

# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

# **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto [recurso eletrônico]  
/ Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento  
remoto; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-54-3

DOI 10.22533/at.ed.543180210

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicações e princípios de Sensoriamento Remoto” aborda em seu primeiro Volume uma apresentação de 21 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área de Sensoriamento Remoto em suas diversas aplicações no meio urbano e rural.

O uso de imagens de satélite através do Sensoriamento Remoto está cada vez mais sendo utilizada para o planejamento e tomada de decisão rápida, visto que, a era tecnológica permite rapidez e confiança nos resultados. Contudo, sua utilização está na dependência de fatores de interação entre ambiente e sensor, que afetam nos produtos finais. Assim, sua qualidade depende de quatro tipos de resolução: temporal; espacial; espectral e radiométrica, que se referem a condição do satélite, isso deve ser levado em consideração no tipo de análise e o que pretende -se analisar.

Em contrapartida, a aquisição de imagens a nível terrestre já é possível com a utilização dos VANTES (Veículo Aéreo não Tripulado), porém fatores afetam seu movimento e resultam em imagens com pouca qualidade, estando diretamente na dependência do tipo de sensores acoplados. A análise por modelos e técnicas computacionais permite melhores e mais confiáveis resultados, que podem expressar a real condição. Porém, índices para comparação de variáveis ainda são desconhecidos e necessitam de trabalhos mais específicos para a geração de mapas interativos e virtuais.

Assim, o Sensoriamento Remoto é atualmente a área que mais cresce, visto a possibilidade da interação e tomada de decisão por meio de imagens e programas computacionais, tornando uma grande ferramenta em diversas áreas de atuação.

Por fim, espero que esta obra atenda a demanda por conhecimento técnico de qualidade e que novas pesquisas utilize-a de norte para traçar novos rumos para o Sensoriamento Remoto Aplicado.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A DINÂMICA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO ACRE ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2010	
<i>Juliana de Oliveira Tostes</i>	
<i>Márcio Rocha Francelino</i>	
<i>José Francisco de Oliveira Júnior</i>	
<i>Gustavo Bastos Lyra</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ADEQUAÇÃO DE BANCO DE DADOS E UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTO DE HIERARQUIA NA GERAÇÃO DE ROTAS ÓTIMAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL	
<i>Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira</i>	
<i>Pedro Sepulveda Neto</i>	
<i>Charles Marques de Souza</i>	
<i>Fausto Weimar Acerbi Junior</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDT APLICADO AO PARQUE AMBIENTAL VITÓRIO PIASSA - PR	
<i>Gabriel Roldo Gomes</i>	
<i>João Henrique Ferrarini</i>	
<i>Marcelle Luisa Calegari</i>	
<i>Danielli Batistella</i>	
<i>Priscila da Silva Victorino</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES COM O ZONEAMENTO DO SOLO URBANO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP.	
<i>Paulo Roberto Belisário</i>	
<i>Maiara Resende Ribeiro</i>	
<i>Mario Valério Filho</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (RMG), NO PERÍODO DE 1986 A 2016	
<i>Joelson de Souza Passos</i>	
<i>Jepherson Correia Sales</i>	
<i>Gabriella Santos Arruda de Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA ÁREA URBANA DE UM TRECHO DO RECIFE E REGIÃO METROPOLITANA ATRAVÉS DE ORTOFOTOCARTAS ANTIGAS E IMAGEM DO GOOGLE EARTH	
<i>Leonardo Carlos Barbosa</i>	
<i>Luiz Carlos Barbosa da Silva</i>	
<i>Laízy de Santana Azevedo</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE PARTE DE BAIRRO NOVO – OLINDA ENTRE 1986 A 2014 UTILIZANDO ORTOFOTOCARTA E ORTOFOTOS	
<i>Júlio César Albuquerque Simões Belo</i>	
<i>Mirelly de Oliveira Farias</i>	
<i>Carlos Alberto Borba Schuler</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 75**

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DE DUNAS AO LONGO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO NORTE RS VIA DADOS TM LANDSAT 5

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*André Bilibio Westphalen*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 9 ..... 83**

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

*Rodrigo Moura Pereira*  
*Dayanna Teodoro Quirino*  
*Derblai Casaroli*  
*Lucas Melo Vellame*  
*Delvio Sandri*

**CAPÍTULO 10 ..... 98**

ESTUDO DO DESFLORESTAMENTO E QUALIDADE AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE TECNOLOGIAS EM SENSORIAMENTO REMOTO

*Roberta Monique da Silva Santos*  
*Stiffanny Alexa Saraiva Bezerra*  
*Álefe Lopes Viana*  
*Nelson Felipe de Albuquerque Lins Neto*  
*José Roselito Carmelo da Silva*

**CAPÍTULO 11 ..... 115**

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA - SEBV E IMPLICAÇÕES PARA O GRADIENTE FLÚVIO-ESTUARINO.

*Fernando Jakes Teubner Junior*  
*Gilberto Fonseca Barroso*

**CAPÍTULO 12 ..... 131**

ÊXODO RURAL E ESTADO DA VEGETAÇÃO NATIVA: DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR SOCIOECONÔMICO E VALIDAÇÃO COM IMAGENS DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU - RS, BRASIL

*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Júlia Borges Telmo*  
*Lucas Munhoz Caseiro*  
*Jean Marcel de Almeida Espinosa*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*

**CAPÍTULO 13 ..... 142**

FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA MICROBACIA, VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

*Sérgio Campos*  
*Marcelo Campos*  
*Thyellenn Lopes de Souza*  
*Mateus Campos Leme*  
*Mikael Timóteo Rodrigues*

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

IMAGEM DE REFLECTÂNCIA DE SUPERFÍCIE USGS COMO REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

*Patricia Michele Pereira Trindade*  
*Dejanina Luderitz Saldanha*

<i>Waterloo Pereira Filho</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>163</b>
INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI	
<i>Adriana Castreghini de Freitas Pereira</i>	
<i>Paulo Henrique Marques de Castro</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>174</b>
MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
<i>Felipe Ramos Nabuco de Araújo</i>	
<i>Jefferson William Lopes Almeida</i>	
<i>Ítalo Sousa de Sena</i>	
<i>Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega</i>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>187</b>
PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	
<i>Daniel de Almeida Papa</i>	
<i>Evandro Orfanó Figueiredo</i>	
<i>Alexandre Pansini Camargo</i>	
<i>Luiz Carlos Estraviz Rodriguez</i>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>199</b>
RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR	
<i>Ronaldo Medeiros dos Santos</i>	
<i>Vinícius Orlandi Barbosa Lima</i>	
<i>Marcelo Rossi Vicente</i>	
<i>Talita Moreira Câmara</i>	
<i>Cecília Cristina Almeida Mendes</i>	
<i>Diana Marques Silva</i>	
<i>Gesiane Simara Barbosa</i>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>209</b>
SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO	
<i>Ziany Neiva Brandão</i>	
<i>João Henrique Zonta</i>	
<i>Luciano Shozo Shiratsuchi</i>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>225</b>
TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO	
<i>Adriana Fantinati Conceição</i>	
<i>Denivaldo Ferreira de Souza</i>	
<i>Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero</i>	
<i>Lindon Fonseca Matias</i>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>235</b>
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	
<i>Paulo Sérgio de Rezende Nascimento</i>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>248</b>

## INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI

### **Adriana Castreghini de Freitas Pereira**

Universidade Estadual de Londrina-UEL,  
Departamento de Geociências, Programa de Pós-  
Graduação em Geografia-PPGG  
Londrina - Paraná  
adricfp@gmail.com

### **Paulo Henrique Marques de Castro**

Universidade Estadual do Norte do Paraná -  
UENP  
Programa de Pós-Graduação em Geografia –  
PPGG-UEL  
Cornélio Procópio – Paraná  
henrickoss@gmail.com

**RESUMO:** Pesquisas científicas de qualidade das águas, em geral, usam modelos empíricos de inferência de componentes da água a partir de outros observados em campo, permitindo uma maior representatividade espacial da variável, além de redução de custos. Pesquisadores ambientais utilizam a Profundidade de Secchi no cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação de luz na água e na avaliação da extensão da zona eufótica, para a classificação de tipos de água para os ecossistemas aquáticos brasileiros. Então, o objetivo principal dessa pesquisa foi realizar a inferência da profundidade da zona eufótica e do coeficiente vertical de atenuação de luz na água do Reservatório da UHE Mauá/PR, utilizando uma

imagem multiespectral Landsat-8/OLI, nas bandas espectrais 1 (450-510 nm); 2 (530-590 nm); 3 (640-690 nm); 4 (850-880 nm) e 5 (1570-1650 nm) e dados coletados “in situ”, gerando um modelo de inferência de transparência da água, a partir dos dados disponíveis. Após ajustes e processamentos iniciais, os dados foram submetidos a uma análise de correlação, onde não foram encontradas correlações significativas ao nível de confiança de 5% , não sendo gerado o modelo de inferência. A partir dos dados medidos “in situ” em pontos amostrais específicos foi possível estimar o coeficiente de atenuação vertical da luz na água do reservatório, classificar a água como eutrófica e estimar a profundidade da zona eufótica como muito estreita (entre 2,29 m e 2,97 m). Assim concluiu-se que o reservatório apresenta pouca concentração de sólidos em suspensão e encontra-se eutrofizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto da água, profundidade da zona eufótica, transparência da água.

**ABSTRACT:** Scientific researches focused on the water quality use, in general, empirical models of inference on water components from others observed in field, allowing a better spatial representation of the variable, beyond reduction of costs. Environmental researchers use the Secchi depth in indirect calculation of vertical

attenuation coefficient for water irradiance and in the estimation of stretching euphotic zone to classify water types on Brazilian water ecosystems. Then, the main aim of this research was to realize the inference of water euphotic zone and the vertical attenuation coefficient for water irradiance in UHE Mauá/PR Reservoir, using the Landsat-8/OLI multispectral image, in spectral bands 1 (450-510 nm); 2 (530-590 nm); 3 (640-690 nm); 4 (850-880 nm) and 5 (1570-1650 nm) and spectral data collected “in situ”, and to generate an inference model of water transparency through available data. After adjustments and initial processing, the data were submitted to a correlation analysis, where there were found significant correlations 5% confidence level, not being raised the inference model. The data collected in situ sampling points, made it possible to estimate the vertical light attenuation coefficient in the water of the reservoir; classifying water as eutrophic; and estimate the depth of the photic zone, too narrow (between 2,29 m and 2,97 m). So concluded that the reservoir presents not much concentration of suspended solids and are in eutrophication.

**KEYWORDS:** remote sensing of water, euphotic zone depth, water transparency.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas discussões atuais sobre a disponibilidade de água potável, esquisadores e ambientalistas tem realçado as questões mais relevantes para o período pós-2015. Num horizonte de análise que se estende até 2050, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), destaca que a maior ameaça ao modo de vida e a própria existência humana é a escassez de água para consumo doméstico e agrícola e suas implicações para as mudanças climáticas, aparentemente já em curso (Elliott et al., 2014). Dentre as metas para desenvolvimento sustentável (Griggs et al. 2013) destaca-se o alcance universal de acesso à água potável e esgoto, duas metas amplamente relacionadas, visto que a falta de saneamento básico é um dos fatores que mais contribuem para a escassez relativa de água potável, aquela escassez que não depende da quantidade de água mas de sua qualidade para consumo. As condições para o alcance dessas metas dependem da mudança do comportamento humano “Nenhuma dessas seis metas é possível sem uma mudança no campo econômico” (Griggs et al., 2013, pag. 307) e da elaboração de políticas públicas no campo dos recursos hídricos (Fracalanza et al., 2013) que incorporem medidas compensatórias e distributivas e que minimizem os efeitos perversos das desigualdades socioeconômicas.

Essas questões atuais da sociedade justificam a elaboração de pesquisas científicas que contribuam para um melhor aproveitamento e gerenciamento do recurso natural água de qualidade para o abastecimento da população humana.

Nesse sentido, pesquisas científicas relacionadas com a qualidade das águas, utilizam, dentre os métodos disponíveis para análises ambientais, as análises de correlação entre as concentrações dos componentes opticamente ativos e informações espectrais de corpos d’água obtidas a partir de dados orbitais – multiespectrais

e hiperespectrais; além de espectroradiometria de campo (LOBO, et al., 2016; VERPOORTE, 2014; HAMBRIGHT, 2014; GIARDINO et al., 2014; OLMANSON, et al., 2013; ROESSLER, et al., 2013; McCULLOUGH et al., 2012; NAS et al., 2008; SIMIS et al., 2005; CURRAN e NOVO, 1998; ALLEE e JOHNSON, 1999; NOVO et al., 1996; GODIN et al 1993). A construção de modelos empíricos para estimar alguns desses componentes, a partir de outros observados em campo, permite maior representatividade espacial da variável e reduz os custos de trabalho de campo, muitas vezes com a redução das análises de laboratório.

A transparência do corpo d'água é um dos parâmetros físicos observados na análise de sua qualidade. Este parâmetro pode ser obtido através da leitura da profundidade do disco de Secchi, ou seja, a partir da observação do desaparecimento de um disco branco mergulhado na água. O valor do disco de Secchi tem uma relação direta com a transparência da água e inversa à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e também ao coeficiente de atenuação da irradiância (Pereira Filho, 2000), ou seja, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400 – 740 nm (faixa visível) refletida do disco não é mais sensível ao olho humano (Esteves, 1998). A transparência da água, além de ser uma característica física de fácil obtenção em campo, apresenta correlação com a radiação eletromagnética superficial do corpo d'água, que pode ser avaliada, tanto por medidas espectrorradiométricas tomadas "in situ", quanto pelas imagens multiespectrais tomadas por sensores instalados em plataformas orbitais.

O presente artigo faz parte de uma pesquisa maior cujo objetivo principal é realizar a construção de modelos empíricos de inferência para alguns componentes opticamente ativos na água, por meio do sensoriamento remoto orbital. Para este artigo, traçou-se como objetivo principal a inferência da profundidade da zona eufótica e do coeficiente vertical de atenuação de luz na água de uma represa, utilizando imagens multiespectrais de média resolução espacial do Landsat-8/OLI.

## **2 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

Para o desenvolvimento da pesquisa, uma imagem multiespectral de média resolução espacial do satélite Landsat-8/OLI (bandas espectrais 1, 2, 3 e 4, correspondentes respectivamente aos intervalos de comprimento de onda entre 450 e 510 nm; 530 e 590 nm; 640 e 690 nm; 850 e 880 nm) foi adquirida simultaneamente à realização de um levantamento de campo, no qual foi medida a Profundidade de Secchi em pontos amostrais previamente definidos.

Análises de correlação entre os dados coletados "in situ" (Profundidade de Secchi) e a imagem multiespectral, foram realizadas. Métodos de regressão linear clássica foram aplicados a fim de gerar modelos de inferência de transparência da água, estimando-se, assim, a distribuição espacial da variável em estudo, para os modelos que consideram os dados da imagem multiespectral. Por fim, foi feita a inferência da

zona eufótica e do coeficiente vertical de atenuação de luz na água da UHE Mauá – Rio Tibagi/PR, a partir de pontos amostrais obtidos do modelo de inferência gerado e da coleta “in situ”.

A Figura 1 apresenta a área de estudo da pesquisa, que foi a UHE Mauá, que está localizada no rio Tibagi, a montante do local denominado Salto Mauá, nos municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira, no Estado do Paraná, a cerca de 50 km de Telêmaco Borba. Sua construção teve início no ano de 2008 e foi inaugurada em 2012. É controlada pelo CECS (Consórcio Energético Cruzeiro do Sul), com participação societária de 51% da Copel e 49% da Eletrosul. É a 6ª maior hidrelétrica em potência instalada em território paranaense, ficando atrás apenas das cinco usinas localizadas no rio Iguaçu.

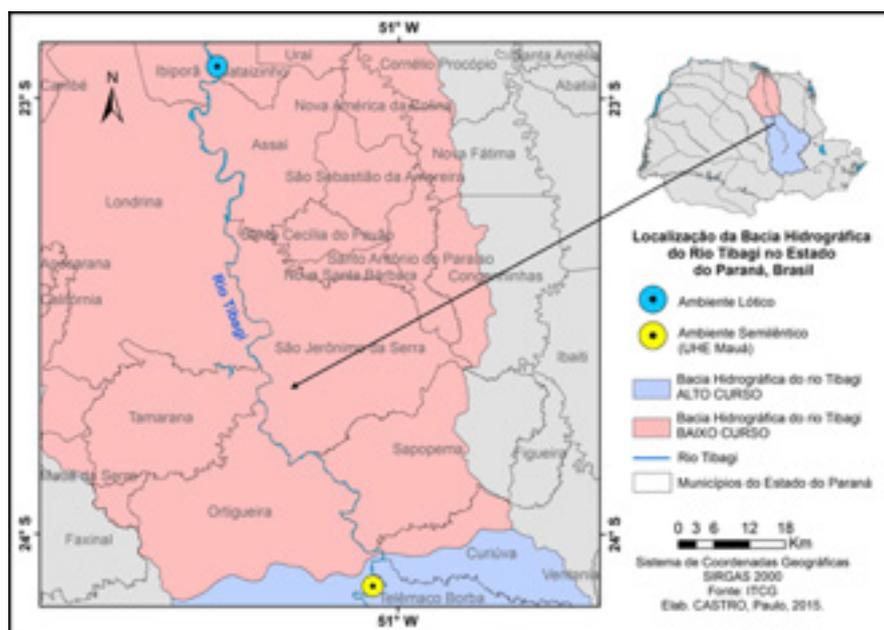


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo – UHE Mauá ao sul (em cor amarela), no contexto do trecho do rio Tibagi até as proximidades do ponto de captação da SANEPAR ao norte (em cor azul), na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi

A coleta de dados “in situ” baseou-se em um esquema de amostragem pré-definido para distribuição dos elementos amostrais. Tal esquema considerou um número de pontos que permitisse a otimização das coletas e garantisse, ao mesmo tempo, a representatividade espacial dos parâmetros coletados para a análise da qualidade da água. Para tanto, baseou-se na variabilidade espectral do corpo d’água ao longo do tempo e na entrada dos principais afluentes no reservatório, com distribuição das amostras em faixa concêntricas (Pereira et al., 2007).

No total foram definidos 24 pontos amostrais espalhados ao longo da UHE Mauá/PR, e na entrada de tributários, garantindo uma boa representação das características limnológicas e espectrais a serem levantadas em campo. A Figura 2 mostra a UHE Mauá/PR e a posição dos 24 pontos definidos pelo esquema amostral para a coleta de dados “in situ”.

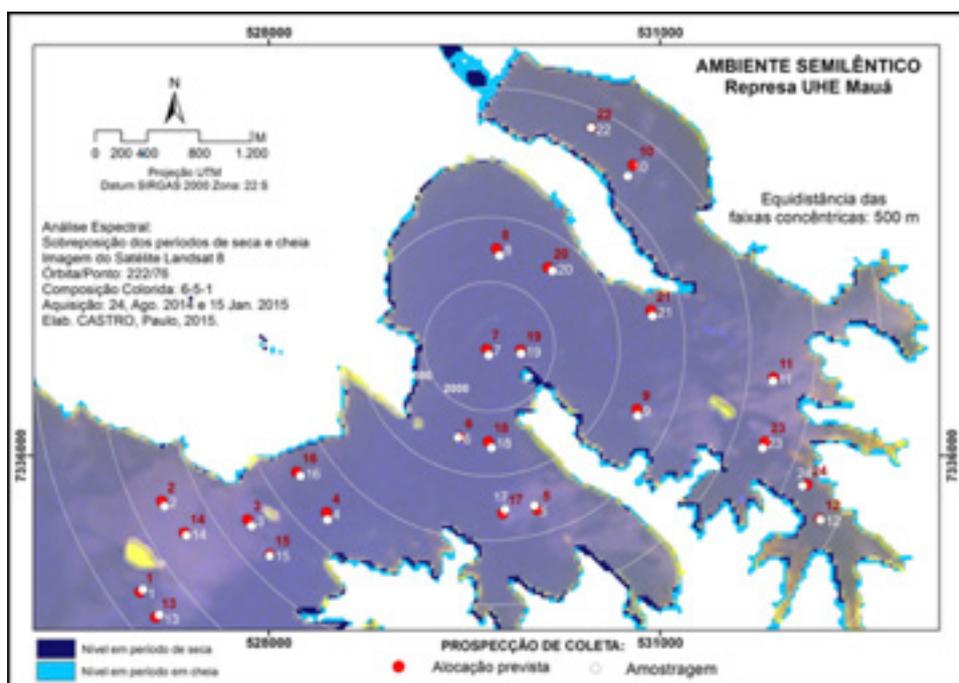


Figura 2. Mapa de modelagem amostral de pontos, utilizando imagem multiespectral do Landsat 8, no lago do reservatório da UHE Mauá, por meio de distribuição de Faixas Concêntricas

O levantamento de dados “in situ” ocorreu no dia 17 de dezembro de 2015. As condições de iluminação (nebulosidade) e vento (ondas na superfície da água) foram anotadas em planilhas de campo. Simultaneamente ao levantamento de dados em campo, foi adquirida uma imagem multiespectral de média resolução espacial do satélite Landsat-8/OLI da área de estudo, correspondente às bandas B1 – denominada *new coasta*; B2; B3; B4 e B5.

Devido à necessidade de sincronismo entre a aquisição de diferentes tipos de medidas e tomada da imagem, a definição da melhor data foi escolhida a partir do catálogo de imagens do Landsat-8/OLI, disponível no site do USGS-USA.

## 2.1 Imagem Multiespectral do Satélite LANDSAT-8/OLI

A imagem multiespectral do Landsat-8/OLI, correspondente às bandas B1, B2, B3 e B4, com intervalos espectrais respectivamente de 450 – 510 nm; 530 – 590 nm; 640 – 690 nm; 850 – 880 nm e 1570 – 1650 nm, foi submetida a tratamentos a fim de torná-la espacial e radiometricamente compatível com a Profundidade de Secchi tomada “in situ”. Tais tratamentos foram: georreferenciamento das cenas, máscara de recorte do corpo d’água e correções radiométrica e atmosférica.

O georreferenciamento da imagem foi realizado no programa SPRING, utilizando a Transformação Afim no plano e 20 pontos de controle. O resíduo da transformação geométrica foi de 1 pixel, considerado aceitável para o trabalho.

A delimitação do reservatório foi feita no Spring, a partir da escolha de uma

segmentação por crescimento de regiões usando parâmetros de similaridade igual a 20 e área de 200 pixels, após testes realizados com outros valores, pelo fato desta ser a mais apropriada para delimitar o contorno da represa, por comparação com as demais. Aplicou-se a técnica de classificação não-supervisionada Ioseg para agrupar as regiões definidas na segmentação, com valor de limiar igual a 90%. O mapeamento das classes temáticas foi realizado e a edição manual do contorno. A máscara gerada foi utilizada para o recorte dos Planos de Informação referentes às quatro bandas da imagem multiespectral.

A calibração radiométrica foi realizada com o objetivo de converter os ND's (números digitais) da imagem original em radiância espectral. Para tanto, a radiância espectral ou radiância no sensor foi calculada no *software* QGIS.

A correção atmosférica, que objetiva a conversão dos ND's (números digitais) ou valores de brilho da imagem original em reflectância aparente, foi realizada baseando-se no método empírico de Chavez (1989), denominado DOS - *Dark Object Subtraction* -utilizando para isso o *software* QGIS. Este método consiste na correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Para a aplicação desta técnica não há a necessidade de se obter dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens. No método DOS assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (pixels) escuros nas imagens, como sombras ocasionadas pela topografia ou por nuvens, os quais deveriam apresentar um ND muito baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de reflectância (Chavez, 1989).

Realizadas as operações de pré-processamento da imagem, foi aplicada a razão de bandas aos valores extraídos nos pontos de interesse, conforme Kirk (1994), Barbosa (2005), Rundquist (1996), Hoge et al. (1987); Gitelson (1992) envolvendo as cinco bandas do Landsat-8:

- |                     |     |
|---------------------|-----|
| $[(B3-B4)/(B3+B4)]$ | (1) |
| $(B4/B3)$           | (2) |
| $(B3/B4)$           | (3) |
| $(B4/B5)$           | (4) |
| $(B3/B4)$           | (5) |
| $(B4/B2)$           | (6) |
| $(B2/B3)$           | (7) |
| $(B2/B5)$           | (8) |

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas as correlações entre as 5 bandas multiespectrais do Landsat-8/OLI e a Profundidade de Secchi coletada “in situ” e também entre as Razões de Bandas

conforme indicado na bibliografia e o mesmo parâmetro de análise de qualidade da água.

A Figura 3 apresenta a correlação das bandas Landsat-8 e a Profundidade de Secchi.

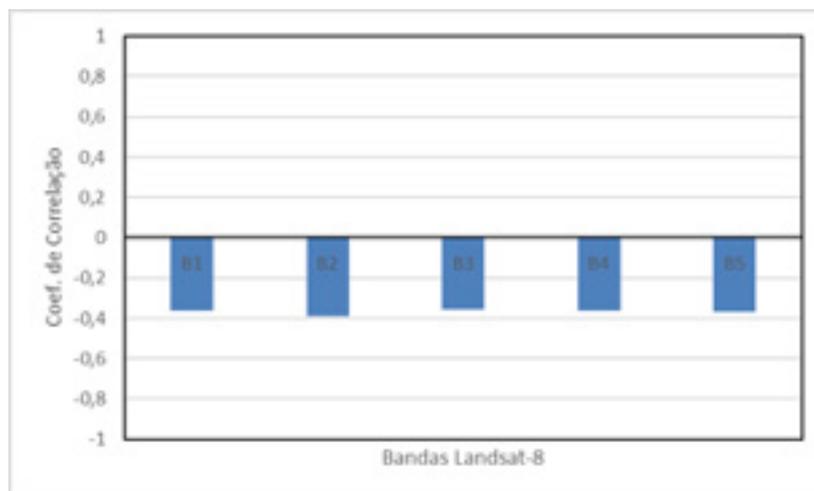


Figura 3. Coeficiente de Correlação entre a Profundidade de Secchi e as Bandas Multiespectrais do Landsat-8/OLI

Observa-se na Figura 3 que não houve correlação significativa a 5% para nenhuma das variáveis analisadas. Nem mesmo a banda 1 que surge no Landsat-8/OLI como apropriada para análise de água (new coastal), alcançou o objetivo esperado para o trabalho.

A Figura 4 apresenta a correlação entre as Razões de Bandas testadas conforme indicação da bibliografia e a Profundidade de Secchi coletada “in situ”.

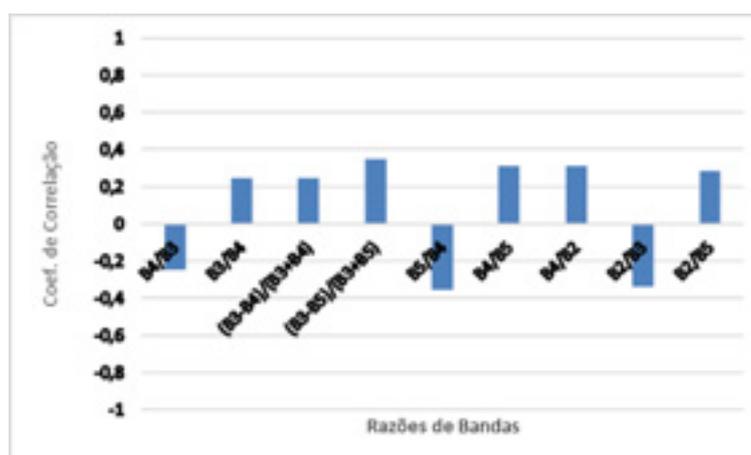


Figura 4. Coeficiente de Correlação entre razões de bandas aplicadas à Imagem Multiespectral Landsat-8/OLI

Observa-se da análise da Figura 4 que, aqui também não foram encontradas correlações significativas a 5% de confiança para os dados analisados. O maior valor de correlação foi de 0,35, muito baixo para uma análise estatística robusta.

Diante dos resultados insatisfatórios obtidos nas análises de correlação, o modelo

empírico de inferência almejado no início da construção do artigo não se realizou, passando-se então para o cálculo do coeficiente de atenuação da luz na água da UHE Mauá, pretendendo-se verificar a profundidade de sua zona eufótica.

Autores como Poole & Atkins são citados por Esteves (1998) como precursores no cálculo do coeficiente vertical de atenuação a partir da Profundidade do disco de Secchi medido “in situ”. De acordo com sua proposta, a Profundidade de Secchi é o inverso do coeficiente de atenuação vertical, sendo a relação (8) definida para esse fim:

$$k = \left( \frac{1,7}{Z_{ds}} \right) \quad (9)$$

onde:  $Z_{ds}$  = Profundidade de Secchi;

1,7 = constante calculada por Poole e Atkins

O cálculo de  $k$  foi realizado para os valores de Profundidade de Secchi medidos “in situ” para os 24 pontos coletados, cuja média resultou em um valor de Profundidade de Secchi = 0,92 m e  $k = 1,85$ . Comparando esse valor obtido com os estudos de Esteves (1998), verifica-se que a constante  $k$  para a represa UHE Mauá aproxima-se do tipo de ambiente “eutrófico”, o que já era esperado, uma vez que houve a construção e início das operações da UHE Mauá.

A Profundidade de Secchi também é utilizada para a avaliação da extensão da zona eufótica, conforme Esteves (1998); Bukata (1995) e Kirk (1994). Para tanto, o valor da Profundidade de Secchi é multiplicado pela constante 2,7. O valor obtido a partir desse cálculo é admitido pelos autores como sendo aproximadamente 1% da radiação superficial do corpo d’água.

A fim de analisar o comportamento da zona eufótica na UHE Mauá, apresenta-se na Tabela 2 o cálculo desta para os 24 pontos amostrados “in situ”, a partir da constante de multiplicação igual a 2,7.

PONTOS	DADOS ESTIMADOS "IN SITU"	
	Prof. de Secchi (m)	Extensão da Zona Eufótica (m)
1	0,85	2,29
2	0,90	2,43
3	0,90	2,43
4	0,95	2,56
5	0,95	2,56
6	0,95	2,56
7	0,85	2,29
8	1,10	2,97
9	1,00	2,51
10	0,93	2,43
11	0,85	2,43
12	0,85	2,56
13	0,90	2,56
14	0,90	2,70
15	0,95	2,43
16	0,95	2,43
17	1,00	2,29
18	0,90	2,70
19	0,90	2,43
20	0,85	2,43
21	1,00	2,43
22	0,90	2,70
23	0,90	2,29
24	0,90	2,29

Tabela 2. Estimativa da extensão da zona eufótica a partir da profundidade de secchi

Analisando a Tabela 2 verifica-se, para os dados medidos "in situ", que o valor mínimo da profundidade da zona eufótica é igual a 2,29 m (P1, P7, P17, P23 e P24) e o valor máximo corresponde à 2,97 m (P8). Esses valores indicam uma zona eufótica muito estreita para a represa UHE Mauá e com pouca concentração de sólidos em suspensão na água, o que a torna clara e quase transparente.

A classificação do corpo d'água como eutrófico e os valores muito estreitos da zona eufótica indicam que deve ocorrer acumulação de sedimentos no fundo da represa; elevado enriquecimento de nutrientes, com crescimento planctônico e áreas cobertas com plantas aquáticas.

#### 4 | CONCLUSÕES

O objetivo principal da pesquisa foi atingido, tendo sido possível a inferência da

profundidade da zona eufótica e do coeficiente de atenuação vertical de luz na água da represa UHE Mauá/PR. Ambos os resultados permitiram classificar o corpo d'água estudado como tipo de água eutrófico, praticamente transparente na superfície, com pouca concentração de sólidos em suspensão na água.

O objetivo específico que tratou da possível geração do modelo empírico de inferência da profundidade de secchi não foi alcançado, uma vez que as análises de correlação entre as bandas e a profundidade de secchi, bem como entre as razões de bandas e a profundidade de secchi não foram significativas ao nível de confiança de 5%.

Como este artigo faz parte de uma pesquisa maior, onde procura-se estimar outros componentes opticamente ativos na água da represa, através de sensoriamento remoto e análises de regressão estatística, espera-se encontrar essas correlações e consequentemente modelos de inferência, a medida que a pesquisa caminha.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas**. São José dos Campos, 2005. 281 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE.
- BUKATA, R. P. J. KOONDRATYEV, K.Y.; POZOZDNYAKOV, D.V. **Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters**. Boca Taton: CRC, 1995. 362p.
- CHAVEZ, Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.55, p.1285-1294, 1989.
- CURRAN, P.J.; NOVO, E.M.M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, v.4, n.3, p.351-368, 1988.
- ELLIOTT, J. et al. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. **PNAS**, 2014, v.111, n.9, 3239-3244. ([www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222474110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222474110)).
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/Finep. 2.ed. 575p. 1998.
- FRACALANZA, A.N., JACOB, A.M., EÇA, R.F. Justiça Ambiental e práticas de governança da água: (re) introduzindo questões de igualdade na agenda. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, 2013. v. XVI, n.1, p.19-38.
- FREITAS PEREIRA, Adriana Castreghini. Reservoir Water-Transparency Mapping by Means of Multispectral Ikonos Imagery. In: **Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**. 1 ed. New York Dordrecht London : **Springer Berlin Heidelberg**, 2014, v.1, p. 285-301.
- GIARDINO, C. BRESCIANI, M., CAZZANIGA, I., SCHENK, K., RIEGER, P., BRAGA, F., MATTA, E., BRANDO, V.E. Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. **Sensors**, 14, 24116-24131, 2014. ISSN: 1424-8220.
- GITELSON, A. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 17, p. 3367-3373, 1992.

GRIGGS, D. et al. **Nature**, 2013. v.495.

HAMBRIGHT, K.D., XIAO, X., DZIALOWSKI, A.R. Remote Sensing of WQ and harmful algae in OK Lakes. **Remote Sensing of Environment** (2014), 2, 100-120.

HOGUE, E. F., WRIGHT, C. W., & SWIFT, R. N. Radiance ratio algorithm wavelengths for remote oceanic chlorophyll determination. **Applied Optics**, v. 26, n. 11, p. 2082–2094, 1987.

KIRK, J.T.O. **Light & Photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge University Press, 509p., 1994.

LOBO, F.L., COSTA, M.P., NOVO, E.M. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment** (2016), 157, 170-184.

NOVO, E.M.L.M.; BRAGA, C.Z.F.; TUNDISI, J.G. Use of TM/Landsat data to retrieve the optically active water constituents from a eutrophic tropical reservoir. **Proceedings of ISPRS Commission VII Symposium: Resource and Environmental Monitoring**, Rio de Janeiro, sept. 20-30, 1994, INPE, Vol.30, Part76, 1994, p.258-262.

OLMANSON, L., BREZONIK, P.I., BAUER, M.E. Airborne hyperspectral remote sensing to assess spatial distribution of water quality characteristics in large rivers: The Mississippi River and its tributaries in Minnesota. **Remote Sensing of Environment** (2013), 130, 254-265.

PEREIRA, A.C.F.; GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.; NOVO, E.M.L.M. 2007. Amostragem em corpos d'água: Definição de elementos amostrais, posicionamento e coleta de dados "in situ". In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. 2007, Presidente Prudente. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, p.866-874.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do Reservatório de Tucuruí – Pará**. São Paulo, 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Geografia) – USP.

RUNDQUIST, D. C.; LUOHENG, H.; SCHALLES, J. F.; PEAKE, J. S. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for first derivative of reflectance near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 2, p. 195-200, 1996.

SIMIS, S.G.H., PETERS, S.W.M., GONS, H.J. Remote sensing of the cyanobacterial pigment phycocyanin in turbid inland water. **Limnology and Oceanography**, 2005, 50(1), 237-245.

VERPOORTE, C., KUSTER, T., SEEKELL, D.A., TRANVIK, L.J. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. **AGU Publications, Geophysical Research Letters** (2014), 41, 6396-6402.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-54-3



9 788585 107543