

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO  
RESERVATÓRIO DE MANSO-MT COM DADOS EXTRAÍDOS DE IMAGENS  
MODIS E COLETAS *IN LOCO*

Gustavo Benedito Medeiros Alves  
Jeater Waldemar Maciel Correa Santos

Universidade Federal de Mato Grosso – CUR/PPGEO  
gustavo.benedito@hotmail.com  
jeatermaciel@gmail.com

**Abstract.** The present study aimed to evaluate the efficiency of MODIS images for mapping of surface temperatures of the Manso Tank water. There were used *in loco* measured data, given by Furnas for the period from 1999-2006, and also data measured by the Integrated Environmental Monitoring System – SIMA, both ceded by INPE. Besides these data, there were also used data from the surface temperature of the tank water obtained from images of MODIS / product MOD11A1. collection 5, extracted from 255 MODIS images. The values of radiance / reflectance of the images pixels had to be converted to Celsius temperature values in Envi 4.7 software, relying on the Sousa and Ferreira (2012) methodology. On a second moment, this information was crossed with data collected *in loco* with the purpose of testing its reliability. The results indicated that the level of correlation with MODIS images and data collected *in loco* was  $R^2$  0, 74 with the Furnas database and  $R^2$  0,62 with SIMA buoy data. Thus, it is concluded that the MODIS images present themselves as an effective and reliable alternative to monitoring the quality of surface waters of large continental water bodies, such as the hydroelectric tanks, especially for studies that seek to evaluate the temporal and spatial variation of their thermal field.

**Palavras-chave:** manso tank; water surface temperature; MODIS images, reservatório de manso; temperatura superficial da água; imagens MODIS.

## 1. Introdução

Um dos parâmetros considerados chave para o entendimento da dinâmica e qualidade de corpos d'água é a temperatura, visto que, essa variável climática influencia nos processos físicos, químicos e biológicos dos corpos hídricos. A temperatura é um regulador na distribuição, reprodução, crescimento, desenvolvimento e manutenção ecológica no sistema aquático (HORNE & GLODMAN, 1994; FATIN-CRUZ *et. al.*, 2010).

Desse modo é importante se desenvolver novas técnicas e metodologias para monitoramento dos parâmetros ambientais dos recursos hídricos como é o caso do campo das temperaturas superficiais de águas continentais, e iniciativas neste sentido já tem sido empreendidas na bacia do Rio Manso (ALVES *et. al.*, 2010; SANTOS *et. al.*, 2013; SANTOS & ALVES, 2014). E o sensoriamento remoto orbital tem despontado com uma das técnicas de monitoramento e análise das características dos corpos hídricos mais promissoras na atualidade. Sua utilização nos últimos anos vem demonstrando ser uma ferramenta eficaz, por oferecer a possibilidade de mapear a distribuição da temperatura superficial dos corpos hídricos na representatividade espacial e sua variabilidade temporal (ZHOU *et al.*, 2008; ZANOTTA *et al.*, 2009). A observação realizada com imagem de satélite oferece uma visão sinótica da superfície da água possibilitando estimar sua temperatura em períodos longos de tempo (ALCÂNTARA, 2010).

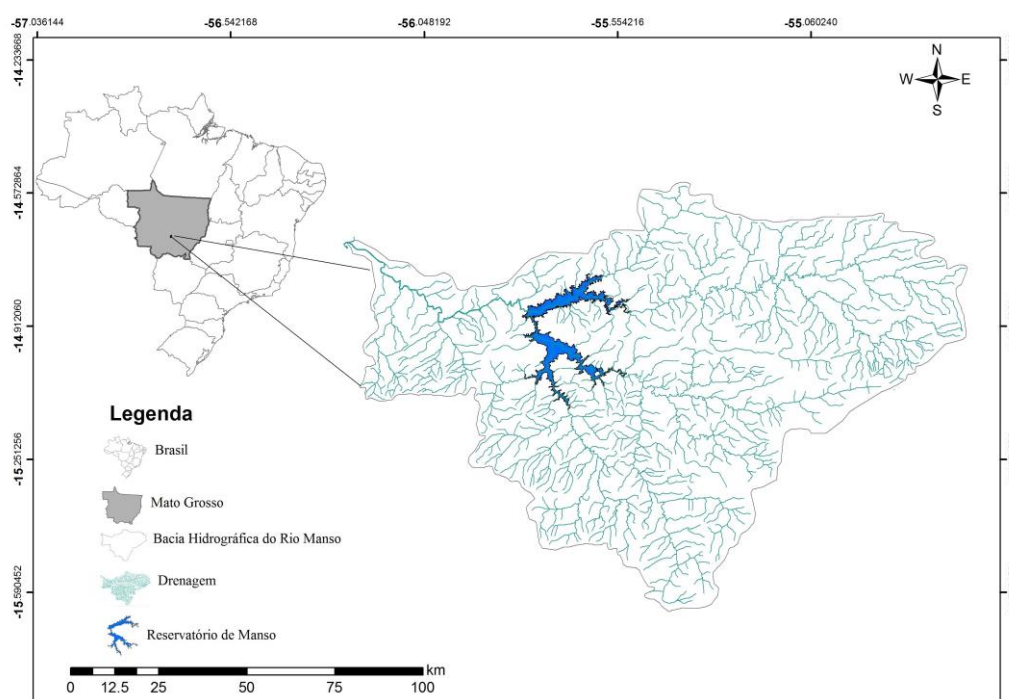
O Sensor MODIS do satélite Terra, devido a sua alta resolução temporal e espectral tem demonstrado grandes possibilidades de aplicação no estudo do ciclo térmico de sistemas aquáticos (ALCÂNTARA & STECH, 2011). O produto MOD11A1 possibilita estimar a

temperatura superficial dos corpos hídricos continentais utilizando imagens com baixa resolução espacial (1 km x 1 km), além de disponibilizar imagem de toda superfície terrestre em no máximo dois dias.

Desse modo, este estudo teve como propósito avaliar a eficiência das imagens do sensor MODIS, mais especificamente do produto MOD11A1, para mapear a temperatura das águas superficiais do Reservatório de Manso – MT, que se localiza na bacia hidrográfica do Rio Manso no centro-sul do estado de Mato Grosso, abrangendo áreas dos municípios de Acorizal, Campo Verde, Cuiabá, Chapada dos Guimarães, Nova Brasilândia, Rosário Oeste (**Figura 1**).

## 2. Metodologia do Trabalho

### 2.1 Dados coletados *in loco*



**Figura 1** - localização do Reservatório de Manso.

Fonte: IBGE (2010), Laboratório de Sensoriamento e Geoprocessamento/DEGEO/CUR/UFMT (2013).  
Org. ALVES, G. B. M. (2014)

Nesse estudo foram utilizados dados de temperatura das águas superficiais do Reservatório de Manso medidos *in loco* por Furnas Centrais Elétricas S/A, monitoradas mensalmente em 11 estações de coleta, para o período de 1999 a 2006 com coletas superficiais e em até 2 metros de profundidade, realizadas sempre em torno das 10h30min, coincidindo assim, com o horário que o sensor Modis/TERRA passa pela área de estudo. No entanto, com intuito de mapear a temperatura superficial das águas do Reservatório foram utilizados apenas sete dessas onze estações de coleta, em decorrência de sua posição no corpo do reservatório, sendo as utilizadas a MAN20, MAN30, MAN40, QLB20, CSC25, CASC30 e PLM20. Além destes também foram analisadas 31 coletas produzidas por uma Bóia SIMA (Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental), do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) para o ano de 2004 (**Figura 2**).

## 2.2 Dados Obtidos em Imagens Orbitais

As imagens utilizadas para extração da temperatura das águas superficiais do reservatório de Manso foram as do sensor MODIS (instalado na Plataforma Terra), disponibilizados através do produto MOD11A1, coleção 5, com resolução espacial de 1 km. Esses dados foram obtidos junto ao banco de dados do portal EOS Gateway do Goddard Space Flight Center, NASA, para o período de 2001 a 2007. Para tanto, levou em consideração as duas estações do regime hidrológico do rio Cuiabá, tendo em vista, os trimestres de maior intensidade dos períodos de cheias (Janeiro à Março) e de Vazão (Julho à Setembro) conforme destaque por Liporoni, *et al.*, (2007) e Rocha (2009). Além disso, as imagens adquiridas deveriam ser do mesmo dia das coletas *in loco* e, com menor nível de contaminação possível dos pixels decorrente da presença de nuvens. Sendo assim, foram utilizadas 60 imagens para a verificação da confiabilidade dos dados das imagens MODIS em relação aos dados das coletas *in loco*.

Como o propósito do estudo foi analisar a temperatura das águas superficiais do Reservatório de Manso, foi empregado uma máscara para isolar a região de terra das imagens construídas a partir do cálculo do índice NDWI (*Normalized difference Water Index*), o qual tem como objetivo identificar o que é água e o que não é na imagem (ALVES *et al.* 2010). Tal máscara, uma vez aplicada, deixou visível nas imagens MODIS apenas os pixels de água facilitando bastante o alcance dos propósitos do estudo (**Figura 2**).

Já com o propósito de corrigir os pixels que tivessem sido danificados por ruídos (ocorrência de nuvens, por exemplo), foi aplicado sobre as mesmas um filtro de passa-baixa por meio de uma matriz de 3x3, de modo a se calcular a média da temperatura do pixel central a partir dos valores de seus vizinhos mais próximos.

## 2.3 Conversão do valor de radiância espectral em temperatura Celsius

Para a execução das análises da temperatura superficial da água do reservatório de Manso, os valores de radiância /refletância dos pixels das imagens, tiveram que ser convertidos em valores de temperatura (no caso temperatura Celsius). Tal conversão foi obtida aplicando-se a seguinte equação:

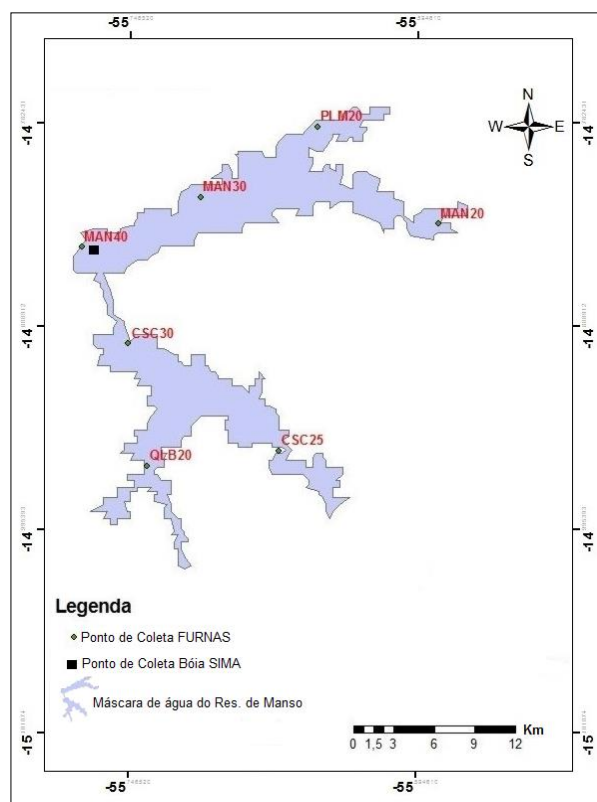
$$TC = (B1 \times 0.02) - 273$$

Onde:

TC = temperatura em graus Celsius

B1= valor de pixel no produto MOD11A10.002 = fator de conversão (*scale factor*)

Fonte: Sousa e Ferreira, 2012, p.6



**Figura 2** – Máscara de água do reservatório de Manso e localização dos pontos de coletas realizados por Furnas e SIMA.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Precisão das Temperaturas da Água obtidas nas Imagens MODIS/MOD11A5

Obteve-se no confronto entre os dados de medidos *in loco* por FURNAS um nível de correlação (R2) de 0,74 e para os dados da bóia SIMA 0,62 (Gráfico 1 e 2).

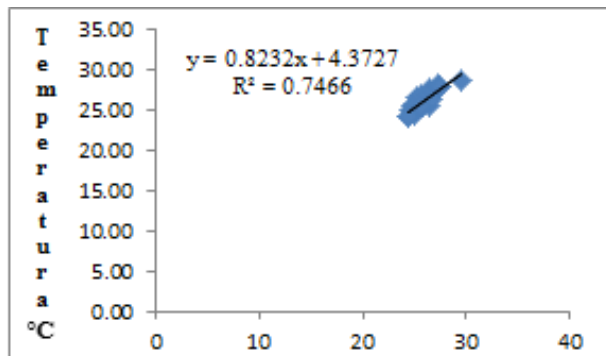


Gráfico 1 – Regressão linear entre dados medidos *in loco* por FURNAS e dados extraídos das Imagens MODIS

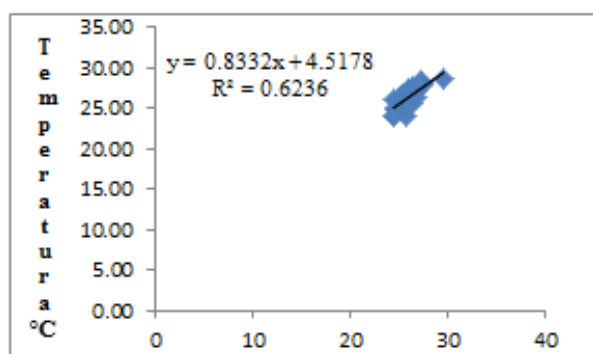
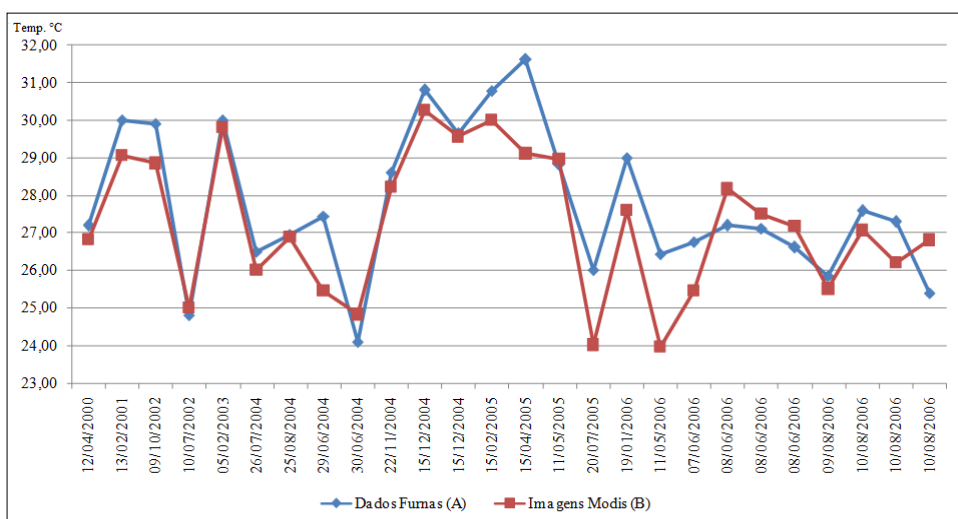


Gráfico 2 – Regressão linear entre dados da bóia SIMA e dados extraídos das Imagens MODIS

Os valores da temperatura superficial da água medidos pela bóia SIMA foram em média 0,21°C de diferença, maiores ou menores que os estimados pelo sensor MODIS. Essa diferença só superou a 1°C em apenas 7 dos 34 dias comparados (dias 07/07/2004 (1,33°C), 10/07/2004 (1,81°C), 22/07/2004 (1,07°C), 05/08/2004 (1,19°C), 13/08/2004 (1,69°C), 29/08/2004 (1,06°C) e 03/09/2004 (1,02°C). E as temperaturas estimadas pelo sensor foram superiores que as medidas pela bóia SIMA na maioria das datas comparadas (Tabela 1 e Gráfico 3).

Tabela 1 - Comparação das Temperaturas (°C) Superficiais da Água do Reservatório segundo dados coletados *in loco* pela bóia SIMA/INPE e dados obtidos nas imagens MODIS.

| Dados da Bóia SIMA |                | Dados das Imagens MODIS |              |
|--------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| Datas de Coletas   | Dados SIMA (A) | Imagens MODIS (B)       | A-B          |
| 23/03/2004         | 29,5           | 28,6                    | 0,90         |
| 26/07/2004         | 25,2           | 25,75                   | -0,55        |
| 27/07/2004         | 25,2           | 25,67                   | -0,47        |
| 07/07/2004         | 26,36          | 27,69                   | -1,33        |
| 24/07/2004         | 25,2           | 25,1                    | 0,10         |
| 22/07/2004         | 25,04          | 24,97                   | 1,07         |
| 02/07/2004         | 26,19          | 26,22                   | -0,03        |
| 04/07/2004         | 26,53          | 26,54                   | -0,01        |
| 29/07/2004         | 25,04          | 24,54                   | 0,50         |
| 06/07/2004         | 26,19          | 26,16                   | 0,03         |
| 10/07/2004         | 25,69          | 23,88                   | 1,81         |
| 16/07/2004         | 26,36          | 25,54                   | 0,82         |
| 15/08/2005         | 25,06          | 25,77                   | -0,71        |
| 01/08/2004         | 24,73          | 25,5                    | -0,77        |
| 20/08/2004         | 25,06          | 25,51                   | -0,45        |
| 06/08/2004         | 25,58          | 26,27                   | -0,69        |
| 04/08/2004         | 25,86          | 25,55                   | 0,31         |
| 11/08/2004         | 24,67          | 24,89                   | -0,22        |
| 05/08/2004         | 25,32          | 26,51                   | -1,19        |
| 23/08/2004         | 25,71          | 26,07                   | -0,36        |
| 13/08/2004         | 24,41          | 26,1                    | 1,69         |
| 30/08/2004         | 25,58          | 26,33                   | -0,75        |
| 09/08/2004         | 24,41          | 24,16                   | 0,25         |
| 25/08/2004         | 25,32          | 25,79                   | -0,47        |
| 29/08/2004         | 25,71          | 26,77                   | -1,06        |
| 09/08/2004         | 24,41          | 24,16                   | 0,25         |
| 08/09/2004         | 27,39          | 28,00                   | -0,61        |
| 11/09/2004         | 26,22          | 26,89                   | -0,67        |
| 10/09/2004         | 26,87          | 27,11                   | -0,24        |
| 22/09/2004         | 27,26          | 28,19                   | -0,93        |
| 03/09/2004         | 27,13          | 26,11                   | 1,02         |
| 21/09/2004         | 26,74          | 26,32                   | 0,42         |
| 17/09/2004         | 25,71          | 25,63                   | 0,08         |
| 26/09/2004         | 27,52          | 27,88                   | -0,36        |
| <b>Média</b>       | <b>25,86</b>   | <b>26,06</b>            | <b>-0,21</b> |



**Gráfico 3-** Variação entre as temperaturas superficiais das águas do Reservatório de Manso medidas in loco por Furnas e a partir das imagens MODIS. Org. ALVES, G. B. M. (2012).

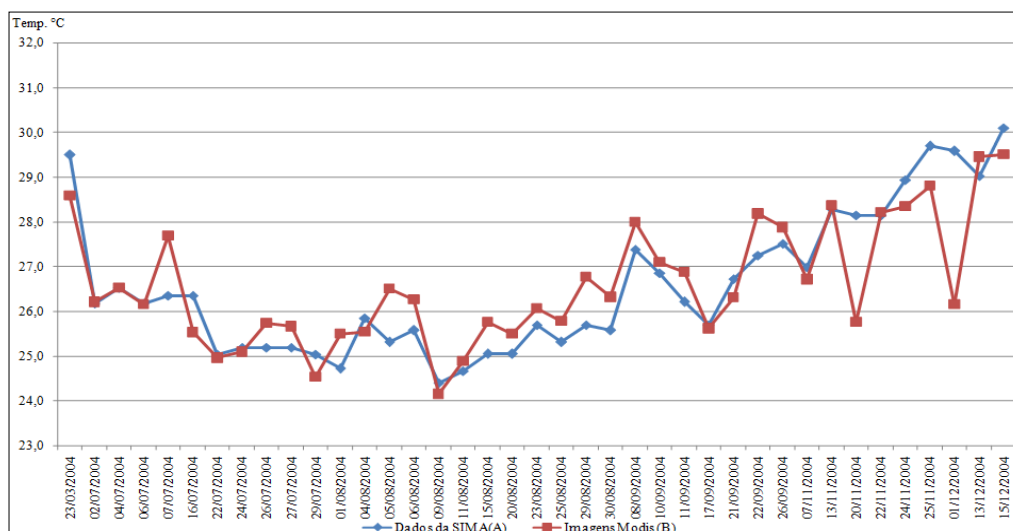
Já no confronto entre os dados medidos nas estações de coleta de Furnas e os obtidos nas imagens, observa-se que na maioria das datas as temperaturas estimadas pelo sensor foram inferiores àquelas medidas *in loco* (**Figura 3**). Em termos de diferenças entre as duas fontes também se encontrou uma diferença pequena (0,54°C) que em termos absolutos chegou a cerca de 2,5°C em duas ocasiões (15/04/2005 e 11/05/2006). (**Tabela 2 e Gráfico 4**).

Quanto à precisão das temperaturas das águas estimadas pelo sensor MODIS, verificaram-se maiores valores de temperaturas em comparação com os dados medidos *in loco* por Furnas, tendo em vista, que as coletas ocorreram em dez pontos diferenciados no corpo do reservatório. Em alguns destes pontos a coleta foi realizada a menos de 1 km da margem do reservatório e, dessa forma isso pode ter "contaminado" o pixel da imagem MODIS com radiações de terra.

Já na comparação com os dados da bóia SIMA as coletas foram realizadas em apenas um ponto específico situado no centro do reservatório, assim garantindo que o pixel da temperatura da água não se apresenta contaminação por radiação de "terra". De todo modo, os níveis de correlação (0,74 para os dados de Furnas e 0,62 para os da bóia SIMA) demonstram que as imagens MODIS apresentam temperaturas com nível de precisão aceitável para estudos dos sistemas aquáticos continentais.

**Tabela 2** - Comparação das Temperaturas (°C) Superficiais da Água do Reservatório segundo dados coletados *in loco* por Furnas e dados obtidos nas imagens MODIS.

| Dados de Furnas |              |             |              | Dados das Imagens MODIS |                   |             |
|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------------|-------------|
| Dia/Ano         | Ponto coleta | Profun. (m) | Hora Coleta  | Dados Furnas            | Imagens MODIS (B) | A-B         |
| 12/04/2000      | MAN20        | 0,30        | 11:35        | 27,20                   | 26,82             | 0,38        |
| 13/02/2001      | MAN30        | 0,30        | 10:55        | 30,00                   | 29,07             | 0,93        |
| 09/10/2002      | CSC30        | 0,30        | 11:40        | 29,90                   | 28,85             | 1,05        |
| 10/07/2002      | MAN40        | 0,30        | 10:55        | 24,81                   | 25,00             | -0,19       |
| 05/02/2003      | QLB20        | 0,30        | 11:15        | 30,0                    | 29,82             | 0,18        |
| 26/07/2004      | MAN40        | 0,49        | 12:00        | 26,50                   | 26,00             | 0,50        |
| 10/08/2006      | QLB20        | 0,61        | -            | 25,40                   | 26,81             | -1,41       |
| 25/08/2004      | CSC25        | 0,48        | 11:15        | 26,96                   | 26,89             | 0,07        |
| 29/06/2004      | MAN30        | 0,52        | 12:18        | 27,45                   | 25,45             | 2,00        |
| 30/06/2004      | CASC30       | -           | 12:30        | 24,10                   | 24,82             | -0,72       |
| 22/11/2004      | MAN40        | 0,00        | 10:30        | 28,61                   | 28,22             | 0,39        |
| 15/12/2004      | MAN40        | 1,53        | 10:15        | 30,80                   | 30,27             | 0,53        |
| 15/12/2004      | CASC25       | 0,65        | 12:15        | 29,63                   | 29,57             | 0,06        |
| 15/02/2005      | QLB20        | 0,55        | 12:00        | 30,79                   | 30,01             | 0,78        |
| 15/04/2005      | MAN40        | 0,87        | 11:50        | 31,61                   | 29,11             | 2,50        |
| 11/05/2005      | MAN40        | 0,64        | 11:21        | 28,82                   | 28,97             | -0,15       |
| 20/07/2005      | MAN40        | 0,00        | 11:06        | 26,00                   | 24,01             | 1,99        |
| 19/01/2006      | MAN40        | 0,60        | 10:33        | 28,99                   | 27,61             | 1,38        |
| 11/05/2006      | MAN40        | 0,14        | 10:55        | 26,43                   | 23,97             | 2,46        |
| 07/06/2006      | MAN20        | 0,00        | 12:18        | 26,75                   | 25,45             | 1,30        |
| 08/06/2006      | CASC20       | 0,00        | 11:20        | 27,2                    | 28,17             | -0,97       |
| 08/06/2006      | CASC25       | 0,00        | 10:58        | 27,11                   | 27,51             | -0,40       |
| 08/06/2006      | QLB20        | 0,00        | 10:21        | 26,61                   | 27,19             | -0,58       |
| 09/08/2006      | PLM20        | 1,56        | -            | 25,84                   | 25,51             | 0,33        |
| 10/08/2006      | CSC25        | 0,97        | -            | 27,59                   | 27,07             | 0,52        |
| 10/08/2006      | CSC30        | 0,59        | -            | 27,29                   | 26,2              | 1,09        |
|                 |              |             | <b>Média</b> | <b>27,78</b>            | <b>27,25</b>      | <b>0,54</b> |



**Gráfico 4-** Variação entre as temperaturas superficiais das águas do Reservatório de Manso medidas in loco coma Boia SIMA/INPE e a partir de dados das imagens MODIS. Org. ALVES, G. B. M. (2012)

#### 4. Conclusões

O atual estágio de desenvolvimento do sensoriamento remoto permite a utilização de imagens de satélite para obtenção de informações sobre o campo superficial das temperaturas em corpos hídricos. Nesse contexto, os resultados demonstraram que o produto MODIS11A1 das imagens do sensor MODIS/Terra, apresentou bom nível de precisão na estimativa das temperaturas das águas superficiais do Reservatório de Manso-MT em confronto com duas fontes diferentes de medições *in loco*. As diferenças encontradas entre as temperaturas medidas *in loco* e aquelas estimadas pelo sensor MODIS foram pequenas para a maioria absoluta das medidas realizadas, e ficando na média em 0,21°C em relação aos dados medidos pela Bóia SIMA/INPE, e em 0,5°C para os dados medidos por FURNAS. Deste modo, tal sensor revelou-se como uma ferramenta eficaz e de grande importância para estudos que visam analisar o campo térmico de corpos hídricos continentais de médio e grande tamanhos, sobretudo por possuir alta resolução temporal e espectral, e se tratar de imagens distribuídas gratuitamente.

#### Agradecimentos

A Furnas Centrais Elétricas S.A. e ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) por terem disponibilizados os seus bancos de dados, que nos apoiaram na análise das Temperaturas superficiais das águas do Reservatório de Manso.

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

E o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento/DEGEO/CUR/UFMT, que possibilitou ferramentas para a para a elaboração dessa pesquisa.

## Referências Bibliográficas

ALCÂNTARA, E. H. - **Estimativa dos fluxos de calor sensível e Latente na superfície da água do reservatório de Itumbiara (GO)** –/ Enner Herenio de Altâncatara – São José dos Campos: INPE. 2010. 136p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2010. Disponível em: < <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19%4080/2010/07.26.20.24/doc/publicacao.pdf>>. Acessado em: 14 de Março 2013.

ALCÂNTARA, E. H.; STECH, L. S. **Desenvolvimento de modelo conceitual termodinâmico para o reservatório de Itumbiara baseado em dados de satélite e telemétricos**. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 6, n. 2, 2011. Disponível em: <[file:///C:/Users/198078/Downloads/572-3958-2-PB%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/198078/Downloads/572-3958-2-PB%20(3).pdf)>. Acessado em: 10 de março de 2013.

ALVES; M. L. F.; OLIVEIRA, S. M. L.; SANTOS, J. W. M. C. **Aplicação de geotecnologia para análise da distribuição espaço-temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Manso (MT)** Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 181 -189.

FANTIN-CRUZ, I.; TONDATO, K. K.; MARQUES, D. M.; PEDROLLO, O. Regime Térmico em Águas Correntes e sua Importância na Estrutura do Habitat na Biologia de Organismos Aquáticos. Caminhos de Geografia. Uberlandia-MG, v.11, n.36. dez/2010, p.295-307>. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/16291/9145>>. Acessado em 07 de outubro de 2013.

HORNE, A.J.; GLODMAN, C.R. **Limnology**. McGraw-Hill. 575 p. 1994.

LIPORONI, L. M. **ANÁLISE DE SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO DO RIO CUIABÁ: TENDÊNCIAS E PERIODICIDADES**. XV Seminário de Iniciação Científica, 2007.

ROCHA, J. P. G. **Dinâmica hidrológica**. In: FIGUEREDO, D. M.; SALOMÃO, F. X. T. (Orgs.). Bacia do Rio Cuiabá: Uma Abordagem Socioambiental; Cuiabá, MT: Entrelinhas: EdUFMT, 2009

SANTOS, J. W. M. C.; OLIVEIRA, S. M. L.; SOUZA, W. P. de. Uso do solo e Dinâmica dos Nutrientes nas Águas do Reservatório da Hidrelétrica de Manso no Estado de Mato Grosso, Brasil Central Land Use and Nutrient Dynamics in the Waters of the Manso Reservoir Dam in the State of Mato Grosso, Central Brazil. **Confins** (Paris), v. 18, p. 1-20, 2013.

SANTOS, J. W. M. C. ; ALVES, G. B. Medeiros. Modelagem do potencial de poluição hídrica da bacia hidrográfica do rio Manso - MT. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 5, p. 289-304, 2014.

SOUSA, S. B.; FERREIRA JUNIOR, L. G.. **ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM AMBIENTES URBANOS: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011)**. Confins (Paris), v. 15, p. 2, 2012. Disponível em: <<http://confins.revues.org/7631?lang=pt>>. Acessado em: 07 de outubro de 2013.

ZANOTTA, D. C.; GONÇALVES, G. A.; DUCATI, J. R. **Mapeamento da temperatura superficial da lagoa dos Patos – RS com dados NOAA-AVHRR**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6681-6688. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.16.50/doc/6681-6688.pdf>>. Acessado em: 20 de Abril de 2013.

ZHOU, X., VENUS, V., HAITAO, Z. **MONITORING DIURNAL UNDERWATER TEMPERATURE USING FY-2C IN POYANG LAKE NATURE RESERVE, CHINA**. **The International Archives of the Photogrammetry**, Remote sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part. B8. Beijing, 2008. Disponível em: <[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/7\\_WG-VIII-7/05.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/7_WG-VIII-7/05.pdf)>. Acessado em 15 de Dezembro 2012.