

## Uso de imagens OLI/Landsat-8 e plataformas de coleta de dados limnológicos no monitoramento ambiental da piscicultura em tanque rede no reservatório de Furnas-MG

Joaquim Antônio Dionísio Leão<sup>1</sup>  
Marcelo Pedroso Curtarelli<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Sampaio Araújo<sup>1</sup>  
Igor Ogashawara<sup>2</sup>  
Fernanda Garcia Sampaio<sup>3</sup>  
João Lorenzetti<sup>1</sup>  
José Luiz Stech<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
[joaquim@dpi.inpe.br](mailto:joaquim@dpi.inpe.br), [{marcelo, carlos, loren, stech}@dsr.inpe.br](mailto:{marcelo, carlos, loren, stech}@dsr.inpe.br)

<sup>2</sup> Department of Earth Sciences, Indiana University – Purdue University Indianapolis  
723 W. Michigan Street, SL118 – 46202 -Indianapolis, IN, USA.  
[igoroga@gmail.com](mailto:igoroga@gmail.com)

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
[fernanda.sampaio@embrapa.br](mailto:fernanda.sampaio@embrapa.br)

**Abstract.** In this work we evaluated possible impacts of the aquaculture activity on the water quality of Furnas hydroelectric reservoirs, Minas Gerais, Brazil. Our main goal was to test the applicability of Landsat Operational Land Imager (OLI) images to monitor possible impacts from fish net cages. The study area for this first application was the Furnas hydroelectric reservoir, located at Minas Gerais State, Southeastern of Brazil. The dataset used in this work comprises two Landsat/OLI images, one acquired during summer (08/02/2014) and another during the winter (03/08/2014), and limnological data was collected in situ by limnological equipments. First, the OLI images were converted to top of atmosphere radiance and atmospheric corrected to surface reflectance. After this, a water mask was applied in the images to extract the pixels of the reservoir. Finally, the k-mean algorithm was applied in the images to identify the different water masses inside the reservoir. The results of the classification were compared to the limnological data. Our results showed that regions with and without aquaculture activity presented differences in some water quality parameters. These differences were detected in the classifications of OLI's images, indicating the high potential of OLI for monitoring the aquaculture activity in other Brazilian reservoirs.

**Palavras-chave:** remote sensing, aquaculture, water resources management, Landsat/OLI images, sensoriamento remoto, aquicultura, manejo de recursos hídricos, imagens Landsat/OLI.

### 1. Introdução

Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em seu boletim de produção de pescado, mostram que a aquicultura mundial mais do que quadruplicou nos últimos anos, atingindo a marca de 63,6 milhões de toneladas no ano de 2011 (FAO, 2012). No Brasil o quadro é semelhante ao mundial, dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) mostram que no ano de 2011 o Brasil produziu aproximadamente 630 mil toneladas de pescado proveniente da aquicultura (MPA, 2010). Dentre as modalidades de cultivo de peixes que mais cresce no mundo está a piscicultura em tanques rede. O cultivo em tanques rede em águas públicas já é a principal forma de cultivo de organismos aquáticos em países da Ásia (Beveridge, 2004), e em países da Europa como a Noruega.

O Brasil tem sido apontado como grande opção para a aquicultura, devido ao seu potencial aquícola, seja pelo extenso litoral ou pela ampla quantidade de reservatórios que podem ser aproveitados para esse fim (10 milhões de hectares de áreas represadas) (Rocha e

Rocha, 2008). Dentre as potencialidades nacionais a piscicultura em tanques rede é uma das principais. Das regulamentações que envolvem a atividade destaca-se o Decreto nº 4.895 de 2003, que dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura. Desta forma fica permitido, após aprovação legal, o uso de águas públicas para o cultivo de organismos aquáticos.

Contudo, ainda não há consenso sobre os reais efeitos desta atividade ao meio ambiente, necessitando assim de estudos complementares que visem uma melhor compreensão dos impactos da atividade. Desta forma a definição de quais são as principais variáveis que afetam diretamente a sustentabilidade ambiental da produção de peixes em tanques rede e quais as melhores ferramentas para o monitoramento e gestão ambiental da aquicultura nesses ambientes, podem ser úteis para a sustentabilidade da atividade.

Nos últimos dez anos um conjunto de reservatórios de domínio da União entrou em processo de demarcação e cessão de suas áreas aquícolas para produção de pescado. Um dos primeiros reservatórios a serem demarcados foi o reservatório de Furnas em Minas Gerais, Brasil. Desde 2011 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), com apoio do MPA estão realizando estudo para compreensão dos possíveis impactos da piscicultura em tanque rede do Reservatório através do Projeto Furnas. O Projeto Furnas tem o objetivo de desenvolver um modelo para monitoramento e avaliação de impactos na criação de peixes em tanques rede; além de propor a adoção de boas práticas de manejo (BPM) para gestão ambiental de parques aquícolas (Embrapa, 2014). Para tanto foi proposto o uso do Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (SIMA), que coleta automaticamente e transmite dados de qualidade d'água e meteorológicos via enlace de satélite (Stech et al., 2006) e cinco plataformas autônomas de coleta de dados (PCD) com o monitoramento limnológico em alta frequência, para estudo da piscicultura em tanque rede. Como parte das atividades do Projeto a presente pesquisa visa verificar a efetividade de imagens obtidas pelo sensor Operational Land Imager (OLI), a bordo do satélite Landsat-8, comparadas aos dados limnológicos da plataforma SIMA no monitoramento ambiental da piscicultura em tanque rede, servindo assim de ferramenta para a melhor compreensão do alcance dos possíveis impactos gerados pela aquicultura neste reservatório.

## 2. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende uma região do reservatório da UHE de Furnas no estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil (Fig. 1). De acordo com Ferreira e Dantas (2010), a área ocupada pelo lago foi de 1.138 km<sup>2</sup> para o ano de 2008.

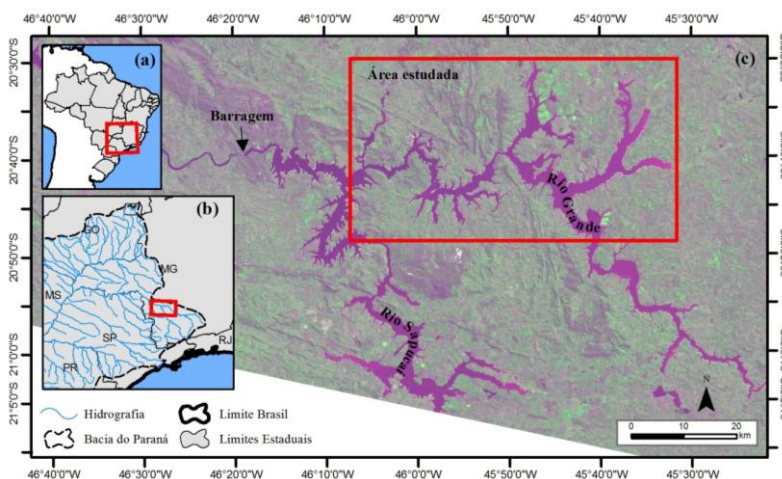


Figura 1. Localização da área de estudo no Brasil (a), no estado de Minas Gerais (b) e composição colorida (R3G5B2) imagem OLI adquirida em 03/08/2014 (c).

### 3. Materiais e métodos

A Figura 2 apresenta o fluxograma geral da metodologia aplicada neste trabalho.

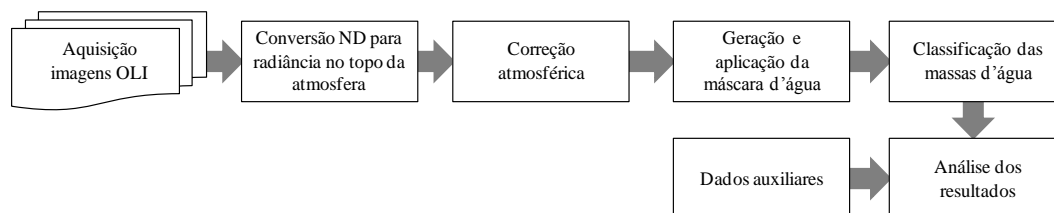


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada

#### 3.1 Aquisição e processamento das imagens OLI/Landsat-8

Primeiramente as imagens OLI/Landsat-8 foram selecionadas e adquiridas gratuitamente por meio do portal *Global Visualization Viewer* (Glovis) do Serviço Geológico Americano (USGS), disponível em <http://glovis.usgs.gov/>. Foram adquiridas duas imagens (órbita/ponto 219/74), em nível digital (ND), sendo uma do período de verão (08/02/2014) e outra referente ao período de inverno (03/08/2014). A Tabela 1 apresenta as principais características das imagens OLI (USGS, 2014).

Tabela 1. Resumo das características do sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8.

Período de atividade	Fevereiro de 2013 - atual
Resolução Espacial	30m (multiespectrais) e 15m (pancromática)
Número de bandas	9 (8 multiespectrais e 1 pancromática)
Resolução Radiométrica	12 bits (reamostrados para 16 bits)
Resolução Temporal	16 dias

Após a aquisição das imagens, foi realizada a conversão de ND para radiância no topo da atmosfera. Tal processamento é necessário para posterior aplicação da correção atmosférica. A conversão de ND para radiância no topo da atmosfera foi realizada utilizando a seguinte equação (USGS, 2014):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

onde  $L_{\lambda}$  é a radiância espectral no topo da atmosfera ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ),  $M_L$  é o fator multiplicativo específico para cada uma das bandas OLI,  $Q_{cal}$  é o valor em ND e  $A_L$  é o fator aditivo específico para cada uma das bandas OLI.  $M_L$  e  $A_L$  são fornecidos nos metadados das imagens. De posse das imagens convertidas para radiância no topo da atmosfera, foi realizada a correção atmosférica das imagens, obtendo-se assim as imagens de reflectância real. Este procedimento é indicado no caso de comparação entre imagens de datas diferentes. A correção atmosférica foi realizada utilizando o módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*) do aplicativo ENVI® 4.7. Para tanto foi escolhido o modelo atmosférico tropical, o modelo de aerossol rural e o método de Kaufman e Tanré (1998). Foram utilizadas também as funções de resposta espectral do sensor OLI disponível em: [http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2013/06/Ball\\_BA\\_RSR.v1.1-1.xlsx](http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2013/06/Ball_BA_RSR.v1.1-1.xlsx).

A máscara d'água foi gerada a partir das imagens resultantes da etapa de correção atmosférica (imagens de reflectância real). Para tanto foi utilizado o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) de Xu (2007):

$$MNDWI = \frac{(\rho_{b3} - \rho_{b6})}{(\rho_{b3} + \rho_{b6})} \quad (2)$$

onde  $\rho_{b3}$  e  $\rho_{b6}$  são as reflectâncias reais obtidas pelas bandas 3 (canal verde) e 6 (canal do infravermelho de ondas médias), respectivamente, do sensor OLI. Após a aplicação do MNDWI nas duas imagens processadas foi realizado o fatiamento em duas classes (“água” e “não água”), gerando como resultado uma imagem binária (0 não água; 1 água). Esta máscara foi aplicada nas imagens com o objetivo de isolar apenas as feições de água para a classificação.

A classificação das imagens foi realizada utilizando o algoritmo de agrupamentos K-média, implementado no aplicativo ENVI® 4.7. O K-média é um algoritmo para partição de um conjunto de elementos em um número de agrupamentos ou *clustering*. Esse algoritmo utiliza o método dos mínimos quadrados e o ajustamento das médias durante as iterações, com o objetivo de dividir o conjunto de elementos em classes, da forma mais simples possível (Ohata e Quintanilha, 2005). Os parâmetros de entrada deste algoritmo são: (1) Limiar de mudança, (2) Número de classes e (3) Número de iterações. Neste trabalho foram testadas diversas combinações destes parâmetros de forma a obter um resultado satisfatório da classificação. Por fim os resultados das classificações das duas imagens foram comparados para avaliar a heterogeneidade e a variação sazonal das massas d’água dentro da área de estudo. Estes resultados também foram comparados com dados limnológicos coletados no reservatório, descritos a seguir.

### 3.2 Dados limnológicos

Neste trabalho foram utilizados os dados coletados em apenas duas PCD: uma fundeada em área aquícola de produção de tilápia do Nilo em tanque rede, sendo considerada a região com cultivo (CC) e outra PCD, igual a primeira, fundeada em uma área sem cultivo (SC). As PCD possuem uma sonda multiparâmetros modelo 6600-V2-4, YSI (Yellow Springs, OH, USA), capaz de registrar oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH, turbidez, clorofila e condutividade. Além da sonda as PCD possuem uma cadeia de termistores distribuídos a cada 1,0 metro de profundidade. Os dados foram registrados a cada 10 minutos e o *download* e calibração dos equipamentos foram feitos na frequência média de 40 dias.

A área CC possui em média anual de 300 a 400 tanques rede, sendo considerado um modelo intensivo de produção. A PCD foi colocada na área de influência direta dos tanques rede, fundeada a uma profundidade média de 20 m; a sonda ficou a 1,5 metros da superfície da água. Na região SC a profundidade média é de entorno de 25 m.

### 4. Resultados e Discussão

Neste trabalho serão apresentados apenas os resultados derivados das classificações que obtiveram os melhores desempenhos, avaliados visualmente. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados nestas classificações.

Tabela 2. Parâmetros de entrada do algoritmo K-media.

Parâmetro	Imagem Verão (08/02/2014)	Imagem Inverno (03/08/2014)
Número de classes	8	5
Limiar de mudança	1	1
Número de iterações	10	15

Vale ressaltar que após as classificações pelo algoritmo K-média foi realizado o reagrupamento de classes, de modo que a classificação final das massas d’água para ambas as datas analisadas contivesse quatro classes (sendo três classes de água e uma classe nuvem). A Figura 3 apresenta o resultado final das classificações após o reagrupamento de classes bem como os espectros de reflectância das diferentes massas d’água para as duas datas analisadas.

Do ponto de vista espacial a área estudada no reservatório apresentou um padrão semelhante na distribuição das massas d’água nas duas imagens (Fig. 3a,b), sendo

identificados três classes predominantes: classe 1 – região próxima a barragem, classe 2 – corpo principal, classe 3 – zona de transição rio/reservatório. É possível notar uma heterogeneidade das massas d’água indo da zona de transição entre o rio e o reservatório em direção à barragem. Nota-se também que no período do verão a classe 3 avança em direção ao corpo principal do reservatório quando comparado com o período de inverno. Tal fato pode estar associado ao regime hidrológico na bacia de contribuição, com as maiores vazões dos rios afluentes observadas no período de verão.

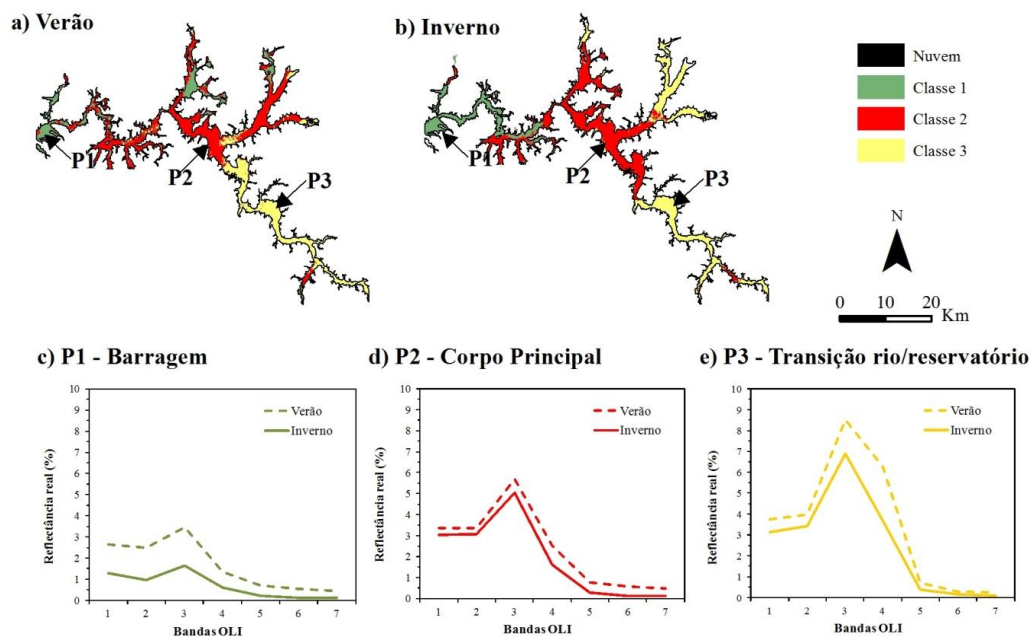


Figura 3. Resultado da classificação das massas d’água do reservatório de Furnas para o período de verão (a) e inverno (b) e espectros de reflectância obtidos na região próxima a barragem (c), no corpo principal do reservatório (d) e na zona de transição rio/reservatório (e).

Os espectros de reflectância obtidos a partir das imagens OLI (Fig. 3c,d,e) também apresentaram um padrão semelhante tanto do ponto de vista espacial como temporal. Nota-se uma atenuação da reflectância seguindo o gradiente da zona de transição rio/reservatório em direção a barragem, nas duas épocas analisadas. Tal fato pode ser explicado pela maior quantidade de material em suspensão na zona de transição, onde a mistura da coluna d’água é mais intensa, o que favorece o retroespalhamento da energia eletromagnética. Nas demais zonas do reservatório as condições hidrodinâmicas e a mistura vertical da coluna d’água são menos intensas favorecendo a sedimentação do material suspenso, refletindo na diminuição do retroespalhamento e consequentemente a atenuação dos espectros de reflectância.

#### 4.1 Uso das imagens OLI para avaliação de possíveis impactos da aquicultura na qualidade da água do reservatório

A fim de avaliar os possíveis impactos da atividade de aquicultura na qualidade da água do reservatório, os resultados obtidos por meio da classificação das imagens de satélite foram comparados com dados limnológicos das PCD. A Figura 4 apresenta o detalhamento das classificações para estas regiões bem como a estrutura térmica da coluna d’água para os dois períodos analisados.

Analisando o detalhamento da classificação para as imagens do verão e inverno (Fig. 4a,b) percebe-se que, para o verão, a região com cultivo (CC) foi classificada predominantemente nas classes 2 e 3, e no inverno nas classes 1 e 2; Para a região sem cultivo (SC) a predominância foi classe 2. Estes resultados indicam uma possível diferença na qualidade da água entre estas regiões. Quando analisada apenas a área com cultivo, notou-se



uma mudança de classe entre o período de verão e inverno, sendo que no verão esta região apresentava predominantemente a classe 3 e durante o inverno apresentava predominantemente a classe 1.

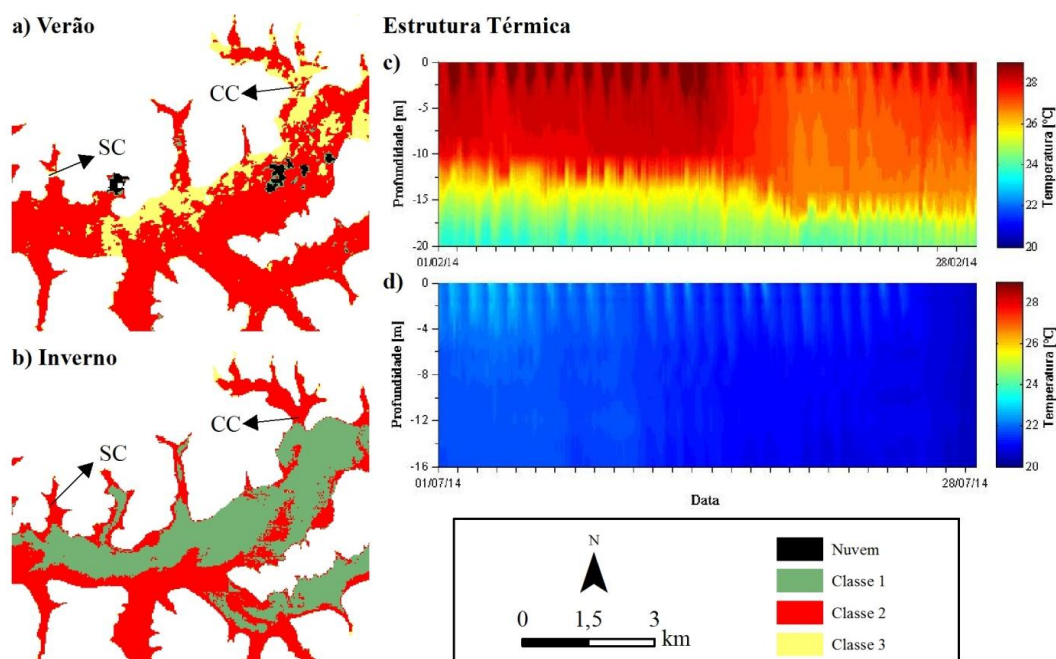


Figura 4. Detalhamento da classificação para a área com cultivo (CC) e sem cultivo (SC) para o período de verão (a) e inverno (b) e estrutura térmica do reservatório para o período de verão (c) e inverno (d).

Analisando a estrutura térmica da coluna d'água nos meses de verão e inverno (Fig. 4c,d) podemos notar que o reservatório apresentava uma forte estratificação sazonal durante o verão, com a termoclina localizada aproximadamente em 15 m de profundidade; a diferença entre a temperatura de superfície e de fundo era de aproximadamente 4,5 °C. Esta forte estratificação pode atuar impedindo a mistura completa da coluna d'água durante episódios de vento e de entranhamento convectivo. Por outro lado, durante o inverno a coluna d'água do reservatório estava completamente misturada, não apresentando sinal da termoclina sazonal; neste caso a diferença entre a temperatura de superfície e de fundo era de aproximadamente 1 °C. Estas condições favorecem a mistura completa da coluna d'água, podendo ocorrer a resuspensão de material depositado no fundo do reservatório.

A Figura 5 apresenta alguns parâmetros de qualidade da água (oxigênio dissolvido, pH e turbidez) coletados pelas PCD instaladas nas duas áreas analisadas (CC e SC) para os dois períodos estudados. Para o período de verão (01/02/2014-08/02/2014), os dados coletados coincidem com a data de aquisição da imagem OLI (08/02/2014). Já para o período de inverno (20/07/2014-27/07/2014), os dados foram coletados com defasagem de uma semana em relação a aquisição da imagem OLI (03/08/2014).

Para os dois períodos analisados, a área sem cultivo apresentou valores mais altos de oxigênio dissolvido e menores de turbidez quando comparados com a área com cultivo (Fig. 5a,b,e,f). Estes resultados indicam uma possível alteração da qualidade da água decorrente da atividade aquícola. Levando-se em consideração apenas a área com cultivo nos dois períodos analisados, todos os parâmetros de qualidade da água apresentaram uma tendência de aumento nos meses de inverno quando comparados ao período de verão. Já na área sem cultivo a alteração dos parâmetros de qualidade da água foi sensivelmente menor entre as duas estações. Estas alterações na composição das massas d'água observadas com os dados coletados em campo corroboram os resultados obtidos a partir da classificação das imagens, onde o algoritmo K-média foi capaz de captar essa variação.

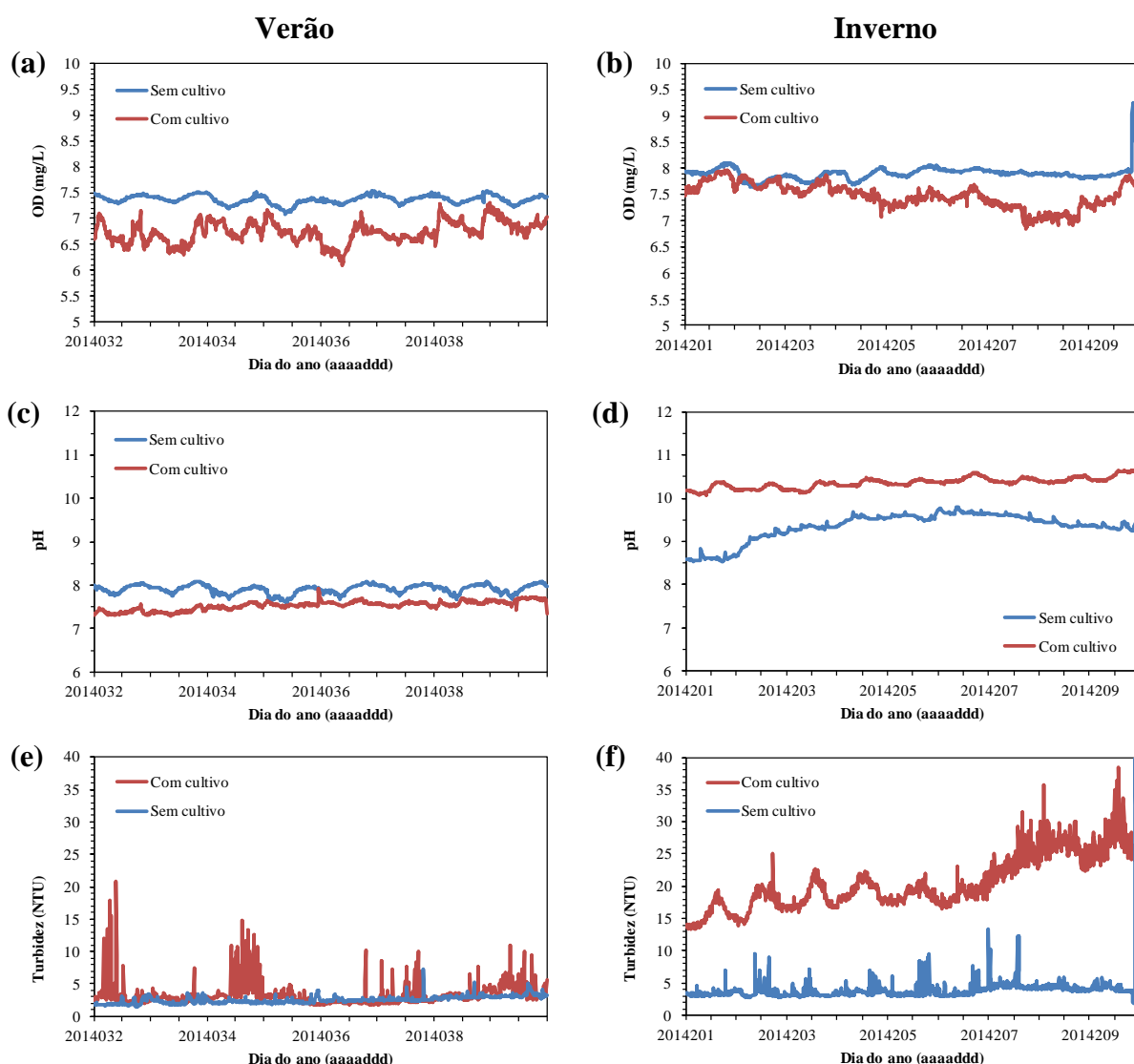


Figura 5. Parâmetros de qualidade da água coletados pelo Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (SIMA) no reservatório de Furnas em áreas com cultivo (CC) e sem cultivo (SC) para os dois períodos analisados neste estudo: (a) Oxigênio Dissolvido durante o verão, (b) Oxigênio Dissolvido durante o inverno, (c) pH durante o verão, (d) pH durante o inverno, (e) Turbidez durante o verão e (f) Turbidez durante o inverno. Ver localização dos pontos SC e CC na Figura 4.

## 5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo principal utilizar os dados limnológicos coletados pela PCD em conjunto com imagens obtidas pelo sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8 para auxiliar no melhor entendimento da heterogeneidade espacial e temporal das massas d'água no reservatório de Furnas. As principais conclusões são:

A utilização conjunta de dados coletados *in situ* e imagens de satélite apresentaram potencial para avaliar possíveis impactos da aquicultura sobre a qualidade da água em reservatórios hidrelétricos. Levando em consideração o grande potencial aquícola do Brasil, a distribuição geográfica e a grande extensão dos reservatórios hidrelétricos brasileiros (que muitas vezes inviabiliza uma coleta sistemática de dados *in situ*), o uso de imagens de satélite pode prover informações importantes para a gestão dos empreendimentos aquícolas.

As imagens coletadas pelo sensor OLI apresentaram resultados satisfatórios para o estudo dos impactos da atividade aquícola no reservatório de Furnas, podendo estas análises serem expandidas para outros reservatórios brasileiros.

Futuros estudos são necessários para investigar de maneira mais precisa o alcance destes possíveis impactos no reservatório como um todo. Outras técnicas baseadas em imagens de satélite, ou com um maior número de imagens, podem ser testadas para este fim, como por exemplo, a utilização de outros classificadores e modelagem bio-óptica.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer ao INPE/Divisão de Sensoriamento Remoto pelo apoio para realização do trabalho e à Embrapa Meio Ambiente pelo apoio durante as campanhas de campo. M.P.C agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado (processo 161233/2013-9). C.A.S.A. agradece ao CNPq pela bolsa PCI (processo 302538/2014-3). Este trabalho é parte das atividades do projeto “Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento para Gestão Ambiental da Aquicultura no Reservatório de Furnas – MG”, financiado pelo Ministério da Pesca e Aquicultura.

### **Referências Bibliográficas**

Beveridge, M. C. M. **Cage aquaculture**. Oxford: Fishing News Book, 2004. 368 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Projeto Furnas: desenvolvimento de sistema de monitoramento para gestão ambiental da Aquicultura no reservatório de Furnas: suporte para a consolidação de indicadores para o plano de monitoramento e gestão ambiental da aquicultura: relatório II: atividades 2013**. Jaguaruina: Embrapa Meio Ambiente; Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2014. 221 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture (SOFIA)**. Roma: FAO, 2012. 230 p.

Ferreira, E.; Dantas, A. A. A. Análise de mapas de represas publicados na web usando imagens orbitais CCD/CBERS no estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n.1, p.110-120, 2010.

Kaufman, Y. J., Tanré, D. Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from modis. 1998. Disponível em: < [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/atbd\\_mod02.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/atbd_mod02.pdf)>. Acessado em 12 jul. 2014.

Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA). **Estatística da pesca e aquicultura no Brasil 2008/2009**. Brasília: MPA, 2010. 129 p.

Ohata, A. T.; Quintanilha, J. A. O uso de algoritmos de clustering na mensuração da expansão urbana e detecção de alterações na Região Metropolitana de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 647-656. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em:<<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.43>>. Acessado em: 23 out. 2014.

Rocha, I. P.; Rocha, D. M. **Panorama da Produção Mundial e Brasileira de Pescado, com Ênfase para o Segmento da Aqüicultura**. 2011. Disponível em: <[http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2011/03/13\\_-\\_Panorama\\_da\\_Produo\\_Mundial\\_e\\_Brasileira\\_de\\_PescadoFINAL.pdf](http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2011/03/13_-_Panorama_da_Produo_Mundial_e_Brasileira_de_PescadoFINAL.pdf)>. Acessado em 05 jun. 2014.

Stech, J.L.; Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M.; Silva, C.M.; Assireu, A.T.; Lorenzetti, J.A.; Carvalho, J.C.; Barbosa, C.C.F.; Rosa, R.R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 29, p. 1747–1750, 2006.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Missions**. 2014. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acessado em 15 ago. 2014.

Xu, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.