

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N^o 64/4: 465-474
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

PROCEDIMENTO PARA ALTERAÇÃO DA EMISSIVIDADE DO PRODUTO DE TEMPERATURA DO MODIS – MOD11

*Procedure to Change the Emissivity of the Temperature Product of MODIS –
MOD11*

**Morris Scherer Warren¹, Leonardo Peres², Lineu Neiva Rodrigues³
& Nestor Aldo Campana⁴**

¹Agência Nacional de Águas
SPO, Área 5, Quadra 3, CEP 70610-200, Brasília-DF, Brasil
morris@ana.gov.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro
Departamento de Meteorologia
Rua Athos da Silveira Ramos, Ilha do Fundão, CEP: 21941-916, Rio de Janeiro-RJ, Brasil
leonardo.peres@igeo.ufrj.br

³Embrapa Cerrados
Caixa Postal 08223, CEP 73310-970, Planaltina-DF, Brasil
lineu@cpac.embrapa.br

⁴Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília-DF, Brasil
mnestor@unb.br

Recebido em 29 de Agosto, 2011/ Aceito em 15 de Novembro, 2011
Received on August 29, 2011/ Accepted on November 15, 2011

RESUMO

A temperatura superficial é uma variável chave em estudos ambientais e de mudanças globais. A única forma factível para o monitoramento da temperatura superficial em grandes extensões é por meio de técnicas de sensoriamento remoto. A despeito das inúmeras variáveis que afetam a estimativa da temperatura superficial, acredita-se que o erro associado à especificação da emissividade é duas vezes maior que o introduzido pela correção atmosférica. No presente artigo é derivada uma equação, a partir das equações de Planck e da excitância de um corpo cinza, para alterar a emissividade do produto de temperatura do MODIS (MOD11). Em uma área situada a leste do Distrito Federal – Brasil, a comparação da temperatura do MODIS (MOD11) com a temperatura do ASTER (AST08) mostrou um subestimativa média de 2,7 Kelvin (K). Após substituir a emissividade do MOD11, por outra emissividade estimada a partir do índice de área foliar, a diferença entre os produtos MOD11 e AST08 diminuiu praticamente 1,0 K.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, incerteza, termal, Planck.

ABSTRACT

Land surface temperature is a key variable in environmental studies and the monitoring of global changes. The unique form of monitoring land surface temperature in large extensions is by means of remote sensing techniques. In respect to innumerable variables that affect land surface temperature, the error associated with the specification of the emissivity is twice the size of the error caused by atmospheric correction. In the present article an equation is derived, from the Planck equation and the equation of a grey body's exitance, to change the emissivity of the temperature product of MODIS (MOD11). In an area situated in the east of the city of Brasília – Brazil, the comparison of the temperature of MODIS in relation to the temperature obtained from ASTER (AST08) showed an underestimation of 2.7 Kelvin (K). After replacing the emissivity of the product MOD11 by an emissivity estimated from the leaf area index, the difference between MOD11 and AST08 decreased by almost 1.0 K.

Keywords: remote sensing, uncertainty, thermal, Planck.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura da superfície continental é uma variável chave em estudos ambientais e de mudanças climáticas. As aplicações possíveis são inúmeras, incluindo a estimativa do balanço de energia, a caracterização de estresse hídrico de plantas e seu desenvolvimento fenológico, o monitoramento de estíagens e a identificação de queimadas, sendo também de particular interesse em estudos envolvendo modelos hidrológicos, meteorológicos e climáticos (GOWDA et al., 2007 ; KALMAN et al., 2008; MORAN, 2003).

Atualmente, a única forma factível e disponível para o monitoramento da temperatura da superfície continental em grandes extensões, com resolução temporal e espacial adequadas para grande parte das aplicações de modelagem, é por meio de técnicas de sensoriamento remoto no infravermelho termal. Apesar do uso de dados de satélites ser bastante atrativo, existem incertezas na estimativa remota da temperatura da superfície do continente em função da correção atmosférica, da estimativa da emissividade e da resolução espacial dos sensores utilizados.

Particularmente a utilização do sensor ModerateResolutionImagingSpectroradiometer – MODIS é atrativa, pois duas cenas são adquiridas por dia e diferentes produtos de temperatura da superfície continental são processados e distribuídos gratuitamente através de uma ferramenta baseada na web chamada “WarehouseInventorySearch Tool” (WIST). A alta frequência temporal das imagens termais MODIS é necessária, por exemplo, para capturar de forma adequada a dinâmica temporal da evapotranspiração, pois o padrão espaço-temporal da precipitação/irrigação altera a evapotranspiração na escala diária. Esta frequência

temporal não pode ser obtida por meio da utilização de sensores como o ASTER ou o ETM.

O produto de temperatura do MODIS (MOD11) na resolução de 1 km é estimado com base no algoritmo “generalizedsplit-window” (WAN e DOZIER, 1996), o qual assume um conhecimento a priori da emissividade. Mapas de emissividade das bandas 31 e 32 são obtidos com base em classificação, no qual o pixel da imagem é classificado de acordo com 14 classes de uso da terra pré-definidas e com os valores correspondentes de emissividade (SNYDER et al., 1998). A partir do conhecimento a priori da emissividade, a estimativa da temperatura da superfície se torna mais fácil, pois o problema se torna determinístico e o método “generalizedsplit-window” simplesmente realiza a correção atmosférica com base na absorção diferencial entre as duas bandas termais do MODIS (LIANG, 2004).

A vantagem deste tipo de método de estimativa da emissividade, com base em classificação, é a possibilidade de obter mapas em escala global. Adicionalmente, informações acerca do estado atmosférico para a correção da radiação observada pelo satélite no infravermelho termal não são necessárias para o cálculo da emissividade. Entretanto, quando se utiliza este tipo de método existe a dificuldade de encontrar uma maneira apropriada de associar as medidas de emissividade obtidas em laboratório com as diferentes classes de uso da terra. Esta tarefa é ainda mais desafiadora em regiões áridas e semi-áridas onde existe uma grande variabilidade espacial da emissividade.

Problemas nas estimativas de temperatura da superfície continental do produto MODIS de 1 km sobre áreas áridas e semi-áridas podem ocorrer de forma frequente. Wan et al. (2002) mostraram que

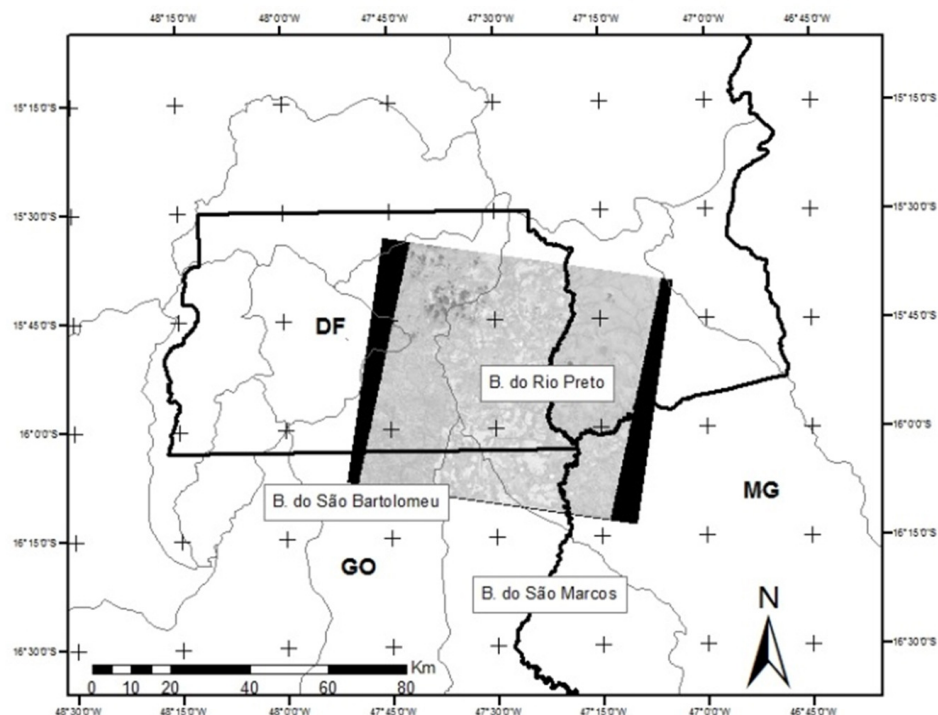


Fig. 1- Imagem AST08 selecionada para comparação com o MOD11.

as emissividades com base no método de classificação são superestimadas em regiões áridas e semi-áridas, resultando numa subestimativa da temperatura pelo método “generalizedsplit-window”. Neste contexto, estimativas de temperatura em regiões onde a emissividade é altamente variável devem se basear em métodos que não requerem um conhecimento direto da emissividade, como por exemplo, o produto ASTER LST/LSE estimado pelo algoritmo “Temperature-Emissivity Separation” (TES) (GILLESPIE et al., 1998), no qual as estimativas de temperatura e emissividade ocorrem de forma simultânea. Estudos comparativos entre o MOD11 e o produto de temperatura do sensor ASTER, AST08 (GILLESPIE et al., 1998), têm mostrado discrepâncias em torno de $-3,0$ Kelvin (K) para o MOD11 em áreas áridas e semi-áridas (LIU et al., 2007; MERLIN et al., 2010).

Dessa forma, o objetivo do presente artigo é apresentar uma correção da temperatura da superfície continental do produto MOD11, derivada da equação de transferência radiativa no infravermelho termal, no qual a emissividade do produto MOD11, obtida pelo método de classificação de Snyder et al. (1998), será substituída

pela emissividade estimada usando o índice de área foliar (ALLEN et al., 2007). Conforme será demonstrado, a temperatura do MODIS no qual a emissividade foi estimada usando o índice de área foliar possui melhor correspondência com a temperatura do ASTER na área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As temperaturas do MODIS (MOD11-L2), antes e após a alteração da emissividade, foram comparadas com a temperatura do ASTER (AST08) em uma área situada a leste do Distrito Federal, no dia 7 de maio de 2000. A figura 1 mostra a imagem de temperatura obtida pelo ASTER (AST08). A área engloba a Bacia do Rio Preto dentro dos limites do Distrito Federal, estendendo-se à oeste em direção a Bacia São Bartolomeu, à leste na porção da Bacia do Rio Preto situada no município de Formosa – GO e ao sul englobando a parte superior da Bacia do Rio São Marcos.

Na Bacia do Rio Preto – DF o uso do solo é basicamente agropecuário, com pouca ocorrência de áreas de Cerrado e matas galerias. Destaca-se na bacia a agricultura irrigada, responsável por cerca de 80% da produção agrícola do Distrito Federal,

sendo realizada a irrigação por pivô central com água captada diretamente dos cursos d'água ou pequenas barragens (RODRIGUES et al., 2007). Áreas de Cerrado podem ser encontrada à leste (porção da Bacia do Rio Preto localizada em Formosa – GO) e à oeste da área de estudo (Bacia do Rio São Bartolomeu).

2.2 Comparação entre os produtos MOD11-L2 e AST08

Inicialmente as superfícies de temperatura superficial do MODIS (MOD11-L2) e do ASTER (AST08) foram comparadas por meio de regressão linear simples. No caso do MODIS foi utilizado o produto no formato bruto (sem projeção sinusoidal) MOD11-L2. O MOD11-L2 é o produto de temperatura/emissividade gerado diariamente a partir do algoritmo “generalized split-window” (WAN e DOZIER, 1996), com a emissividade estimada pelo método de classificação de Snyder et al. (1998). O produto de temperatura/emissividade do ASTER utilizado foi o AST08, desenvolvido a partir do algoritmo TES – “Temperature/Emissivity Separation” (GILLESPIE et al., 1998), no qual a temperatura e a emissividade são calculadas de forma iterativa a partir de cinco bandas situadas no espectro termal. O AST08, com resolução espacial de 90 metros, foi agregado espacialmente considerando a função de espalhamento pontual do MODIS, sendo retangular no sentido along-track (direção de deslocamento do satélite) e triangular no sentido across-track (perpendicular ao deslocamento do satélite) (WOLFE et al., 1998).

2.3 Comparação da emissividade do MOD11-L2 com NDVI e TCW

A emissividade da superfície varia espacialmente em função da presença da vegetação. Liang (2004) sintetiza uma série de propostas para o cálculo da emissividade a partir de índices de vegetação e a fração vegetada da superfície. A umidade superficial, conforme conhecido experimentalmente, também ocasiona o aumento da emissividade (MIRA et al., 2007).

Desta forma, visando analisar a adequação do método de classificação para a estimativa da emissividade em nossa área de estudo, a emissividade do produto MOD11-L2 foi comparada com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a componente wetness da transformação Tasseled Cap (TCW).

A transformação Tasseled Cap (KAUTH e THOMAS, 1976) assemelha-se a transformação de componentes principais no sentido que as componentes derivadas são ortogonais entre si, ou seja, a correlação entre as componentes derivadas é reduzida. A diferença é que a transformação Tasseled Cap é baseada em informação bio-física da imagem e os coeficientes de transformação são invariantes temporalmente. As três primeiras componentes derivadas (CRIST e CICONNE, 1984) são conhecidas como brightness (brilho), greenness (“verdidão”) e wetness (umidade). Desta forma, após a remoção das diferenças de brilho e quantidade de verde (biomassa) da imagem é calculada a componente de umidade (Tasseled CapWetness - TCW).

Tabela 1- Coeficientes Tasseled Cap para o sensor MODIS (modificado - LOBSER e COHEN, 2008).

Espectro	Faixa Espectral (µm)	Brightness	Greenness	Wetness
		(brilho)	(verdidão)	(umidade)
Vermelho	620 - 670	0,4395	-0,4064	0,1147
Infravermelho próximo 1	841 - 876	0,5945	0,5129	0,2489
Azul	459 - 479	0,246	-0,2744	0,2408
Verde	545 - 565	0,3918	-0,2893	0,3132
Infravermelho próximo 2	1230 - 1250	0,3506	0,4882	-0,3122
Infravermelho médio 1	1628 - 1652	0,2136	-0,0036	-0,6416
Infravermelho médio 2	2105 - 2155	0,2678	-0,4169	-0,5087

Tabela 2- Índice de área foliar máximo para diferentes usos da terra na bacia do Rio Preto (DF) e Entorno.

Uso da Terra	IAF	Uso da Terra	IAF
Campo Limpo 1	4,33	Campo Cerrado 1	2,87
Campo Limpo 2	2,95	Campo Cerrado 2	2,96
Campo Limpo 3	3,35	Campo Cerrado 3	2,69
Campo Limpo (média)	3,54	Campo Cerrado (média)	2,84
Campo Sujo 1	2,78	Cerrado “sensu stricto” 1	3,43
Campo Sujo 2	3,75	Cerrado “sensu stricto” 2	3,38
Campo Sujo 3	3,53	Cerrado “sensu stricto” 3	3,14
Campo Sujo (média)	3,35	Cerrado (média)	3,32
Feijão	3,8	Soja(SD)	5
Forageira	4	Milho (SD)	5,9
Trigo(SD)	4,4	Aveia(SD)	6,3
		Trigo(SC)	9,2

Para o sensor MODIS, a TCW foi calculada por meio dos coeficientes disponíveis em Lobser e Cohen (2008), conforme apresentado na tabela 1.

2.4 Cálculo da nova emissividade a partir do IAF

A nova emissividade a ser utilizada no produto MOD11-L2 foi obtida a partir do IAF, conforme proposta de Allen et al. (2007). Para calcular o IAF, inicialmente foi obtido o produto de radiância do MODIS (MOD01HKM). Os valores de radiância foram transformados para reflectância de superfície de acordo com a proposta de Tasumiet al. (2008).

A partir dos dados de reflectância de superfície foram calculados o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI e o índice de área foliar (IAF), sendo o IAF correlacionado linearmente com o NDVI (JUSTICE, 1986):

$$F = IAF_{\max} \left[\frac{(NDVI_i - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \right] \quad (1)$$

no qual IAF_{\max} é o índice de área foliar máximo da classe de uso da terra; NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada de cada pixel da imagem; $NDVI_{\max}$ e $NDVI_{\min}$ são os índices de vegetação mínimo e máximo para cada uso da terra.

O índice de área foliar máximo varia conforme a classe de uso da terra. Para a Bacia do Rio Preto – DF e entorno, esses valores podem ser obtidos em Rodrigues et al. (2009) para culturas agrícolas e em Pinheiro et al. (1998) para diferentes fisionomias de Cerrado, conforme sintetizado na tabela 2. Os valores de NDVI máximo e mínimo foram obtidos a partir dos percentis 97 e 3 da frequência acumulada do NDVI.

O IAF foi utilizado para obter a nova estimativa de emissividade (ALLEN et al., 2007):

$$\varepsilon_c = \begin{cases} 0,97 + 0,003 \times IAF & \text{para } IAF \leq 3 \\ 0,98 & \text{para } IAF > 3 \end{cases} \quad (2)$$

2.5 Correção da temperatura da superfície continental do produto MOD11

Assumindo a superfície da Terra como um emissor-refletor Lambertiano e desprezando o espalhamento atmosférico, a radiância registrada num dado canal por um sensor a bordo de um satélite pode ser escrito como:

$$L_c = \varepsilon_c B_c(T_s) \tau_c + L_c^{\uparrow} + L_c^{\downarrow} (1 - \varepsilon_c) \tau_c \quad (3)$$

no qual ε_c , $B_c(T_s)$, τ_c , L_c^{\uparrow} e L_c^{\downarrow} denotam, respectivamente, a emissividade, a radiância emitida

por um corpo negro dada pela função de Planck para a temperatura da superfície T_s , a transmitância atmosférica, e as radiâncias atmosféricas ascendente e descendente.

Considerando-se que os efeitos atmosféricos são conhecidos, juntamente com a emissividade utilizada para estimar o termo da reflexão da superfície durante a correção atmosférica, a radiância real emitida pela superfície (L_{sup_c}) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{L_c - L_c^\uparrow - L_c^\downarrow (1 - \varepsilon_c) \tau_c}{\tau_c} = \varepsilon_c B_c(T_s) = L_{sup_c} \quad (4)$$

Similarmente, assumindo-se um conhecimento a priori da emissividade, estimada pelo produto MOD11, e que a correção atmosférica é realizada sem erros, a radiância emitida pela superfície referente ao produto MOD11 assim como a temperatura podem ser estimados com base na equação (4):

$$\frac{L_c - L_c^\uparrow - L_c^\downarrow (1 - \varepsilon_{MOD11c}) \tau_c}{\tau_c} = \varepsilon_{MOD11c} B_c(T_{s_MOD11}) = L_{sup_MOD11c} \quad (5)$$

no qual ε_{MOD11c} , T_{s_MOD11} e L_{sup_MOD11c} são a emissividade, a temperatura e a radiância do produto MOD11.

Comparando-se as equações (4) e (5) observa-se que a radiância real emitida pela superfície, L_{sup_c} e a radiância referente ao produto MOD11, L_{sup_MOD11c} , diferem apenas pela diminuição da unidade pela emissividade (terceiro termo à esquerda das equações, ou respectivamente $(1 - \varepsilon_c)$ e $(1 - \varepsilon_{MOD11c})$), que quando multiplicado pela transmitância (τ_c) e pela radiância atmosférica descendente (L_c^\downarrow) resultará em diferenças típicas da ordem de décimos. Portanto, podemos escrever de forma aproximada que:

$$L_{sup_c} \approx L_{MOD11c} \quad (6)$$

Desta forma podemos corrigir a temperatura da superfície continental estimada pelo produto MOD11, com o intuito de obter a temperatura correta, utilizando-se uma nova emissividade, a qual se considera como sendo igual a :

$$\begin{aligned} \varepsilon_c B_c(T_s) &= \varepsilon_{MOD11c} B_c(T_{s_MOD11}) \\ B_c(T_s) &= \frac{\varepsilon_{MOD11c} B_c(T_{s_MOD11})}{\varepsilon_c} \end{aligned} \quad (7)$$

Na presente aplicação, ε_c é aproximada pela emissividade em banda curta proposta por Allen et al.(2007), considerada mais adequada em áreas áridas e semi-áridas comparativamente a emissividade obtida pelo método de classificação.

Finalmente, escrevendo-se literalmente a Função de Planck, obtemos uma equação para a nova estimativa corrigida de temperatura da superfície continental:

$$T_s = \frac{K_2}{\lambda \ln \left(\frac{K_1 \varepsilon_c}{\lambda^5 \varepsilon_{MOD11c} B_c(T_{s_MOD11})} + 1 \right)} \quad (8)$$

onde K_1 e K_2 são constantes universais de radiação e λ representa o comprimento de onda central de um determinado canal do MODIS.

É importante ressaltar que de fato a equação (6) é uma aproximação da temperatura da superfície continental verdadeira por conta das hipóteses assumidas durante a correção atmosférica e também pela utilização da emissividade proposta por Allen et al. (2007) como aproximação da emissividade real ε_c .

De posse do novo valor de emissividade, a temperatura superficial do MODIS (MOD11-L2) foi alterada usando a equação 8. As temperaturas do MODIS, antes e após a alteração da emissividade, foram comparadas com a temperatura superficial do ASTER (AST08).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Correlação entre as temperaturas originais do MODIS e do ASTER

O coeficiente de correlação encontrado entre a temperatura original do MODIS (MOD11-L2) e a temperatura do ASTER (AST08) foi de 0,952, com a temperatura do ASTER em média 2,7 K superior à temperatura do MODIS (Fig. 2).

Análises de sensibilidade com base em simulações numéricas do produto AST08 mostram que algoritmo TES (Temperature/Emissivity Separation) pode estimar a temperatura da superfície

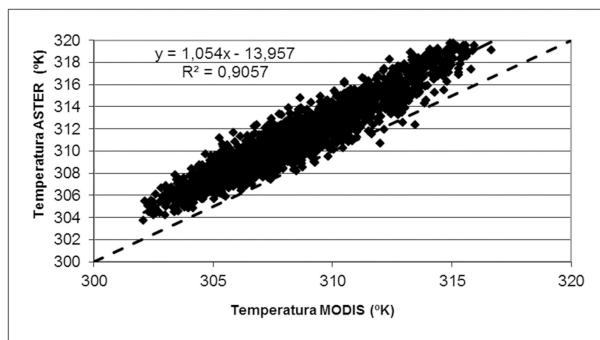


Fig. 2- Correlação AST08 x MOD11-L2.

continental dentro de uma faixa de erro de aproximadamente 1,5 K (GILLESPIE et al., 1998). Trabalhos de validação mais recentes confirmam esta estimativa de erro para o algoritmo AST08 (SABOL et al., 2009). Já para o produto MOD11-L2, estudos de validação têm mostrado erros médios inferiores a 1,0 K para diferentes coberturas superficiais (WAN et al., 2004; COLL et al., 2005). Por outro lado, trabalhos comparativos têm mostrado discrepâncias em torno de 3,0 K a mais para o produto AST08 em relação ao MOD11 para áreas áridas e semi-áridas (LIU et al., 2007; MERLIN et al., 2010). Na presente análise, esta discrepância é confirmada, sendo a temperatura do AST08 cerca de 2,7 K superior a temperatura do MOD11-L2.

Ao analisar a emissividade das bandas termiais utilizadas no algoritmo “generalizedsplit-window” do produto MOD11-L2, constata-se valores médios muito altos, respectivamente 0,985 e 0,989 para as bandas 31 e 32. Estes valores de emissividade são muito próximos ao valor da emissividade da água pura (emissividade em torno de 0,99). Destaca-se, porém, que a imagem utilizada está em uma área essencialmente agrícola (Bacia do Rio Preto - DF e entorno), devendo possuir valores médios de emissividade inferiores. Esta superestimativa da emissividade ocasiona a depreciação da temperatura.

3.2 Correlação da emissividade do produto MOD11-L2 com o NDVI e a TCW

Conforme destacado, a emissividade em um determinado pixel do produto MOD11-L2 é determinada por classificação, no qual o pixel é associado à uma das quatorze classes de uso da terra pré-definidas, sendo também considerados fatores dinâmicos, como a senescência da vegetação e o índice de vegetação (SNYDER et al., 1998).

Os autores admitem que um problema do método proposto é não considerar a umidade da superfície, uma vez que uma área úmida possui emissividade próxima a da água.

Para a imagem trabalhada, as correlações da emissividade com o índice de vegetação (Fig. 3a) e a componente wetness da transformação Tasseled Cap (Fig. 3b) são nulas.

Destaca-se que a componente wetness é sensível à umidade superficial. Trata-se da terceira componente da transformação TasseledCap, sendo obtida após a remoção de brilho (“brightness”) e da quantidade de verde (“greenness”) da imagem (CRIST e CICONNE, 1984). A ausência de correlação com a componente wetness corrobora a constatação de inadequação da estimativa de emissividade pelo método da classificação para o entorno de Brasília.

3.3 Correção da temperatura do produto MOD11-L2

A emissividade do produto MOD11, calculada pelo método de classificação (SNYDER et al., 1998), foi substituída pela emissividade calculada a partir do índice de área foliar (ALLEN et al., 2007) usando a equação 8.

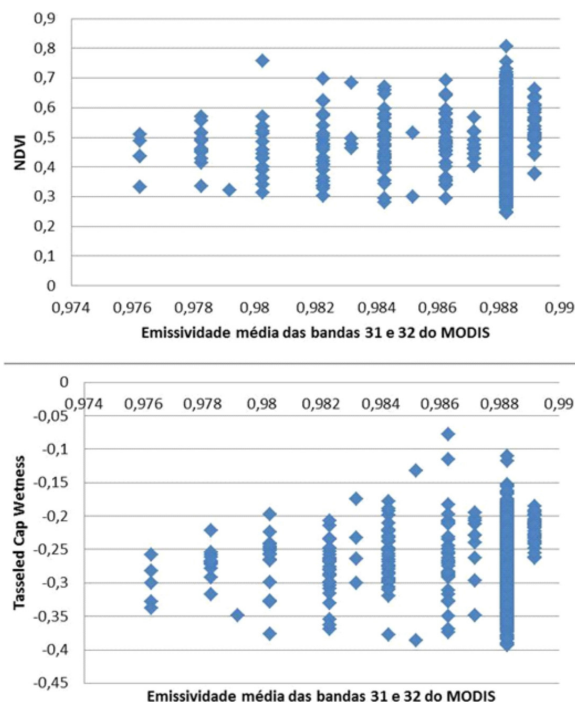


Fig. 3- Emissividade comparada com o NDVI (a) e com a TCW (b).

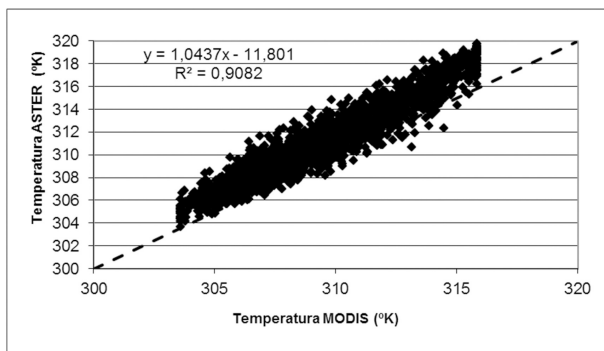


Fig. 4- Correlação AST08 x MOD11-L2 com emissividade ajustada.

Ao substituir a emissividade, a diferença de temperatura entre o AST08 e o MOD11 praticamente diminuiu 1,0 K (Fig. 4), de 2,7 para 1,7 K. A correlação aumentou, mas de forma pouco significativa, e o coeficiente angular se aproximou mais do valor unitário. A diferença relativa entre os produtos AST08 e MOD11 caiu 5%, de 15 para 10% após substituir a emissividade.

Destaca-se que a aquisição das imagens MODIS e ASTER ocorreram simultaneamente, estando sujeitos à mesma geometria de imageamento e efeitos atmosféricos. Ademais, os efeitos topográficos são desprezíveis para a imagem analisada em virtude da baixa movimentação geomorfológica. Dessa forma, a diferença restante de 1,7 K entre o AST08 e o MOD11_L2 pode ser explicada em função das diferenças na definição da emissividade, entre as propostas de Allen et al. (2007) e Gillespie et al. (1998), bem como dos algoritmos utilizados nas estimativas de temperatura do ASTER e do MODIS, notadamente a definição dos parâmetros empíricos utilizados no algoritmo “generalizedsplit-window” (WAN e DOZIER, 1996). Este valor de 1,7 K encontra-se próximo do erro estimado para o produto AST08, da ordem de 1,5 K (GILLESPIE et al., 1998; SABOL et al., 2009).

A equação 8 também pode ser utilizada para investigar a incerteza da temperatura da superfície continental em função da estimativa da emissividade. Nesse caso, diferentes propostas para calcular a emissividade (VAN DE GRIEND and OWE, 1993; SNYDER et al., 1998; SOBRINO et al., 2001; ALLEN et al.; 2007) podem ser utilizadas para alterar o produto MOD11 e se obter os limites de confiança da temperatura para cada pixel da imagem.

4 CONCLUSÕES

Para a imagem analisada, situada a leste do Distrito Federal, a comparação dos produtos de temperatura AST08 e MOD11-L2 permitiu constatar que em média as temperaturas estimadas pelo MODIS são 2,7 K inferiores àquelas estimadas pelo ASTER.

A despeito dos diferentes fatores que podem alterar a temperatura superficial, a emissividade utilizada no produto MOD11-L2, baseada no método de classificação, não apresentou correlação com a vegetação e a umidade superficial na imagem analisada, sendo considerada inadequada para a área analisada.

A equação apresentada no presente artigo permitiu alterar a emissividade do produto MOD11-L2. Para a imagem selecionada, uma nova estimativa de emissividade, baseada no índice de área foliar (ALLEN et al., 2007), diminuiu em cerca de 1,0 K a diferenças entre o AST08 e o MOD11-L2, de 2,7 para 1,7 K.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133(4), p.380-394, 2007.
- COLL, C.; CASELLES, V.; GALVE, J.M.; VALOR, E.; NICLÒS, R.; SÁNCHEZ, J.M; RIVAS, R. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.97, p.288-300, 2005.
- CRIST., E.P.; CICONE, R.C. A physically-based transformation of Thematic Mapper Data – the TM Tasseled Cap. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 41, p.2674-2677, 1984.
- GILLESPIE, A; ROKUGAWA, S., MATSUNAGA, T., COTHERN, J.S., HOOK, S.; KAHLE, A.B..A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 36, p.1113-1126, 1998.
- GOWDA, P.H.; CHAVEZ, J.L.; COLAIZZI, P.D.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A.; TOLK, J.A. ET

- mapping for agricultural water management: present status and challenges. **Irrigation Science**, v.26(3), p.223-237, 2008.
- JUSTICE, C.O. Monitoring east African vegetation using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, p.1335-1372, 1986.
- KALMAN, J.D.; MCVICAR, T. R.; MCCABE.M.F. Estimating land surface evaporation: a review of methods using remotely sensed surface temperature data. **Surveys in Geophysics**, v.29(4-5), p.421-469, 2008.
- KAUTH, R.; THOMAS, G.S. The tasseled Cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. **LARS Symposia**, artigo 159, 1976.
- LIANG S. **Quantitative remote sensing of land surface**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 1 ed., 534 p., 2004.
- LIU, Y.; YAMAGUCHI, Y.; KE, C. Reducing the discrepancy between ASTER and MODIS land surface temperature products. **Sensors**, v.7, p.3043-3057, 2007.
- LOBSER, S.; COHEN, W. MODIS tasselled cap: land cover characteristics expressed through transformed MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 5079–5101, 2008.
- MERLIN, O.; DUCHEMIN, B.; HAGOLLE, O.; JACOB, F.; COUDERT, B.; CHEHBOUNI, G.; DEDIEU, G.; GARATUZA, J.; KERR, Y. Disaggregation of MODIS surface temperature over an agricultural area using time series of Formosat-2 images. **Remote Sensing of Environment**, vol.114, p.2500-2512, 2010.
- MIRA, M.; VALOR, E.; BOLUDA, R.; CASSELES, V.; COLL, C. Influence of the soil moisture effect on the thermal infrared emissivity. **Journal of Geophysical Research**, v.112, 2007.
- MORAN, M.S. TIR as an indicator of plant ecosystem health. In: QUATTOCHI, D.A.; LUVALL, J.C. **Thermal remote sensing in land surface processes**. Boca Raton: CRC Press, 1 ed., 2004, p.257-282.
- PINHEIRO, G.G.C.; SANO, E.E.; MENESES, P.R. Análise dos Dados Digitais de Radar (Satélite JERS-1, Banda L) para o Estudo Ambiental na Região dos Cerrados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 1999. p. 185-188. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.14.47/doc/4_84p.pdf>. Acesso em: out. 2010.
- PRATA, A.J.; CASELLES, V.; COLL, C.; SOBRINO, J.; OTTLE, C. Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. **Remote Sensing Reviews**, vol.12, p.175-224, 1995.
- RODRIGUES, L. N.; Marioti, J.; VARGAS, Lucília Maria Parron; Sano, E.E.; MARTINS, Éder de Souza. Bacia Experimental do Rio Buriti Vermelho: instrumentação, monitoramento e análise preliminar de dados. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. O Desafio da Prática da Sustentabilidade na Gestão dos Recursos Hídricos: Natureza, Gente e Desenvolvimento, 2009. p. 1-19.
- SABOL, D.E.; GILLESPIE, A.R.; ABBOTT, E.; YMADA, G. Field validation of the ASTER temperature-emissivity separation algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.2328-2344, 2009.
- SOBRINO, J.A.; RAISSOUNI, N.; LI, Z.-L. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. **Remote Sensing of Environment**, v.75, p.256-266, 2001.
- SNYDER, W.C.; WAN, Z.; ZHANG, Y.; FENG, Y.-Z. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. **International Journal of Remote Sensing**, vol.19, p.2753-2774, 1998.
- TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, 2008, v.13, p.51-63, 2008.
- VAN DE GRIEND, A. A.; OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surface. **International Journal of Remote Sensing**, vol.14, p.1119-1131, 1993.
- WAN, Z.; DOZIER, J.A. Generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 34, p.892-905, 1996.

WAN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; LI, Z.-L. Validation of the land-surface temperature products retrieved from TERRA Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. **Remote Sensing of Environment**, v.83 p.163-180, 2002.

WAN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; LI, Z.-L. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, vol.25, p.261-274, 2004.

WOLFE, R.; ROY, D.; VERMOTE, E. MODIS land data storage, gridding, and compositing methodology: level 2 grid. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 36, p.1324-1338, 1998.