino, Ulivieri e Carlos, em dias de geada, mostrando que essas equações são eficientes para mapear a temperatura de superfície para dias com registro de temperaturas baixas.

#### 4. Conclusão

As correlações lineares não foram significativas para os três modelos utilizados nas três datas correspondentes a dias com temperaturas elevadas. Os valores da temperatura de superfície tiveram diferenças significativas em relação à temperatura do ar medida nas estações meteorológicas de superfície. O que mostra que os modelos precisam de alterações para mapear dias com temperaturas elevadas que podem ser mais frequentes no caso de um aumento efetivo das temperaturas globais. Com o desenvolvimento de um modelo para estimar a temperatura de superfície em dias com temperatura elevada será possível mapear a temperatura através de imagens de satélite e, dessa forma, obter um detalhamento maior e melhor para o monitoramento agrícola, uma vez que na imagem do satélite os valores são dados a cada 1,21km<sup>2</sup> enquanto as estações localizam-se a distâncias variáveis.

#### Agradecimentos

Ao Agrid tempo pelo fornecimento dos dados de superfície do estado de São Paulo.

#### Referências Bibliográficas

Almeida, C. A. S. de. **Estimativa da temperatura de superfície cultivada com trigo (*Triticum aestivum* L.), usando dados NOAA-14/AVHRR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G.; Emery, W. J.; Zullo Jr, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.

Esquerdo, J. C. D.; Caramori, P. H.; Zullo J. J.; Pinto, H. S.; Assad, E. D. Análise da ocorrência de geadas no Estado do Paraná com base na temperatura de superfície obtida dos dados AVHRR/NOAA. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos : INPE, 2007. v. 1. p. 5623-5629.

Ferreira, N.J. (Coordenador) **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

IPCC, **Relatório final do Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2007.

Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data users guide**. Washington: US Department of Commerce, 1995. 255p.

Lazarim, Camila Giorgi ; Zullo Junior, J. . Estimativa da temperatura de superfície terrestre, através de imagens do satélite AVHRR/NOAA, destinada ao monitoramento agrometeorológico. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal (RN). **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2009. v.1,p.6943-6949. Disponível em:<<http://mar.tecnico.ipecc.gov.br/col/ipecc.br/sbsr@80/2008/11.17.18/doc/6943-6949.pdf>>. Acesso em: 05 de novembro de 2010.

Nobre, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. In: **Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência**. Parcerias e estratégias. v1, n.12, 2001. Quaidrari, H.; Goward, S. N.; Czajkowski, K. P.; Sobrino, J. A.; Vermote, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements: An assessment for the AVHRR Land Pathfinder II data set. **Remote Sensing of Environment**, v.81, n. 1, p. 114-128, 2002.

Rodrigues, A.; Zullo J. J.; Caramori, P. H. Estimativa da Temperatura de Superfície, Através de Imagem do Satélite AVHRR/NOAA, em Evento de Geada Agrícola, no Paraná. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju. **Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracaju : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. v. 1. p. 1D-5D.

Sobrino, J. A.; Raissouni, N.; Lobo, A. Monitoring the Iberian Peninsula land cover using NOAA-AVHRR data. In Guyot & Phulpin (Eds.). **Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**, p. 787-794, Rotterdam: Balkema, 1997.

Ulivieri, C.; Castronuovo, M. M.; Francioni, R.; Cardilo, A. A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. **Advances in Space Research**, v.14, n.3, p.59-65, 1994.