



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS



PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS

**GEOTECNOLOGIAS NO APOIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:  
MONITORAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO -  
GOIÂNIA-GO - 2016/2018 - E SUA CORRELAÇÃO COM USO E OCUPAÇÃO DA  
TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

MARIA ALCIONE SILVA



Porto Alegre  
2019

MARIA ALCIONE SILVA

**GEOTECNOLOGIAS NO APOIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:  
MONITORAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO -  
GOIÂNIA-GO - 2016/2018 - E SUA CORRELAÇÃO COM USO E COBERTURA DA  
TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Polo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. André Luiz Lopes da Silveira

Porto Alegre  
2019

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Maria Alcione  
Geotecnologias no Apoio à Gestão de Recursos  
Hídricos: Monitoramento do Reservatório de  
Abastecimento Público - Goiânia-GO - 2016/2018 - e sua  
Correlação com o Uso e Ocupação da Terra na Bacia do  
Ribeirão João Leite / Maria Alcione Silva. -- 2019.  
62 f.  
Orientador: André Luiz Lopes da Silveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,  
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de  
Recursos Hídricos, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Geotecnologias, Gestão de Recursos Hídricos,  
Monitoramento de reservatórios e bacias  
hidrográficas. I. Silveira, André Luiz Lopes da,  
orientf. II. Título.

MARIA ALCIONE SILVA

**GEOTECNOLOGIAS NO APOIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:  
MONITORAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO -  
GOIÂNIA-GO - 2016/2017 - E SUA CORRELAÇÃO COM USO E COBERTURA DA  
TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**

Dissertação submetida ao Programa PROFÁGUA de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira

Dissertação submetida em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_, obtendo \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes – UFRGS

---

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum – UFRGS

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Ao professor Dr. André Luiz Lopes da Silveira, orientador desta dissertação.

Aos componentes do ProfÁgua, em especial aos professores e servidores do pólo UFRGS.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação escolar e acadêmica.

À Saneamento de Goiás S.A. pela disponibilização de dados para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho e amigos por todo estímulo na continuidade de minha formação.

À Geógrafa Joana Carolina por todo estímulo, orientação e apoio desde o início deste mestrado.

À Rosalmina Cipriano (Bióloga – Reservatório João Leite) por todo apoio e carinho de sempre.

Aos meus pais, *in memoriam*, por ter me ensinado os valores da solidariedade e tudo mais de positivo em meu caráter.

Aos meus filhos Adriano, Joana, Luciano e Janaína - *daughter in law and daugther at heart*.

Às políticas de ensino público, pela oportunidade.

Aos trabalhadores brasileiros, que com seu “sangue”, contribuíram para com esta conquista.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar geotecnologias para auxiliar na gestão dos recursos hídricos do reservatório João Leite (RJL), por meio da inferência de parâmetros de qualidade das suas águas por sensoriamento remoto, e confrontar estes parâmetros com o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite (BHRJL). Para tanto, foram utilizadas imagens Landsat-8/OLI com datas próximas as das variáveis limnológicas “*in situ*”, em pontos do monitoramento do RJL e o mapeamento do uso e cobertura da terra na BHRJL. Inicialmente, foram realizadas análises dos perfis espectro e limnológico temporal para o RJL e comparadas à precipitação média mensal em 2016. A partir destes perfis, foram definidos os critérios para seleção das variáveis a fim de desenvolver as correlações para o período de 2016 e 2017. Com os resultados da correlação entre as variáveis, foram definidas as classes de intervalos espectrais para inferência de dados limnológicos a partir dos níveis de reflectância da B3 e B4, imagens Landsat-8/OLI, 2016 e 2017 e comparadas aos estudos de uso e cobertura da terra na BHRJL. Os resultados desta pesquisa confirmaram a hipótese inicial de viabilidade na utilização de geotecnologias no apoio à gestão de recursos hídricos no RJL e BHRJL, por meio de inferência de parâmetros de qualidade das suas águas por sensoriamento remoto, confrontando-se os resultados desta inferência com o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite.

**Palavras-Chave:** Geotecnologias, Gestão de Recursos Hídricos, Monitoramento de reservatórios e bacias hidrográficas.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to use geotechnologies to assist in the water resources management of the João Leite reservoir (RJL), through the inference of its water quality parameters by remote sensing, and to compare these parameters with the land use and land cover in the basin João Leite (BHRJL). For this purpose, Landsat-8 / OLI images with dates close to those of the limnological variables “in situ” were used at RJL monitoring points and the mapping of land use and land cover at BHRJL. Initially, analyzes of the spectrum and temporal limnological profiles were performed for the RJL and compared to the monthly average rainfall in 2016. From these profiles, the criteria for selecting the variables were defined in order to develop correlations for the period 2016 and 2017. With the results of the correlation between the variables, the spectral interval classes for limnological data inference were defined from the reflectance levels of B3 and B4, Landsat-8 / OLI images, 2016 and 2017 and compared to the use and coverage studies. from the land on the BHRJL. The results of this research confirmed the initial hypothesis of viability in the use of geotechnologies to support the management of water resources in RJL and BHRJL, through inference of water quality parameters by remote sensing, comparing the results of this inference with the land use and cover in the João Leite river basin.

**Keywords:** Geotechnology, Management of Water Resources, Monitoring of reservoirs and river basins.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 – OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1- OBJETIVO GERAL .....	18
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
3.1 - GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS RECURSOS HÍDRICOS .....	19
3.1.1 - Sensoriamento Remoto - Satélite Landsat-8/OLI.....	20
3.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	22
3.2.1 – Comportamento Espectral da Água.....	23
3.3 - USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO JOÃO LEITE.....	27
3.3.1 - A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite no Bioma Cerrado .....	27
3.3.2 - Uso e cobertura da terra na BHRJL em relação ao Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra Projeto TerraClass Cerrado - 2013.....	28
<b>4 - ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>30</b>
4.1 - CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO JOÃO LEITE .....	31
4.2 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
<b>5 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
5.1 – DADOS UTILIZADOS.....	34
5.1.1 - Dados Espectrais .....	34
5.1.2 - Dados Limnológicos .....	34
5.1.3 – Dados da Precipitação Pluviométrica .....	35
5.1.4 - Pontos Amostrais.....	35
5.2 – COMPORTAMENTO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL .....	37
5.3 - CORRELAÇÃO ENTRE DADOS ESPECTRAIS E DADOS LIMNOLÓGICOS.....	37
5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CATEGORIAS DAS CLASSES GERADAS PARA OS DADOS DOS COAS E O USO E COBERTURA DA TERRA NA BHRJL .....	38
<b>6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
6.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL - RJL EM 2016 ..	39
6.1.1 – Perfil Espectro/Temporal banda B3 e Limnológico/Temporal Clorofila-a - RJL - 2016 .....	39
6.1.2 - Perfil Espectro/Temporal da banda B4 e Limnológico/Temporal Turbidez - RJL - 2016 .....	41
6.2 - CORRELAÇÃO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL NO RJL EM 2016/2017 .....	43



6.2.1 - Correlação entre as variáveis – Reflectância da B3 e Clorofila <i>a</i> - RJL – 2016 e 2017 .....	44
6.2.2 - Correlação entre as variáveis – Reflectância da banda B4 e Turbidez - RJL – 2016 e 2017 .....	46
6.2.3 - Classes de Intervalos de Reflectância para Inferência de Turbidez - RJL .....	48
6.2.4 - Validação do Método de Inferência de Turbidez por Imagem Landsat-8/OLI - RJL .....	49
6.3 - USO E COBERTURA DA TERRA – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE X INFERÊNCIA DE TURBIDEZ POR IMAGEM LANDSAT-8 – RJL.....	51
6.3.1 - Uso e Cobertura da Terra na BHRJL .....	51
6.3.2 - Uso e Cobertura da Terra na BHRJL X Inferência de Turbidez por Imagem Landsat-8/OLI no RJL .....	52
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre as bandas espectrais OLI com bandas ETM + do Landsat 7. ...	22
Quadro 2 - Características gerais do Reservatório João Leite.....	31
Quadro 3 - Características gerais da barragem do ribeirão João Leite.....	31
Quadro 4 - Métodos e equipamentos utilizados para obtenção dos parâmetros limnológicos – Saneamento de Goiás S/A. ....	35
Quadro 5 - Pontos de coleta – monitoramento Saneago – RJL.....	36
Quadro 6 - Descrição dos dados dos sensores espectrais e sua relação com os dados limnológicos. ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e cobertura da terra no bioma Cerrado – 2013 – Projeto TerraClass Cerrado.	28
Tabela 2 - Uso e cobertura da terra na BHRJL – 2013 – Projeto TerraClass Cerrado.....	29
Tabela 3 – Dados Estatísticos para a concentração de clorofila <i>a</i> , média mensal, no ano de 2016. .....	40
Tabela 4 - Dados Estatísticos para os índices de turbidez no RJL, média mensal, ano de 2016. .....	42
Tabela 5 - Cenas Landsat-8/OLI e datas da passagem do satélite e das coletas de dados limnológicos in situ – RJL – 2016 e 2017.....	44
Tabela 6 -Estatística descritiva para série total de dados de concentração de clorofila <i>a</i> nos meses estudados em 2016 e 2017.....	45
Tabela 7 - Estatística descritiva para concentração de clorofila <i>a</i> - detalhes de 2016 e de 2017. .....	45
Tabela 8 - Estatística descritiva - série de dados para os índices de turbidez - NTU nos meses estudados em 2016 e 2017.....	47
Tabela 9 -Estatística descritiva para série de dados de índices de turbidez nos meses estudados em 2016 e 2017. ....	47
Tabela 10 -Classes para reflectância e inferência para turbidez até 20UNT – RJL.....	49
Tabela 11 - Média de turbidez (UNT) no RJL – Medidas laboratório Saneago. ....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cronologia de lançamento e fim de operação dos satélites Landsat.....	21
Figura 2 - Comportamento espectral da água clara (pura) em seus diferentes estados físicos.	23
Figura 3 - Porcentagem de reflectância de água clara e água com algas com base em medidas in situ feitas com espectrorradiômetro em (a) e porcentagem de reflectância de água com algas e com várias concentrações de sedimentos em suspensão em (b).....	24
Figura 4 - Variação da reflectância nas bandas 2, 3, 4 e 5 do sensor OLI em função das concentrações de clorofila-a. ....	25
Figura 5 - Medidas de reflectância espectral de água clara e de água com vários níveis de concentração de fitoplâncton, sedimentos em suspensão e matéria orgânica dissolvida. ....	26
Figura 6 - Medidas in situ de reflectância espectral de água clara e de água com vários níveis de concentração de sedimentos em suspensão de solo argiloso em (a) e siltoso em (b). ....	27
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo em relação ao Cerrado.....	27
Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.....	30
Figura 9 - Composição Colorida RGB: 431, 564 e 651 - imagens Landsat-08.....	32
Figura 10 - Reservatório João Leite – Pontos de coleta – Monitoramento Saneago.....	36
Figura 11 - (a) Perfil espectro/temporal - reflectância da B3 Landsat-8/OLI no RJL, 2016 e (b) o perfil limnológico/temporal para clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ). ....	40
Figura 12 - Precipitação pluviométrica média mensal acumulada no RJL - 2016.....	40
Figura 13 - (a) Perfil espectro/temporal - reflectância da B4 Landsat-8/OLI no RJL, 2016 e (b) perfil limnológico/temporal, turbidez (UNT), média mensal, no RJL, ano de 2016.....	42
Figura 14 - Correlação linear entre reflectância da B3 e clorofila a – RJL – 2016 e 2017 <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 15 - Correlação linear entre reflectância da B4 e turbidez – RJL – 2016 e 2017 .....	47
Figura 16 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – janeiro 2018.....	49
Figura 17 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – abril 2018. ....	50
Figura 18 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – maio 2018.....	50

Figura 19 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – junho 2018.....	51
Figura 20 - Uso e Cobertura da Terra – Bacia Hidrográfica Ribeirão João Leite.....	52
Figura 21 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de janeiro de 2018.....	53
Figura 22 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de abril de 2018. ....	53
Figura 23 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de maio de 2018.....	54
Figura 24 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de junho de 2018.....	54
Figura 25 – Unidades de Conservação na área da BHRJL: PEJoL e PEAMP.....	56

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
Bd	Banda
B	Banda
Bit	<i>Binary Digit</i> , dígito binário
BHRJL	Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COAs	Componentes Opticamente Ativo
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
DGI	Divisão de Geração de Imagens
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GO	Goiás
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inpe	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP/GO	Ministério Público do Estado de Goiás
MP/GO	Ministério Público do Estado de Goiás
NA	Nível da água
ND	Número Digital
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OLI	Operational Land Imager
P	Ponto
PCHs	Pequena Central Hidrelétrica
PEJoL	Parque Estadual do João Leite
PEAMP	Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco
PR	Paraná
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação

RJL	Reservatório João Leite
RGB	<u>Vermelho</u> ( <i>Red</i> ), o <u>Verde</u> ( <i>Green</i> ) e o <u>Azul</u> ( <i>Blue</i> )
RMG	Região Metropolitana de Goiânia
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento remoto
Saneago	Companhia de Saneamento de Goiás
Sieg	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidade de Conservação
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UTM	Universal Transversa de Mercator
TIRS	<i>Thermal Infravermelho Sensor</i>
USGS	<i>U.S. Ge Science for a changing world</i>
VMP	Valor Máximo Permitido
WGS	<i>World Geodetic System</i>

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com intuito de contribuir com a gestão dos recursos hídricos do reservatório João Leite - RJL por meio do monitoramento remoto da qualidade de suas águas, confrontando-se esses resultados com o uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite – BHRJL.

A barragem do Ribeirão João Leite construída em 2005, “[...] trata-se de uma grande estrutura, capaz de armazenar 130 bilhões de litros de água”, (BRASIL, 2017a), e tem como objetivo assegurar o fornecimento de água à Região Metropolitana de Goiânia – RMG<sup>1</sup>. Cunha e Borges (2015) informam que o fechamento da barragem do João Leite aconteceu em 11 de dezembro de 2009, quando se iniciou o represamento do ribeirão João Leite. “Em janeiro de 2011, o reservatório atingiu a cota de 749 m, ou seja, cota da soleira do vertedouro, e assim, foi concluída a parte de enchimento.” (GOIÁS, 2011).

Segundo Goiás (2018a), o RJL foi construído para uso exclusivo na contribuição ao abastecimento público à população da RMG. O monitoramento da qualidade das águas do RJL é realizado por coleta de amostras em sete pontos, sendo cinco internos ao reservatório e dois externos, um a montante e o outro a jusante no curso do ribeirão João Leite. As análises físico/química e bacteriológicas são realizadas no laboratório central da Companhia de Saneamento de Goiás.

Uma questão relevante, quando se trata de reservatórios para contribuição ao abastecimento público, é o monitoramento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica onde estes se localizam. “O processo de ocupação do território brasileiro é marcado, historicamente, pela intensa exploração de seus recursos naturais e supressão da vegetação nativa, voltadas para diversas atividades antrópicas, com destaque para a agropecuária e expansão da urbanização.” (PEREIRA *et al.*, p. 474, 2016). O histórico de ocupação da BHRJL, inserida totalmente no bioma Cerrado, não foge à realidade brasileira. De acordo com o Projeto TerraClass Cerrado “[...] o Cerrado ainda possui aproximadamente 54% de sua área com cobertura natural. A maior classe de uso antrópico do Cerrado é a pastagem plantada (29,46%) seguida pela agricultura anual (8,5%) e perene (3,1%).” (BRASIL, p. 40, 2015a). Já na BHRJL, adaptado do Projeto TerraClass Cerrado, a cobertura natural é de apenas 33,94% e o uso para pastagem e agricultura é de aproximadamente 56%. Ou seja, o percentual de vegetação

---

<sup>1</sup> Região Metropolitana de Goiânia (RMG). Disponível em: <http://fnembrasil.org/regiao-metropolitana-de-goiania-go/>. Acesso em: 17 jan. 2018.



nativa na BHRJL está em torno de 20% inferior ao do Cerrado nacional, o uso para agropecuária está superior em quase 15% ao uso para as mesmas classes na área total do Cerrado nacional.

A grande conversão da vegetação natural na BHRJL torna-se preocupante, considerando-se que o RJL faz parte do Sistema Mauro Borges que “[...] foi projetado para produzir seis mil litros de água por segundo, volume que deve garantir o abastecimento para toda a RMG até 2040, quando se estima que a população local chegará a cerca de três milhões de pessoas.” (GOIÁS, 2016a).

Diante do cenário descrito, propuseram-se neste trabalho, utilizar geotecnologias para auxiliar na gestão dos recursos hídricos do RJL, por meio de inferência da qualidade das suas águas por sensoriamento remoto, confrontando-se os resultados desta inferência com o uso e cobertura da terra na BHRJL. Para tanto, avaliaram-se o potencial das imagens Landsat-8/OLI - sensor *Operational Land Imager*, em detectar componentes opticamente ativos – COAs, no RJL. A partir dos resultados, desenvolveram-se parâmetros para inferência dos COAs no RJL por imagens Landsat-8/OLI. Por fim, analisaram-se as relações entre os modelos gerados para inferência dos COAs por imagens de satélite, com o uso e cobertura da terra na bacia mapeado pelo projeto TerraClass Cerrado, objetivando ampliar espacialmente o monitoramento do reservatório concomitante ao monitoramento do uso e cobertura da terra na BHRJL.

Cunha, Calijure e Lamparelli (2013) expõem que a qualidade da água de reservatórios é tradicionalmente monitorada e avaliada com base na coleta de dados limnológicos. Enquanto, Vilela (2010) elucida que, com os elevados custos financeiros para a realização de monitoramento dos reservatórios e as dificuldades de acesso a determinados locais, o monitoramento por sensoriamento remoto – SR, torna-se alternativa como ferramenta eficiente, de menor custo e maior acessibilidade.

Informações geradas a partir de imagens de satélite, tanto no monitoramento da qualidade das águas de reservatórios quanto no uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas têm tornado mais dinâmicos os processos de gestão dos usos dos recursos hídricos. Por meio da utilização combinada de geotecnologias como SR e SIGs, podemos capturar dados, e realizar processamentos e análises destes dados, obtendo-se informações relevantes para elaboração de cenários, planos entre outros na gestão de recursos hídricos.

## **2 – OBJETIVOS**

### **2.1- OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho foi o de utilizar geotecnologias para auxiliar na gestão dos recursos hídricos do reservatório João Leite, por meio de inferência de parâmetros de qualidade das suas águas por sensoriamento remoto, confrontando-se os resultados desta inferência, com o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o potencial das imagens orbitais do satélite Landsat 8-OLI em detectar componentes opticamente ativos (COAs) no reservatório João Leite (RJL).

- A partir dos resultados do item anterior, desenvolver parâmetros para inferência dos COAs no RJL por imagens Landsat 8-OLI, buscando promover o monitoramento contínuo de suas concentrações.

- Analisar as relações entre os modelos gerados para inferência dos parâmetros dos COAs por imagens Landsat 8-OLI, com os estudos do uso e cobertura da terra segundo Brasil (2015a), gerados pelo Projeto TerraClass Cerrado 2013, para maximizar o monitoramento do RJL.

### 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 - GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AOS RECURSOS HÍDRICOS

O termo geotecnologias foi definido com propriedade por Rosa em seu artigo: Geotecnologias na Geografia Aplicada, como sendo:

[...] o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia. (ROSA, ROBERTO, p.81, 2005).

Várias pesquisas referentes ao uso de geotecnologias na gestão de recursos hídricos são desenvolvidas em todo o mundo. Destaca-se no Brasil, trabalhos na avaliação do potencial de imagens Landsat para estimativas dos COAs em reservatórios, como os de Vilela (2010), de Castro; Pereira e Barros (2018); de Peixoto; Guasselle e Pereira Filho (2018), de Silva (2019), de Gross *et al.* (2019), entre outros. Sobral *et al.* (2017) desenvolveram uma proposta de integração entre quatro pilares: Sensoriamento remoto (SR), SIG, Resolução Conama nº 357/2005 e dados de campo. Em trabalhos referentes a correlações entre uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas e parâmetros de qualidade da água por SR, citam-se Pereira *et al.* (2016), que mapearam a cobertura e uso da terra na da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Paraná e concluíram que “Os piores índices de qualidade da água podem estar associados às áreas de uso e ocupação irregulares das APPs, onde a cobertura vegetal original foi substituída por outras classes. (PEREIRA *et al.*, p. 482, 2016).

Sobre uso de SR e SIG, no artigo sobre Geotecnologias na gestão de reservatórios, os autores assinalam o seguinte:

A combinação de SR como fonte de informação e SIG como uma ferramenta analítica permite aos gerenciadores capturar e atualizar todas as informações relevantes (por exemplo, parâmetros de qualidade da água), elaborar planos, simular/implementar, comparar, visualizar e avaliar os resultados a partir da simulação de vários cenários de gestão. (SOBRAL *et al.*, P. 845, 2017).

No presente trabalho, propôs-se a utilização de geotecnologias no apoio a gestão de recursos hídricos, fazendo-se a integração do monitoramento da qualidade das águas do RJL por SR ao uso e cobertura da terra na BHRJL. As principais geotecnologias aplicadas neste

trabalho foram o sensoriamento remoto orbital, utilizando-se imagens do satélite Landsat-8, sensor OLI e estas, processadas por meio do SIG QGIS<sup>2</sup> 2.18.16.

### 3.1.1 - Sensoriamento Remoto - Satélite Landsat-8/OLI

Na obra de Novo, Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações, a autora apresenta uma definição bastante completa para sensoriamento remoto:

[...] como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. (NOVO, E. M., p.28, 2010).

“Os sensores são sistemas responsáveis pela conversão da energia proveniente dos objetos em um registro na forma de imagem [...] que permita associar a distribuição da radiação, emitância ou retroespalhamento com suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas”. (NOVO, E. M., p.75, 2010).

Os dados de SR, segundo Sausen (2019), podem ser coletados em diferentes níveis, podendo ser terrestre, aéreo e orbital. Terrestre, utilizando o sensor (radiômetros, fotômetros, GPS etc.) podendo ser no campo ou no laboratório; aéreo utilizando o sensor numa plataforma aérea: avião, balões etc.; e orbital utilizando o sensor a bordo de satélites.

Na utilização de dados obtidos por SR, faz-se necessário uma avaliação das vantagens e desvantagens na escolha de um sensor. Ou seja, alguns características como (frequência da revisita do satélite, o ângulo de visada, as resoluções espacial, espectral e radiométrica)<sup>3</sup> e os custos, devem ser considerados para que se possamos atingir os objetivos propostos. Neste estudo, optamos-se por imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, por atenderem aos parâmetros citados.

---

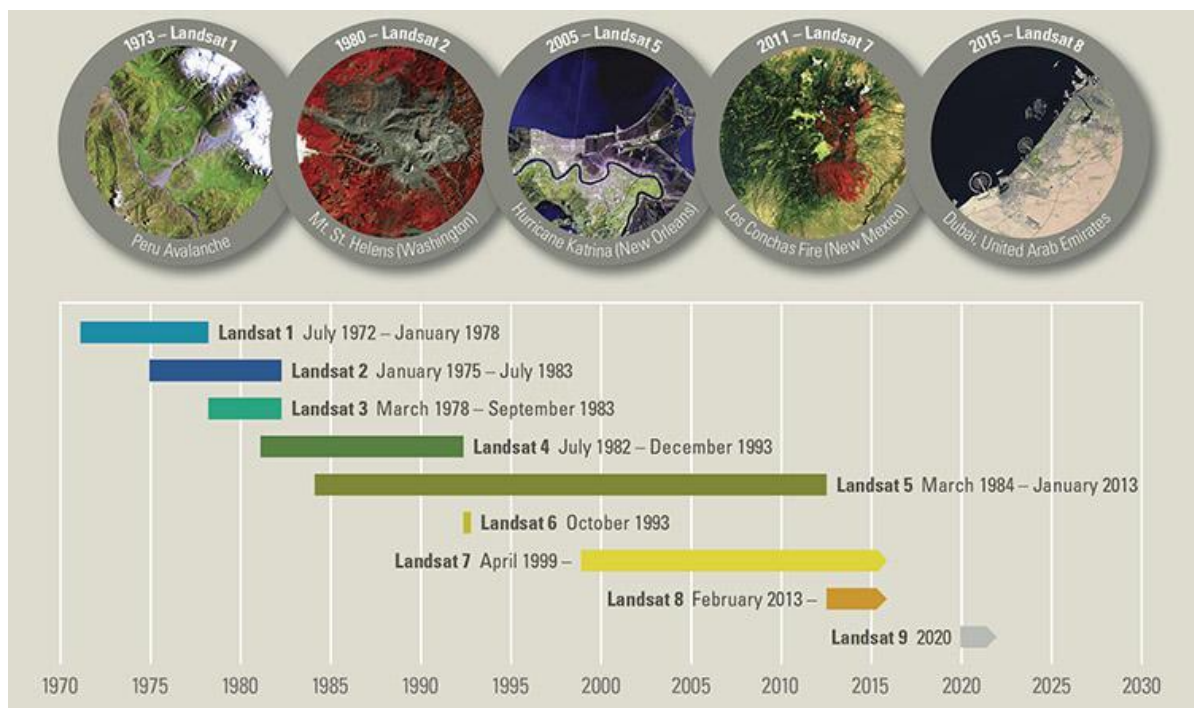
<sup>2</sup> Site oficial do Qgis - <https://qgis.org/en/site/>

<sup>3</sup> Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 03 mar 2019.

Segundo USGS (2019), desde 1972 os satélites Landsat adquiriram continuamente imagens espaciais da superfície terrestre da Terra, fornecendo dados que servem como recursos valiosos para a pesquisa sobre uso da terra/mudança de terra.

O histórico da missão Landsat, lançamento e fim de operação, desde o Landsat 1, lançado em 1972 até o Landsat 8, colocado em operação em 2013 e o futuro Landsat 9 que está sendo desenvolvido para uma data de lançamento em dezembro de 2020, são representados na Figura 1.

Figura 1 - Cronologia de lançamento e fim de operação dos satélites Landsat.



Fonte: (USGS, 2019).

O Landsat 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013, da Base da Força Aérea de Vandenberg, na Califórnia, “[...] consiste em dois instrumentos científicos - o *Operational Land Imager (OLI)* e o *Thermal Infra-red Sensor (TIRS)*”, (MASEK, 2013).

De acordo com Brasil (2019a) o sensor OLI, Landsat 8, dará sequência aos produtos gerados pelos sensores TM e ETM+, Landsat 5 e 7. Destaca-se que o Landsat 5 foi concebido para uma vida útil de 5 anos, mas resistiu por quase 30 anos.

No quadro 1, representa-se os avanços tecnológicos que foram introduzidos no sensor OLI, em comparação ao sensor ETM + do Landsat 7.

Quadro 1 - Comparação entre as bandas espectrais OLI com bandas ETM + do Landsat 7.

Landsat-7 ETM+ Bands ( $\mu\text{m}$ )			Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Fonte: (USGS, 2019).

### 3.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

“Os principais fatores que afetam a qualidade da água em corpos d'água são sedimentos suspensos (turbidez), algas (clorofilas, carotêndes), químicos (nutrientes, pesticidas, metais), matéria orgânica dissolvida (DOM), [...]” (RITCHIE; ZIMBA; EVERITT, p. 695, 2003). E os autores acrescentam que as técnicas de SR a serem aplicadas na avaliação da qualidade da água “dependem da capacidade de medir essas mudanças na assinatura espectral, retroespalhamento da água e relacionar essas medidas por modelos empíricos ou analíticos para um parâmetro de qualidade da água.”

Vilela (2010) propôs uma metodologia para monitorar por SR, por meio de imagens Landsat-5 e Landsat-7, o reservatório São Simão, no baixo curso do rio Paranaíba. O autor concluiu que “os resultados revelam que a metodologia proposta constitui uma ferramenta interessante e de baixo custo para monitorar variações espaciais e temporais de transparência, concentração de clorofila e turbidez em reservatórios”. (VILELA, p. vii, 2010).

Castro, Pereira e Barros (2018) avaliaram a contribuição das imagens Landsat-8/OLI na detecção de COAs em ambientes lóticos e semilóticos, e obtiveram resultados que apontam um potencial para estudos que utilizem imagens orbitais para detecção de clorofila *a*, total de sólidos em suspensão e turbidez.

Segundo trecho do texto: Sistema de Aquisição de Dados na Área de Recursos Hídricos, os autores afirmam que “[...] a geração de informações a partir de imagens de satélite

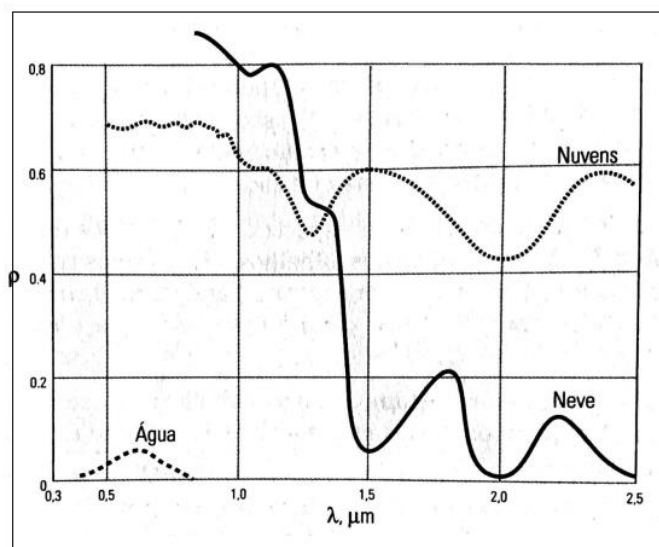
tem tornado mais dinâmicos os processos de administração e planejamento do uso dos recursos hídricos”, embora, segundo os mesmos autores, “o monitoramento de fenômenos associados à gestão da água no Brasil tem sido concentrado basicamente na precipitação, [...]”. (MENDES e CIRILO, p. 286 e 287, 2013). Embora existam no Brasil várias pesquisas acadêmicas relacionadas a inferência de parâmetros da qualidade da água por SR, ainda não é prática no país a aplicação deste procedimento pelos órgãos de gestão dos recursos hídricos e pelas empresas de abastecimento público de água deste método de monitoramento.

### 3.2.1 – Comportamento Espectral da Água

Novo, em seu livro, Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações, afirma que “para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoramento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.” (NOVO, E. M., p.241, 2010).

De acordo com Bowker *et al.* (1985) a água pura, sem constituintes suspensos ou dissolvidos, apresenta baixa reflectância até mesmo na região visível do espectro, isto no estado líquido. A água é encontrada na natureza em três estados físicos: líquido, sólido e gasoso, em cada uma destas formas apresenta comportamento espectral diferenciado. Observa-se o comportamento espectral da água pura no gráfico, Figura 2, nos seus diferentes estados físicos. Assinala-se que o estado líquido refere-se a água propriamente dita, o estado sólido e o gasoso, diz respeito respectivamente a neve e nuvens.

Figura 2 - Comportamento espectral da água clara (pura) em seus diferentes estados físicos.



Fonte: Adaptado de Bowker *et al.* (1985).

Na análise da Figura 02, concluíram-se que no estudo do comportamento espectral da água, a questão de seu estado físico é bastante relevante, dado as diferenças nos índices de reflectância para cada estado físico.

No presente estudo consideram-se o comportamento espectral da água no RJL, caracterizado pelo estado líquido.

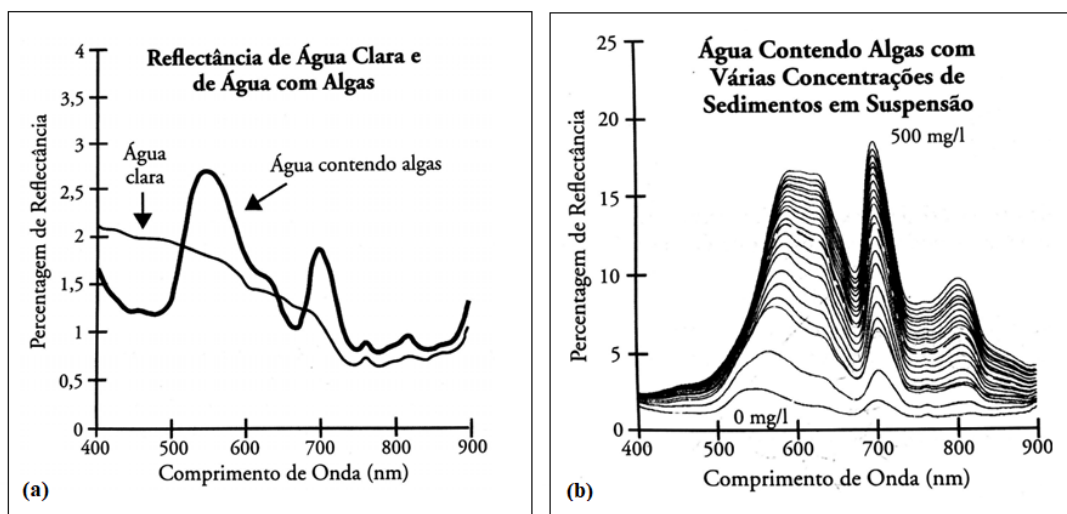
### 3.2.1.1 – Resposta espectral da água em função dos componentes opticamente ativos- COAs

Os constituintes que afetam o comportamento espectral da água, chamados de COAs, podem ser formados por partículas em suspensão orgânicas e inorgânicas; substâncias orgânicas dissolvidas e; organismos vivos como fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton. (NOVO, E. M., 2010).

Os parâmetros estudados nesta pesquisa foram os COAs: clorofila *a* e turbidez, e a análise de sua correlação com a reflectância respectivamente das bandas Bd 3 e Bd 4, Landsat-8/OLI, no RJL.

Nos gráficos de Jensen (2009), Figura 3a e 3b, estão ilustradas a reflectância de água clara e água com algas com base em medidas *in situ* feitas com espectrorradiômetro em (3a) e a porcentagem de reflectância de água com algas e com várias concentrações de sedimentos em suspensão em (3b).

Figura 3 - Porcentagem de reflectância de água clara e água com algas com base em medidas *in situ* feitas com espectrorradiômetro em (a) e porcentagem de reflectância de água com algas e com várias concentrações de sedimentos em suspensão em (b).

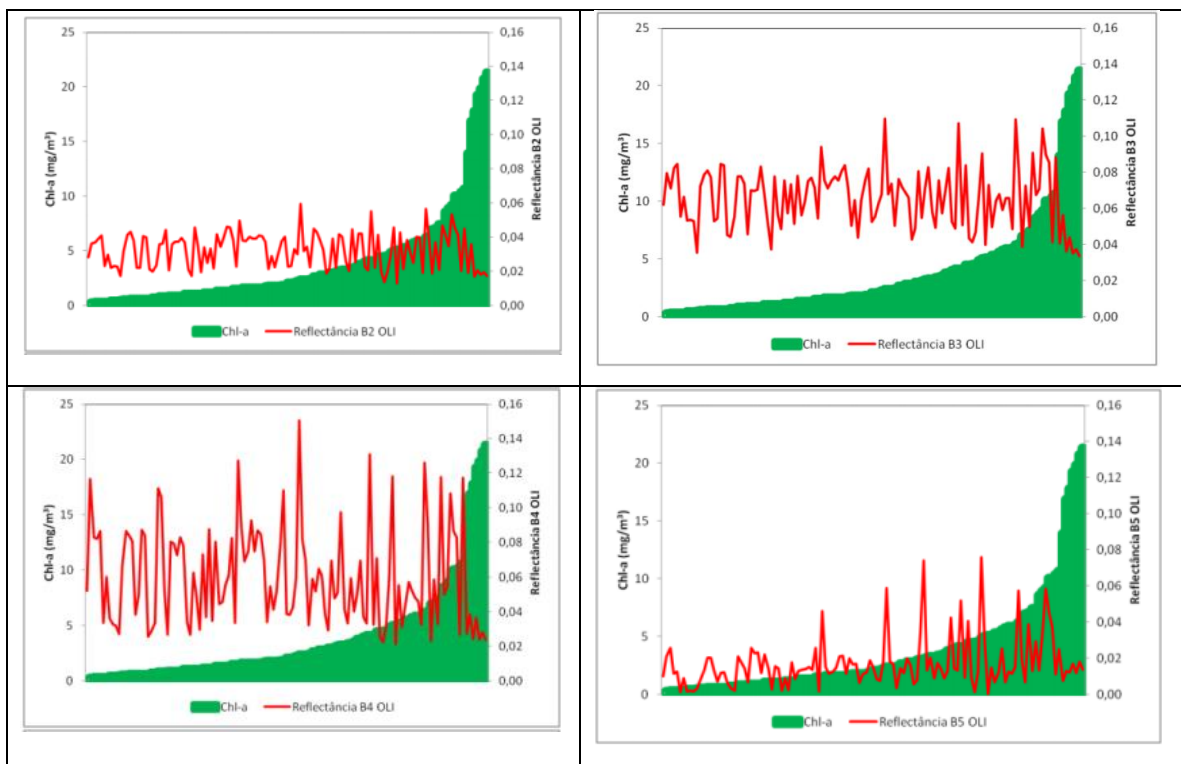


Fonte: Adaptado de (Jensen, 2009, p. 419).



Gross *et. al* (2019) verificaram a variação da reflectância de cada banda do sensor OLI em função da variação das concentrações de clorofila *a* no reservatório de Itaipu, numa área referente à entrada das águas do rio São Francisco Verdadeiro no Estado do Paraná. Os autores concluíram que quando as concentrações de clorofila *a* são baixas, ou seja, “até cerca de 10 mg/m<sup>3</sup> as variações da reflectância são totalmente aleatórias não demonstrando relação de causa e efeito com as concentrações de clorofila *a*” e quando estas concentrações são superiores a 20 mg/m<sup>3</sup>, “a clorofila *a* domina o coeficiente de atenuação da radiação na coluna de água [...]”, (GROSS *et. al*, p. 3237, 2019), representados na Figura 4.

Figura 4 - Variação da reflectância nas bandas 2, 3, 4 e 5 do sensor OLI em função das concentrações de clorofila *a*.



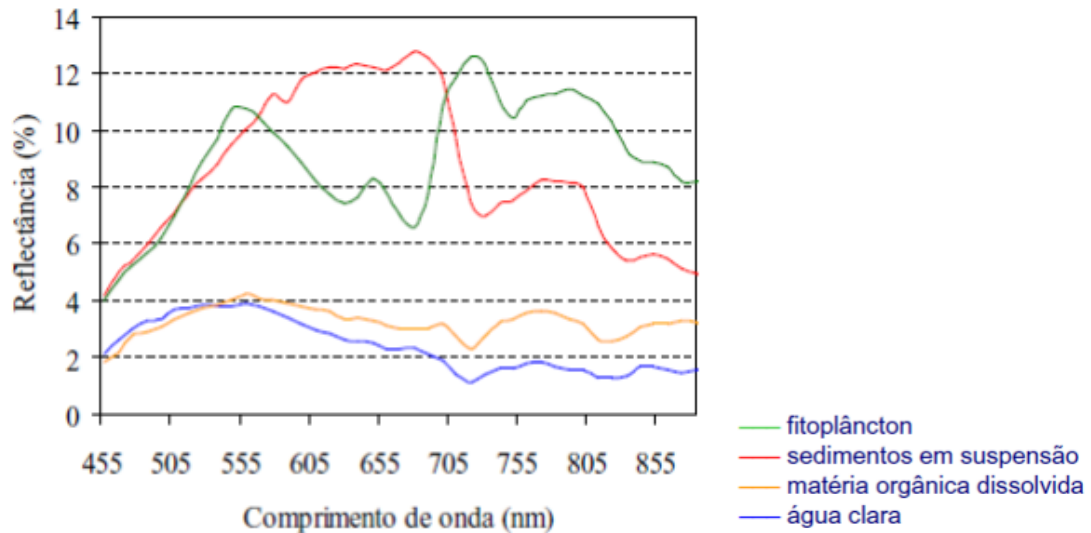
Fonte: Adaptado de (GROSS *et al.* , p. 3238, 2019).

Pela análise da Figura 4, os autores concluíram ainda que o coeficiente de correlação mais significativo entre as variáveis se verificou na reflectância da banda B3, sensor OLI.

De acordo com Jensen (2009), um dos principais interesses do uso do sensoriamento remoto em ambientes aquáticos é verificar a variação espacial e temporal da composição da água, possibilitando investigar a origem e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão ou dissolvidas na água. Na Figura 5, gráfico de Rudorff, Novo e Galvão (2006),

pode-se verificar o comportamento espectral diferenciado dos alvos fitoplâncton, sedimentos em suspensão, matéria orgânica dissolvida e água clara.

Figura 5 - Medidas de reflectância espectral de água clara e de água com vários níveis de concentração de fitoplâncton, sedimentos em suspensão e matéria orgânica dissolvida.



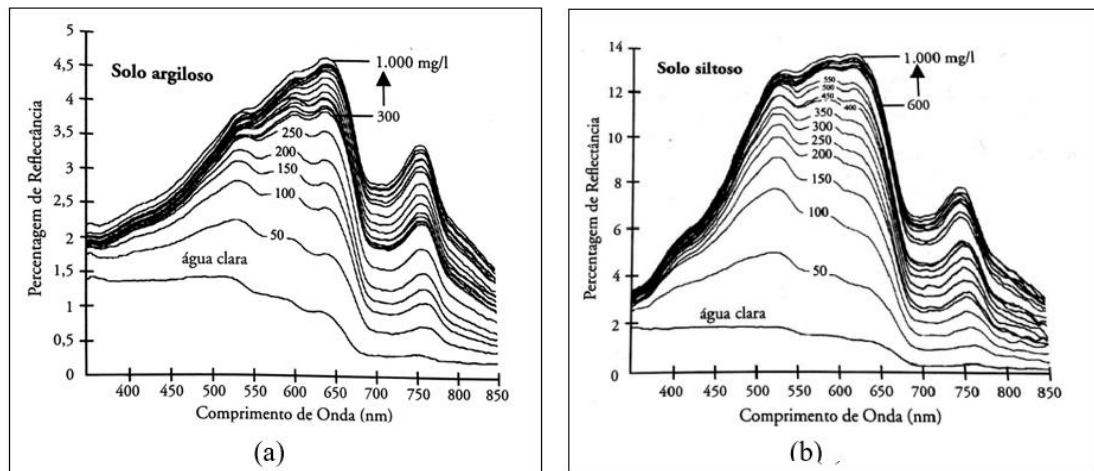
Fonte: Adaptado Rudorff, Novo e Galvão (2006).

Jensen em seu livro: Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres coloca que “[...] a erosão do solo em uma bacia hidrográfica lança uma carga de sedimentos nos corpos d’água, que resulta em assoreamentos mais rápidos dos principais rios, reservatórios, [...]. Isso pode reduzir a vida útil dos reservatórios.” E o SR pode ser usado para auxiliar no monitoramento dessas concentrações de sedimentos em suspensão nos reservatórios. O mesmo autor explica que, para isso, “geralmente requer a obtenção de medidas *in situ* de concentração de sedimentos em suspensão e a correlação dessas medidas com dados de sensoriamento remoto para obter uma relação quantitativa.” (JENSEN, p. 417, 2009).

Segundo Jensen (2009) a reflectância espectral dos sedimentos em suspensão na água (turbidez) é uma função da quantidade e das características (tamanho das partículas, absorção) do material na água. A turbidez tem correlação diretamente proporcional à reflectância, portanto, quando ocorrer um aumento nos índices de turbidez, ocorrerá aumento nos níveis de reflectância.

Nos gráficos de Jensen (2009), representados na Figura 6, estão ilustradas a reflectância da água clara (pura) e da água com concentrações variáveis de sedimentos em suspensão oriundos de solos argiloso em (6a) e siltoso em (6b).

Figura 6 - Medidas *in situ* de reflectância espectral de água clara e de água com vários níveis de concentração de sedimentos em suspensão de solo argiloso em (a) e siltoso em (b).



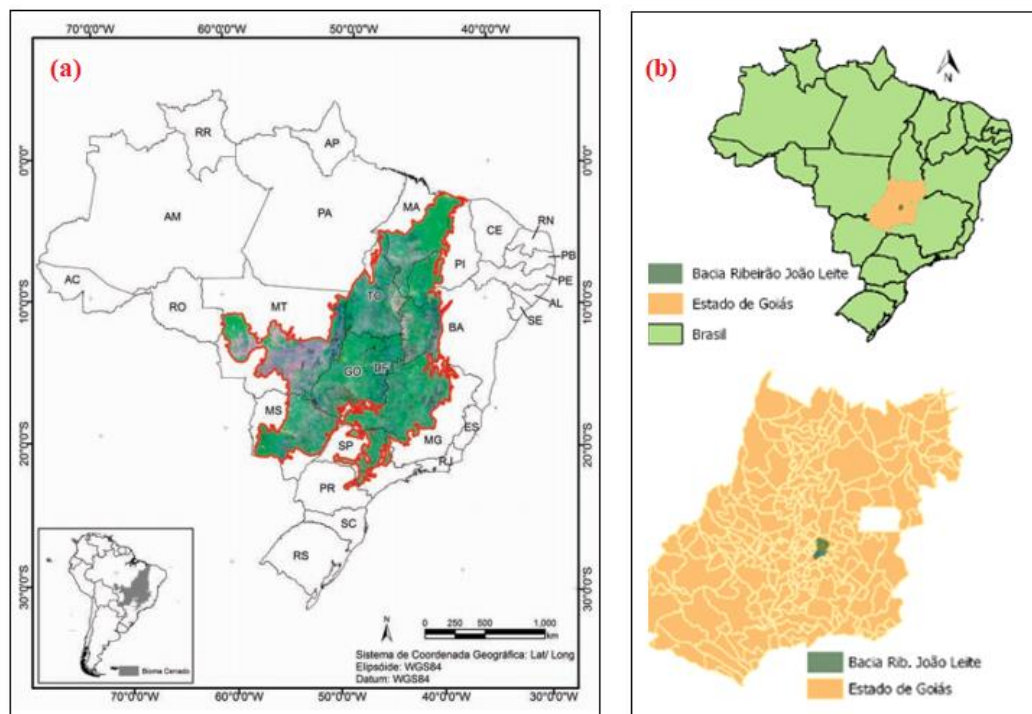
Fonte: Adaptado de Jesen (p. 419, 2009).

### 3.3 - USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO JOÃO LEITE

#### 3.3.1 - A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite no Bioma Cerrado

Observa-se na Figura 7 (a), Mapa de Biomas e de Vegetação do Brasil, destacando-se o Cerrado e Figura 7 (b), a localização da BHRJL, totalmente inserida no Bioma Cerrado.

Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo em relação ao Cerrado.



Fonte: BRASIL (2004). GOIÁS (2018b). Organizado pela autora.

“O Bioma Cerrado ocupa a totalidade do Distrito Federal, mais da metade dos estados de Goiás (97%), e outros Estados como Maranhão (65%), Mato Grosso do Sul (61%), Minas Gerais (57%) e Tocantins (91%), além de porções de outros seis estados” (BRASIL, 2004).

### 3.3.2 - Uso e cobertura da terra na BHRJL em relação ao Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra Projeto TerraClass Cerrado - 2013

O Projeto TerraClass Cerrado refere-se ao mapeamento do uso e cobertura da terra nas áreas desmatadas no Bioma Cerrado no ano de 2013 com metodologia derivada do projeto TerraClass Amazônia<sup>4</sup>. O resultado dos estudos do Projeto TerraClass Cerrado para o ano de 2013 está representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Uso e cobertura da terra no bioma Cerrado – 2013 – Projeto TerraClass Cerrado.

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Natural Florestal	418.789	20,54%
Natural Não Florestal	692.301	33,95%
Natural não vegetado	2.609	0,13%
Pastagem	600.832	29,46%
Agricultura anual e perene	238.518	11,69%
Silvicultura	30.525	1,50%
Solo exposto	3.621	0,18%
Água	15.056	0,74%
Não observado	25.549	1,25%
Urbano e Mosaico de ocupações	11.123	0,54%
Outros	73	0,00%
Mineração	247	0,01%
<b>Total</b>	<b>2.039.243</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de BRASIL, (2015a).

<sup>4</sup> <https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3844/terraclass-amazonia---uso-e-cobertura-da-terra-na-amazonia-legal>

No primeiro semestre de 2009, peritos do Ministério Público do Estado de Goiás (MP/GO) realizaram vistoria ambiental na BHRJL detectando, de acordo com Goiás (2009), uma série de irregularidades, dentre elas: áreas de preservação permanente (APP) fragmentadas e descaracterizadas, desmatamento da vegetação nativa, extração de areia e argila em APP, lançamento de esgoto doméstico e agroindustrial nos cursos d'água, uso indiscriminado de fertilizantes e defensivos agrícolas, lixões, ausência de práticas de conservação do solo e erosões, uso da água sem outorga.

O resultado do levantamento das condições ambientais na BHRJL, realizado pelo MP/GO em 2009, concernentes ao desmatamento da vegetação natural foi confirmado com os estudos do Projeto TerraClass Cerrado, Tabela 2, adaptada de Brasil, (p. 40, 2013a).

Tabela 2 - Uso e cobertura da terra na BHRJL – 2013 – Projeto TerraClass Cerrado

<b>Classes</b>	<b>%</b>
Natural Florestal, Não florestal e não vegetado	33,04%
Pastagem	56,06%
Agricultura anual e perene	1,96%
Silvicultura	2,05%
Solo exposto	0,25%
Água	1,73%
Não observado	0,15%
Urbano e Mosaico de ocupações	4,74%
Mineração	0,02%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de Brasil (p.40, 2015a).

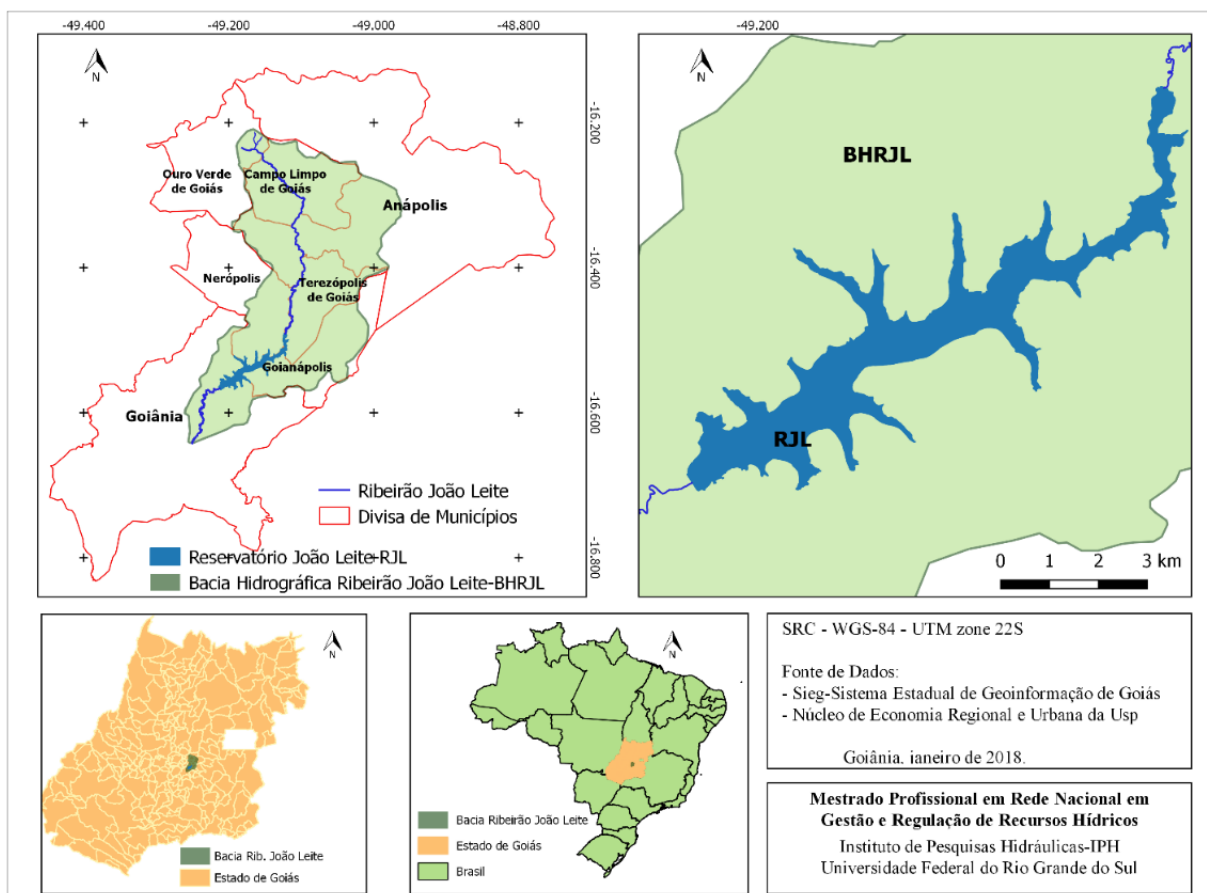
Destacam-se na área da BHRJL, duas Unidades de Conservação (UC) que circundam o RJL: o Parque Estadual do João Leite (PEJoL) e o Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco – (PEAMP). Segundo, Goiás (2017a), o PEJoL é uma UC de proteção integral, com área de 2.832 ha e conta com 68,16% de cobertura natural (Cerrado); 29,39% pastagem (antes da criação do parque); e 2,45% não identificado. O PEAMP é uma UC com área de 3.183 ha e conta com 93,87% de cobertura natural (Cerrado); 6,13% de pastagem.

#### 4 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa contempla o reservatório João Leite-RJL e a bacia hidrográfica do ribeirão João Leite-BHRJL, conforme Figura 8.

A primeira parte do trabalho tem como foco o monitoramento remoto do RJL e a segunda parte a relação entre a qualidade das águas do RJL (inferência por imagens de satélite) com o uso e cobertura da terra na BHRJL.

Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: USP (2018). Paraná (2018). Goiás (2018b). Organizado pela autora (2018).

O ribeirão João Leite é um tributário do Rio Meia Ponte pela margem esquerda. Segundo Santos, et al. (2010), este ribeirão é o principal formador do reservatório João Leite, nascendo na Serra do Sapato Arcado, município de Ouro Verde, e seus maiores tributários são o córrego das Pedras, a noroeste, e o córrego Jurubatuba, a nordeste, que se juntam para formar o curso principal.

A BHRJL está localizada entre as cidades de Goiânia e Anápolis, no eixo de desenvolvimento de Brasília-Goiânia e sua área abrange o território dos municípios de Goiânia,

Anápolis, Nerópolis, Ouro Verde de Goiás, Goianápolis, Campo Limpo de Goiás e Terezópolis de Goiás. Compreende uma área de 778,94 km<sup>2</sup> e 61,20 km de extensão de curso hídrico e localiza-se entre os paralelos 16°13' e 16°39' sul e os meridianos 48°57' e 49°11' oeste, sendo um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Meia Ponte, Goiás (2006).

A barragem do ribeirão João Leite, foi construída em 2005, com objetivo de assegurar o fornecimento de água a população da RGM, que conta com cerca de dois milhões de habitantes, Brasil (2017a).

#### 4.1 - CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO JOÃO LEITE

As características gerais do Reservatório João Leite e da barragem do Reservatório João Leite estão sintetizadas nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Características gerais do Reservatório João Leite.

<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>
Área inundada (NA. máximo normal)	1.040 hm <sup>2</sup>
Volume total de acumulação	129 hm <sup>3</sup>
Volume útil	117 hm <sup>3</sup>
Volume morto	12 hm <sup>3</sup>
Vazão média regular	6,23 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Vazão média para abastecimento	5,33 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Vazão mínima (vazão ecológica)	0,9 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Largura média	800 m

Fonte: Adaptado de Gusmão e Valsecchi (2004).

Quadro 3 - Características gerais da barragem do ribeirão João Leite.

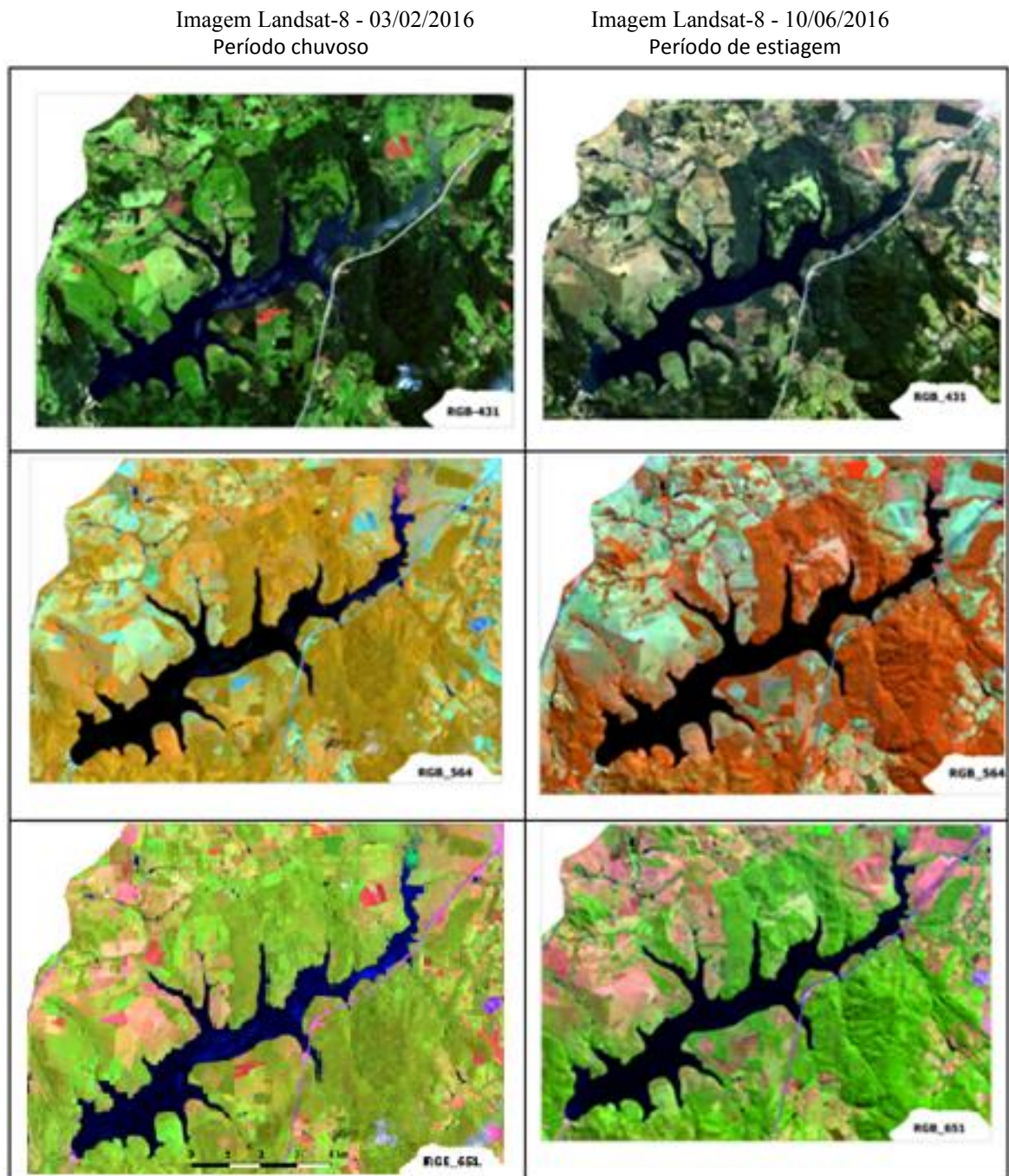
<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>
Cota da crista da barragem	752,5 m
Comprimento da crista	451 m
Cota da soleira do vertedor	749,0 m
Largura do vertedor	50 m
Vertedor	Livre na parte central
Tomadas de água	Tipo Seletiva

Fonte: Adaptado de Adaptado de Gusmão e Valsecchi (2004).

#### 4.2 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para compreender a dinâmica do RJL e auxiliar na delimitação do mesmo, organizaram-se composições coloridas de imagens Landsat-8 para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente em 03/02/2016 e em 10/06/2016, Figura 9. A composição colorida RGB-651 foi a que apresentou melhor definição na morfologia do reservatório.

Figura 9 - Composição Colorida RGB: 431, 564 e 651 - imagens Landsat-08



Fonte: Brasil (2018). Organizado pela autora. Janeiro/2018.



Para a delimitação da BHRJL utilizaram-se como máscara o *shapefile* desta bacia ottocodificada<sup>5</sup>, disponível no site do Sistema Estadual de Geoinformação de GO, Goiás (2018b).

A opção pelo *shapefile* da BHJL ottocodificada se justifica em função da Resolução nº 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Brasil (2002), e segundo Brasil (p. 7 e 8, 2015-b) que “adota a codificação de bacias de Otto Pfafstetter como a codificação de referência utilizada na Política Nacional de Recursos Hídricos”.

---

<sup>5</sup> Divisão Hidrográfica por Ottocodificação. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/1-II-text.pdf>.

## 5 - MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 – DADOS UTILIZADOS

#### 5.1.1 - Dados Espectrais

Os dados espectrais utilizados nesta pesquisa referem-se às imagens Landsat-8/OLI, órbita/ponto 222/71, relativas aos anos de 2016, 2017 e 2018, disponíveis gratuitamente no catálogo de imagens do Inpe, de acordo com Brasil (2019).

Inicialmente baixaram-se as imagens e realizaram-se o pré-tratamento no *software* QGIS 2.18.16. Em função das imagens disponibilizadas pelo Inpe estarem referenciadas no hemisfério norte, realizaram-se a reprojeção para Projeção/Datum WGS 1984 UTM Zone 22 S.

Para a extração dos valores espectrais em reflectância, fizeram-se a correção radiométrica utilizando-se o método empírico de acordo com Chavez (1996, apud SANCHES *et al.* 2011. p. 7565) denominado DOS1. Utilizaram-se para tanto, as opções de pré-processamento do SCP que permitem a conversão automática de radiância para reflectância e a correção atmosférica (DOS1). O SPC “[...] é um *plugin* gratuito de código aberto para QGIS que permite a classificação semiautomática (também conhecida como classificação supervisionada) de sensoriamento remoto imagens” (CONGEDO, p.3, 2016). A correção atmosférica objetiva a conversão dos ND’s (números digitais) ou valores de brilho da imagem original em reflectância aparente.

#### 5.1.2 - Dados Limnológicos

Os dados limnológicos utilizados nesta pesquisa são referentes às informações dos relatórios físico-químico e hidrobiológico do RJL disponibilizados pela Saneago. Destes relatórios, selecionaram-se os resultados das análises relativas à clorofila *a* e turbidez nos pontos de coleta internos ao reservatório para o período em estudo.

Segundo Goiás (2016, 2017 e 2018), a determinação da concentração de clorofila *a* e feofitina *a*, é feita pelo método espectrofotométrico monocromático<sup>6</sup>; conforme Cetesb (2014) a determinação de turbidez é feita pelo método nefelométrico conforme método 2130 B do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* - SMEWW<sup>7</sup>, Quadro 4.

---

<sup>6</sup> CETESB (2014). NORMA TÉCNICA L5.306 3ª Edição Fev/2014 14páginas.

<sup>7</sup> Relatório Ensaio. Análise Físico-Química e Exame Bacteriológico de Água Bruta. Superfície, Goiás (2016, 2017 e 2018)

Quadro 4 - Métodos e equipamentos utilizados para obtenção dos parâmetros limnológicos – Saneamento de Goiás S/A.

<b>Parâmetro</b>	<b>REF. APHA, AWWA, WEF (2012)</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento</b>
Clorofila a (µg/L)	L5.303	Espectrofotométrico monocromático	Sonda multiparamétrica
Turbidez (UNT)	SMEWW 2130 B	Nefelométrico ( <i>in situ</i> )	

Fonte: Relatórios físico-químico e bacteriológicos Saneago. Goiás (2016, 2107 e 2018). Adaptado pela autora.

### 5.1.3 – Dados da Precipitação Pluviométrica

“Os dados pluviométricos foram coletados por meio de um pluviômetro tipo Ville de Paris, que é um modelo de uso tradicional no Brasil, instalado em local aberto em área próxima ao barramento” do RJL. (GOIÁS, p. 91, 2017b).

### 5.1.4 - Pontos Amostrais

Os pontos amostrais desta pesquisa correspondem aos pontos do monitoramento no RJL realizado sistematicamente pela Saneago no período de 2016 a 2018. As características e localização dos pontos amostrais no RJL são representados no Quadro 5. De acordo com (Goiás (2017b), são sete os pontos de coleta para o monitoramento do RJL, sendo cinco pontos internos e dois pontos externos ao reservatório, Figura 10. Os pontos externos localizam-se no curso do ribeirão João Leite, respectivamente a montante do reservatório e a jusante da barragem. Nos pontos P24, P30 e P36 as amostras destinadas à caracterização físico-química são coletadas em três profundidades: superfície, meio e fundo. Nos pontos P38 e P40 a coleta é realizada na superfície e fundo. Para as análises hidrológicas, as amostras são coletadas na superfície e profundidade da zona eufótica, nos pontos internos ao reservatório. A profundidade da zona eufótica é a “[...] profundidade determinada pela transparência obtida por disco de Secchi multiplicada por três.” A periodicidade das análises físico-química e hidrobiológicas é quinzenal. (GOIÁS, p. 6, 2018a).

Quadro 5 - Pontos de coleta – monitoramento Saneago – RJL.

Ponto de Coleta	Coordenadas UTM – E -N		Característica do Ambiente
	E	N	
P3 – Jusante da Barragem	690390	8167437	Lótico
P24 – Paredão da Barragem	690700	8167711	Lêntico
P30 – Eixo Córrego Bandeira	695181	8170638	Lêntico
P36 – Eixo Córrego Barreiro	697643	8172317	Lêntico
P38 – Eixo Paralelo Córrego Grama	700331	8173370	Lêntico
P40 – Foz Ribeirão João Leite	700316	8175104	Lótico/Lêntico
P8 – Antiga estrada para Nerópolis	701523	8177751	Lótico

Fonte: Adaptado de Goiás (2017b). Organizado pela autora.

Figura 10 - Reservatório João Leite – Pontos de coleta – Monitoramento Saneago



Fonte: RGB-357. Imagens: Inpe. Brasil (2018b). Pontos de amostragem Goiás (2018b). Organizado pela autora.

Os dados limnológicos utilizados neste trabalho, referentes às análises físico-química e hidrobiológicas, são relativos aos cinco pontos internos ao RJL (P24, P30, P36, P38 e P40) com resultados na superfície.

## 5.2 – COMPORTAMENTO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL

Para compreender a dinâmica dos dados espectrais (reflectância das bandas B3 e B4) e limnológicos (clorofila *a* e turbidez) no RJL, num período que contemplasse as estações seca (estiagem) e chuvosa, realizaram-se a análise do comportamento espectro/temporal e limnológico/temporal e fizeram-se a comparação com a precipitação média mensal, para o período de janeiro a dezembro de 2016.

Analisaram-se os resultados, comparando-os ao valor máximo permitido (VMP) para água doce Classe 2, segundo a Resolução do Conama 357/2005, Brasil (2005). A partir destes perfis, definiram-se os critérios para seleção das variáveis a fim de desenvolver as correlações para o período de 2016 e 2017.

## 5.3 - CORRELAÇÃO ENTRE DADOS ESPECTRAIS E DADOS LIMNOLÓGICOS

No Quadro 6 são descritos os dados dos sensores espectrais e respectivos dados limnológicos desta pesquisa.

Quadro 6 - Descrição dos dados dos sensores espectrais e sua relação com os dados limnológicos.

<b>Sensor</b>	<b>Banda</b>	<b>Intervalo Espectral (nm)</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Resolução Radiométrica</b>	<b>Parâmetro de Qualidade da Água</b>
OLI	Band 3	0.53 – 0.59	30m	16 bits	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
	Band 4	0.64 – 0.674			Turbidez (UNT)

Fonte: Dados de URGs, (2019) e Goiás (2018a). Organizado pela autora.

Para determinar a correlação entre os dados espectrais e os dados limnológicos selecionaram-se os pares de variáveis com datas coincidentes ou mais próximas possíveis, com uma diferença máxima de sete dias entre as revisitas do satélite Landsat-8/OLI e as datas de coletas das amostras no RJL.

Organizaram-se diagramas de dispersão, linhas de tendência e o coeficiente de determinação  $R^2$ . Em seguida, foi realizada a análise dos dados da regressão, observando-se o resultado de R-quadrado ajustado e o valor-p, para um o nível de confiança de 95%. Com o aplicativo Excel, executaram-se a função previsão linear para o cálculo dos valores das variáveis não conhecidas, utilizando-se dos valores existentes que apresentaram resultados significativos na correlação linear.

Considerando-se a forte correlação entre as variáveis reflectância da banda B4 e turbidez em UNT e o limite baixo para índices de turbidez nos pontos de coleta internos ao RJL no período de 2016 e 2017, estimaram-se os valores para as variáveis até o limite de 20 UNT para turbidez.

Com os resultados significativos (correlação forte) na correlação e a previsão linear entre as variáveis, definiram-se classes de intervalos espectrais para inferência de dados limnológicos.

#### 5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CATEGORIAS DAS CLASSES GERADAS PARA OS DADOS DOS COAS E O USO E COBERTURA DA TERRA NA BHRJL

Realizaram-se a comparação e análise entre o uso e cobertura da Terra na BHRJL e parâmetros para dados limnológicos a partir de imagens Landsat-8/OLI. Compararam-se as classes de intervalos espectrais para inferência de dados limnológicos e o uso e cobertura da terra, de acordo com estudos TerraClass Cerrado, Brasil (2015a), para o recorte da BHRJL e do RJL.

## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, apresentam-se os resultados desta pesquisa, distribuídos em três partes. Na primeira parte, expõem-se os resultados e as análises do comportamento espectro/temporal e limnológico/temporal do RJL estudados em 2016. Na segunda parte, apresentam-se as correlações e análises estatísticas entre os dados espectrais e os dados limnológicos do RJL estudados em 2016 e 2017 e a definição das classes para inferência dos COAs por níveis de reflectância. Na terceira parte apresentam-se os resultados e as análises da comparação entre as categorias das classes geradas para os dados dos COAs e o uso e cobertura da terra na BHRJL.

### 6.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL - RJL EM 2016

Neste trabalho, organizaram-se o perfil espectro/temporal da reflectância das bandas B3 e B4, Landsat-8/OLI e o perfil limnológico/temporal para clorofila *a* e turbidez no RJL para o ano de 2016 com objetivo de compreender o comportamento neste período. Realizam-se a comparação entre estes perfis e os valores para a precipitação pluviométrica média mensal acumulada<sup>8</sup> nas estações<sup>9</sup> seca (estiagem) e chuvosa, para o mesmo período, na área da BHRJL.

O termo Comportamento espectral de alvos tem sido atribuído pelos profissionais que atuam na aplicação do Sensoriamento Remoto no estudo dos recursos naturais, como ao estudo da Reflectância espectral destes recursos, quer sejam: vegetação, solos, minerais e rochas, água etc. (NOVO; PONZONI, p.41, 2001).

#### 6.1.1 – Perfil Espectro/Temporal banda B3 e Limnológico/Temporal Clorofila-*a* - RJL - 2016

Os resultados estatísticos gerados, segundo dados referentes às concentrações médias de clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) no RJL, Goiás (2017b), no ano de 2016, são representados na Tabela 3.

O perfil espectro/temporal da reflectância da banda B3 e o perfil limnológico/temporal para clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) nos pontos de coleta (P) do RJL são representados na Figura 11 e a precipitação pluviométrica média mensal na Figura 12.

<sup>8</sup> “Os dados pluviométricos foram obtidos por meio de um pluviômetro tipo Ville de Paris, que é um modelo tradicional no Brasil, instalado em local aberto em área próxima ao barramento”, no RJL, Goiás (2017b).

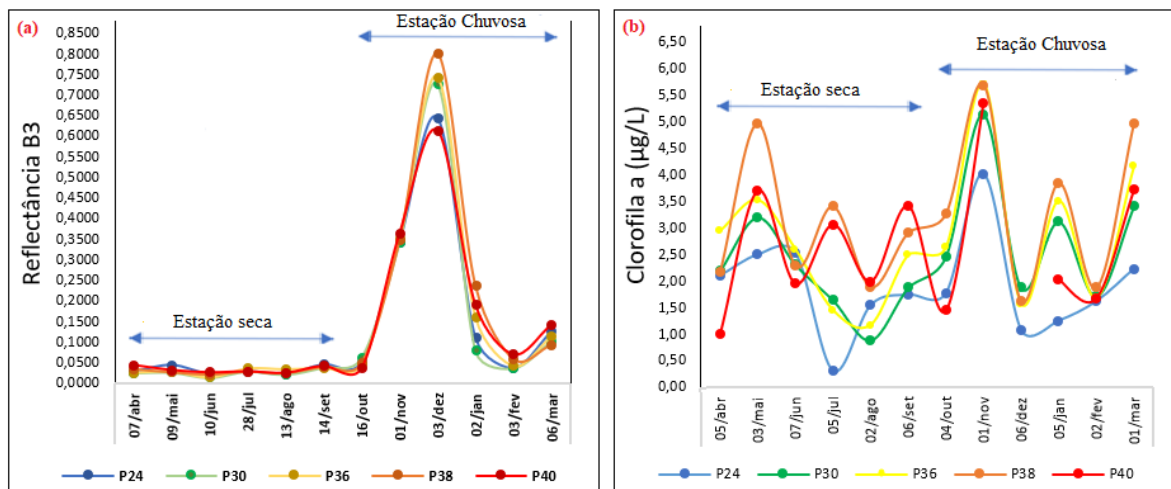
<sup>9</sup> <http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/>

Tabela 3 – Dados Estatísticos para a concentração de clorofila *a*, média mensal, no ano de 2016.

Estatística descritiva - concentração de clorofila <i>a</i> em 2016		
Média	Máximo	Mínimo
2,606	5,721	0,297

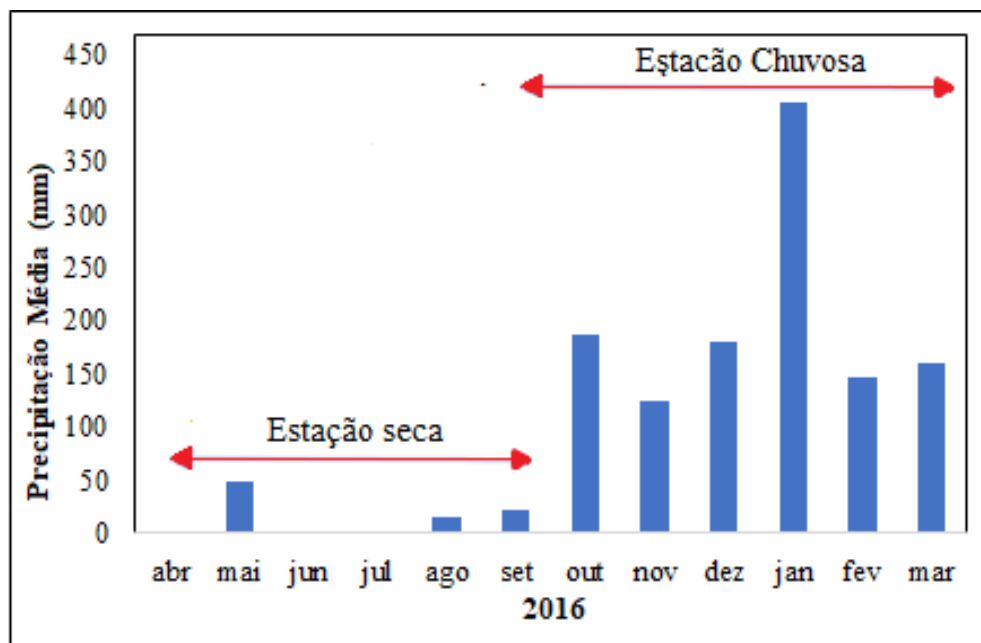
Fonte dados: Goiás (2018a). Organizado pela autora.

Figura 11 - (a) Perfil espectro/temporal - reflectância da banda B3 Landsat-8/OLI no RJL, 2016 e (b) o perfil limnológico/temporal para clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ).



Fonte: Brasil (2018). Goiás (2017b). Organizado pela autora.

Figura 12 - Precipitação pluviométrica média mensal acumulada no RJL - 2016.



Fonte: Goiás (2017b). Organizado pela autora.



Na análise dos perfis espectro/temporal B3 e limnológico/temporal clorofila *a*, Figura 11 (a) e (b), e precipitação pluviométrica média mensal acumulada, Figura 12, no RJL, ano de 2016, destacaram-se o seguinte:

- a) não se observa correspondência entre os perfis espectro/temporal da banda B3 e o limnológico/temporal da clorofila *a*, Figura 11 (a) e (b);  
o perfil espectro/temporal, Figura 11 (a), e os dados de precipitação, Figura 12, apresentam correspondência entre os níveis de baixa reflectância e baixa precipitação no período de abril a setembro, estação seca (estiagem) e, conseqüentemente, nos níveis com maior reflectância e maior precipitação no período chuvoso, exceto nos meses de outubro e fevereiro;
- b) os menores níveis de reflectância da banda B3 ocorreram na estação seca (estiagem), abril a outubro, e os maiores níveis se evidenciaram em meses da estação chuvosa (novembro, dezembro, janeiro, março,) com um pico pronunciado em dezembro para todos os pontos. A exceção se apresenta nos meses de fevereiro e outubro, estação chuvosa, onde os níveis de reflectância, mesmo com chuvas, mantiveram-se baixos, ou seja, o mesmo padrão apresentado no período de estiagem.

Observaram-se que os valores mais altos registrados para níveis de reflectância da banda B3, podem estar relacionados a cobertura de nuvens sobre a imagem no dia da revisita do satélite com ocorrência no período chuvoso. Embora, observaram-se que, no período chuvoso, a ocorrência de nuvens sobre a região é maior que no período seco.

Observaram-se ainda que os resultados para clorofila *a* não apresentam um padrão caracterizado por período climático, ou seja, não se constatam uma relação, nos meses estudados em 2016, entre os resultados para clorofila *a*, Figura 11 (b), e a precipitação pluviométrica, Figura 12.

Comparando-se o valor médio das concentrações de clorofila *a* de 2,606 µg/L, Tabela 3, com o VMP de 10,0 µg/L para clorofila *a* para água doce, de classe 2, CONAMA-357 (2005), Brasil (2005), concluíram-se que as águas do RJL atendem ao estabelecido pela legislação.

### **6.1.2 - Perfil Espectro/Temporal da banda B4 e Limnológico/Temporal Turbidez - RJL - 2016**

Os resultados estatísticos gerados a partir dos índices médios de turbidez - UNT no RJL, Goiás (2017b), no ano de 2016, (exceto P1, mês de abril) são representados na Tabela 4.

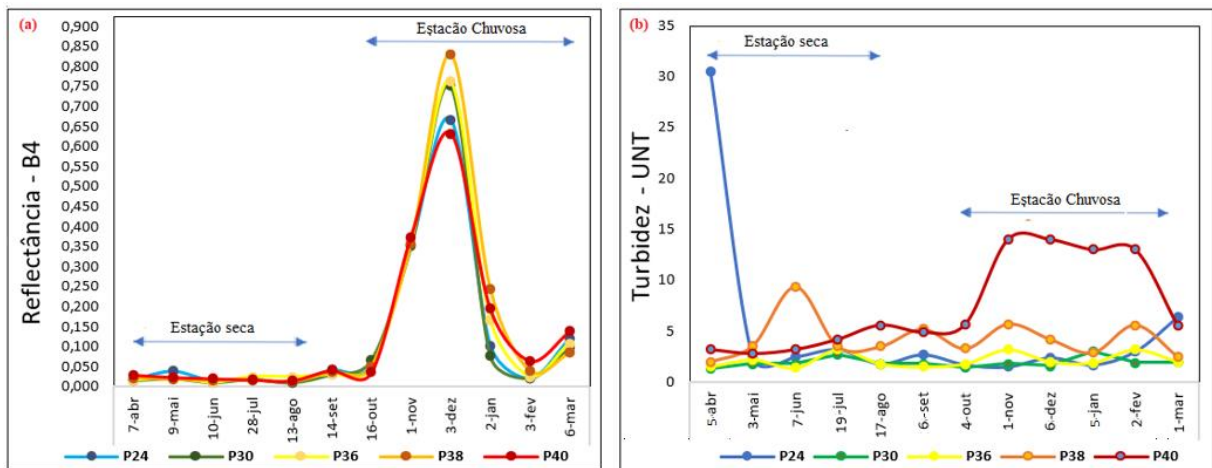
O perfil espectro/temporal da reflectância da banda B4 e perfil limnológico/temporal para turbidez (UNT) no RJL, são representados na Figura 13 e a precipitação pluviométrica média mensal acumulada na área da BHRJL na Figura 12.

Tabela 4 - Dados Estatísticos para os índices de turbidez no RJL, média mensal, ano de 2016.

Estatística descritiva - índices de turbidez – UNT, média mensal, ano de 2016		
Média	Máximo	Mínimo
3,65	14,00	1,3

Fonte: Goiás (2017b). Organizado pela autora.

Figura 13 - (a) Perfil espectro/temporal - reflectância da banda B4 Landsat-8/OLI no RJL, 2016 e (b) perfil limnológico/temporal, turbidez (UNT), média mensal, no RJL, ano de 2016.



Fonte: Brasil (2018). Goiás (2017b). Organizado pela autora.

Na análise dos perfis espectro/temporal da banda B4 e limnológico/temporal turbidez (UNT), Figura 13 (a) e (b) e precipitação pluviométrica média mensal acumulada, Figura 12, no RJL, ano de 2016, observaram-se o seguinte:

- os perfis espectro/temporal da banda B4 e o limnológico/temporal da turbidez no RJL, 2016, Figura 13 (a) e (b), apresentaram certa similaridade na estação seca (estiagem) com diferenças nos meses de novembro, dezembro e janeiro, estação chuvosa;
- os maiores níveis de reflectância da banda B4 ocorreram na estação chuvosa (novembro, dezembro e janeiro), e os menores níveis na estação de estiagem, abril a outubro, exceto em outubro, fevereiro e março (estação chuvosa), com precipitações

respectivamente de 186mm, 146,7mm e 160mm, estação chuvosa, Figura 12, em que os níveis de reflectância mantiveram o padrão do período de estiagem;

c) a reflectância indicou maiores níveis somente nas imagens com cobertura de nuvens, com ocorrência principalmente no período chuvoso.

Os resultados mensais para turbidez na superfície do RJL, em 2016, Figura 13 (b), variaram entre 1,5 a 30,5 UNT. O maior valor registrado no ponto P24 igual a 30,5 UNT, no mês de abril, justificaram-se em função da ocorrência de turbulência no período de estratificação térmica<sup>10</sup> nas águas do reservatório na proximidade do barramento. Exceto o pico citado no ponto P24, os maiores valores registrados, 13 e 14 UNT, foram no ponto P40, no período chuvoso (janeiro, fevereiro, novembro e dezembro). Isto pode ser justificado em função da localização do ponto P40, área do RJL de transição entre o lótico e o lântico.

De acordo com a Tabela 4, a média registrada em 2016 para turbidez, excluindo-se o pico no ponto P24, foi de 3,65 UNT, indicando uma ótima qualidade das águas do RJL, quando comparados ao VMP de 100 UNT, para turbidez em águas de classe 2, CONAMA-357, Brasil (2005).

Dos resultados, observaram-se que somente o ponto P40 apresentou um pequeno aumento nos índices de turbidez, que coincidiram com o aumento da precipitação pluviométrica de novembro a fevereiro, Figura 12, enquanto os outros pontos mantiveram-se dentro da média tanto no período chuvoso quanto no seco (estiagem).

## 6.2 - CORRELAÇÃO ESPECTRO/TEMPORAL E LIMNOLÓGICO/TEMPORAL NO RJL EM 2016/2017

O uso nesta pesquisa, das imagens Landsat-8/OLI, da banda B3 e banda B4, que serão correlacionadas respectivamente aos COAs clorofila *a* e turbidez fundamentam-se em outros estudos já realizados como por exemplo, Vilela (2010), que correlacionou os mesmos componentes estudados neste trabalho aos dados espectrais das bandas B2 e B3 – Landsat-7/ETM.

A banda B3 e a B4 do Landsat-8/OLI, de acordo com tabela de bandas espectrais OLI e TIRS em comparação com ETM bandas espectrais, USGS (2019), correspondem as bandas espectrais B2 e B3, Landsat7/ETM.

---

<sup>10</sup> <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/tem.htm>

Citam-se nesta mesma linha de pesquisa, o trabalho de Peixoto, Guasselli e Pereira Filho (2018) que utilizaram Imagens Landsat 8, banda B4, para estimar a concentração de sedimentos em suspensão medidas nas três PCHs no rio Ivaí, RS.

A partir da análise dos resultados dos perfis espectro/temporal e limnológico/temporal para o RJL em 2016, item 6.1, definiram-se alguns critérios para seleção das variáveis a fim de desenvolverem as correlações para o período de 2016 e 2017. Critérios como recorte da banda B3 e da banda B4 Landsat-8/OLI para a área do RJL sem cobertura de nuvens, intervalo máximo de sete dias entre o dia da revisita do satélite e a coleta em campo do dado limnológico, e descarte dos resultados de dados limnológicos anômalos (por ex., ocorrência de turbulência no período de estratificação térmica). As variáveis selecionadas e correlacionadas, de acordo com os critérios descritos anteriormente, estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Cenas Landsat-8/OLI e datas da passagem do satélite e das coletas de dados limnológicos in situ – RJL – 2016 e 2017.

<b>Cena Landsat-8 OLI bandas B3 - B4</b>	<b>Data Passagem Satélite</b>	<b>Data Coleta Clorofila-<i>a</i> e Turbidez</b>
LO82220712016034CUB00	03/fev/2016	02/fev/2016
LO82220712016098CUB00	07/abr/2016	05/abr/2016
LO82220712016162CUB00	10/jun/2016	07/jun/2016
LO82220712017100CUB00	10/abr/2017	04/abr/2017
LO82220712017164CUB00	13/jun/2017	06/jun/2017
LO82220712017196CUB00	15/jul/2017	18/jul/2017

Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Para verificar a correlação entre as variáveis espectrais e limnológicas, realizaram-se a análise da regressão linear simples para os meses selecionados de 2016 e 2017, respectivamente para clorofila *a* e turbidez.

### **6.2.1 - Correlação entre as variáveis – Reflectância da B3 e Clorofila *a* - RJL – 2016 e 2017**

As concentrações de clorofila *a* para o conjunto de dados de 2016 e 2017 registraram valores abaixo de 5,79  $\mu\text{g/L}$  e os dados estatísticos são representados na Tabela 6 e detalhes característicos para cada ano na Tabela 7. A correlação entre os níveis de reflectância da banda B3 e as concentrações de clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ), são representados na Figura 14.

Tabela 6 -Estatística descritiva para série total de dados de concentração de clorofila *a* nos meses estudados em 2016 e 2017.

Estatística descritiva - total de dados - concentração de clorofila <i>a</i> estudados em 2016 e 2017						
Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Contagem
2,880	2,519	1,295	1,678	1,001	5,790	29

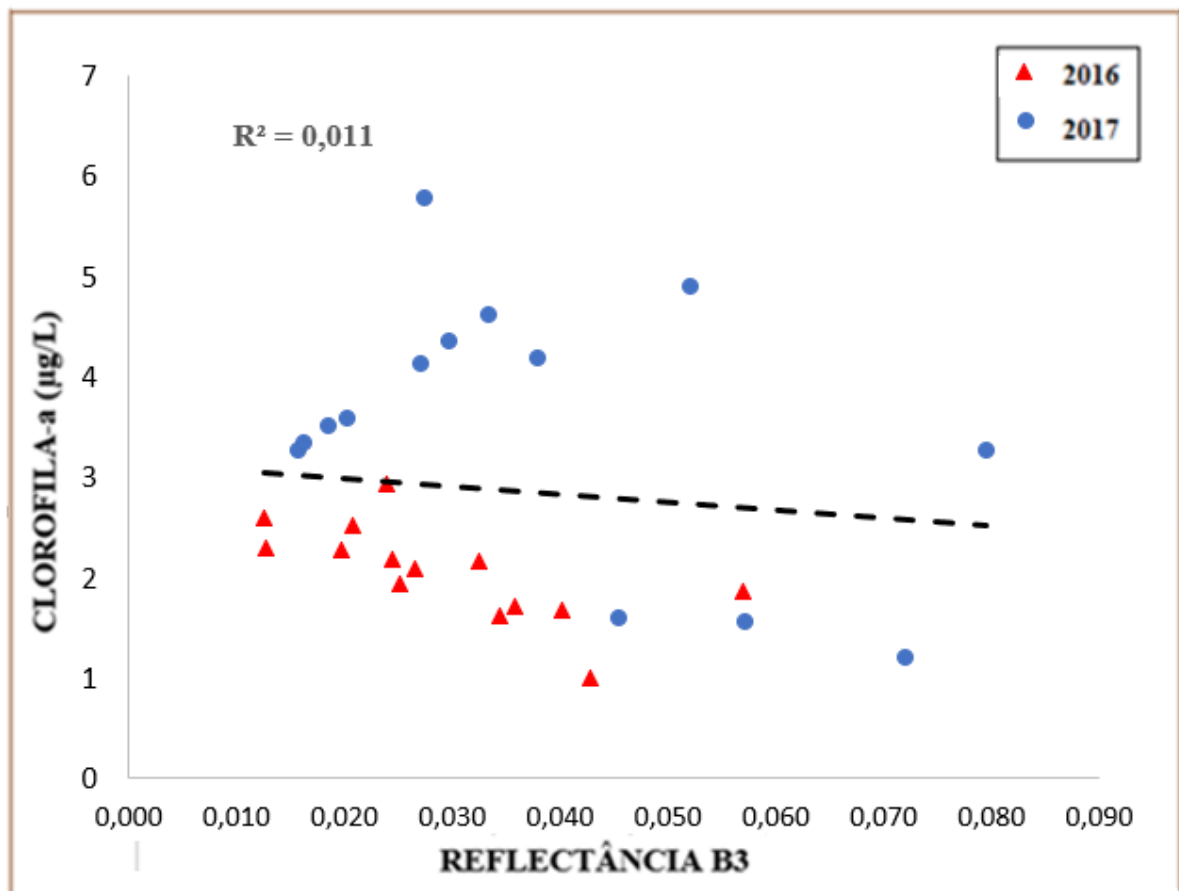
Fonte dados: Goiás (2018a). Organizado pela autora.

Tabela 7 - Estatística descritiva para concentração de clorofila *a* - detalhes de 2016 e de 2017.

Estatística descritiva - concentração de clorofila <i>a</i> nos meses estudados em 2016 e 2017.			
Período	Média	Mínimo	Máximo
2016	2,062	1,001	2,937
2017	3,643	1,202	5,790

Fonte dados: Goiás (2018a). Organizado pela autora.

Figura 14 - Correlação linear entre reflectância da banda B3 e clorofila *a* – RJL – 2016 e 2017



Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2018a). Organizado pela autora.

O gráfico de dispersão, Figura 14, mostra a correlação linear entre as variáveis reflectância da banda B3 e clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ), estudados em 2016 e 2017, das quais o coeficiente de Pearson apresentou um resultado fraco.

Concluíram-se, na análise da Figura 14, que não houve boa correlação entre os níveis de reflectância da banda B3 e as concentrações de clorofila *a* ( $\mu\text{g/L}$ ).

Observamos que trabalhos de outros pesquisadores, sobre a inferência de clorofila *a* por imagens Landsat8, chegaram a conclusões semelhantes aos desta pesquisa. Segundo Gross et. al (2019, p. 3237) “Para as baixas concentrações de clorofila *a* até cerca de  $10 \text{ mg/m}^3$  as variações da reflectância são totalmente aleatórias não demonstrando relação de causa e efeito com as concentrações de clorofila *a*.” Castro, Pereira e Barros (2018) obtiveram em sua pesquisa como resultado somente “15% de explicação para o modelo de clorofila *a* do regime de cheia, e de 27% do regime de seca.”, ou seja, comprovaram ser pouco eficiente a utilização dos modelos gerados para inferência de clorofila *a* quando considerados índices deste parâmetro inferiores nas proximidades do ponto de captação da Sanepar.

Outro aspecto a ser observado nesta pesquisa, que possivelmente possa ter interferido nos resultados da correlação entre reflectância da banda B3 e clorofila *a*, pode ser a presença de grande quantidade da feofitina *a* nas águas do RJL. “Os dois produtos da degradação da clorofila *a*, o feoforbídeo *a* e a feofitina *a*, podem interferir na determinação da clorofila *a* ao absorverem luz e fluorescerem na mesma região do espectro.” Barroso e Littlepage (1998, apud STREIT *et al.*, p. 749, 2005). E de acordo com estudo de caso “[...] os satélites registram a reflectância dos pigmentos totais, ou seja, Clorofila *a* + Feofitina *a*. Em outras palavras, possivelmente, não há como separar as duas assinaturas, [Clorofila *a* + Feofitina *a*], porque espectralmente elas são iguais, [...]”, BITENCOURT; MANTELLI (p. 169, 2015).

### **6.2.2 - Correlação entre as variáveis – Reflectância da banda B4 e Turbidez - RJL – 2016 e 2017**

Os índices de turbidez para o conjunto de dados em 2016 e 2017 registraram valor máximo de 13 UNT, com exceção do pico de 30 UNT no ponto P1, sendo os dados estatísticos referentes ao todo do conjunto estudado representados na Tabela 8 e detalhes característicos para cada ano na Tabela 9.

A correlação entre os níveis de reflectância da banda B4 e turbidez em UNT são representados na Figura 15.

Tabela 8 - Estatística descritiva - série de dados para os índices de turbidez - NTU nos meses estudados em 2016 e 2017.

Estatística descritiva - total de dados - concentração de turbidez estudados em 2016 e 2017						
Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Contagem
3,78	2,85	2,77	7,7	1,3	13,0	26

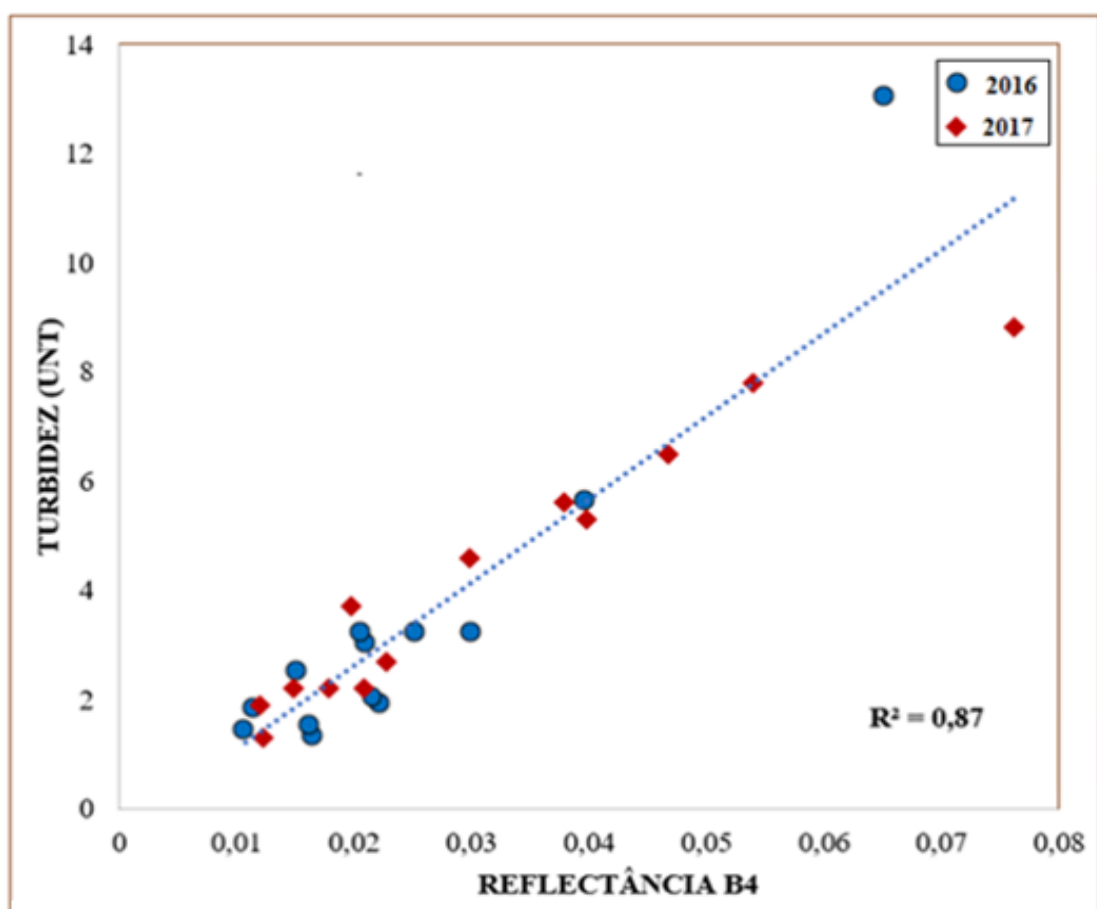
Fonte: Adaptado de Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Tabela 9 -Estatística descritiva para série de dados de índices de turbidez nos meses estudados em 2016 e 2017.

Estatística descritiva - índices de turbidez nos meses estudados em 2016 e 2017			
Período	Média	Mínimo	Máximo
2016	3,35	1,3	13
2017	4,2	1,3	8,8

Fonte: Adaptado de Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 15 - Correlação linear entre reflectância da banda B4 e turbidez – RJL – 2016 e 2017



Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

A relação linear entre as variáveis reflectância da banda B4 e turbidez em UNT, das quais o coeficiente de Pearson apresentou uma correlação forte, pode ser observada na Figura 14. Os índices de turbidez apresentaram uma relação diretamente proporcional aos níveis de reflectância, com  $R^2$  expressivo de 0,87 em uma equação de ajuste linear e com R-quadrado ajustado igual a 0,86 e o valor-p de 0,27, com nível de confiança de 95%.

Inferimos destes resultados que, quando os índices de turbidez em UNT nos pontos amostrais aumentam, conseqüentemente, aumentam os níveis de reflectância da banda B4, OLI, nos mesmos pontos.

Citamos outros estudos relacionados a inferência de COAs por imagens do satélite Landsat-8, sensor OLI, a exemplo de Dezordi et al. (2019) que mensuraram e especializaram a turbidez superficial no Lago da ITAIPU-PR. Os autores concluíram que a partir a razão da banda B2/B4 do sensor OLI pode-se estimar a turbidez da água a partir de dados do satélite Landsat. Peixoto, Guasselle e Pereira Filho (2018) utilizaram a banda B4 do Landsat-8/OLI, para estimar a concentração de sedimentos em suspensão medidas nas três PCHs no rio Ivaí, RS, e obtiveram resultados coerentes com os valores avaliados *in loco*. Castro, Pereira e Barros (2018, p. 89 e 90) confirmaram em sua pesquisa que “o sensor Landsat 8/OLI tem potencial para detecção e mapeamento de COAs presentes em um corpo d’água de boa qualidade (destinado ao abastecimento público) e de usos múltiplos, neste caso o rio Tibagi.” Por meio de resultados dos índices de turbidez em laboratório, os autores concluíram “que o resultado da aplicação do modelo empírico é coerente com os valores de turbidez e características do reservatório.” Silva (2019) avaliou a utilização de imagens do Landsat8 para estimativa da concentração de sólidos dissolvidos totais e de turbidez da água superficial do Lago Paranoá, Brasília – DF, confirmando que a banda B4 apresentou ótima correlação para a concentração de turbidez com  $R^2$  de 0,92.







### **6.2.3 - Classes de Intervalos de Reflectância para Inferência de Turbidez - RJL**

Considerando-se a forte correlação entre as variáveis reflectância da banda B4 e turbidez e os índices registrados para turbidez nos pontos de coleta – RJL, no período de 2016 e 2017, estimaram-se os valores para as variáveis até o limite de 20 UNT para turbidez, encontrando-se o seguinte resultado: quando a turbidez for igual a 20 UNT, a reflectância correspondente será 0.150.

Assim, definiram-se as classes de intervalos de reflectância para inferência de turbidez, demonstradas na Tabela 10.



Tabela 10 - Classes para refletância e inferência para turbidez até 20UNT – RJL.

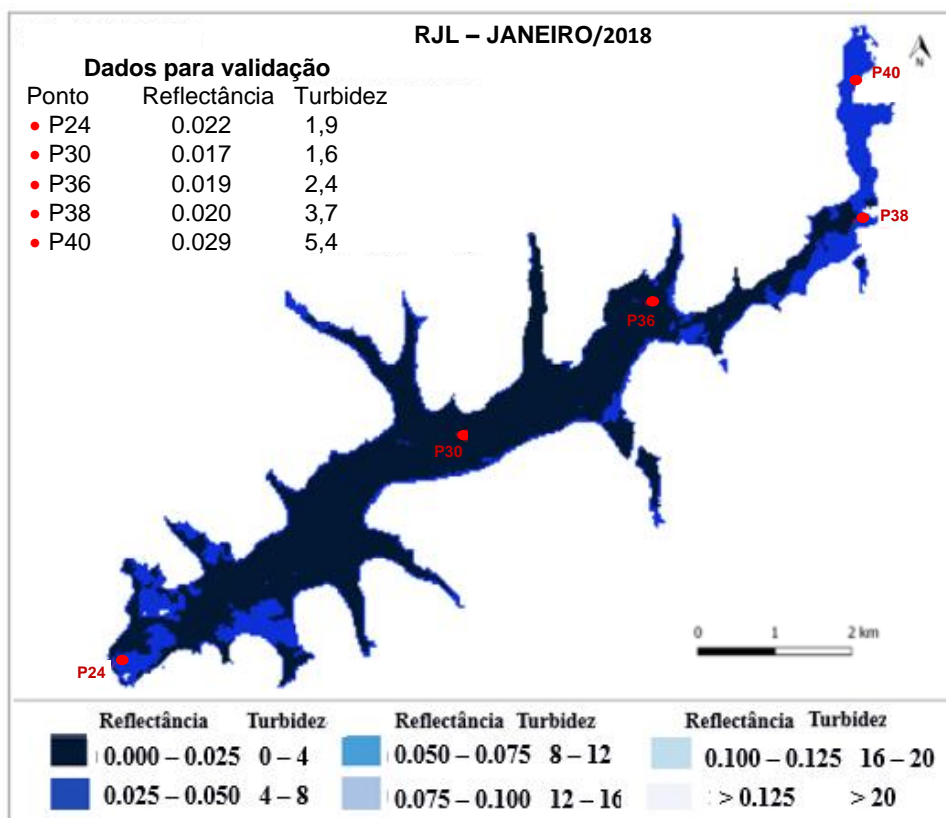
Classes	Intervalo de Reflectância	Intervalo de Turbidez-UNT
	0.000 - 0.025	0 - 4
	0.025 - 0.050	4 - 8
	0.050 - 0.075	8 - 12
	0.075 - 0.100	12 - 16
	0.125 - 0.150	16 - 20
	> 0.150	> 20

Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

#### 6.2.4 - Validação do Método de Inferência de Turbidez por Imagem Landsat-8/OLI - RJL

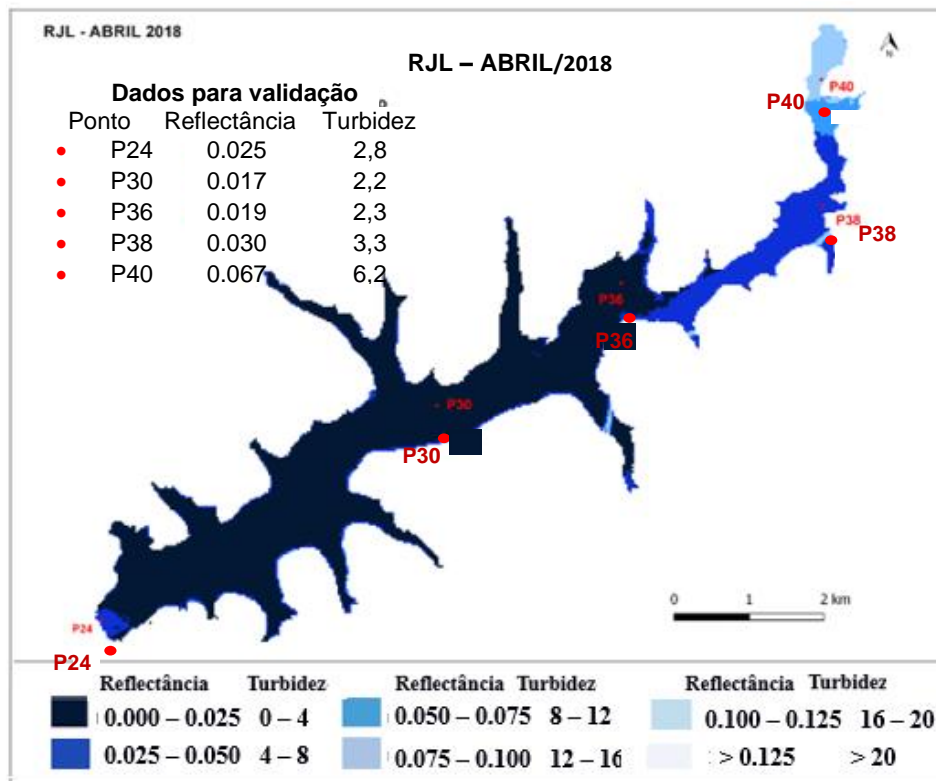
Para validação do método de inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI, de acordo com a Tabela 10, compararam-se a refletância da B4 nos meses de janeiro, abril, maio e junho de 2018, com os resultados dos índices médios para turbidez UNT realizados no laboratório central da Saneago, Figuras 16 a 19.

Figura 16 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – janeiro 2018.



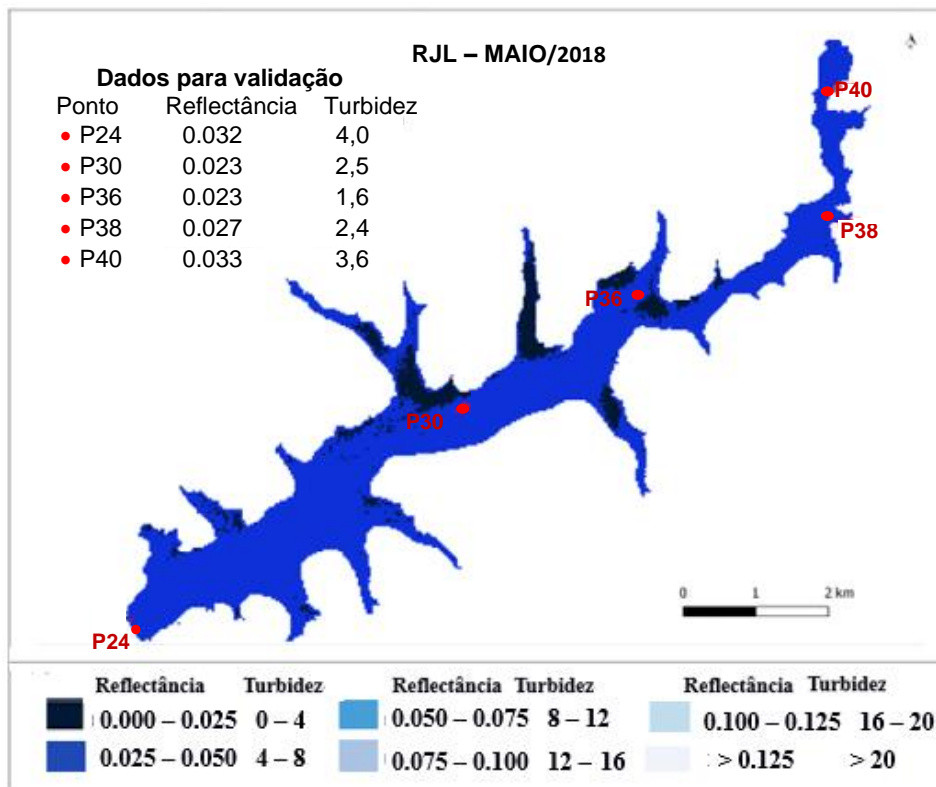
Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 17 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – abril 2018.



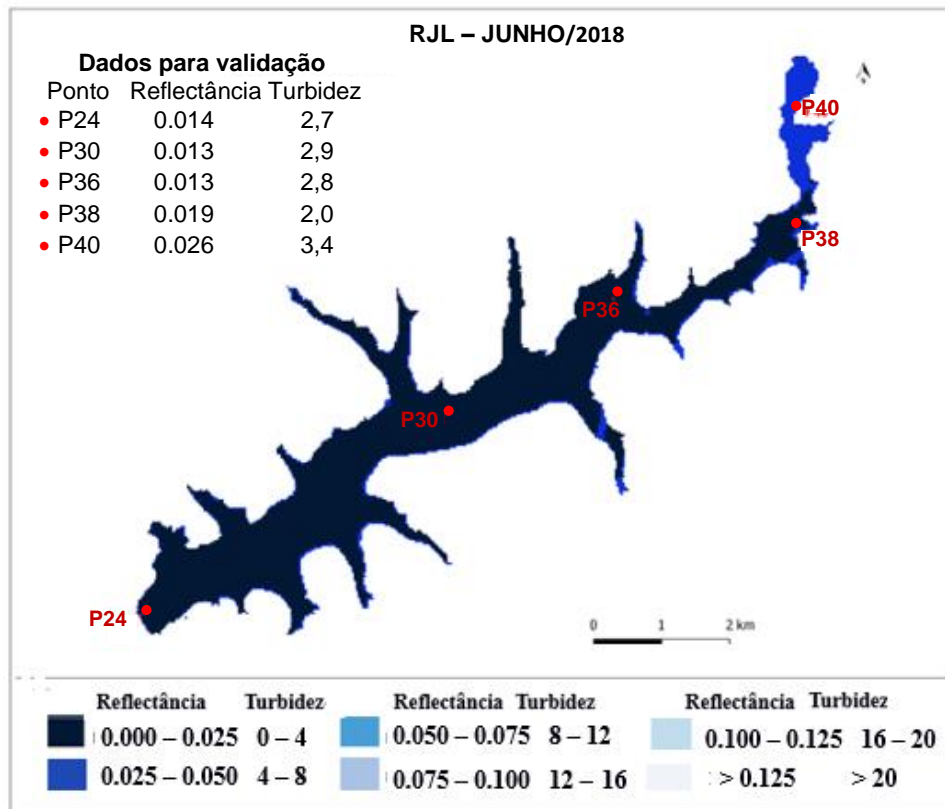
Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 18 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – maio 2018.



Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 19 - Inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI – RJL – junho 2018.



Fonte dados primários: Brasil (2018) e Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Das validações representadas nas Figuras 16 a 19, concluíram-se que há evidências que o método de inferência da turbidez por imagens Landsat-8 (reflectância da banda B4) para o RJL é válido. Observaram-se a possibilidade de estimar percentuais de classes de intervalos de reflectância para inferência de turbidez para a área total do RJL.

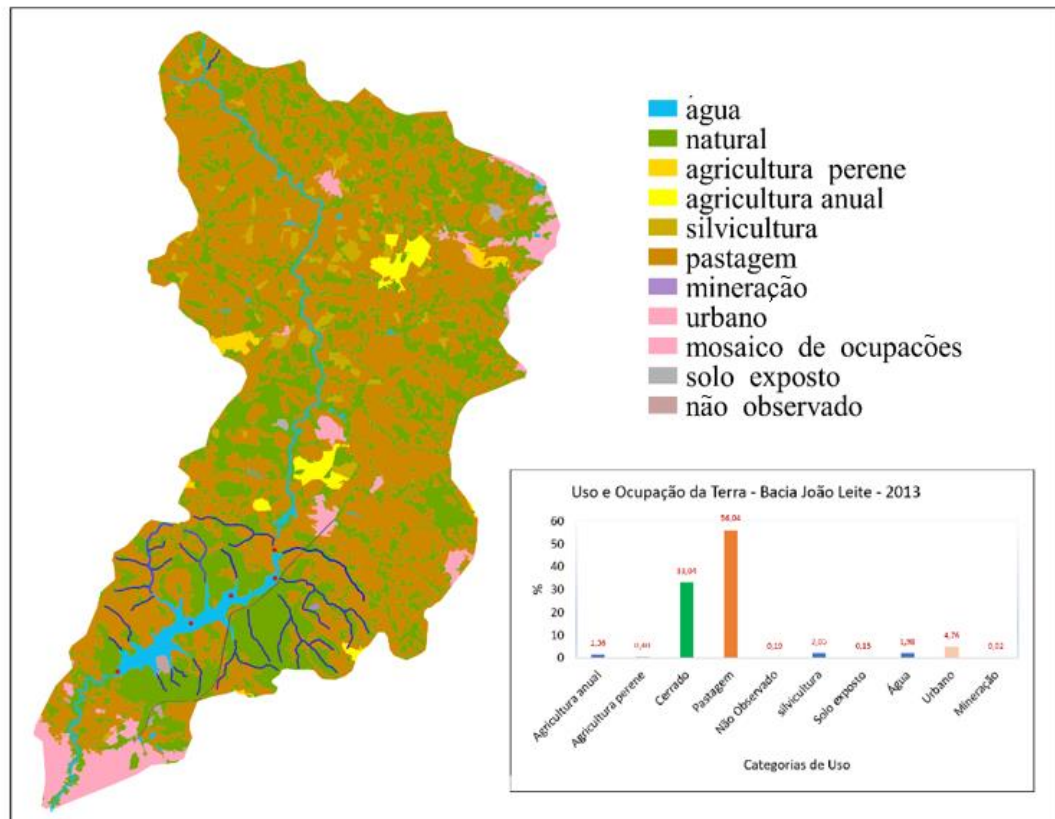
### 6.3 - USO E COBERTURA DA TERRA – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE X INFERÊNCIA DE TURBIDEZ POR IMAGEM LANDSAT-8 – RJL

#### 6.3.1 - Uso e Cobertura da Terra na BHRJL

Segundo resultados do Projeto TerraClass Cerrado 2013, “o Cerrado ainda possui aproximadamente 54% de sua área com cobertura natural”, enquanto, “...a pastagem plantada (29,5%), seguida pela agricultura anual (8,5%) e perene (3,1%). Estas três classes de uso antrópico perfazem 41% do Cerrado”. (BRASIL, p. 40, 2015a).

No mapa, Figura 20, apresentam-se o recorte da área da BHRJL, do mapa de uso e cobertura da terra Projeto TerraClass Cerrado 2013, com os relativos percentuais de uso.

Figura 20 - Uso e Cobertura da Terra – Bacia Hidrográfica Ribeirão João Leite.



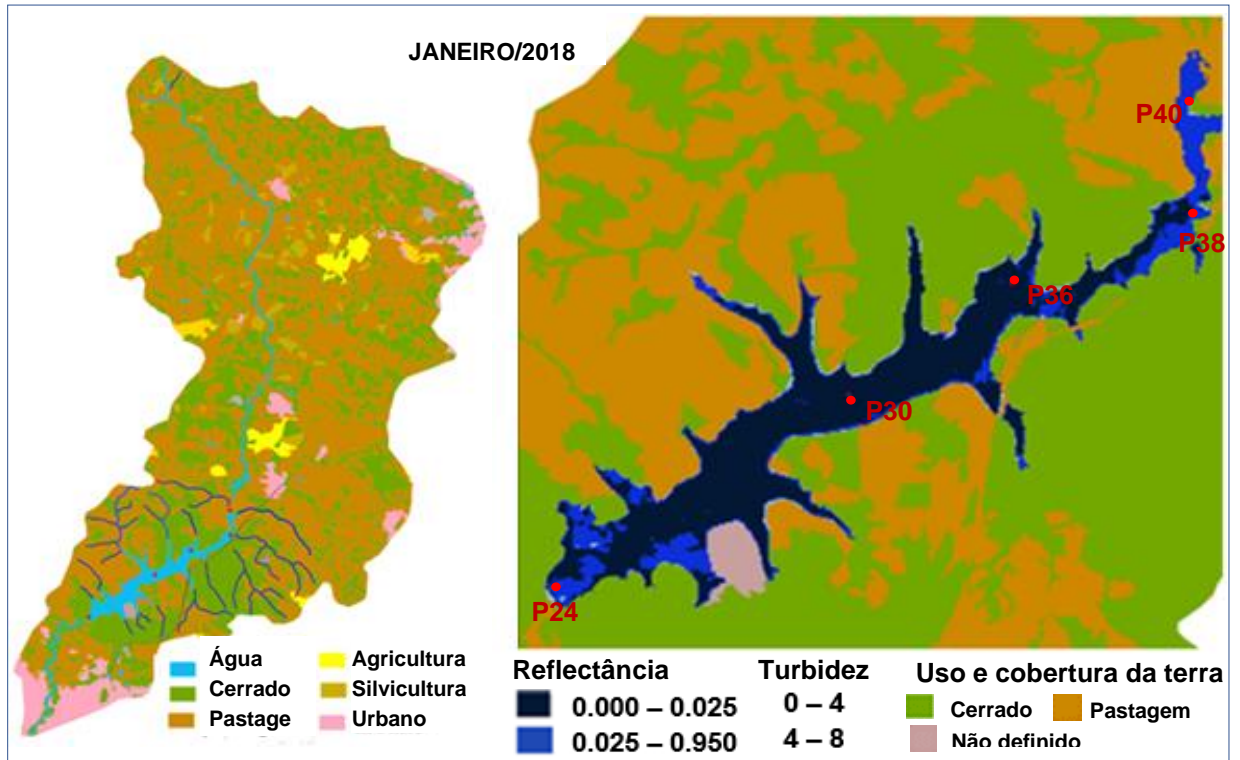
Fonte: BRASIL (2015a). Organizado pela autora, dezembro/2018.

Observam-se, Figura 20, que a cobertura natural (Cerrado) da área da BHJL é de apenas 33%. Isto significa que a conversão do Cerrado na BHJL está 21% acima em relação ao total nacional. O uso para pastagem e agricultura da área da bacia é de aproximadamente 16% superior ao uso para as mesmas classes na área total do Cerrado nacional. Destes percentuais, concluem-se que a conversão da cobertura natural da área da BHRJL para pecuária e agricultura extrapolam os percentuais encontrados para o total da área nacional do Cerrado. Esta diferença nos percentuais citados para uso e cobertura da terra na BHRJL tornam-se preocupantes, considerando-se que o reservatório João Leite é responsável pelo abastecimento público da população da cidade de Goiânia.

### 6.3.2 - Uso e Cobertura da Terra na BHRJL X Inferência de Turbidez por Imagem Landsat-8/OLI no RJL

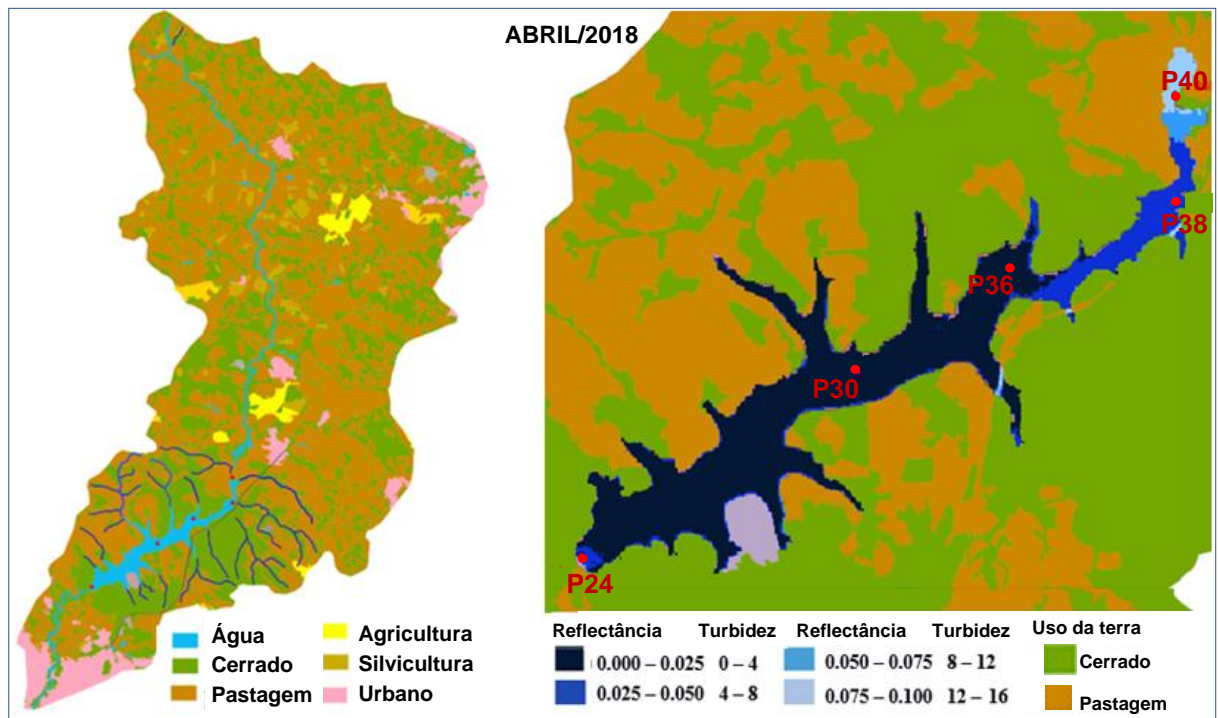
Apresentam-se, Figuras 21a 24, uso e cobertura da Terra 2013 na BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL versus inferência de turbidez por imagem Landsat-8/OLI no reservatório.

Figura 21 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de janeiro de 2018.



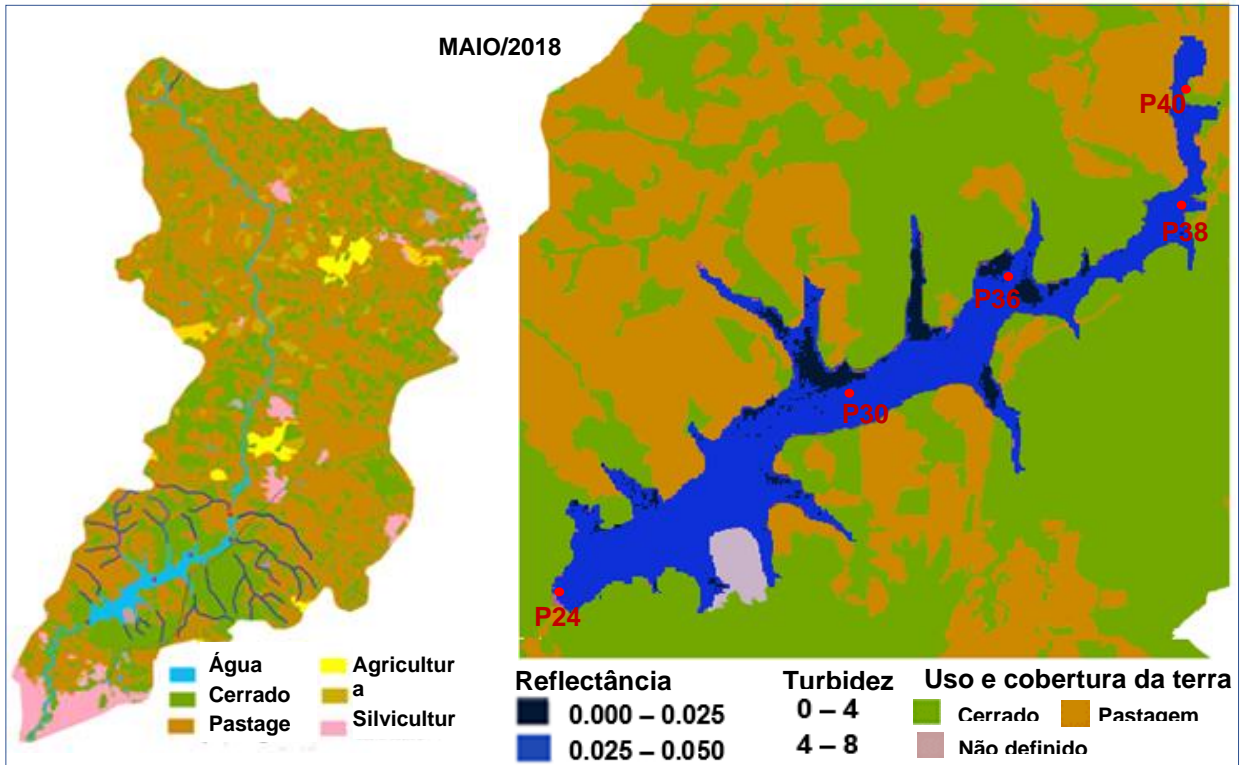
Fonte dados primários: Brasil (2015a); Brasil (2018); Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 22 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de abril de 2018.



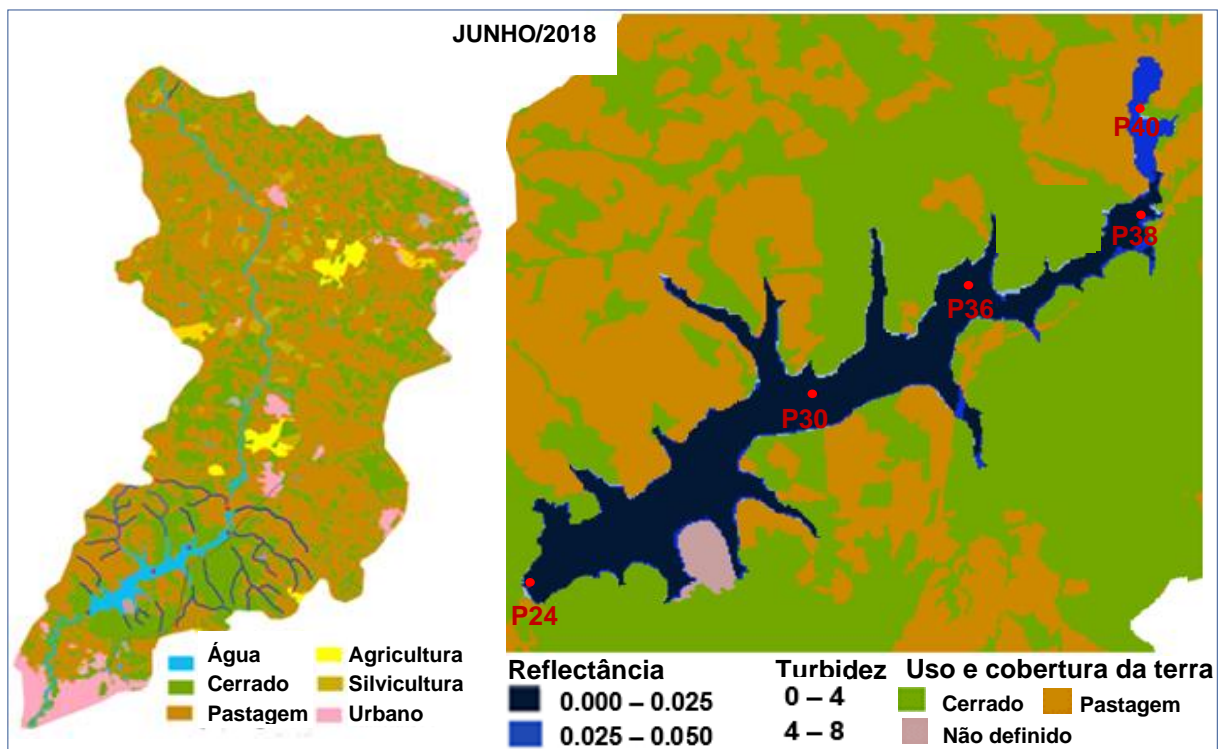
Fonte dados primários: Brasil (2015a); Brasil (2018); Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 23 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de maio de 2018.



Fonte dados primários: Brasil (2015a); Brasil (2018); Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Figura 24 - Uso e Cobertura da Terra 2013 – na área da BHRJL e destaque para área limítrofe ao RJL X inferência de turbidez imagem Landsat-8/OLI no RJL, mês de junho de 2018.



Fonte dados primários: Brasil (2015a); Brasil (2018); Goiás (2016, 2017 e 2018). Organizado pela autora.

Apresentam-se na Tabela 11, os resultados para média de turbidez (UNT) no RJL – Medidas laboratório Saneago, Goiás (2018a).

Tabela 11 - Média de turbidez (UNT) no RJL – Medidas laboratório Saneago.

<b>Turbidez-UNT - Variação média mensal – 2018</b>				
<b>Ponto</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Abril</b>	<b>Maior</b>	<b>Junho</b>
P24	1,7	2,8	4,0	2,7
P30	1,6	2,2	2,5	2,9
P36	2,4	2,3	1,6	2,8
P38	3,7	3,3	2,4	2,0
P40	5,4	6,1	3,6	3,4

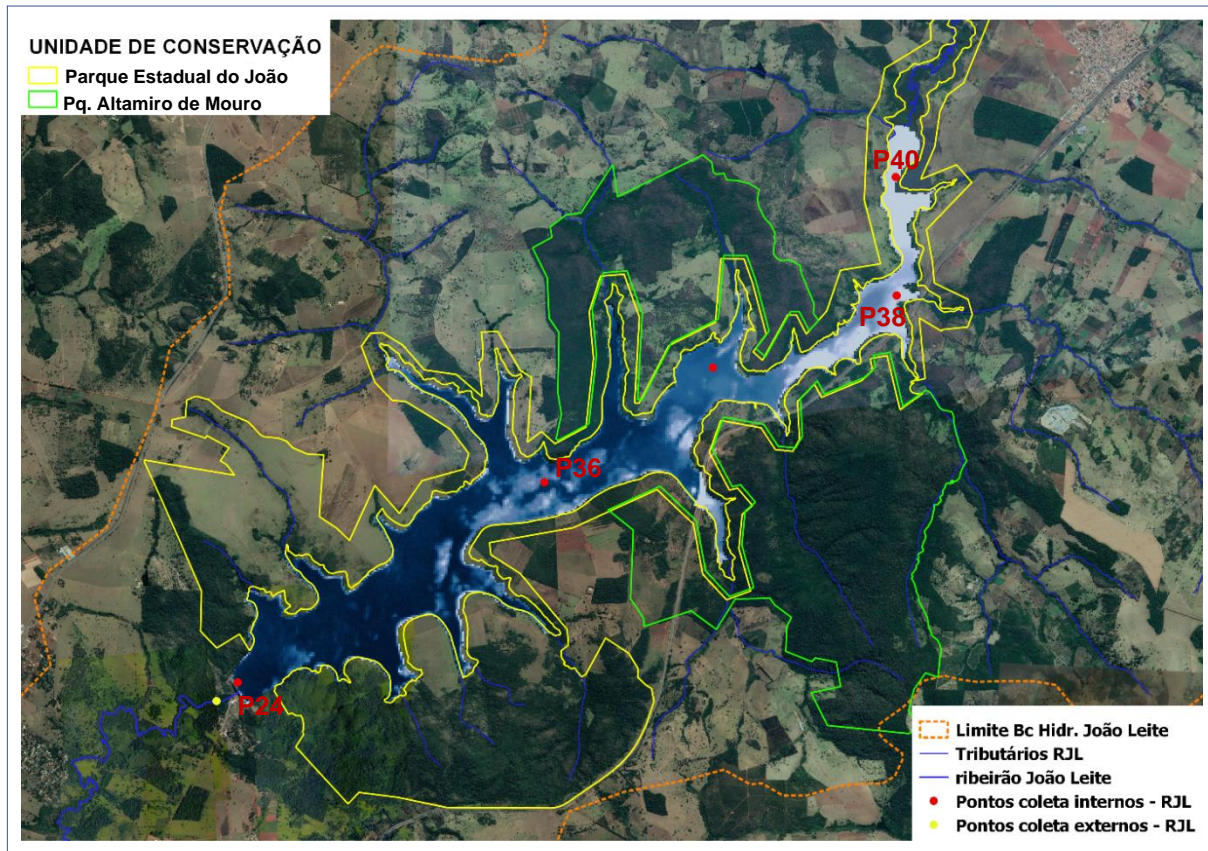
Fonte: Goiás (2018a). Organizado pela autora.

Observam-se na Figura 25, que os valores para índices de turbidez, tanto por inferência da reflectância da banda B4, quanto por resultados medidos em laboratório, Tabela 11, Saneago (2018b), não sofrem alterações significativas quando comparados ao uso e cobertura da terra na área limítrofe ao RJL. Ou seja, independente da área que limita o reservatório estar com cobertura vegetal (Cerrado) ou sem cobertura (o uso anterior era para pastagem), não há uma interferência explícita nos resultados para turbidez em toda a extensão do RJL.

Destacam-se que, mesmo no período chuvoso, Figura 20, janeiro/2018, comparando-se com período seco (estiagem), Figuras 21 a 23, abril, maio e junho/2018, não ocorreram alterações, ou seja, os índices para turbidez mantiveram o padrão quando comparados ao uso e cobertura da terra na área limítrofe ao RJL.

Concluem-se que, possivelmente, o padrão apresentado nos índices de turbidez em toda a área do RJL, independente do uso e cobertura da terra limítrofe ao reservatório, seja em função da proteção dada pelas UCs no entorno dele. O RJL conta com duas UCs, sendo um parque de proteção integral, o PEJoL, que circunda o reservatório com uma faixa mínima de proteção de 200 m e, a outra, o PEAMP, representados na Figura 24. O PEJoL está cercado e as áreas desmatadas do mesmo, encontram-se em processo de recuperação.

Figura 25 – Unidades de Conservação na área da BHRJL: PEJoL e PEAMP.



Fontes: Goiás (2018b). Google Earth Pro (2018). Organizado pela autora.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa confirmam a hipótese inicial de viabilidade na utilização de geotecnologias no apoio à gestão de recursos hídricos no RJL e BHRJL, por meio de inferência de parâmetros de qualidade das águas do reservatório por sensoriamento remoto, confrontando-se os resultados desta inferência com o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite.

Neste estudo, foram correlacionados os COAs clorofila *a* e turbidez com a reflectância respectivamente das bandas B3 e B4. A utilização de imagens Landsat 8-OLI apresentou um excelente potencial em detectar e mapear turbidez nas águas do RJL no período estudado. Entretanto, para detectar clorofila *a*, não houve resultados satisfatórios, possivelmente pela baixa concentração da mesma e/ou pela presença de grande quantidade da feofitina *a* nas águas do RJL.

Os dados para turbidez UNT, de acordo com laboratório da Saneago, no RJL são baixos, com índices máximos para o período estudado, de 13 UNT. Por isso, para geração de uma tabela de classes, fez-se uma previsão entre as variáveis (reflectância e turbidez), considerando um máximo para turbidez de 20 UNT.

Com a validação destas classes geradas, concluem-se que o método de inferência da turbidez por imagens Landsat-8 (reflectância da banda B4) para o RJL é válido e apresenta a possibilidade de estimar percentuais de classes de intervalos de reflectância para inferência de turbidez em toda a área do RJL.

A análise da inferência da turbidez por reflectância da banda B4 e sua relação com as classes de uso e cobertura da terra, projeto TerraClass Cerrado, aplicados a imagens no ano de 2018, comprovaram a possibilidade de monitoramento concomitante entre a turbidez em toda a área do RJL e o uso e cobertura da terra na BHRJL.

## REFERÊNCIAS

BITENCOURT, M. D., & MANTELLI, L. R. **Análise espacial de parâmetros limnológicos utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento: dois estudos de caso.**

Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Ecologia de reservatórios e interfaces, São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em:

[http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Cap.\\_12\\_Sensoriamento\\_remoto.pdf](http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Cap._12_Sensoriamento_remoto.pdf). Acesso em: 12 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n. 30, 11 de dezembro de 2002.** Disponível em:

<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2030.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Geociências. Cartas e mapas, 2004. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BRASIL. **Resolução CONAMA N. 357/2005** - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências." Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 22 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado.** Brasília, DF:MMA, 2015a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agência Nacional de Águas.** *Base hidrográfica otocodificada.* Brasília: Agência Nacional de Águas, Downloads/folder base hidrográfica, 2015b. Disponível em:

<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2015/BaseHidrograficaOttocodificada.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agência Nacional de Águas.** Programas e projetos - programa produtor de água - Goiânia - João Leite, 2017a. Disponível em:

<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua/pasta-projetos/joao-leite>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BRASIL. INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Catálogo de imagens, 2018b. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 17 dez. 2018.

BRASIL. INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Catálogo de imagens, 2019.

Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 05 jan. 2017 e 13 mar. 2018 e 16 fev. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Brasil, 2019a.

Disponível em: [https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_landsat.html](https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html). Acesso em: 05 jun. 2019.

BOWKER, D. E. *et al.* **Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies** - 01 de jun de 1985, 185p; In English. Acesso em 2019, disponível em NASA - Technical Report: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19850022138>.

CASTRO, P. H.; PEREIRA, A. C.; & BARROS, M. V. Modelos Empíricos para Inferência de Componentes Opticamente Ativos em Ambientes Lóticos e Semilóticos do Rio Tibagi/PR, Aplicados à imagens Landsat 8/OLI. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**. Biblioteca Digital de Periódicos - UFPR - Paraná, v. 43, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50545>. Acesso em: 06 jan. 2019.

CETESB. (fevereiro de 2014). **Norma Técnica L5.306**. Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico, 14. São Paulo, SP, Brasil: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/L5306.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2018.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Institute for Environmental Protection and Research. (2016). doi:<http://dx.doi.org/10.13140/>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/307593091\\_Semi-Automatic\\_Classification\\_Plugin\\_Documentation\\_Releas\\_6011](https://www.researchgate.net/publication/307593091_Semi-Automatic_Classification_Plugin_Documentation_Releas_6011). Acesso em: 17 jan. 2018.

CUNHA, D. F.; BORGES, E. M. Urbanização acelerada: risco para o abastecimento de água na região metropolitana de Goiânia. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, Portal de Publicações Eletrônicas da UERJ, n. 26, p. 226 - 244, 2015. Disponível em: [file:///C:/Users/ThinkPad/Downloads/13816-59869-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ThinkPad/Downloads/13816-59869-1-PB%20(2).pdf). Acesso em: 05 jan. 2017. Borges e Cunha (2015)

CUNHA, D. G.; CALIJURI, M. C. e LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tr</sub>). **Ecological Engineering**, [s.l.], Elsevier, v. 60, 126-134, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857413003091>. Acesso em: 14 fev. 2017.

DEZORDI, R. *et al.* Análise da Turbidez Superficial a partir de Imagens Landsat-8 (Sensor OLI) em Compartimento Aquático do Reservatório de Itaipu-PR, Brasil. **In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2019. INPE – Santos-SP, Brasil. ISBN 978-86-17-00097-3. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-da-turbidez-superficial-a-partir-de-imagens-do-landsat-8--sensor-oli--em-compartimento-aquatico-do-reservatorio->. Acesso em 11 ago. 2019.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Saneamento de Goiás S.A.** Relatório: Situação ambiental da bacia do ribeirão João Leite - 2006).

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Ministério Público do Estado de Goiás**. Centro de Apoio Operacional do Meio Ambiente. Projeto Ribeirão João Leite, 2009. Disponível em: [http://www.mpggo.mp.br/portalweb/hp/9/docs/palestra\\_dra.\\_sandra.pdf](http://www.mpggo.mp.br/portalweb/hp/9/docs/palestra_dra._sandra.pdf). Acesso em: 13 jan. 2018.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Secretaria de Habitação e Saneamento de Goiânia**. Biblioteca da Saneamento de Goiás S.A. Programa de Água e Saneamento de Goiânia. 16º Relatório Semestral, Goiânia, 2011. (GOIÁS, 2011).

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Saneamento de Goiás S.A.** Água. Sistema Produtor Mauro Borges. Estação de Tratamento de Água Mauro Borges. 2016a. Disponível em: <https://www.saneago.com.br/>. Acesso em 05 jun. 2017.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Saneamento de Goiás S.A.** Relatório de ensaio análise físico-química e exame bacteriológico de água bruta (superfície): 2016, 2017 e 2018.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos.** Programa de Água e Saneamento de Goiânia. Goiânia, GO, 2017a.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Saneamento de Goiás S.A.** Monitoramento Geral do Reservatório do Ribeirão João Leite, 2017b.

GOIÁS (ESTADO). Governo do Estado de Goiás. **Saneamento de Goiás S.A.** Monitoramento Geral do Reservatório do Ribeirão João Leite, 2018a.

GOIÁS (ESTADO). SIEG. **Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás.** Downloads de Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em 05 jan. 2018b.

GOOGLE EARTH PRO (Aplicativo). Consulta realizada em 03 fev. 2018.

GROSS, J. A. *et al.* Reflectância da água em função das concentrações de clorofila-a em um compartimento aquático do reservatório de Itaipu. *In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, 2019. Disponível em: [file:///C:/Users/ThinkPad/Downloads/galoa-proceedings--SBSR%202019--96878%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ThinkPad/Downloads/galoa-proceedings--SBSR%202019--96878%20(2).pdf). Acesso em: 11 jul. 2019.

GUSMÃO, C. A.; e VALSECCHI, J. C. Projeto Básico Ambiental da Barragem e do Reservatório de Regularização e Acumulação do Ribeirão João Leite em Goiânia, Goiás, Brasil. *In: Anais. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. San Juan, 2004. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cgi.bin/wxis.exe> >. Acesso em: 09 jun. 2017.

JESSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** - Tradução: José Carlos N. Epiphanyo (Coordenador)- Tradução de: Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

MASEK, J. G. Landsat 8 Overview « **Landsat Science - Nasa.** Visão Geral do Landsat, 11 de fevereiro de 2013. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MENDES, C. A.; CIRILO, J. A. Sistema de Aquisição de dados na área dos recursos hídricos. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação.** ABRH, 4. ed., v. 1, 576p. Porto Alegre, RS, 2013.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2010.

NOVO, E. M.; e PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Inpe, São José dos Campos-SP: Blucher, 2001. Disponível em:

[http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR\\_DPI7.pdf](http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf). Acesso em: 15 fev. 2018.

PARANÁ. **Universidade Estadual de Londrina**. Laboratório de Pesquisas em Geografia Física - LAPEGE. Base de Dados shp do Brasil, 2018. Disponível em: [uel.br/laboratorios/lapege/pages/base-de-dados-shp-do-brasil.php](http://uel.br/laboratorios/lapege/pages/base-de-dados-shp-do-brasil.php). Acesso em: 20 dez. 2018.

PEIXOTO, D. W., GUASSELLI, L. A., & PEREIRA FILHO, W. P. Estimativa de Concentração de Sedimentos em Suspensão a partir de Imagens Landsat 8 em PCHs no rio Ivaí-RS. **Revista Geociências** - Unesp, v. 37. n. 1, 147 - 154, 2018. Disponível em: [https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37\\_1\\_files/37-1-artigo-11.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37_1_files/37-1-artigo-11.pdf). Acesso em: 06 mar. 2019.

PEREIRA, B. W. F. *et al.* Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PR, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 11, n. 2, p. 472-485, 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980993X2016000200472&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980993X2016000200472&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 11 jun 2017.

RITCHIE, J. C.; ZIMBA, P.; EVERITT, J. H. Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. vol. 69, n. 6, p. 695-794, 2003. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/beto/Mariana/ISPRS%20Remote%20Sensing%20Techniques%20to%20--Water.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departameto de Geografia**. Editora da Usp, São Paulo - SP, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 03 jan. 2018.

RUDORFF, C. M.; NOVO, E.M.L.M.; GALVÃO, L.S. Spectral mixture analysis of inland tropical Amazon floodplain waters using EO-1 Hyperion *in: International Sensing Symposium Geoscience and Remote*, 2006, Denver, USA. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/224713330\\_Spectral\\_Mixture\\_Analysis\\_of\\_Inland\\_Tropical\\_Amazon\\_Floodplain\\_Waters\\_Using\\_EO-1\\_Hyperion](https://www.researchgate.net/publication/224713330_Spectral_Mixture_Analysis_of_Inland_Tropical_Amazon_Floodplain_Waters_Using_EO-1_Hyperion). Acesso em: 16 jan. 2018.

SANCHES, I. D. *et al.* Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. *In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42866/1/Ricardo-SBSR.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2017.

SANTOS, P. P. *et al.* Qualidade microbiológica de afluentes e efluentes de estações de tratamento de água e esgoto de Goiânia , Goiás. **Revista de Patologia Tropical**, Goiânia-GO, v. 39, n. 3, p. 173-188, 2010.

SAUSEN, T. M. Sensoriamento Remoto e suas aplicações para recursos naturais. **Projeto Educa SeRe III-Carta-Imagens CBERS**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe. São José dos Campos-SP, 2019. Disponível em: [https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/ijespacial\\_14\\_sensoriamento\\_remoto.pdf](https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/ijespacial_14_sensoriamento_remoto.pdf). Acesso em: 13 jul. 2019.

SILVA, V. A. O. Utilização de sensoriamento remoto orbital para estimativa da concentração de sólidos dissolvidos totais e da turbidez da água do lago Paranoá. *In: 29º Congresso de Saneamento e Meio Ambiente. Biblioteca - Portal Tratamento de Água* - Publicado em 11/03/2019. Disponível em: [tratamentodeagua.com.br/artigo/concentracao-solidos-dissolvidos-turbidez-lago-paranoa/](http://tratamentodeagua.com.br/artigo/concentracao-solidos-dissolvidos-turbidez-lago-paranoa/). Acesso em: 13 abr. 2019.

SOBRAL, M. do C. *et al.* Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. [online]. Rio de Janeiro, RJ, v. 22, n.5, pp.841-852, 2017. ISSN 1413-4152. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522017000500841](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000500841). Acesso em: 13 abr. 2017.

STREIT, N. M. *et al.* As Clorofilas. Revisão Bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, mai-jun, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n3/a43v35n3.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

USGS. SCIENCE FOR A CHANGING WORLD. **Landsat Satellite Missions**. Disponível em: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=2#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con). Acesso em: 16 maio 2019.

USP - Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP – NEURUS. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?dados=brasil>. Acesso em: 02 jan. 2018.

VILELA, M. A. **Metodologia para Monitoramento da Água de Reservatórios Usando Sensoriamento Remoto**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - M G, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14144/1/MetodologiaMonitoramentoQualidade.pdf>. Acesso em 17 fev. 2017.