

## Estimativa de temperatura de superfície e comparação com dados observados

Raianny Leite do Nascimento Wanderley<sup>1</sup>  
Humberto Ribeiro da Rocha<sup>2</sup>  
Jonathan Mota da Silva<sup>2</sup>  
Helber Custódio de Freitas<sup>2</sup>  
Emília Maria dos Santos Brasília<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/IEE  
CEP – 05508-010 – São Paulo - SP, Brasil  
raiannylnw@usp.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo - USP/IAG  
CEP – 05508-090 – São Paulo - SP, Brasil  
humberto.rocha@iag.usp.br, {jmotasilva, freitashelber; ebrasilio}@gmail.com

**Abstract.** The aim of this study is to estimate the surface temperature of three different land covers: savannah, sugar cane and eucalyptus in São Paulo state country side. Data used were TM, Landsat - 5 and MODIS aboard the Aqua satellite and observed data collected in the micrometeorological towers installed on each cover, and the data period was from 2001 to 2011, except in 2002 due to lack of images with low presence of cloudiness. The results indicate that, taking into account the temporal and spatial resolution of each satellite, there is a good qualitative representation of the temporal behavior of the temperature. However, the process of comparing the estimated instantaneous temperature and the air temperature (collected at the towers) allows to generate quantitative data, either underestimating or overestimating the results. The effects of height in the measurements obtained in the towers were not corrected for the surface, which contributes to the observed differences in relation to estimated.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, micrometeorology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, micrometeorologia.

### 1. Introdução

A busca por respostas ambientais temporais aos processos de antropismo em ecossistemas florestais vem sendo cada vez mais expandido. Inúmeras metodologias são aplicadas para chegar-se a essas respostas, seja por métodos já consolidados, como medidas e observações de campo e modelagem, ou por meio de tecnologias que estão sempre se renovando e buscando sua melhor eficiência, como estimativas por satélites de observação da Terra.

A grande vantagem em utilizar dados satelitais para a estimativa de variáveis de superfície é a possibilidade de realizar isso de maneira espacial (em escala quilômetros) em tempo hábil (Dousset e Gourmelon, 2003) além do baixo custo monetário, já que as medidas em campo não permitem que haja representação espacial significativa sem que demande altos custos e grande equipe de especialistas.

De acordo com Souza e Oyama (2011), as principais alterações do microclima de uma região se dão em função de mudanças de cobertura vegetal, o que é muito comum nos dias atuais, principalmente para a implantação de sistemas agropastoris (pastagens, culturas, etc), e essas modificações podem ter desdobramentos no clima global, visto que alterarão as trocas de fluxos (água, carbono, etc) entre a superfície e a atmosfera (Twine, 2004). As variáveis do microclima que podem ser destacadas nesse sentido são os fluxos presentes no meio ambiente (calor sensível, evapotranspiração, calor no solo, etc), temperatura do ar e índices de vegetação.

Nesse sentido, o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto na estimativa instantâneas de variáveis e índices de superfície podem fornecer dados para análises espaciais, dando a

visão distribuída, inclusive em datas distintas, para que se possa ter monitoramento da dinâmica de uma região. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estimar a temperatura à superfície a partir de imagens de satélite para regiões representativas dos ecossistemas de cerrado, eucalipto e cana-de-açúcar e comparar a temperatura observada acima do dossel.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Área de estudo e dados

Para a realização desse trabalho a área escolhida foi a Reserva Cerrado Pé-de-Gigante e sua vizinhança, localizada no interior do Estado de São Paulo, nas proximidades dos municípios de Santa Rita do Passa Quatro e Luís Antônio. Apesar da área da reserva (~ 460 km<sup>2</sup>) ser de cerrado, sua vizinhança está composta por várias coberturas vegetais (Figura 1).

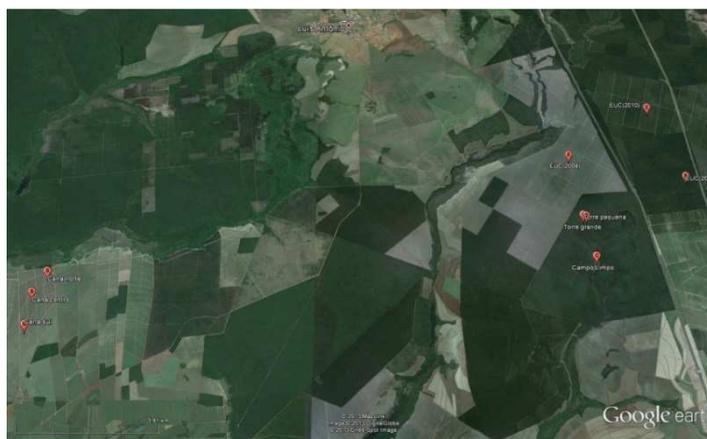


Figura 1: Vista aérea da área da Reserva Cerrado Pé-de-Gigante. (fonte: Google Earth).

Foram especializados nove pontos, três para cada cobertura vegetal, sendo cerrado (a própria reserva), plantações de cana-de-açúcar (ao oeste da reserva) e eucalipto (a nordeste) (Figura 2), sua classificação de uso e ocupação do solo.

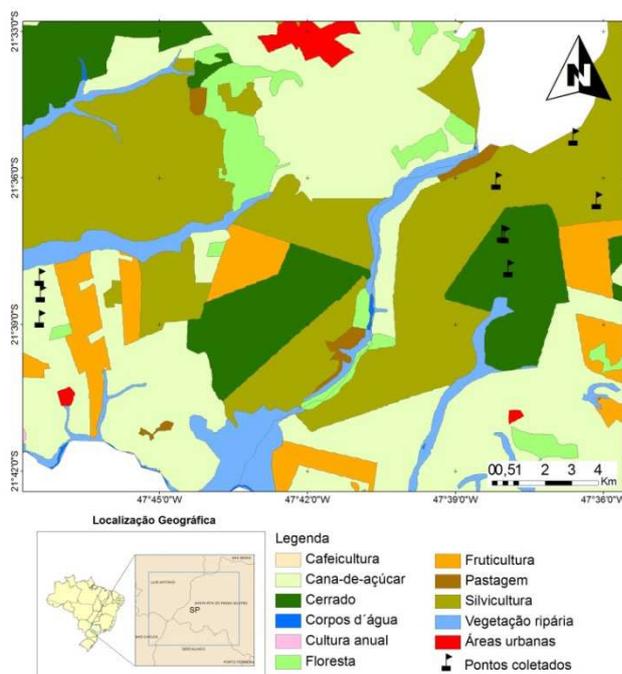


Figura 2: Classificação de uso e ocupação do solo da área de estudo e da Reserva Cerrado Pé-de-Gigante, localizada no interior do Estado de São Paulo.

Os dados observacionais utilizados foram fornecidos pelo Laboratório Clima e Biosfera da Universidade de São Paulo, provenientes de torres micrometeorológicas instaladas nos sítios experimentais de Santa Rita do Passa Quatro (eucalipto e cerrado) e Luís Antônio (cana-de-açúcar). Na Tabela 1 estão listadas as coordenadas de cada sítio experimental e na Tabela 2, as localizações dos pontos coletados para realizar as estimativas.

Tabela 1: Localização das torres micrometeorológicas (sítios experimentais) utilizadas para coleta de dados observacionais.

<b>Sítio</b>	<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Município</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
PEG	Cerrado	Santa Rita do Passa Quatro	-47,63233	-21,619239
USR	Cana-de-açúcar	Luís Antônio	-47,79025	-21,637056
FCP	Eucalipto	Santa Rita do Passa Quatro	-47,60231	-21,583500

Tabela 2: Localização dos pontos escolhidos para estimativas de temperatura da superfície por satélite.

<b>Ponto</b>	<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
Torre grande (TG)	Cerrado	-47,63326	-21,61927
Torre pequena (TP)	Cerrado	-47,63406	-21,61901
Campo limpo (CL)	Cerrado	-47,63193	-21,63079
Cana norte	Cana-de-açúcar	-47,78678	-21,63379
Cana centro	Cana-de-açúcar	-47,79001	-21,63941
Cana sul	Cana-de-açúcar	-47,79038	-21,64802
Euc(2001*)	Eucalipto	-47,60208	-21,60759
Euc(2003*)	Eucalipto	-47,63600	-21,60100
Euc(2004*)	Eucalipto	-47,63600	-21,58600

\*O ano refere-se ao ano do primeiro corte do eucalipto e o segundo corte mais sete anos à frente.

Os critérios para a escolha dos sensores utilizados foram as resoluções espacial e temporal, sendo uma das resoluções o ponto forte para seleção de cada sensor. As imagens de orbitais utilizadas nesse estudo foram dos sensores TM (thematic mapper) do satélite Landsat-5, com 120 m de resolução espacial da banda termal e 16 dias de resolução temporal; e os dados da banda 1 (MYD11A2: LST\_Day\_1km: 8-Day daytime) do sensor MODIS, à bordo do Aqua, com resolução espacial de 1km e temporal de 8 dias, para o período de 2001 a 2011, exceto 2002. O total de imagens obtidas para o Landsat-5 foram 70 e para o MODIS/Aqua, 458 imagens, porém, para a comparação com dados observados, apenas algumas imagens foram selecionadas, visto que os dados observacionais apresentam falhas ao longo de todo o período, bem como a ocorrência da desativação de algumas torres (cana e eucalipto). Na Tabela 3 está listada a quantidade máxima de imagens selecionadas para cada sensor, por cobertura vegetal específica. Os softwares utilizados foram o R e o Erdas Imagine®.

Tabela 3: Quantidade de imagens selecionadas por sensor por cobertura para efeitos de comparação com dados observados.

	<b>Cerrado</b>	<b>Cana-de-açúcar</b>	<b>Eucalipto</b>
TM/LANDSAT-5	66	30	27
MODIS/AQUA	423	137	161

## 2.2. Estimativa da temperatura

Para estimativa da temperatura por meio de imagens Landsat-5 foi utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) conforme esquematizado na Figura 3.

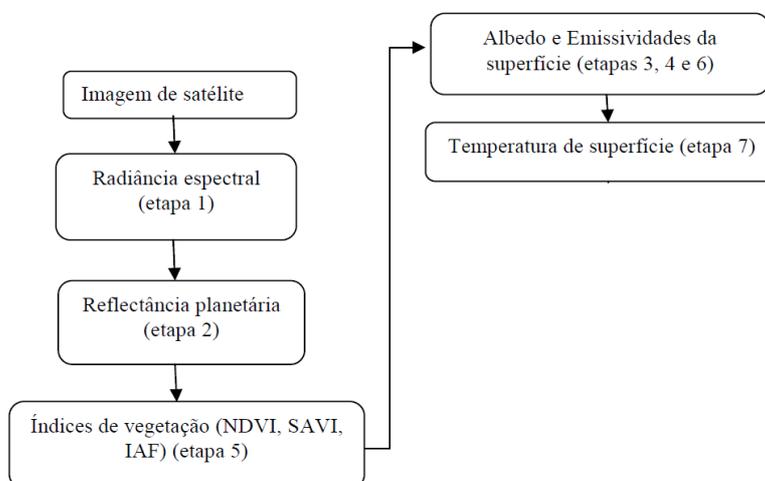


Figura 3: Esquematização resumida do algoritmo SEBAL para obtenção da temperatura de superfície por meio de imagens TM/Landsat-5 (Nascimento, 2012).

O SEBAL é um algoritmo que utiliza-se das radiâncias espectrais dos sensores de observação da terra para realizar estimativas dos componentes do balanço de energia à superfície (Gao et al., 2008), incluindo índices e variáveis de superfície, inclusive a temperatura à superfície utilizando a Equação 1. O detalhamento desse algoritmo pode ser encontrado em Bastiannssen et al. (1998 a, b).

$$T_S = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}}\right)} \quad (1)$$

onde  $K_1$  e  $K_2$ , são constantes de calibração da banda termal do TM/Landsat-5, sendo  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  (Allen et al., 2002; Silva et al. 2005);  $\epsilon_{NB}$  é a emissividade da banda; e  $L_{\lambda,6}$  é radiância espectral da banda do termal.

Para obtenção da temperatura a partir do produto MYD11A2 do sensor MODIS, foi preciso multiplicar a banda 1 por um fator de escala de 0,02, conforme tabela do fornecedor das imagens (LP DAAC) e subtrair 273,15, para conversão para graus Celsius.

Os valores das imagens para os respectivos pontos selecionados foram obtidos a partir do ambiente computacional R (R Development Core Team, 2006) cujo script utilizado é mostrado abaixo:

```

lista <- list.files("Diretório das imagens/", ".tif$", full.names=T)
r <- raster(lista[1])
d <- data.frame(x=c(longitudes),
               y=c(latitudes))
coordinates(d) <- c("x","y")
proj4string(d) <- projection(r)
ponto <- d
s <- stack(lista)
valores <- extract(s, ponto)
write.table(valores, file = "Diretório/tabelas.txt", quote = FALSE, sep = ";", row.names=F)
  
```

Esse script seleciona a pasta onde estão as imagens, em seguida empilha essas imagens e então utiliza as coordenadas para extrair os valores, salvando posteriormente em arquivos texto à informação (formato .txt). Isso é possível para imagens MODIS devido todas as imagens possuírem as mesmas coordenadas de borda, diferentemente das imagens TM, que precisam ser georreferenciadas, o que deixam suas coordenadas de borda distintas. Portanto, é necessário que o script seja alterado de modo que não haja empilhamentos das imagens.

Após a obtenção dos valores de temperatura para ambos os sensores, foram produzidos os gráficos comparativos com dados observados.

### 3. Resultados e Discussão

Os primeiros gráficos produzidos foram para comparar as temperaturas estimadas para cerrado, eucalipto e cana-de-açúcar, a partir do sensor TM e os dados observados, respectivamente, como podem ser observados na Figura 4 (a, b, c). Os gráficos foram montados a partir dos pontos coletados nas imagens e os dados observados, para o horário mais próximo a passagem do satélite (linha preta contínua).

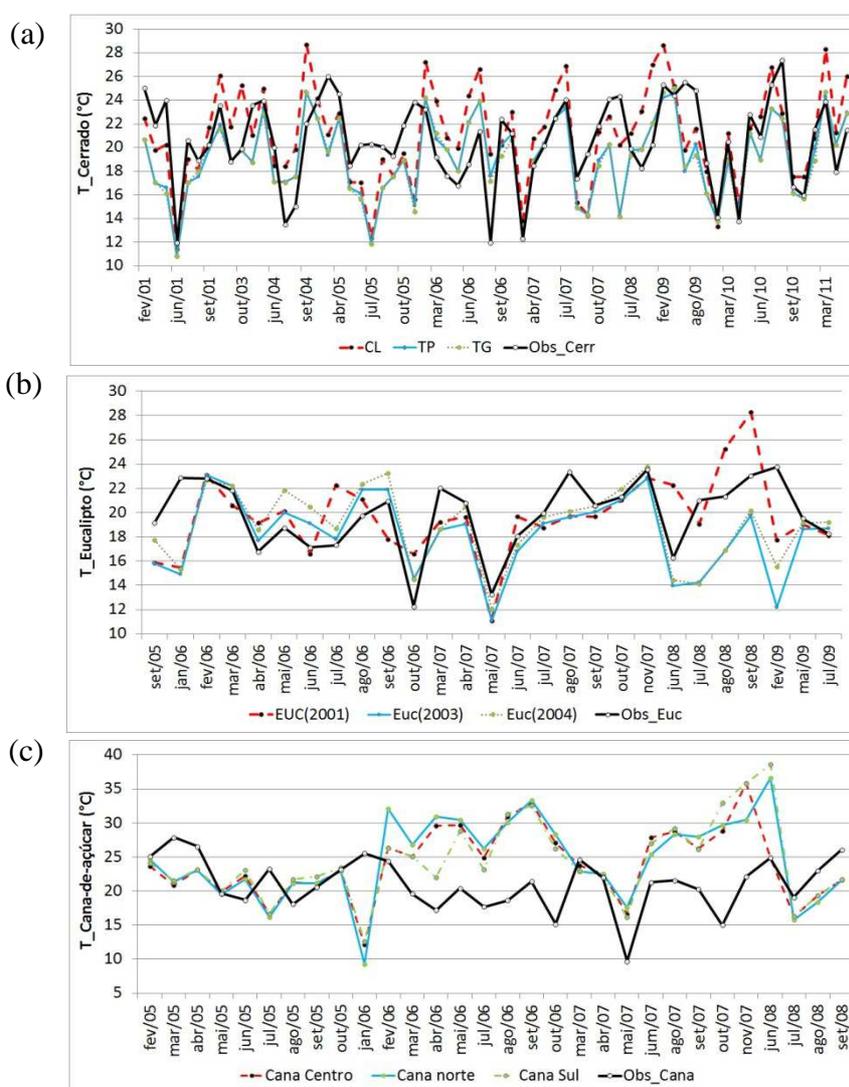


Figura 4: Temperatura observada (Obs) e temperatura estimada a partir de imagens do sensor TM/Landsat-5 para coberturas vegetais de: (a) cerrado, (b) eucalipto e (c) cana-de-açúcar.

A quantidade de dados observacionais existentes que coincidiram com dias de boa imagem foram poucos, o que reduz a quantidade de dados finais. Quando se observa o período de

dados TM, percebe-se que o período inicial, que era de 2001 a 2011 (exceto 2002) foi possível apenas para os dados de cerrado, mesmo existindo falha de dados. Porém, ainda sim é possível perceber que o TM representou melhor dados de dossel maior (cerrado e eucalipto) do que áreas com vegetação do tipo gramínea.

Na Figura 5 (a, b, c) estão apresentados os gráficos referentes às comparações do sensor MODIS e dados observados. Devido a grande quantidade de dados, foi calculado a média mensal dos dados estimados e observados.

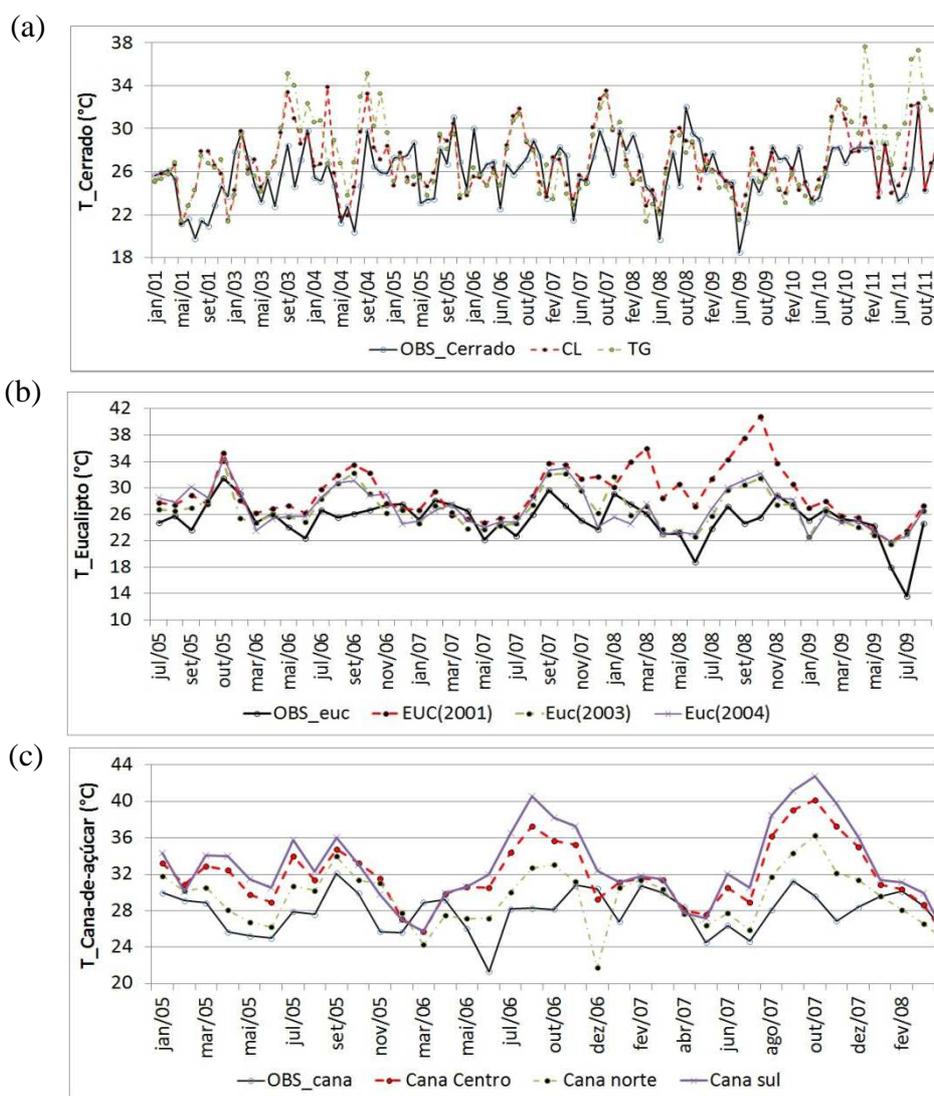


Figura 5: Figura 4: Temperatura observada (Obs) e temperatura estimada a partir de imagens do sensor TM/Landsat-5 para coberturas vegetais de: (a) cerrado, (b) eucalipto e (c) cana-de-açúcar.

Com os gráficos anteriores foi possível observar de maneira clara o comportamento qualitativo das estimativas, em que podemos perceber na Figura 5-b uma sensibilidade do sensor ao ano de corte do eucalipto (Euc2001), que teve seu segundo corte no ano de 2008, expondo o solo a maior quantidade de radiação solar.

Para efeitos de comparação quantitativa, foi calculado o Erro Percentual e o Erro Médio Percentual para os dois sensores, conforme Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente, a partir da quantidade de dados gerais (v. Tabela3).

Tabela 4: Erro Percentual calculado (%) para os dois sensores para as três coberturas estudadas.

<b>Cobertura vegetal*</b>									
<b>Sensor</b>	CL	TP	TG	CC	CN	CS	E1	E2	E3
TM	2,4	-7,66	-8,04	12,55	13,61	13,66	-1,04	-9,01	-4,68
MODIS	3,05	5,26	-	12,6	5,57	15,44	13,24	5,06	6,03

\* CL: campo limpo; TP: torre pequena; TG: torre grande; CC: cana centro; CN: cana norte; CS: cana sul; E1: eucalipto(2001); E2: eucalipto(2003); E3: eucalipto(2004).

Tabela 4: Erro Médio Percentual calculado (%) para os dois sensores para as coberturas estudadas, em geral.

<b>Cobertura vegetal</b>			
<b>Sensor</b>	Cerrado	Cana-de-açúcar	Eucalipto
TM	-4,43	13,27	-4,91
MODIS	4,15	11,2	8,11

#### 4. Conclusões

De maneira geral, a temperatura estimada para as coberturas vegetais foi superestimada de 4 a 11% pelo sensor MODIS, por outro lado, o sensor TM subestimou esta em aproximadamente 5%, com exceção a cana-de-açúcar, onde o TM foi superior à temperatura observada em 13%. Para a cana-de-açúcar ambos os sensores apresentaram a mesma tendência de superestimar em ~ 10% a temperatura observada, contudo, para o cerrado e eucalipto as respostas dos sensores a temperatura observada foram opostas, o sensor MODIS foi superior e o sensor TM inferior.

As diferenças encontradas entre as temperaturas estimadas e observadas recebem a contribuição de alguns fatores facilmente identificáveis:

- A temperatura estimada por sensoriamento remoto refere-se à temperatura da superfície terrestre, enquanto que a observação, à temperatura do ar acima do dossel;
- A resolução espacial de cada sensor sofre influência de áreas vizinhas;
- A resolução espectral das bandas dos sensores influencia na resposta que o alvo terrestre, captada pelo sensor, como por exemplo, a banda do infravermelho próximo, que para o MODIS é de 841 a 876 nm e para o TM é de 760 a 790 nm. Nesse caso, o MODIS teria melhor representação de gramíneas do que o TM.

As estimativas de índices de superfície por sensoriamento remoto requer bastante atenção para seus resultados, ou seja, é necessário que seus resultados sejam avaliados, primeiramente, de maneira qualitativa, identificando se os mesmos acompanham o comportamento da realidade. E para fins comparativos de quantidade, é preciso que hajam correções e que sejam levados em consideração os erros inerentes às características de cada sensor.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório Clima e Biosfera da Universidade de São Paulo pelos dados observados fornecidos e pela estrutura física disponibilizada para execução de pesquisas, à Fundação Capes pela bolsa concedida ao primeiro autor, à Fapesp pelo auxílio financeiro para desenvolvimento das pesquisas.

#### Referências Bibliográficas

Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R. & Bastiaanssen, W. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – **Advanced training and Users Manual**. Idaho. 2002.

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p.198–212. 1998a.

Bastiaanssen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Ma, Y.; Moreno, J. F. Roenink, G. J. Van Der Wal, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p.213-229. 1998b.

Dousset, B; Gourmelon, F. Satellite Multi-Sensor Data Analysis of urban surface temperatures and lancover. **Isprs Journal of Photogrammetry e Remote Sensing**, n. 58, p. 43-54, 2003.

Gao, Y.; Long, D.; Li, Z. L. Estimation of daily actual evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in North China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 11, 3295-3315, 2008.

LP DAAC – Land Processes Distributed Active Archive Center. Disponível em:  
<[https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table/myd11a2](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/myd11a2)>. Acesso em: 02.out.2014.

Nascimento, R. L. **Análise comparativa do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta obtido a partir de imagens orbitais e dados micrometeorológicos**. 2012. 79p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2012.

R Development Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006.

Silva, B. B. da, Lopes, G. M.& Azevedo, P. V.(2005) Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p. 243-252.

Souza, D. C., Oyama, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, p. 345-357, 2011.

TWINE, T. E. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, p. 640-655, 2004.