

Estimativa da temperatura da superfície terrestre, através de imagens do satélite AVHRR/NOAA, destinada ao monitoramento agrometeorológico

Camila Giorgi Lazarim¹
Jurandir Zullo Junior^{1,2}

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

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

Abstract. Due to limitations and difficulties on the use of surface weather stations networks, the data collected by remote sensors carried by orbital satellites is an alternative which should be taken into account, considering that the surface temperature is one of the most important data provided by them, due to its large utility in agricultural monitoring. This article compares the use of images from the satellite AVHRR/NOAA, in order to obtain the surface temperature, with the temperatures obtained by weather stations. The satellite images were processed, and by using four different equations it was obtained the surface temperature for each pixel. Based on the coordinates of each surface weather station in Paraná, it was possible to make a correspondence for each pixel. With data from the satellite and the surface weather stations, it was made several graphs in order to compare the linear correlation between these values. This procedure was made for three dates related to the occurrence of frost: September 1, 2002; July 11, 2003; September 3, 2003. All the correlations presented high values, indicating that the temperature obtained through the satellite is not significantly different from the data obtained by the weather stations. The turf temperature presented a larger correlation, as expected, considering that this is measured on the surface, while the minimum temperature of the air is measured 1.5 m above the surface.

Palavras-chave: coffee, frost, air temperature, image processing, café, geada, temperatura do ar, processamento de imagens.

1. Introdução

Apesar do bom estágio atual da meteorologia nacional, a obtenção dos dados de temperatura, necessários à execução dos modelos de previsão do tempo, ao monitoramento meteorológico e aos estudos climáticos, ainda é um dos principais desafios existentes devido a fatores como:

- i) custo de aquisição das estações meteorológicas de superfície.
- ii) dificuldade de comunicação e operação, associado à dificuldade de acesso a vários locais onde estão instaladas as estações de superfície.
- iii) a dimensão territorial do país.

Por esses motivos, os satélites meteorológicos representam uma grande alternativa para obtenção dos dados necessários aos modelos numéricos de previsão do tempo, ao monitoramento meteorológico e aos estudos climáticos. Dentre os sistemas orbitais existentes, os satélites da série AVHRR/NOAA (Advanced Very High Resolution Radiometer - National Oceanic and Atmospheric Administration) são, sem dúvida, um dos mais indicados por ser um sensor que proporciona imagens, com cinco bandas no espectro eletromagnético distribuídas desde o visível até o infravermelho termal (Kidwell, 1995). Dentre os vários produtos que podem ser obtidos através das imagens do AVHRR/NOAA, 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 e detecção de geadas agrícolas. A ocorrência de geadas no Paraná tem sido um dos principais fatores que causam perdas de safras. O café, localizado no norte do estado, em uma região de transição sujeita à ocorrência periódica de geadas, é uma das culturas mais atingidas por esse fenômeno, que preocupa os agricultores devido à sua grande importância econômica para o país (Caramori et al., 2001). Os estudos de risco de ocorrência de geadas, baseados em séries históricas de temperaturas mínimas do ar obtidas em estações meteorológicas, representam dados pontuais e portanto não representam toda a região de interesse. Por meio de imagens de satélite, pode-se obter o valor de cada pixel, e desta maneira, ter um detalhamento maior, possibilitando a identificação de variações regionais que não são identificadas com dados das estações.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é correlacionar valores da temperatura do ar e de relva de estações meteorológicas de superfície com a temperatura de superfície obtida a partir das imagens do satélite AVHRR/NOAA avaliando sua adequação para mapear a temperatura de superfície no Estado do Paraná, utilizando três datas em que ocorreram geadas e quatro algoritmos distintos.

2. Metodologia de Trabalho

Foram selecionadas três datas de geadas agrícolas ocorridas após abril de 1995 no Estado do Paraná, sendo escolhidas as que tiveram um maior impacto, ou seja, que atingiram mais municípios.

Os dados de temperatura do ar e de relva foram fornecidos pelo IAPAR (Instituto Agrônomico do Paraná). Para cada data de geada foram obtidos dados da temperatura mínima horária fornecida pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) para os municípios: Maringá, Cianorte, Apucarana, Campo Mourão, Guairá, Jaguariaiva, Assis Chateaubriand, Cândido de Abreu, Toledo, Cerro Azul, Santa Helena, Palmital, Cascavel, São Miguel do Iguaçu, Antonina, Ponta Grossa, Piraquara, Curitiba, Teixeira Soares, Salto Osório, Salto Caxias, Entre Rios, Nova Prata do Iguaçu, Pinhão, Foz do Areia e União da Vitória.

A temperatura de relva para cada data de geada foi fornecida pelo IAPAR para os municípios: Cambará, Paranavaí, Londrina, Umuarama, Palotina, Telêmaco Borba, Guarapuava, Lapa, Pato Branco, Palmas, Bandeirantes, Bela Vista do Paraíso, Clevelândia, Fernandes Pinheiro, Francisco Beltrão, Ibitiporã, Joaquim Távora, Morretes, Planalto, Laranjeiras do Sul, Guaraqueçaba e Nova Cantu.

Para cada data, foram obtidas imagens (Tabela 1), no banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), que estavam no formato padrão da NOAA, chamado Level-1B e processadas através do sistema NAV (Esquerdo et al. 2004), sendo feitos recortes do Estado do Paraná.

Tabela 1. Datas e horários das imagens utilizadas.

Data	Horário de aquisição (GMT)
01/09/2002	07:34
11/07/2003	07:45
03/09/2003	07:34

Após isto, foi criada uma rotina IDL (*Interactive Data Language*) para gerar imagens de temperatura de superfície, que foram calculadas pelo 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 1 e Carlos 2, sendo o último um modelo simplificado e direcionado para a cultura do trigo.

O modelo Sobrino é dado pela Equação 1.

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

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

Os coeficientes A, B, C, D, E e F são constantes para TV (conteúdo total de vapor de uma coluna de ar que se estende da superfície ao topo da atmosfera) variando de $0g.cm^{-2}$ a $7g.cm^{-2}$. A emissividade da superfície (ϵ) foi obtida a partir do índice de vegetação NDVI pelas Equações 2 a 4.

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

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

$$\epsilon_5 = \epsilon_4 - \Delta\epsilon \quad (4)$$

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

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

Onde, α_1 é a refletância no vermelho visível e α_2 a refletância no infravermelho próximo.

O valor final de ϵ será a média aritmética entre ϵ_4 e ϵ_5 .

$$\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5) / 2 \quad (6)$$

O modelo Ulivieri é dado pela equação (7).

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

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 ϵ (emissividade da superfície).

O modelo Carlos 1 e Carlos 2 é dado pela Equação 8.

$$T_s = T_4 + [a_0 + a_1 (1 - \epsilon_4) + a_2 \Delta\epsilon](T_4 - T_5) + T_4 [(1 - \epsilon_4) / \epsilon_4 * (b_{04} + b_{14} \Delta\epsilon) - (1 - \epsilon_5) / \epsilon_5 * (b_{05} + b_{15} \Delta\epsilon)] \quad (8)$$

Sendo,

$$\Delta\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$$

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

Tabela 2. Coeficientes das equações Carlos 1 e Carlos 2 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 do Paraná.

O IAPAR e o SIMEPAR forneceram as coordenadas geográficas latitude e longitude de cada estação. Com esses dados foi possível obter os dados da temperatura de superfície para cada estação, na imagem já processada, correspondendo às coordenadas com os pixels (cada pixel representa 1,1km) da imagem. Utilizando os dados de temperatura de relva e mínima, sendo que foram selecionadas apenas as temperaturas próximas ao horário de passagem do satélite, foram feitos gráficos comparativos entre temperatura fornecida pela estação meteorológica de superfície e a temperatura de superfície fornecida pelo satélite.

3. Resultados e Discussão

Para cada dia de geada e para cada modelo foram gerados mapas de temperatura de superfície, conforme os apresentados na Figura 1 para o modelo Carlos 1.

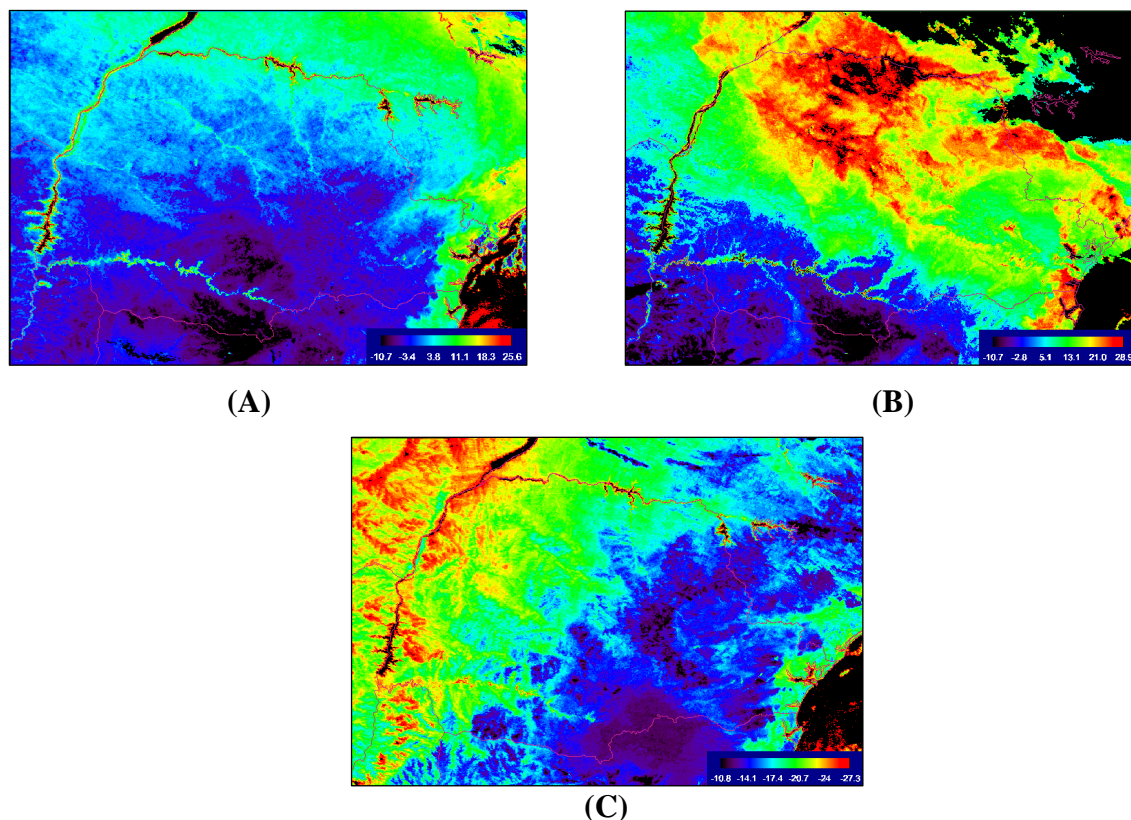


Figura 1. Temperatura da superfície estimada através do modelo Carlos 1, no dia 01/09/2002 (A), 11/07/2003 (B) e 03/09/2003.

Observando a escala de cores, os tons mais escuros representam as temperaturas mais baixas, enquanto as cores mais claras correspondem às temperaturas mais altas. As regiões representadas pelo preto são “contaminações” por nuvens e mar, que foram desconsideradas para a estimativa da temperatura de superfície. Nota-se, claramente, a predominância de temperaturas mais altas ao norte e temperaturas mais baixas ao sul.

Para uma análise quantitativa, foram feitos gráficos de comparação (alguns exemplos se encontram na Figura 2 a 4) entre os valores fornecidos pelos mapas de temperatura de superfície com aqueles obtidos pelas estações meteorológicas de superfície do SIMEPAR e IAPAR.

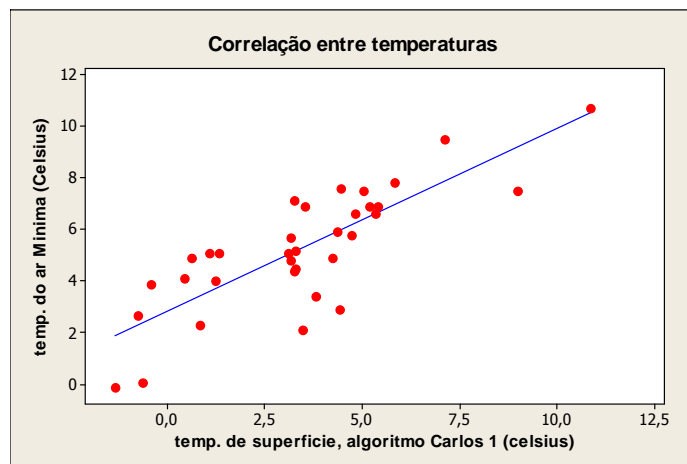


Figura 2. Gráfico de correlação entre a temperatura mínima da estação de superfície e o método Carlos 1 no dia 01/09/2002.

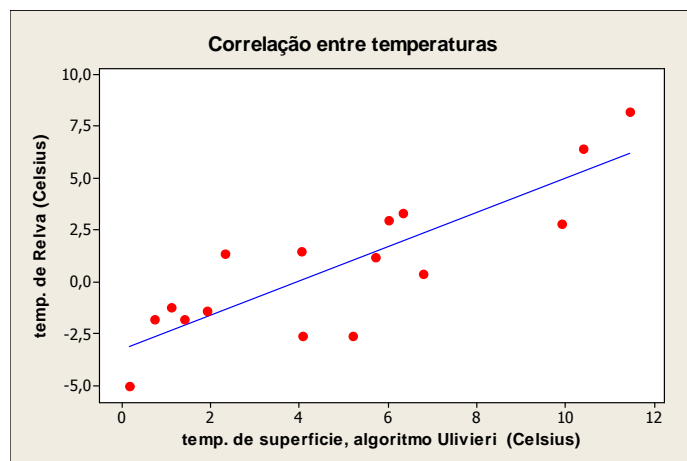


Figura 3. Gráfico de correlação entre a temperatura de relva da estação de superfície e o método Olivieri no dia 01/09/2002.

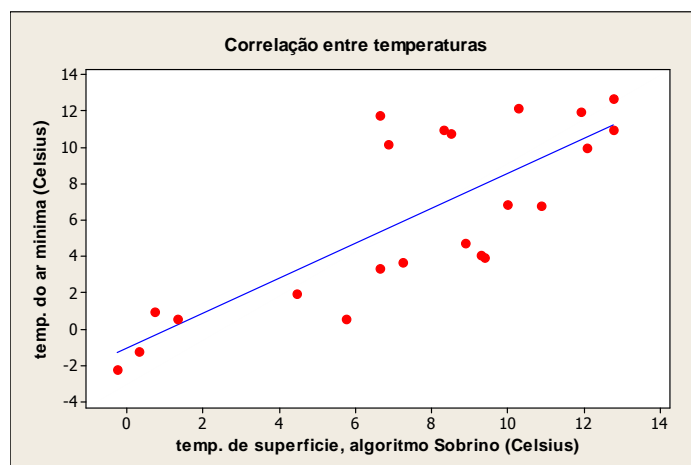


Figura 4. Gráfico de correlação entre a temperatura mínima da estação de superfície e o método Sobrino no dia 01/09/2002.

A Tabela 3 mostra os valores das correlações lineares obtidas para cada método, nos três dias de ocorrência de geada, para as temperaturas mínimas e de relva das estações meteorológicas de superfície.

Tabela 3. Correlações lineares para cada dia de geada.

Datas	Modelos	Correlação (R ²)	
		Temperatura de relva	Temperatura mínima
11/07/2003	Sobrino	0,702	0,630
	Ulivieri	0,702	0,634
	Carlos 1	0,716	0,655
	Carlos 2	0,715	0,642
01/09/2002	Sobrino	0,709	0,672
	Ulivieri	0,709	0,659
	Carlos 1	0,706	0,651
	Carlos 2	0,713	0,654
03/09/2003	Sobrino	0,685	0,805
	Ulivieri	0,680	0,797
	Carlos 1	0,676	0,786
	Carlos 2	0,691	0,820

Analisando-se os resultados, constata-se que as correlações foram significativas para todas as equações utilizadas. Os resultados para a temperatura de relva foram melhores, o que era esperado, pois a temperatura de relva é a medida da temperatura da superfície pela estação, enquanto as temperaturas mínima, média e máxima são medidas do ar a, aproximadamente, 1,5m acima da superfície, sendo superiores que a de relva. A única exceção foi o dia 3 de setembro de 2003, no qual a correlação das temperaturas mínimas foi maior que as temperaturas de relva, isso se deve aos poucos municípios atingidos pela geada nesse dia e aos municípios não atingidos, que tiveram temperaturas mais altas do que as outras datas selecionadas. Analisando a regressão de cada algoritmo para a temperatura mínima e de relva, encontrou-se um p-valor de aproximadamente zero, rejeitando-se a hipótese de que o coeficiente angular seja igual à zero, ou seja, ele é significativo para o modelo.

4. Conclusão

As correlações lineares foram significativas para as três datas utilizadas e os valores de temperatura de superfície estimados pelos quatro métodos não apresentaram diferenças significativas. Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues et al. (2007) e Esquerdo et al. (2007). O que mostra que a utilização de imagens de satélites AVHRR/NOAA é eficiente para mapear temperatura de superfície e possui a vantagem de ter um maior detalhamento para o monitoramento de geadas, uma vez que na imagem do satélite os valores são dados a cada 1,21km² enquanto as estações localizam-se a 100km de distância.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Iniciação científica a primeira autora deste trabalho. Ao SIMEPAR e IAPAR pelo fornecimento dos dados de superfície do estado do Paraná.

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.

Almeida, C. A. S. de. **Estimativa da temperatura do dossel de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) como subsídio à determinação da evapotranspiração usando dados NOAA/AVHRR**. Tese de Doutorado (Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

Caramori, P.H.; Caviglione, J.H.; Wrege, M.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.486-494, 2001.

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.

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

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.