



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ISABEL RODRIGUES DA ROCHA

**INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES
LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO
SALTO DO RIO VERDINHO - GO**

GOIÂNIA

2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

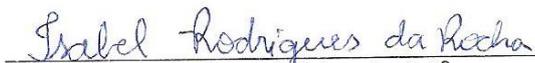
Nome completo do autor: Isabel Rodrigues da Rocha

Título do trabalho: INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO SALTO DO RIO VERDINHO - GO

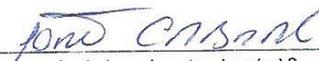
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 25 / 06 / 2018

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

ISABEL RODRIGUES DA ROCHA

**INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES
LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO
SALTO DO RIO VERDINHO - GO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás para a defesa do Curso de Doutorado em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral.

GOIÂNIA

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rocha, Isabel Rodrigues da
INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES
LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO
SALTO DO RIO VERDINHO - GO [manuscrito] / Isabel Rodrigues da
Rocha. - 2018.
177 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2018.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, algoritmos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Limnologia. 2. Sedimentos Suspensos. 3. Radiometria. I.
Cabral, João Batista Pereira, orient. II. Título.

CDU 911.2



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NATUREZA E PRODUÇÃO DO ESPAÇO

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE
ISABEL RODRIGUES DA ROCHA**

Aos 25 dias do mês de maio do ano de dois mil e dezoito (2018), a partir das 14:00h, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Tese de Doutorado de Isabel Rodrigues da Rocha **"INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO SALTO DO RIO VERMELHO - GO"**. A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria n.º 054/2018 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: **Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral** (Orientador), **Profa. Dra. Fabrizia Gioppo Nunes** (Membro Titular Interno), **Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira** (Membro Titular Interno), **Prof. Dr. Vandervilson Alves Carneiro** (Membro Titular Externo) e **Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho** (Membro Titular Externo). Os examinadores arguíram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 19:00 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo o candidato obtido os seguintes resultados:

Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral (Presidente) - Ass. João Cabral
Aprovado (x) Reprovado ()
Profa. Dra. Fabrizia Gioppo Nunes - Ass. Fabrizia
Aprovado (x) Reprovado ()
Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira - Ass. Ivanilton
Aprovado (x) Reprovado ()
Prof. Dr. Vandervilson Alves Carneiro - Ass. Vandervilson
Aprovado (x) Reprovado ()
Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho - Ass. Waterlo
Aprovado (x) Reprovado ()

Resultado final: Aprovado (x) Reprovado ()

Houve alteração no Título? Sim (x) Não ()

Em caso afirmativo, especifique o novo título: INFLUÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA NAS ANÁLISES LIMNOLÓGICAS E ESPECTRAIS DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO SALTO DO RIO VERMELHO - GO

Outras observações: _____

Reaberta a Sessão Pública, a Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Secretaria Luana de Castro
Luana de Castro Amorim
Assistente em Administração
Instituto de Estudos Socio Ambientais
Matrícula: 2357313

Dedico esse trabalho aos meus ascendentes, minha mãe Rosina Rodrigues da Rocha, meu pai Francisco Soares da Rocha (in memoriam), e aos meus avós; pois, todos contribuíram na minha formação e me ensinaram a virtude que é batalhar todos os dias na vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por me dar saúde e força para conduzir e concluir esse trabalho.

Agradeço aos meus familiares, pelo apoio nesta etapa de formação. À minha mãe, Rosina Rodrigues de Oliveira, que me incentivou, compreendeu meus esforços e dedicação aos estudos.

Aos meus irmãos Fabiano Rodrigues da Rocha, Maria Lúcia Rodrigues da Rocha e Paulo Rodrigues da Rocha, que me incentivaram e ajudaram nos momentos necessários.

Ao meu namorado, Francis Borges da Silva, estando sempre ao meu lado nas horas boas ou difíceis.

Ao meu orientador, João Batista Pereira Cabral, que foi mais que professor, foi o mestre que pegou na minha mão e me guiou em todos os caminhos da minha formação acadêmica.

A querida amiga, Ana Karoline Ferreira dos Santos, pelo auxílio em determinadas análises que fizeram parte desta pesquisa.

As colegas de laboratório Ana Karoline Ferreira dos Santos, Daiane Ferreira Batista, Dalila Brito de Jesus, Fernanda Luisa Ramalho, Pollyanna Faria Nogueira e Simone Marques Farias Lopes e aos companheiros em campo Assunção Andrade de Barcelos, Celso de Carvalho Braga, Susy Ferreira Oliveira e Vilson Souza Queiros Junior, que de uma maneira ou outra, contribuíram em alguma etapa deste trabalho.

À Polícia Militar ambiental comando de Rio Verde, na pessoa do Sargento Brandão e Sargento Mancha, por ceder uma cede rural como ponto de apoio para alojamento e para realizar-se as coletas de dados limnológicos do reservatório da UHE Salto do Rio verdinho.

Ao colega Elvis Souza Nascimento, por conceder sua propriedade como ponto de apoio para análises laboratoriais em campo.

À Universidade Federal de Goiás (UFG) e ao Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) pela oportunidade de cursar o doutorado.

Aos motoristas da UFJ Aureliano Neto, Claudeci Fernandes da Cunha e Daniel de Paula Conti, que prestaram seus serviços até mais que suas obrigações, pois, contribuíram como parceiros nos trabalhos de campo.

Aos membros avaliadores da qualificação, que apontaram caminhos importantes neste trabalho.

Aos membros avaliadores da defesa de tese, que terão importante participação e contribuição na correção deste trabalho.

E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa durante o curso de doutorado, pois foi de suma importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota” (Madre Teresa de Calcutá).

**“Sorte de quem encontrou esse caminho
escondido, infinito, deslumbrante
transpôs florestas, rios, enfrentou o deserto, o vento
e mesmo já sozinho alcançou a montanha distante
onde de seu alto pode ver o presente, o passado e o
futuro ao mesmo tempo” (José Henrique Popp).**

RESUMO

O desenvolvimento da humanidade, sempre esteve ligado aos usos dos recursos hídricos. E na atualidade esses recursos, vem sendo explorado com mais intensidade, especialmente para a geração de energia elétrica, a partir da implantação de inúmeras hidrelétricas no Brasil e sobretudo muitas no Bioma Cerrado, que detém grande riqueza de recursos hídricos. Na perspectiva, de estudos necessários em ambiente de reservatório artificial após a sua implantação, o objeto do estudo selecionado foi a bacia hidrográfica e o reservatório da usina hidrelétrica (UHE) Salto do Rio Verdinho, localizada no trecho inferior da bacia hidrográfica do Rio Verde, próximo a jusante no Rio Paranaíba, afluente do Rio Paraná. Assim, o curso fluvial do Rio Verde é o limite territorial dos municípios de Caçu e Itarumã, no sul do estado de Goiás. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo geral, compreender a dinâmica de uso e ocupação das terras da bacia e do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho em relação a qualidade das suas águas. Diante disso, foram realizadas avaliações da paisagem a partir da caracterização física e da relação dos seus atributos de geologia, solos, declividade, geomorfologia e remanescentes de vegetação natural, baseado na observação de princípio estrutural da paisagem, revelando que o ambiente da região da bacia como todo pertence a formações geológicas da Era Mesozoica, com relevos aplainados, e predomínio de declividades com dissecação muito fraca entre os interflúvios. As alterações no Uso e Ocupação das Terras, foram realizadas a partir de interpretação de imagens de satélites, onde se verificou que entre 2005 a 2015, o uso predominante são destinadas às áreas de pastagens com 546 km², e a segunda classe de maior uso, foram de áreas destinadas para culturas temporárias com 237,4 km². A análise da qualidade das águas do reservatório, foram realizadas segundo a Resolução nº 357 de 2005 do CONAMA, sendo classificada como de péssima qualidade, devido aos elevados valores do nitrito e do fósforo nas águas do reservatório, que permitiram enquadrá-las na classe 4. As variáveis TDS e CE, Temp e TDS, Temp e CE apresentaram correlações significativas. Os Componentes Óticamente Ativos (Clorofila, Concentração de Sedimentos em Suspensão, Transparência da água e Turbidez) na água que interferem nos espectros eletromagnéticos, apresentaram correlações com às medidas das reflectâncias nas faixas de 716 nm e 720 nm no mês de janeiro de 2015, enquanto que em fevereiro de 2016 as variáveis se correlacionaram melhores com as faixas de 647 nm, 697 nm e 704 nm, indicando que essas faixas compreendem ao comprimento de onda de luz vermelha. As reflectâncias dos meses chuvosos, de janeiro de 2015 e fevereiro de 2016, registraram valores entre 0,04 e 0,23%, já nos períodos secos registraram valores entre 0,03 e 0,14%, para os meses de julho de 2015 e agosto de 2016. De modo geral, a pesquisa, permitiu compreender a dinâmica atual do ambiente da bacia e do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, sobre suas componentes naturais e antrópicas que afetam a qualidade das águas, assim, atingindo o objetivo geral proposto.

ABSTRACT

The development of mankind has always been connected to water resources. Currently, they have been more intensely exploited, especially in electrical power generation, through the opening of countless hydropower plants in Brazil from which many are found in the biome called Cerrado, due to its great water resources. From the need of studies on artificial reservoir once its made, the study on Salto do Rio Verdinho's river basin and waterpower plant's reservoir, located in the lower part of Verde river's river basin, close to Paranaíba river's downstream, tributary of Paraná river, was chosen. Verde river's flow is the verge of Caçu and Itarumã counties, in the south of Goiás state. Therefore, the main goal of this work is to comprehend the dynamics of usage and occupation of the river basin's lands and Salto do Rio Verdinho's waterpower plant relating to its water quality. With that in mind, the landscape was rated according to its physical features and the relation among its geology, soils, slope, geomorphology and remaining natural vegetation, based on the observation of the structural principle of the landscape, revealing that the environment of the river basin region belongs to Mesozoic era's geological formations, such as flattened relief and predominance of slope with very soft dissection between interfluves. Data on the changes in usage and occupation of the lands was possible through satellites images, where it was found that between 2005 and 2015, the main usage was pasture with 546 km², the second, was areas intended to temporary cultures, with 237,4 km². The analyses regarding the quality of the water from the reservoir, were made according to the resolution nº 357 from 2005 of CONAMA, it was ranked as of very low quality due to its high percentage of nitrite and phosphorus. It was ranked as class 4. The variables: TDS and CE, Temp and TDS, Temp and CE, present significant correlations. The components optically active in the water (chlorophyll, concentration of suspended sediment, transparency and murkiness) that interfere in the electromagnetic spectra, present correlations with the measures of reflectance in the wavelength of 716 nm and 720 nm in January 2015, while the variables correlated better with the wavelength of 647 nm, 697 nm e 704 nm in February 2016, pointing that these wavelengths belong to the color red. The reflectance during the rainy months, January 2015 and February 2016, registered values between 0,04 and 0,23%, while in the dry season, July 2015 and August 2016, 0,03 and 0,14%. Generally speaking, that the research led to comprehend the current dynamics of the river basin environment and of the hydropower plant Salto do Rio Verdinho's reservoir, on their natural and man induced components that affect the water quality, thus, fulfilling the intended general aim.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Mapa de Localização da bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho..... | 26 |
| Figura 2.1 – Compartimentação horizontal com zonas de mudanças das águas em ambiente de reservatório e suas características ambientais | 38 |
| Figura 2.2 – Comportamento espectral das massas de água com relação a alta (A) e baixa (B) concentração da biomassa fitoplanctônica | 41 |
| Figura 2.3 – Comportamento espectral das massas de água com relação a alta concentração de sedimentos em suspensão | 41 |
| Figura 2.4 – Reflectância de água clara, de água com pouca e alta concentração de matéria suspensa..... | 42 |
| Figura 2.5 - Curvas de reflectância com diferentes concentrações de sólidos em suspensão, medidos por meio da turbidez | 43 |
| Figura 3.1 – Fluxograma das etapas dos procedimentos metodológicos | 46 |
| Figura 3.2- Localização das estações pluviométricas da ANA próximas da bacia em estudo. | 49 |
| Figura 4.1 - Precipitação média mensal e total de 2005 a 2016 das estações pluviométricas localizadas próximas da bacia | 67 |
| Figura 4.2 - Precipitação acumulada dos 30 dias anteriores aos trabalhos de campo | 68 |
| Figura 4.3- Estações pluviométricas localizadas próximas da bacia..... | 70 |
| Figura 4.4 – Climograma de Caçu-GO..... | 71 |
| Figura 4.5 – Climograma de Itarumã-GO | 72 |
| Figura 4.6 - Geologia da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho | 73 |
| Figura 4.7 - Superfície com cascalhos e concreções da Formação Marília..... | 75 |
| Figura 4.8- Basaltos próximos à barragem da UHE..... | 75 |
| Figura 4.9 - Solos da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho | 76 |
| Figura 4.10 - A) Latossolos Vermelhos arado para plantios. B) Argissolos Vermelhos-Amarelos observados na margem do rio Verde..... | 77 |
| Figura 4.11 - Relevo da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho..... | 78 |
| Figura 4.12 - Declividade da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho..... | 80 |
| Figura 4.13- Visão panorâmica do reservatório, evidenciando os baixos declives e parte da ocupação da bacia por pastagens para criação de gado de corte | 82 |
| Figura 4.14 - Visão panorâmica, no plano de fundo as chapadas de topos planos, e no centro à depressão do rio Verde | 82 |
| Figura 4.15 - Modelo de sobreposição das camadas dos atributos físicos associados | 86 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.16 – Perfil estrutural da paisagem - seção transversal a montante do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho | 89 |
| Figura 4.17 – Mapas de Usos das Terras de 2005, 2010 e 2015 da bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho | 91 |
| Figura 4.18 – Usina ETH Bioenergia S/A, Unidade Rio Claro, município de Caçu-GO | 92 |
| Figura 4.19 - A) Paisagem que contempla a água e antigas matas ciliares inundadas; B) paliteiros no córrego da Cavinha | 93 |
| Figura 4.20 - A) Paisagens das ocupações de pastagens para pecuária; B) áreas destinadas à cultura de cana-de-açúcar no reservatório | 94 |
| Figura 4.21 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de janeiro de 2015 | 98 |
| Figura 4.22 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de julho de 2015 | 103 |
| Figura 4.23 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de fevereiro de 2016 | 107 |
| Figura 4.24 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de agosto de 2016 | 112 |
| Figura 4.25 – Macrófitas aquáticas observadas próximo dos pontos P8 e P26 | 114 |
| Figura 4.26 - Valores médios do parâmetro fósforo total (2008-2009) dos afluentes goianos da bacia hidrográfica do rio Paranaíba | 118 |
| Figura 4.27 -Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba | 119 |
| Figura 4.28 – Profundidade dos 32 pontos de amostragens | 121 |
| Figura 4.29 - Distribuição espaço-temporal do CSS no reservatório em pesquisa | 123 |
| Figura 4.30 - Distribuição espaço-temporal da Clorofila no reservatório em pesquisa | 125 |
| Figura 4.31 - Distribuição espaço-temporal da Transparência da água | 127 |
| Figura 4.32 - Distribuição espaço-temporal da Turbidez no reservatório em pesquisa | 129 |
| Figura 4.33 - Distribuição espaço-temporal da Turbidez no reservatório em pesquisa | 131 |
| Figura 4.34 – Espectros de reflectâncias do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho com suas datas de coleta | 134 |
| Figura 4.35 – Variação espaço-temporal dos picos de reflectâncias | 136 |
| Figura 4.36 - Correlações entre espectros de reflectâncias e variáveis dos COAs | 139 |
| Figura 4.37 – Algoritmo de regressão linear da reflectância 647 nm x Turb no período de agosto de 2016 | 140 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.38 – Contínuo removido dos espectros de reflectâncias | 142 |
| Figura 4.39 – Primeira derivada dos espectros de reflectâncias..... | 144 |
| Figura 4.40 - Correlogramas da primeira derivada das reflectâncias com as variáveis dos COAs | 146 |
| Figura 4.41 – Algoritmo de regressão linear da reflectância normalizada da faixa de 596 nm x Turb do campo de janeiro de 2015 | 147 |
| Figura 4.42 – Modelo de regressão linear da reflectância de 568 nm x Secchi do campo de agosto de 2016..... | 148 |
| Figura 7.1 – Resultados da campanha realizada pela CTE em julho de 2001..... | 177 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 2.1 – Classificação das águas doces pela Resolução CONAMA 357 de 2005, segundo os destinos de seus usos, e com as cores representativas de suas condições de qualidade | 35 |
| Quadro 3.1 - Enfoque estrutural | 51 |
| Quadro 3.2 – Datas das imagens dos satélites Landsat 5 e 8, selecionadas para o estudo | 51 |
| Quadro 3.3 - Equipamentos utilizados nas avaliações limnológicas..... | 55 |
| Quadro 3.4 - Parâmetros de análises físico-químicos e biológico de qualidade da água, com padrões da Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005 | 58 |
| Quadro 3.5 -Coeficiente de correlação linear e os intervalos de correlação | 61 |
| Quadro 3.6 - Radiação eletromagnética de 400-900 nm | 65 |
| Quadro 4.1- Síntese estratigráfica das formações geológicas observadas na área de estudo ... | 74 |
| Quadro 4.2 - Variações de fitofisionomias do bioma Cerrado e outros usos encontrado na área da Bacia da UHE Salto do Rio Verdinho | 83 |
| Quadro 4.3 - Confluências da relação dos componentes da paisagem..... | 87 |
| Quadro 4.4 - Enquadramento de qualidade da água, de acordo com os padrões da Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005 | 116 |
| Quadro 4.5 - Fotografias da água e da paisagem, representando as condições das águas em duas campanhas distintas..... | 133 |
| Quadro 4.6 - Correlações mais altas entre as variáveis dos COAs e as reflectâncias dos comprimentos de ondas | 137 |
| Quadro 4.7 - Correlações entre as variáveis dos COAs e a primeira derivada das reflectâncias dos comprimentos de ondas (CO) | 145 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1 - Comprimento de onda de absorção dos pigmentos | 43 |
| Tabela 3.1- Localização dos pontos de amostragens, datas e horários das coletas | 47 |
| Tabela 3.2 - Referências para classificações de Índice kappa e sua respectiva qualidade | 53 |
| Tabela 4.1 - Classes de declividades correspondentes as porcentagens de ocupação, dissecações e relevos | 81 |
| Tabela 4.2 – Cálculo de áreas das classificações de Usos das Terras, dos anos de 2005, 2010 e 2015 | 95 |
| Tabela 4.3 – Enquadramento do Índice de kappa e as respectivas qualidades dos resultados de uso e ocupação da terra dos anos de 2005, 2010 e 2015 em análise | 96 |
| Tabela 4.4 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 30/01/2015 . | 99 |
| Tabela 4.5– Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 30/01/2015 | 101 |
| Tabela 4.6 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 29/07/2015 | 104 |
| Tabela 4.7 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 29/07/2015 | 105 |
| Tabela 4.8 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 08/02/2016 | 108 |
| Tabela 4.9 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 08/02/2016 | 110 |
| Tabela 4.10–Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 05/08/2016 | 113 |
| Tabela 4.11– Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 05/08/2016 | 115 |
| Tabela 7.1 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2005. | 169 |
| Tabela 7.2 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2010. | 169 |
| Tabela 7.3 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2015. | 170 |
| Tabela 7.4 - Dados de análises limnológicas do campo de 30/01/2015 | 171 |
| Tabela 7.5 - Dados de análises limnológicas do campo de 29/07/2015 | 172 |
| Tabela 7.6 - Dados de análises limnológicas do campo de 08/02/2015 | 174 |
| Tabela 7.7 - Dados de análises limnológicas do campo de 05/08/2015 | 175 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | | |
|----------|---|---|
| ABNT | - | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACP | - | Análise de Componentes Principais |
| AL | - | Alumínio |
| ANA | - | Agência Nacional das Águas |
| ANEEL | - | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| APPs | - | Áreas de preservação permanente |
| CAPES | - | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CE | - | Condutividade elétrica |
| CETESB | - | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| Chl | - | Clorofila |
| CL | - | Classe |
| COAs | - | Constituintes opticamente ativos |
| COD | - | Carbono orgânico dissolvido |
| CONAMA | - | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CSS | - | Concentração de Sedimentos em Suspensão |
| DBO | - | Demanda bioquímica de oxigênio |
| EIA | - | Estudo de Impactos Ambientais |
| Fe | - | Ferro |
| GPS | - | Global Positioning System |
| HidroWeb | - | Sistema de Informações Hidrológicas |
| IAF | - | Índice de área foliar |
| IBGE | - | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IET | - | Índice de Estado Trófico |
| IGAM | - | Instituto Mineiro de Gestão das Águas |
| INMET | - | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INPE | - | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IQA | - | Índice de Qualidade das Águas |
| IVP | - | Infravermelho próximo |
| Landsat | - | Land Remote Sensing Satellite |
| LGA | - | Laboratório de Geociências Aplicadas |
| LAPIG | - | Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento |
| m | - | Metros |

| | |
|-----------|--|
| MaxVer - | Máxima Verossimilhança |
| MLME - | Modelo Linear de Mistura Espectral |
| MS - | Ministério da saúde |
| MSAVI- | Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado |
| NaCl - | Salinidade |
| NDVI – | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada |
| nm - | Nanômetros |
| NT - | Nitrito |
| Obs.: - | Observação (es) |
| OD - | Oxigênio Dissolvido |
| OLI - | Operational Land Imager |
| P - | Fósforo |
| PACUERA - | Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial |
| PCHs - | Pequenas Centrais Hidrelétricas |
| pH - | Potencial Hidrogeniônico |
| RES - | Resistividade |
| RIMA - | Relatório de Impactos Ambientais |
| RPPN - | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| SAVI - | Índice de Vegetação Ajustado ao Solo |
| SCUT - | Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra |
| SiBCS - | Sistema Brasileiro de Classificação de Solos |
| SIG - | Sistema de Informações Geográficas |
| SINGREH - | Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| SRTM - | Shuttle Radar Topography Mission |
| TDS - | Total de Sólidos Dissolvidos |
| TSS - | Total de Sólidos em Suspensão |
| Temp - | Temperatura |
| TM - | Thematic Mapper |
| Trans - | Transparência |
| Turb - | Turbidez |
| UHEs - | Usinas Hidrelétricas |
| UNT - | Unidades Nefelométricas de Turbidez |
| USGS - | United States Geological Survey |
| UTM - | Universal Transversa de Mercator |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| < | - | Menor |
| > | - | Maior |
| = | - | Igual |
| α | - | Alfa (Coeficiente de significância) |
| °C | - | Grau Celsius |
| Km ² | - | Quilômetro quadrado |
| mg/L | - | Miligrama por litro |
| µg/L | - | Micrograma por litro |
| µS/cm | - | MicroSiemens por centímetros |
| Ωm | - | Ohm/metro |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 22 |
| 1.1 Localização da Área de Estudo..... | 24 |
| 1.2 Hipóteses | 28 |
| 1.3 Objetivos | 28 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 28 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 29 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 30 |
| 2.1 Usos e ocupações das terras: enfoque em bacias hidrográficas..... | 30 |
| 2.2 Qualidade das águas | 33 |
| 2.3 Geotecnologias aplicadas aos estudos dos ecossistemas aquáticos | 39 |
| 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 46 |
| 3.1 Demarcação dos pontos de coletas e campanhas de campo | 47 |
| 3.2 Análise dos dados de chuva..... | 48 |
| 3.3 Procedimentos cartográficos..... | 49 |
| 3.3.1 Mapas dos aspectos físicos | 49 |
| 3.3.2 Perfil Estrutural..... | 50 |
| 3.3.3 Unidades Estruturais | 50 |
| 3.4 Mapa de Uso da Terra..... | 51 |
| 3.5 Procedimentos de amostragens de água e das análises físico-químicas e biológica..... | 54 |
| 3.6 Análises estatísticas aplicadas às variáveis físico-químicas e biológica | 58 |
| 3.6.1 Histogramas de frequências..... | 59 |
| 3.6.2 Média aritmética | 59 |
| 3.6.3 Desvio padrão | 60 |
| 3.6.4 Coeficiente de variação..... | 60 |
| 3.6.5 Correlação linear..... | 61 |
| 3.6.6 Regressão linear..... | 62 |
| 3.6.7 Espacialização das variáveis limnológicas | 62 |
| 3.7 Procedimentos de coleta de dados espectrais | 63 |
| 3.8 Técnicas de Análise de Dados Espectrais | 64 |
| 3.8.1 Análise de Derivada e Remoção do Contínuo..... | 64 |

| | |
|--|------------|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 66 |
| 4.1 Caracterização da Área de Estudo..... | 66 |
| 4.1.1 Clima..... | 66 |
| 4.1.2 Aspectos Físicos | 72 |
| 4.2 Alterações no Uso da Terra..... | 90 |
| 4.2.1 Qualidade dos mapeamentos (Índice Kappa) | 96 |
| 4.3 Análise de qualidade das águas | 97 |
| 4.4 Qualidade da água segundo a Resolução CONAMA 357/05 | 116 |
| 4.5 Espacialização de variáveis limnológicas - Compartimentação do reservatório..... | 120 |
| 4.6 Análise dos espectros de reflectâncias de feições originais e os COAs..... | 132 |
| 4.7 Avaliação da remoção do contínuo das curvas espectrais..... | 141 |
| 4.8 Primeira derivada das reflectâncias e as correlações com as variáveis dos COAs..... | 143 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 149 |
| REFERÊNCIAS | 154 |
| APÊNDICES..... | 169 |
| Apêndice A – Tabelas de matrizes de confusão referentes as classificações dos usos e ocupações das terras, no bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho | 169 |
| Apêndice B – Tabelas de dados das análises das variáveis liminológicas coletadas no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho. | 171 |
| ANEXOS | 177 |
| Anexo A –Resultados da campanha de campo realizada pelo RIMA da UHE Salto do Rio Verdinho..... | 177 |

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade sempre esteve ligado aos uso dos recursos hídricos. A água foi considerada como bem inesgotável por muitos milênios, mas na atualidade os recursos hídricos vem sendo contaminados pelo lançamento de efluentes domésticos, industriais e por outros usos desmedidos e indiscriminados. Na realização da primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em Estocolmo, no ano de 1972, foi ressaltada a prevenção do meio ambiente, incluindo a água como um dos bens a serem preservados para as gerações atuais e futuras.

O Brasil em 1934 já estava se absorvendo o aproveitamento e uso das águas, quando criou o Código das Águas, pelo decreto nº 24.643 de 10 de Julho de 1934, marcado na constituição brasileira a de 1934, em que traçava diretrizes que permitam ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas.

Com a promulgação da Constituição de 1988, ocorreu a participação da sociedade civil na gestão dos recursos naturais do Brasil, e a gestão das águas foi um princípio fundamental que norteou as políticas públicas para o setor. Após a criação da Lei nº 9.433/97, conhecida com a Lei das Águas, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). A lei teve por objetivo oferecer ao país um instrumento para se enfrentar o desafio sobre a demanda crescente de água face ao crescimento urbano, industrial e agrícola (REBOUÇAS, 2006; BRAGA et al., 2006).

Porém, nem sempre as legislações e seus órgãos competentes conseguem fiscalizar e garantir que o uso da água seja executado em concordância com os limites estipulados pelas leis. Isso porque, muitos são os problemas ambientais enfrentados pelo uso incorreto das bacias hidrográficas (MORAGAS, 2005; ROCHA, 2014).

Segundo Alcântara et al. (2011), Cabral et al. (2013) e Fia et al. (2015), a qualidade das águas dos corpos hídricos é afetada pelo uso e manejo dos solos de uma bacia hidrográfica e pelo regime hídrico. E, de acordo com Mansor (2005), em função da sazonalidade, no período chuvoso, o escoamento das águas pluviais transporta inúmeras substâncias químicas, lixiviadas das lavouras, entre as quais estão o nitrito e o nitrato, que são muito solúveis na água, e na estiagem o aumento é das concentrações de poluentes advindos dos despejos, de qualquer fonte contaminante, pela vazão reduzida.

Nesse sentido, são muitos os estudos realizados, para uma boa gestão de bacias hidrográficas e, por conseguinte, em ambientes de lagos, desde naturais até reservatórios

artificiais. Em ambientes de reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs) são destacados, no Brasil, alguns importantes trabalhos, como na região do estado do Rio Grande do Sul, com estudos sobre eutrofização, qualidades das águas e avaliações radiométricas em reservatórios, sendo estes localizados principalmente na bacia hidrográfica do rio Jacuí, com represas sequencialmente em cachoeiras. As usinas Ernestina, Passo Real, Itaúba e Dona Francisca, foram objetos de estudos de Pereira Filho e Galvão (1997), Breunig et al. (2007), Trentin (2009), Corazza (2010), Pereira Filho et al. (2011), Wachholz (2011), Santos (2016) entre outros. No interior dos estados de São Paulo e Paraná, Boschi (2011), Pereira et al. (2011), Cicerelli (2013), realizaram pesquisas nos reservatórios de Nova Avanhandava, Itupararanga e Porto Primavera, em São Paulo.

Entretanto, os estudos de gerenciamento dos recursos hídricos estão sendo realizados atualmente, em diversos ambientes no Brasil e no mundo, sobretudo aliados ao desenvolvimento das geotecnologias. Pois existem ferramentas que permitem relacionar parâmetros limnológicos com imagens de satélites e dados radiométricos, a fim de se conhecer as características hidrodinâmicas dos reservatórios artificiais, para realizar a gestão adequada desses recursos (NOVO, 1986, 2010; CICERELLI, 2013; WACHHOLZ; CABRAL, 2012; MANZO et al., 2018; YEPEZ et al., 2018).

Os estudos por meio de imagens de satélites estão entre os exemplos de utilização de geotecnologias como suporte para pesquisas de comportamento espectral da água, como foi aplicada em estudos pioneiros no Brasil por Novo (1986). A utilização do suporte de geotecnologias conduziram Kimmel et al. (1990), a compreenderem as misturas de compostos nas águas em lagos e reservatórios, gerando compartimentos aquáticos, por meio de imagens de satélites e espectrorradiometria de campo.

Todavia, surgiram muitas propostas de correlações de imagens orbitais com dados de espectrorradiometria e de variáveis limnológicas coletadas em campo. Isso porque, segundo Pereira Filho et al. (2005, 2011), os espectros de reflectância de campo possuem relações com variáveis limnológicas como clorofila, sedimentos em suspensão e, conseqüentemente, são correlacionadas com reflectâncias obtidas em imagens de satélites.

Desse modo, os estudos das alterações sobre as características superficiais das águas, principalmente em reservatórios, foram propostas por Novo (1986) por meio das análises em escala espaço-temporal, em que determinam diferenças entre a qualidade de variáveis monitoradas. Pereira Filho (2005) e Novo (2010) utilizaram o suporte das técnicas de sensoriamento remoto e campanhas de campo para estimar a gênese e o deslocamento de substâncias dissolvidas na água.

Avaliar as composições de substâncias suspensas ou dissolvidas nas águas são possíveis de serem aplicadas nos estudos espectro-radiométricos em ambientes aquáticos, que possibilitam a compreensão da origem e o deslocamento para os comprimentos de ondas específicos do espectro eletromagnético visível, permitindo identificar compartimentos aquáticos (KIMMEL et al., 1990; PEREIRA FILHO, 2005; NOVO, 2010; JENSEN, 2009; WANG et al., 2012; CHENG et al., 2013).

Portanto, existem equipamentos adequados para medir as respostas espectrais, de vários locais e superfícies, como da superfície aquática, analisadas por meio do espectrorradiômetro portátil.

Conforme Novo (1986), Pereira Filho (2005), Araújo e Fonseca (2016), uma análise multitemporal realizada sobre a superfície aquática ou em qualquer ambiente, é importante ser efetuada para se comparar um mesmo ambiente em dois ou mais períodos. Quando sendo realizada na água vem auxiliando no monitoramento das suas dinâmicas naturais e antrópicas.

Visando suprir a demanda, de estudos em reservatórios na região Sudoeste Goiano, onde atualmente muitos empreendimentos hidráulicos vêm sendo construídos e planejados (ANA; SPR, 2013), foi selecionado como objeto de estudo a área da bacia hidrográfica e o reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, situado no trecho inferior da bacia hidrográfica do rio Verde. Onde o curso fluvial é o limite territorial dos municípios de Caçu e Itarumã no estado de Goiás, próximo da divisa com os estados de Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. A usina hidrelétrica se distancia a 20km do Distrito de Itaguaçu, pertencente ao município de São Simão, pela GO-164.

A proposição dessa tese está norteada pela carência de estudos científicos na bacia do rio Verde e no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, em relação a qualidade das águas, pois, todos os empreendimentos hidrelétricos necessitam desses estudos após a sua implantação.

1.1 Localização da Área de Estudo

A área que compreende a bacia da UHE Salto do Rio Verdinho, abrange a mesorregião do Sul Goiano e a microrregião de Quirinópolis, no estado de Goiás, Brasil. A bacia da UHE Salto do Rio Verdinho compreende uma área de 983km², e está localizada na bacia do rio Verde, afluente pela margem direita do rio Paranaíba, rio com grande potencial hidrelétrico, sendo grande contribuinte da bacia do rio Paraná.

A bacia do rio Verde de acordo com THEMAG e CTE (2002), possui uma área de drenagem de 12.000 km² e compreende parte dos territórios dos municípios goianos de Caçu, Itarumã, Mineiros, Portelândia e Serranópolis. Em seu trecho inferior, os municípios de Caçu, na margem esquerda, e Itarumã, na margem direita, utilizam o rio como divisa municipal, precisamente onde se encontra o recorte cartográfico da bacia em estudo, entre as coordenadas de paralelos de 7880000 e 7926000 Sul, e meridianos de 472000 e 530000 Oeste (Figura 1.1).

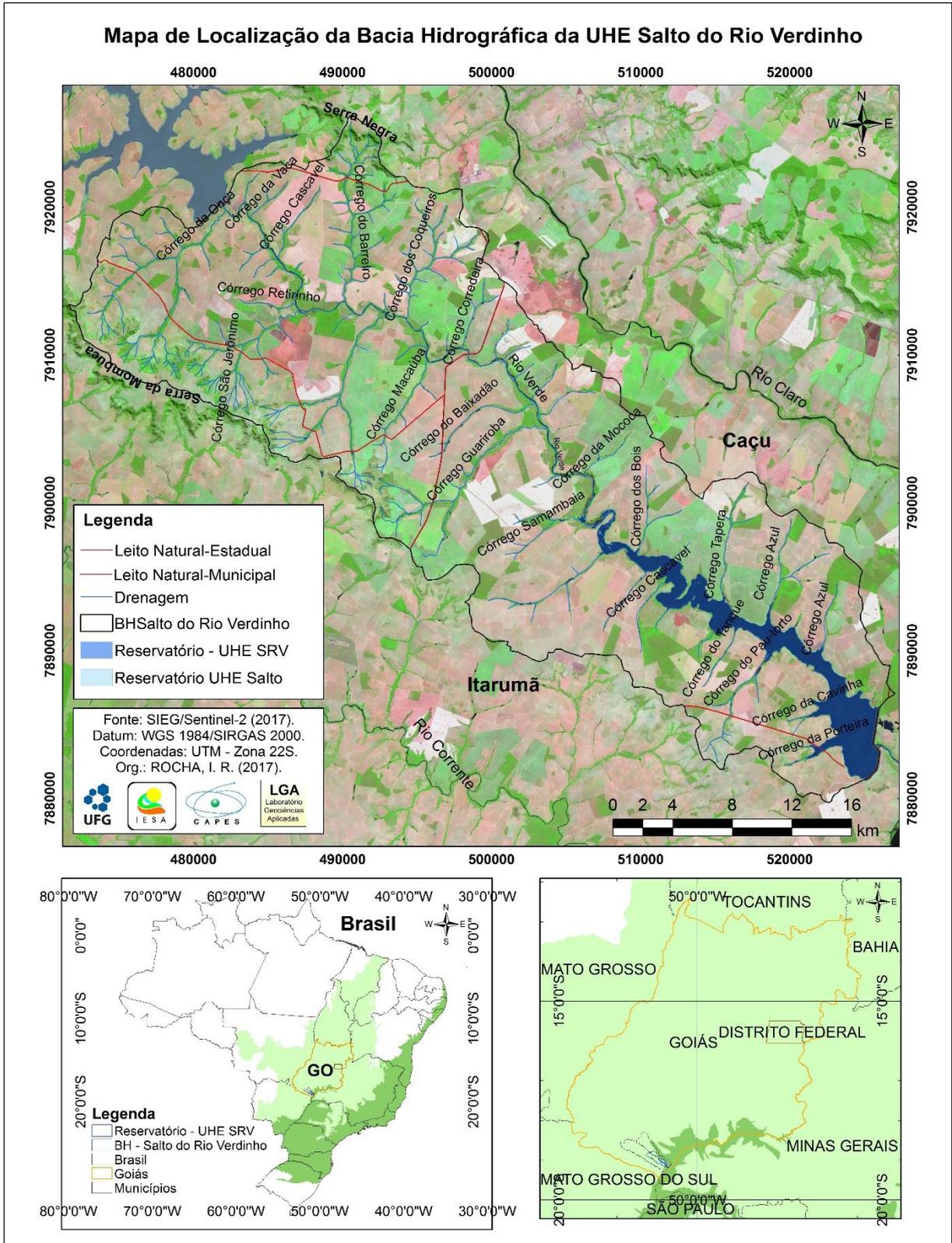
Nesse sentido, é importante destacar que a bacia em pesquisa envolve a área de contato de dois biomas, do Cerrado para a Mata Atlântica. Segundo Ab'Saber (2003), Lima (2013) e Oliveira (2014), na região próxima da área de pesquisa encontram-se os resquícios da vegetação de Floresta Estacional Semidecidual, também conhecida como Mata Atlântica de Interior, o que caracteriza o ambiente como importante para compreensão da transição local de cobertura vegetal. No sul de Goiás ocorre a presença da vegetação de Floresta Estacional Semidecidual ou Floresta Caducifólia Tropical, que conservou suas características genéticas, mesmo permanecendo na grande região savânica, e o que a conservam são as temperaturas médias no inverno e o índice pluviométrico maior no verão (IBGE, 2012).

Assim, Coutinho (2006) garante que, dentre os domínios fitogeográficos no Cerrado encontramos vários biomas. Dessa forma, compete dizer que os biomas podem ser um mosaico de origens de outros bioma. Porém, existem três teorias para o surgimento do bioma Cerrado como o da sazonalidade climática proposta por Warming (1882), do Oligotrofismo segundo Arens (1958) e do Fogo conforme Coutinho (1978) (COUTINHO, 1978).

Waibel (1948), já visualizava que as regiões de campos de Cerrado eram áreas propícias para a expansão da agricultura no Brasil, que na ocasião só era utilizada para pasto. Inicialmente observou o estado de Mato Grosso e depois a região de planalto do Brasil central, onde se localiza o estado de Goiás, onde indicou áreas importante para a expansão da agricultura, como também para a mudança da capital do Brasil, naquele momento.

Nas campanhas de campo foram registradas fotografias das paisagens, para se avaliar e compreender o modelo de uso e ocupação das terras. As áreas de pastagens são utilizadas para a atividade pecuária, destinadas à criação de gado de corte e leiteira. As áreas de agricultura são destinadas à monocultura de cana-de-açúcar, milho e soja, além da presença das áreas de mata ciliar e de vegetação natural (Área de Preservação Permanente e Reserva Legal), nas proximidades dos cursos fluviais.

Figura 1.1 – Mapa de Localização da bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho



Organização: Própria Autora (2017).

Na bacia hidrográfica do rio Verde foram implantadas duas UHEs: Salto e Salto do Rio Verdinho, que se encontram em operação, produzindo energia hidráulica. Mas estão previstos novos empreendimentos hidrelétricos para essa bacia, entre eles as UHEs Tucano, Guariroba 400, Estrela, Floresta e Serra Azul e, ainda, as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) Guariroba, Retirinho, Tucano M1 e Taboca (ANA, 2014). Na bacia do rio Verde, desde a sua nascente até a foz, existe captação das águas para uso de abastecimento da população, industrial, irrigação e, atualmente, aproveitamento energético (ANA; SPR, 2013).

As águas recebidas pelo reservatório podem sofrer interferências do outro reservatório à montante, porque a saída de água da UHE Salto dá entrada na UHE Salto do Rio Verdinho, existindo um efeito em cascata, como ocorre no caso da UHE Caçu, que deságua na UHE Barra dos Coqueiros, localizadas no rio Claro, rio paralelo ao rio Verde, promovendo regulação de muitos processos naturais, incluindo a disponibilidade de nutrientes, pois os reservatórios tendem a reter sedimentos devido a água permanecer mais tempo parada (ROCHA, 2012; ROCHA et al., 2014; ROCHA et al., 2015)

A bacia do rio Verde encontra-se nos estudos de gerenciamento de bacias hidrográficas, como um ambiente de risco de fontes de poluição a partir do uso do solo sem as práticas corretas. Alguns dos trechos desse rio estão sendo afetados diretamente pela entrada de contaminantes vindos das lavouras, da ocupação urbana e pela contribuição difusa da irrigação e, principalmente, pela produção de energia elétrica. Em função disso, surgem alguns problemas ambientais e, lidam diretamente com a qualidade das águas (ANA, 2014).

A área da bacia UHE Salto do Rio Verdinho encontra-se ocupada principalmente por práticas agrícolas e pecuárias em grande escala, carecendo de estudos ambientais que estejam disponíveis à sociedade e as comunidades locais. E o estudo de qualidade das águas do reservatório, em decorrência da implantação da usina hidrelétrica, é uma opção de trabalho disponibilizado, ao sistema público gestor da região.

Na área da bacia em estudo, poucos foram os trabalhos registrados. Os diagnósticos existentes são os relatórios de Estudo de Impacto Ambiental (EIA), e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), e um artigo publicado por alguns integrantes da instituição promotora da avaliação realizada para os relatórios, durante o período de implantação do projeto da UHE Salto do Rio Verdinho. Assim, surgiu o interesse em realizar essa pesquisa, visando suprir a demanda de estudos sobre as propriedades físicas dos reservatórios recém implantados na região Sudoeste Goiano.

1.2 Hipóteses

A partir dos processos de estudos aquáticos, que estão sendo realizados em reservatórios na atualidade, a tese procurou identificar quais demandas poderiam ser mensuradas no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, para responder as alterações que o ambiente pode apresentar em um diagnóstico de qualidade das águas. Segundo as questões norteadoras a seguir:

- ✓ Ocorrem alterações na qualidade das águas do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho após a construção da represa e por conta da sazonalidade de períodos climáticos?
- ✓ Em quais os períodos e, quais são os parâmetros liminológicos afetados pelas mudanças sazonais?
- ✓ O modelo de uso e ocupação das terras na bacia do rio Verde interferem na qualidade das águas?

Assim, baseando-se nas questões norteadoras, visou-se responder algumas hipóteses possíveis de serem testadas, indicando que:

Na avaliação da qualidade das águas, durante sazonalidades, existem influências externas ao reservatório, e cada uma com indicações distintas de fontes potenciais dessas mudanças.

O uso da terra e a análise da estrutura física da bacia indicam as interferências sofridas na qualidade da água e na resposta espectral.

As geotecnologias aplicadas em estudos de monitoramento multitemporal são suporte eficaz para identificar quais são os locais com aportes de nutrientes de origens inorgânicas e orgânicas, e avaliar quais são os que mais contribuem na interferência da qualidade das águas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

A presente tese teve como objetivo geral compreender a dinâmica de uso e ocupação das terras da bacia do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho e sua relação com diferentes aspectos físico-ambientais, que geram influência sobre a qualidade das águas, a partir da mensuração de parâmetros limnológicos de constituintes inorgânicos e orgânicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Analisar os aspectos físicos da bacia, por meio de levantamento de dados físico-ambientais e de mapeamentos temáticos.
- b) Compreender as concentrações e distribuições espaço-temporal das chuvas na bacia hidrográfica em estudo.
- c) Realizar análise espaço-temporal a fim de compreender as alterações no uso da terra nos últimos 15 anos.
- d) Avaliar a qualidade das águas do reservatório e realizar o enquadramento do corpo hídrico de acordo com as resoluções vigentes.
- e) Verificar a existência de níveis de compartimentação do reservatório com apoio de técnicas de geoprocessamento e de hidrossedimentologia.
- f) Analisar os dados espectrais e identificar os comprimentos de ondas mais relevantes em relação aos Componentes Óticamente Ativos (COAs) na água.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Usos e ocupações das terras: enfoque em bacias hidrográficas

O uso e ocupação das terras, estão sendo enfoque em diversas pesquisas, desde os níveis locais como em pequenas bacias hidrográficas, como em estudos de níveis nacionais, como das classificações de usos geradas para cidades, estados e até para os biomas brasileiros.

Os estudos de uso da terra e de impactos ambientais são ferramentas utilizadas nos planejamentos territoriais de acordo com o IBGE (2013). Como apresentado por Ganen et al. (2013) e Ferreira et al. (2016), as alterações ocorridas nos usos dos solos no Brasil e no Bioma Cerrado, permanecem em muito, relacionadas as atividades de processos e ocupações antrópicas, destinadas com grande prioridade para os muitos usos de agricultura. Segundo os discursos para a disponibilidade de alimentos, mas, sabendo-se que as utilizações em quaisquer dos usos agrícolas em grandes extensões, provocam muitos impactos sobre os ecossistemas naturais.

De acordo com Ferreira et al. (2016), o ambiente do Cerrado apresenta muitas modificações relativas ao aspecto original, pois, a entrada da agropecuária converteu diversas áreas naturais, principalmente pela necessidade de modernização do sistema agropecuário, tendo avançando para áreas com potencial agricultável no interior do Brasil. Na década de 1980, passou a ocupar áreas mais distantes, com do estado da Bahia e áreas de transição do Bioma Cerrado para o Amazônico, transformando essas áreas em cultivos agrícolas e pastagens.

Agrícola (2012) chama a atenção para as transformações agressivas que o campo tem passado, em meio aos resultados da modernização da agricultura como na moldada Revolução Verde. Pois essa agricultura modernizada gerou diversos problemas socioambientais, desaparecendo com a agricultura de caráter familiar e dando lugar ao agronegócio. Ocorreu a redistribuição da Terra para produção agrícola em larga escala, apoiada pela estrutura latifundiária, mecanizada e tecnologicada.

No Cerrado recentemente ocorre o desenvolvimento do uso destinado a uma atividade agrícola em destaque, a cana-de-açúcar que altera significativamente os recursos naturais. Nesse processo de ocupação, o desmatamento avançou para áreas que não eram consideradas produtivas, associando em algumas partes também às queimadas, reduziram consideráveis áreas do bioma Cerrado (CASTRO et al., 2010; EMBRAPA, 2015).

De acordo com Sano et al. (2007), Domingues e Bermann (2012), existem muitos aspectos negativos relativos as atividades agrícolas no geral, que interferem diretamente nos ecossistemas, sendo ocasionadas pelas práticas inadequadas, gerando poluição para os recursos hídricos e degradação do solo e, nos casos mais graves, podem levar até a desertificação.

O uso da terra no Bioma Cerrado, sobretudo, ocorreu após programas e planos das políticas governamentais de incentivos agropecuários, que passaram a intervir decisivamente na modernização agrícola da Região Centro-Oeste (SANO et al., 2007; CASTRO et al., 2010; DOMINGUES; BERMANN, 2012). Segundo a EMBRAPA (2015), contaram e ainda contam com investimentos para numerosos setores da economia agrícola, e as políticas visam até à atualidade, a introdução de técnicas mais eficientes e modernas.

Para se ter uma noção da importância da avaliação de ocupação da terra, estudos de Ganem et al. (2013) apontam que o bioma Cerrado já perdeu 48,2% da biomassa original, tornando essas áreas convertidas em outros usos. A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), cita que além de conceder a novos espaços produtivos, também ampliou-se a infraestrutura viária e a construção de hidrelétricas no ambiente do Cerrado (EMBRAPA, 2015).

Neste cenário, conforme Borges et al. (2016), precisa-se de muitos esforços, para criações de unidades de conservações, pois, ainda são poucas as existentes, apenas 3,1% do bioma Cerrado encontram-se protegido em unidades de proteção ambiental. A criação de parques, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) e outras unidades de proteção ambiental são maneiras de continuar tentando preservar o Cerrado.

Assim, é importante a realização de estudos que analisem os fatores que influenciam o avanço do processo de uso e ocupação das terras em bacias hidrográficas, principalmente pelas atividades agropastoris, para que se detectem as mudanças sofridas e os seus impactos no solo, sobretudo, para servir de subsídios para o planejamento e gestão dos recursos naturais. Por esse motivo as avaliações de usos e ocupações periódicas, são de suma importância para identificar as mudanças ocorridas no ambiente e indicar possíveis modelos de desenvolvimentos sustentáveis para a boa gestão das terras nas bacias hidrográficas, sendo viabilizada pela utilização de ferramentas de mapeamentos de usos e ocupações das terras (CABRAL et al. 2011, ROCHA; CABRAL, 2017).

Assim, a avaliação da dinâmica de ocupação antrópica, são realizadas com o emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, utilizando-se ferramentas integradas em softwares específicos para estes estudos. Essas ferramentas promovem

interpretação e tratamento de diferentes estruturas espaciais, como as aplicadas nas classificações de uso e ocupação da terra (LEITE; ROSA, 2015; ARAUJO; FONSECA, 2016; BORGES et al., 2016).

Os diagnósticos futuros para as diversas áreas de planejamento ambiental, estão ligados aos mapeamentos realizados por Geotecnologias, com recursos de imagens de satélites e softwares de geoprocessamento, gerando classificações temáticas, que quando associadas a dados estatísticos promovem variadas análises em escala espaço-temporal, com importantes resultados que apresentam diferenças segundo a defasagem das imagens com o passar dos tempos (BAYMA; SANO, 2015; ARAUJO; FONSECA, 2016; BORGES et al., 2016; ROCHA; CABRAL, 2017).

A escala espaço-temporal pode ser aplicada a qualquer avaliação promovida ao longo do tempo, pois, os impactos gerados pelo mau uso da terra, são monitorados em dias, meses até anos, para avaliar as transformações ocorridas na paisagem (CABRAL et al. 2011).

Existem uma grande variedade de índices de monitoramento da vegetação, que auxiliam na identificação do vigor vegetativo para a realização de uma classificação de uso da terra, por exemplo, tendo em vista estudos que englobam parâmetros de análises de vegetação, os distintos índices utilizados são o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado (MSAVI) (JENSEN, 2009; NOVO, 2010; ROSA, 2009; GAIDA et al., 2012; WACHHOLZ et al., 2013).

De acordo com Jensen (2009) e Rosa (2009), o monitoramento a partir de índices de vegetação indicam o desenvolvimento e qualidade da cobertura vegetal em diferentes períodos do ano, facilitando a escolha da melhor época para um monitoramento de uso da terra, por exemplo.

Bayma e Sano (2015) realizaram monitoramento em séries temporais do sensor MODIS com aplicação de modelos de NDVI, para diagnosticarem áreas de desmatamentos no bioma Cerrado. Os autores evidenciaram um aumento no desmatamento para áreas de avanços das atividades agropecuárias, principalmente pelo melhoria das tecnologias que permitiram cultivar em locais antes pouco propício, devido à restrição dos solos que eram muito ácidos.

A avaliação de NDVI foi aplicada por Queiroz Junior et al. (2013), na área da bacia hidrográfica da UHE de Caçu, Goiás, associada à quantidade de Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) presente nas águas do reservatório. O resultado apresentou as áreas de pastagens com menores valores de NDVI em comparação às áreas florestadas, o que definiu as pastagens como as maiores geradoras de potenciais entradas de sedimentos no reservatório.

Estudos de classificações de usos e ocupação das terras realizadas na bacia da UHE Caçu também apontavam para a presença de grandes áreas ocupadas pelas atividades ligadas à pecuária de corte e leiteira, conforme apresentado por Rocha (2014), onde os mapeamentos apresentaram ocupações para uso de pastagens representando 334,72 km², em torno de 75% da bacia hidrográfica da UHE Caçu, localizada no município de Caçu-GO.

A bacia da UHE Barra dos Coqueiros, no trecho inferior à UHE Caçu, apresentou elevado uso por pastagens (341 km², 64%). Porém, outra atividade teve destaque como, a cultura de cana-de-açúcar com 69,6 km², representando 22% das áreas ocupadas, conforme a pesquisa de Rocha (2011), compreendendo que futuramente essas plantações se ampliaram também nas áreas da bacia da UHE Caçu, por conta do desenvolvimento do setor sucroenergético previsto para a região Sudoeste Goiano.

Em 2013 foram divulgados os estudos do Plano de Ação de Recursos Hídricos (PARH) da Unidade de Gestão Hídrica (UGH) dos rios Claro, Verde, Correntes e Aporé, elaborado pela ANA e Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR), Conforme o mapeamento de uso e ocupação da terra realizado para essa região hidrográfica, foi identificada a predominância das áreas de pastagens, com significativas extensões de agricultura, além das ocupações naturais de floresta e de cerrado. As áreas de pastagens ocorria em 70,4% da UGH Claro, Verde, Correntes e Aporé (ANA; SPR, 2013).

2.2 Qualidade das águas

A Ecologia Límica é uma subdivisão da ecologia, e apresenta a limnologia como a ciência dos estudos dos ecossistemas aquáticos, sendo inicialmente estudada por pesquisadores a nível mundial nos séculos XVII, XVIII e XIX (POMPÊO, 1999).

A limnologia abrange estudos sobre os ambientes de lagos, rios, reservatórios, ambientes costeiros e outros, compondo-se por parâmetros limnológicos, sendo eles físicos químicos e biológicos. Assim, segundo Esteves (1998), uma contribuição importante para o estudo da limnologia foi a publicação da classificação ampla dos principais tipos de lagos em escala global, realizada por Hutchinson (1957).

Ainda nos estudos de Esteves (1998), os conhecimentos mais antigos da limnologia que se tem referência são de Forel (1901), com análises da variação qualitativa e quantitativa das espécies fitoplanctônicas em função das estações do ano no lago Genebra na Suíça, e no Brasil foram elaborados por Hermann Kleerekoper, limnólogo holandês, que em 1944, escreveu seu primeiro livro sobre limnologia em português, a partir de estudos realizados na

represa de Santo Amaro, atual represa de Guarapiranga, localizada na região sul metropolitana de São Paulo.

No Brasil, apenas após o ano de 1970 é que surgem grupos de pesquisas pelo território nacional. As pesquisas pioneiras foram coordenadas pelo Prof. Dr. José Galizia Tundisi, que foi um dos idealizadores do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais (UFSCar) e Ciências da Engenharia Ambiental (CRHEA/USP) (ESTEVEES, 1988; POMPÊO, 1999).

Os estudos sobre a qualidade das águas são uma forma eficiente de avaliar fontes potenciais de poluição, bem como para avaliar a qualidade ambiental de rios, lagos, reservatórios e outros (VON SPERLING, 1996; ESTEVEES, 1998).

A avaliação de qualidade das águas geralmente necessita da análise de diversos parâmetros, que são utilizados para caracterizar e indicar o estado de pureza para os diversos usos. Segundo Branco e Rocha (1977), o termo qualidade da água pode ser utilizado com muitas definições, mas algumas das principais definições podem ser relativas as propriedades de mérito, grau ou valor.

Em relação às legislações que visam determinar os usos e padrões de qualidade das águas, o governo federal propôs a criação de algumas resoluções, como a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituindo a avaliação e enquadramento da qualidade das águas superficiais, subterrâneas, salobras e salinas (BRASIL, 2005). Além da Resolução CONAMA 357, outra importante legislação a ser referenciada sobre qualidade da água é a Portaria nº 2.914, de 14 de novembro de 2011, do Ministério da Saúde (MS), que define padrões pertinentes à potabilidade da água para o abastecimento público (BRASIL, 2011).

Assim, a definição de qualidade das águas necessita de limites estabelecidos, seguindo um padrão de qualidade já mensurado. No Brasil a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) foi criada para satisfazer e normatizar os padrões adequados à potabilidade das águas, que podem ser utilizadas para o abastecimento público, desde que passem por tratamento, após desinfecção, remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos, além de apresentar condições de qualidade de corpos d'água, num determinado momento, em termos dos usos aceitáveis, com segurança adequada, frente às classes de qualidade.

A classificação de corpos d'água pode ser realizada de acordo com os critérios e classificações previamente definidos pelo enquadramento realizado pelo CONAMA (2005). Porém, para serem eficazes, são necessários seu monitoramento contínuo, pois uma contaminação pode ser de fontes como esgotos sanitários, materiais orgânicos, inorgânicos

entre outros, mas a variação vai depender do risco que sofre o ambiente, conforme sua condição previamente diagnosticada.

Na resolução CONAMA 357, atualmente são consideradas 13 “classes de qualidade”¹ de águas, constituindo em 5 para águas doces, 4 para águas salobras e 4 para águas salinas, em que a classe 1 nas três categorias gerais engloba a classe especial, onde não se admite qualquer modificação por ação antropogênica, ou seja, prevê que sua condição seja mantida ao natural (BRASIL, 2005).

A classificação das classes das águas doces e o destino de seu uso são apresentados no quadro 2.1, que varia desde as classes de qualidade excelente a ruim, e dos usos mais exigente ao menos exigente. Para cada classe, existe uma determinada qualidade a ser mantida (VON SPERLING, 2007).

Quadro 2.1 – Classificação das águas doces pela Resolução CONAMA 357 de 2005, segundo os destinos de seus usos, e com as cores representativas de suas condições de qualidade

| CLASSIFICAÇÃO/CONDIÇÕES DAS ÁGUAS DOCES | | | | |
|--|---|--|---|---|
| CLASSE ESPECIAL | CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | CLASSE 4 |
| a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. | a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N. 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e, e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. | a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N. 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e, e) à aqüicultura e à atividade de pesca. | a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e, e) à dessedentação de animais. | a) à navegação; e b) à harmonia paisagística. |

Fonte: BRASIL (2005). Organização: Própria Autora (2016).

¹ Classes de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade das águas necessárias ao atendimento dos usos preponderantes, atuais e futuros.

No entanto, para análise de bacia hidrográfica, com relação às suas inter-relações ambientais, socioeconômicas e políticas, e, especificamente, na qualidade e quantidade da água, segundo Moragas (2005) não é possível planejar e gerenciar seu uso, sem aparato das legislações, porém, não garante que sejam executadas, tanto pelos comitês, consórcios, conselhos e outros fóruns que regem as discussões e decisões sobre as bacias hidrográficas e seus gerenciamentos.

Além das legislações com os padrões de qualidade das águas, algumas pesquisas formularam outros métodos de avaliação que podem ser aplicados a qualidade de águas. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), aprimorou um método de classificação de variáveis de qualidade da água, baseado em outros trabalhos do mesmo segmento, que sugerem avaliação em diferentes graus de trofia do modelo denominado de Índice de Estado Trófico (IET), primeiramente proposto por Carlson (1977) e adaptado para ambiente tropical por Lamparelli (1994). O modelo apresenta o efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e o aumento de macrófitas aquáticas em cursos d'água (CETESB, 2007).

Outro método bastante aplicado no Brasil, primeiramente indicado pela CETESB é o IQA, desenvolvido na década de 70 do século passado, nos Estados Unidos pela National Sanitation Foundation para avaliar a qualidade das águas, conforme alguns parâmetros preestabelecidos (VON SPERLING, 2007). Mesmo com muitas pesquisas utilizando-se do método, o mesmo ainda é questionado sobre sua eficácia, pois se apresenta com limitações, por não analisar muitos parâmetros importantes para o abastecimento público, como a presença de metais pesados, protozoários patogênicos, compostos orgânicos e outras substâncias tóxicas (ANA, 2017).

De acordo com Von Sperling (2007), existem vários outros índices de qualidade das águas desenvolvidos por diversas entidades, e que possuem objetivos distintos, mas, a utilização de qualquer método, deve ser baseada na definição do conjunto de parâmetros que se julgam relevantes para determinadas análises.

Os resultados das avaliações dos índices que medem a qualidade das águas, demonstraram que a limnologia preditiva continua sendo uma importante ferramenta para a área de pesquisa dos problemas que vêm afetando ecossistemas fluviais e a ecologia aquática (BRANCO, ROCHA, 1977; ESTEVES, 1998; GERALDES, GEORGE, 2012). Assim, a exploração dos recursos hídricos geram fatores que tem proporcionado consequências negativas, como assoreamentos e eutrofização de cursos d'água (GONS et al., 1991; ZHANG, 2018).

As situações desfavoráveis atingem vários reservatórios brasileiros, como exemplos, podem ser citados dois casos: em 2006, as florações de algas tóxicas no Reservatório Foz de Areia, na bacia do rio Iguaçu, provocaram sua interdição para pesca e banho. Em 2007, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) confirmou a presença de cianobactérias no rio das Velhas, no trecho entre o rio Curvelo e a foz com o rio São Francisco, ficando proibidas as pescas, até o início da piracema nesses rios (ANA, 2014).

As contribuições da ciência geográfica e ambiental em relação aos estudos de corpos hídricos, tem gerado conhecimento com relação às características hidrossedimentológicas e limnológicas dos reservatórios artificiais (TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2008).

Assim, estudos de assoreamento, eutrofização e má gestão dos recursos hídricos, são apresentados como diagnósticos das ações que afetam a manutenção ambiental desses ecossistemas aquáticos (CABRAL, 2006; NOVO, 2008; BRAGA, 2017).

Uma avaliação que ajuda a diagnosticar zonas de maiores taxas de sedimentação em um ambiente como o de reservatórios e lagos, são as que determinam diferentes zonas de misturas de componentes na água, porque evidenciam as zonas de transportes até o início de depósitos de sedimentos das partículas maiores, como areia e silte, segundo observações de Kimmel e Groeger (1984) e Kimmel et al. (1990).

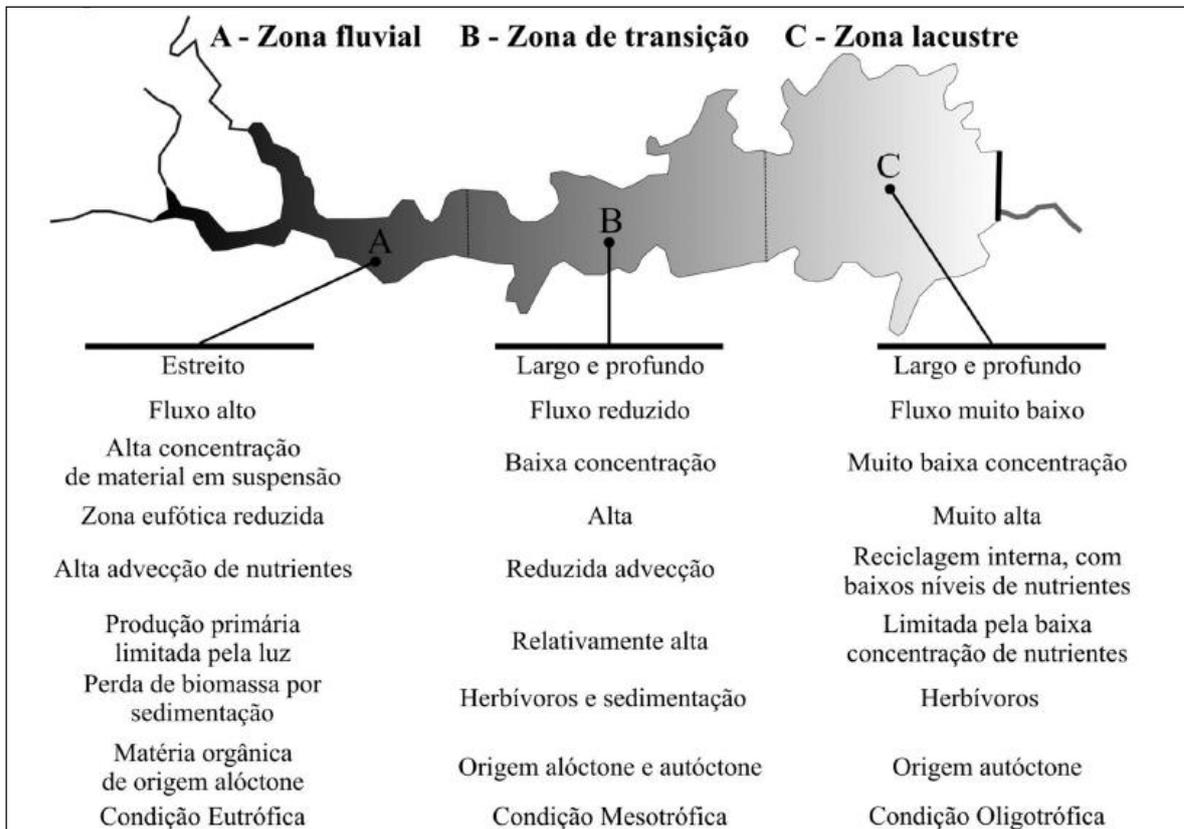
Kimmel e Groeger (1984) realizaram os primeiros estudos sobre as características que diferenciavam as zonas de compartimentação aquática de ambiente de reservatório, observando a radiação solar fotossinteticamente ativa, em relação a diminuição com a absorção e dispersão ligada a presença de materiais em suspensão.

O gradiente longitudinal de um reservatório, permanece condicionado as zonas de mudanças nos fatores ambientais e no controle de nutrientes em ambiente de reservatório, relativos a produção de matéria orgânica, a disposição de material em suspensão e o estado trófico das águas de represas, conforme observado na figura 2.1, segundo a classificação de Kimmel et al. (1990).

Assim, a primeira zona é a fluvial que possui como característica menor tempo de residência da água e maior transporte de nutrientes como de sólidos em suspensão, conseqüentemente ocorre maior produtividade primaria em relação a insuficiência de penetração da luz solar. Na zona de transição ocorre a amplitude de distância do lago, o que diminui a velocidade de transporte e começa a sedimentação de partículas de silte e argila em superfície na água, em consequência começa a aumentar a penetração da luz. A zona lacustre é a mais próxima da barragem, que geralmente tem o tempo de residência mais longo da água,

possibilitando maior penetração da luz solar e menor concentração de nutrientes e sedimentos em suspensão (KIMMEL et al., 1990; WACHHOLZ, 2012).

Figura 2.1 – Compartimentação horizontal com zonas de mudanças das águas em ambiente de reservatório e suas características ambientais



Fonte: Wachholz (2012), modificado de Kimmel et al. (1990).

É importante ressaltar que as zonas de um reservatório estarão compartimentadas de acordo com o escoamento superficial da bacia e das concentrações de chuvas que ocorrerem, pois as águas mudam suas características de modo dinâmico.

Assim as variáveis limnológicas apresentam diferenças na compartimentação horizontal de um reservatório, com comportamentos característicos em cada zona de mistura. Além da compartimentação horizontal existe a compartimentação vertical, que implica na circulação das águas, geralmente ocasionadas pelo vento, que cria ondas, correntes e turbulências, situações que promovem misturas e dispersões nas águas, mudando principalmente as temperaturas das águas e alterando às variáveis limnológicas dependentes da temperatura (TUNDISI; MATSSAMURA TUNDISI, 2008). Assim, cada variável se apresenta com uma específica compartimentação, segundo a variação dos resultados observados.

2.3 Geotecnologias aplicadas aos estudos dos ecossistemas aquáticos

A água cobre de fato grande parte da superfície da Terra, sendo encontrada no estados líquido, sólido e gasoso. Porém, esse grande volume de água necessita ser avaliada, algumas têm condições de serem analisadas in loco e outras não, pela dificuldade encontrada em selecionar pontos de observação e fazer um controle ambiental local.

Nesse sentido, o apoio das geotecnologias relativo a superfície aquática, veio à contribuir de forma significativa com a maioria dos estudos, que necessitam compreender os componentes da água (NOVO et al., 1993; NOVO, 2008; CABRAL; PEREIRA FILHO, 2018). Segundo Jensen (2009) estudos em função da resposta espectral de imagens orbitais de satélites, são suportes para compreensão das características biofísicas da água, pois, podem ser detectadas pelo uso das ferramentas aplicadas no sensoriamento remoto.

A utilização das geotecnologias atuais vieram contribuir com estudos ambientais, os quais incluem todos os parâmetros possíveis de serem monitoráveis, por meio de seus produtos. Mas, na questão dos produtos de satélites gratuitos, para monitoramentos ambientais, existe uma dificuldade em adquirir imagens de qualidade para verificar que recobre grandes áreas. Pois, satélites gratuitos de grande resolução espacial, nem sempre possuem boa resolução espectral (NOVO, 2010; GONZÁLEZ-MÁRQUEZ et al. 2018; MANZO et al., 2018).

O satélite Landsat encontra-se em operação desde seu primeiro lançamento, em 1972, com o modelo ERTS-1 ou Landsat-1, e continua em atividade graças à evolução tecnológica e a operação de novas missões (ROSA, 2009; BAUGHMAN et al., 2015; USGS, 2017b).

O Landsat contribui com uma composição de múltiplas bandas espectrais, mas, perde qualidade na resolução temporal, porque possui baixa frequência de imagens, o que dificulta aquisição de produtos com qualidade, pois em muitas regiões apresentam grande interferência de nuvens, impedindo que se consiga obter dado de qualidade (NOVO, 2010; GONZÁLEZ-MÁRQUEZ et al. 2018; MANZO et al., 2018). Assim, metodologias de trabalho podem ser comprometidas, por não ser possível obtenção de dado no momento desejado ou na data desejada.

De acordo com Baughman et al. (2015), Bonansea et al. (2015) e Barrett e Frazier (2016), um dos problemas enfrentado no monitoramento por meio de imagens de satélite, aos ambientes aquáticos, é que alguns não conseguem se manter em operação por muitos anos, o que dificulta a aquisição de dados e compromete a escala-temporal de bancos de dados. Por isso, a dificuldade de muitas pesquisas possuírem a mesma fonte de informações para

mapeamentos a longo prazo. Outros fatores que podem ser levado em consideração são as características das águas que mudam constantemente e, existe uma dificuldade de se fazer monitoramento em uma bacia de grande dimensão, porque uma grande área de recobrimento sempre sofre em algum momento com a passagem de nuvens (ALCÂNTARA et al. 2011), e uma composição de cenas com duas datas de tempos diferentes, não trazem qualidade para os dados, que são pontuais e momentâneos, e em datas específicas (NOVO, 2010).

Para a análise espectral das águas superficiais, é muito importante a interação da luz solar com a superfície aquática e, a presença de nuvens deixa impossibilitada essa dinâmica natural de reflectâncias (GALVAO, 2001; JENSEN, 2009; PEREIRA FILHO et al., 2011).

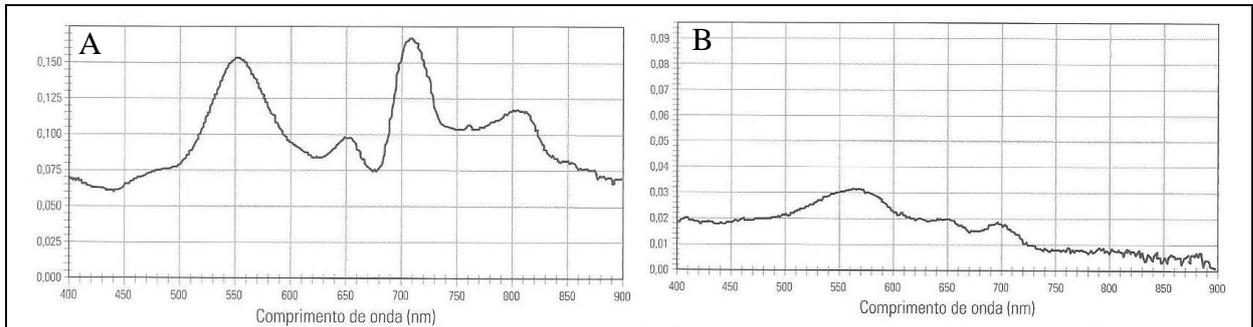
As dinâmicas de mudanças do sistema aquático podem indicar que são referência de mudanças no sistema da bacia como todo, pois, no início de operação o reservatório sofrer com uma grande entrada de nutrientes, e depois de um tempo ele pode se estabilizar com pouca taxa de nutrientes durante os últimos períodos. Necessitando assim, monitorar o sistema aquático de reservatórios artificiais desde a sua construção até a implantação e operação (TUNDISI; MATSSAMURA TUNDISI, 2008).

Contudo, o sensoriamento remoto está contemplado com softwares mais completos na área de SIG, que vem melhorando na manipulação de imagens para múltiplos processamentos, com melhores resoluções espectrais, contribuindo para melhores resultados no segmento de análise de detecção de mudanças como de manipulação vetorial entre outras (JENSEN, 2009; NOVO, 2010; YANG et al, 2010; YEPEZ et al., 2018).

Mesmo assim, Pereira Filho (2005, 2011), Alcântara et al.(2011), destacam que é difícil mensurar com muita qualidade os dados somente por sensores remotos, porque, infelizmente, o ambiente sofre com os efeitos atmosféricos e normalmente, as medidas não podem ser estimadas com total segurança. Assim, as observações em campanhas de campo ainda são fontes importantes de coletas de dados, para avaliações hidrodinâmicas de constituintes orgânicos e inorgânicos da água, e o uso de equipamentos com mensurações espectrais são ferramenta importante quando se necessita realizar estas observações específicas.

De acordo com Novo (2010), o comportamento espectral de reflectância em diferentes períodos do ano é distinto, e uma das origens pode ser devido a presença da biomassa fitoplanctônica na água. Na figura 2.2-A é apresentado a resposta espectral em relação a uma amostra com elevado teor da biomassa, enquanto que na figura 2.2-B representa a menor concentração dessa biomassa, sendo relativo à medida da concentração de clorofila, compreendendo o pigmento mais comum na coluna de água.

Figura 2.2 – Comportamento espectral das massas de água com relação a alta (A) e baixa (B) concentração da biomassa fitoplanctônica

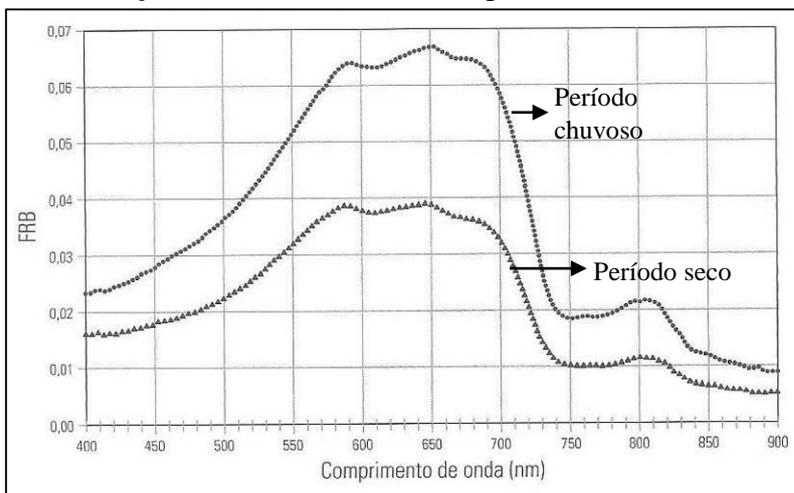


Fonte: Novo (2010, p. 263).

Outro parâmetro que influencia no comportamento espectral da água é a concentração de sedimentos em suspensão. De acordo com Barbosa (2005) a concentração de sedimentos em suspensão acima de 5 mg/L apresentam um significativo aumento da reflectância na região do visível em direção aos comprimentos de ondas mais longos, chegando até a faixa do vermelho entre 650 nm a 700 nm e, decrescendo a partir do início do infravermelho acima de 700 nm.

As concentrações de partículas inorgânicas sobre o comportamento espectral da água, (Figura 2.3), podem apresentar o coeficiente de reflectância maior, sendo responsável pelo espalhamento dos comprimentos de ondas entre 550-700 nm e 800 nm (NOVO, 2010). Assim, no período chuvoso ocorre o maior aporte de partículas inorgânicas para o corpo hídrico interferindo abundantemente na turvação da água, devido a maior concentração de sedimentos em suspensão (WANG et al., 2012; ROCHA et al., 2015).

Figura 2.3 – Comportamento espectral das massas de água com relação a alta concentração de sedimentos em suspensão

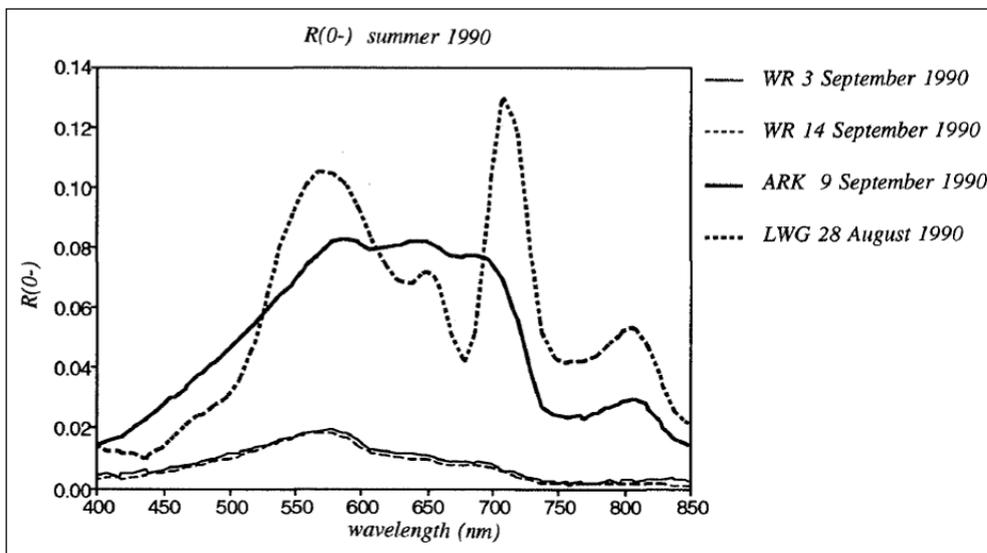


Fonte: Novo (2010, p. 265).

Desse modo, de acordo com o Dekker (1993), os componentes opticamente ativos podem ser responsáveis tanto pelo coeficiente de absorção quanto pelo de espalhamento. Londe (2007), assegura que a água encontrada no estado líquido sob superfície aquática límpidas apresenta baixa reflectância, mas, refletindo na faixa do azul. No entanto, segundo Kirk (1994), quando observada a grande concentração de matéria orgânica dissolvida, essa tem um elevado coeficiente de absorção na região do azul, refletindo mais nos comprimentos de onda em direção a região do vermelho.

Para se exemplificar os espectros de absorção, o trabalho de Dekker (1993), já apresentava os espalhamentos espectrais d'água clara e com clorofila elevada. A figura 2.4 apresenta-se uma representação de três principais tipos de águas: um lago de água clara, e dois períodos, um com baixo teor de plâncton e um com grande concentração de matéria suspensa. E, ainda, conclui que os elevados níveis são encontrados nos Lagos eutróficos e poucos profundos.

Figura 2.4 – Reflectância de água clara, de água com pouca e alta concentração de matéria suspensa

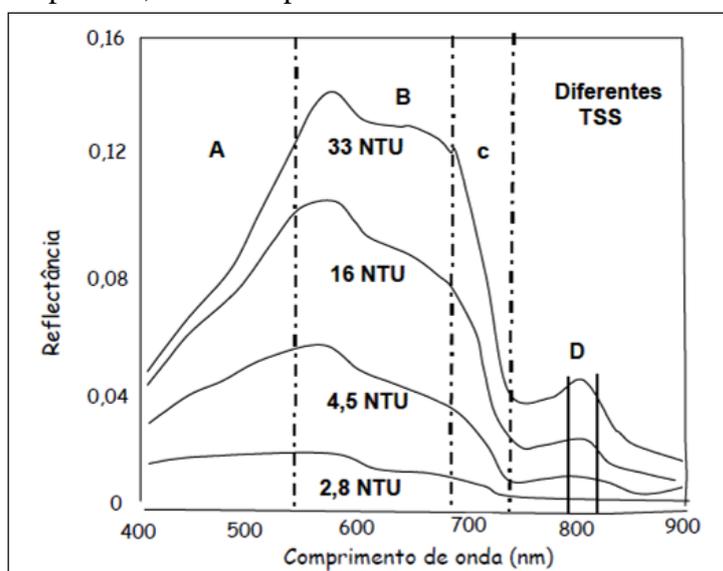


Fonte: Dekker (1993, p. 93). Obs.: Exemplos de reservatórios de águas claras (WR); o Amsterdam-Rijn Kanaal (ARK), com baixo fitoplâncton, mas altas concentrações de matéria suspensa; Lake Wijde Gat (LWG), com alto fitoplâncton e com altas concentrações de matéria suspensa.

Na figura 2.5 podem ser notadas diferentes feições de resposta espectral da reflectâncias com influência de sólidos na água, segundo Barbosa (2005), onde as regiões de diferentes faixas espectrais, indicam absorção ou espalhamento de material particulado, além

dos picos de maiores reflectâncias, com relação as medias das variáveis TSS (Total de Sólidos em Suspensão) e Turbidez, pertencente aos COAs.

Figura 2.5 - Curvas de reflectância com diferentes concentrações de sólidos em suspensão, medidos por meio da turbidez



Fonte: Barbosa (2005, p. 157). Obs.: feições espectral: 1- Um crescimento rápido da reflectância entre 400 e 550 nm (região “A”); alta reflectância na faixa entre 550 e 650 nm (região “B”); decréscimo rápido entre 700 e 740 nm (região C), pequeno pico de reflectância entre 800 e 810 nm (região “D”).

Para se compreender a interferência dos tipos de clorofilas (Tabela 2.1) podemos observar através de diferentes comprimentos de ondas, onde ocorre absorção pelos pigmentos fotossintetizantes. Assim, os picos de absorção mais acentuados para a clorofila-a são entre 438 nm até 676 nm respectivamente, segundo pesquisas de Dekker (1993), Weaver e Wrigley (1994) e evidenciado também por Rudorff (2006).

Tabela 2.1 - Comprimento de onda de absorção dos pigmentos

| Absorção (nm) | Pigmento | Tipo de Plâncton | Absorção (nm) | Pigmento | Tipo de Plâncton |
|---------------|-------------------|---|----------------|----------------|----------------------------|
| 438 | clorofila -a | todos os tipos | 615 | c-ficocianina | Cianobactéria |
| 470 | hexa - fcoxantina | Cianobactéria | 624 | cp -cianina | Cianobactéria |
| 480 | βcaroteno | dinoflagelados, diatomáceas, crisófitas | 627 | ficorobilina | Cianobactéria |
| 493 | ficorobilina | Cianobactérias | 650 | aloficocianina | Cianobactéria |
| 493(in vivo) | ficoeritrina | Cianobactéria | 673 (in vitro) | clorofila -a | |
| 562 | c-ficoeritrina | Cianobactérias | 676 | clorofila -a | |
| 567 | ficorobilina | Cianobactérias | 680 (in vivo) | clorofila -a | cianobactéria e eucariotes |

FONTE: Dekker (1993); Weaver e Wrigley (1994); Adaptado de Rudorff (2006, p. 49).

Dessa forma, as águas recebidas por um reservatório podem apresentar interferência das condições do uso das terras e dos sedimentos dos tributários. Assim, o grau de influência das variáveis limnológicas, com relação às substâncias dos COAs, modificam-se, principalmente nos compartimentos aquáticos, decorrentes da transformação do sistema lótico em lêntico.

Para compreensão das interferências dos COAs em ambientes aquáticos existem técnicas de análises, como a da derivada e remoção do contínuo, aplicadas a reflectâncias obtidas tanto por equipamentos em campo, como por imagens orbitais (RUDORFF et al., 2007, ENNES et al. 2010).

De acordo Chen et al. (1992) e Barbosa (2005), a técnica de análise derivativa visa remover feições e sinais das variáveis empíricas, e dos ruídos provenientes dos efeitos atmosféricos. Essa técnica tem por finalidade realçar feições que se destacam entre as faixas espectrais.

A técnica de remoção do contínuo foi proposta por Clark e Roush (1984) para isolar a absorção de bandas específicas de um espectro eletromagnético. A técnica visa remover os sinais dos efeitos dos COAs sobre a água, e o contínuo também é influenciado pelo tamanho e pelos tipos de partículas que varia de 0 a 1.

Segundo Clark e Roush (1984), podemos observar, com a utilização da remoção do contínuo, o isolamento da absorção de bandas específicas de um espectro eletromagnético. O contínuo é representado por uma função matemática que remove sinais de substâncias encontradas na água.

Mutanga et al. (2005) verificaram que ocorre maior isolamento de absorção de bandas nas faixas do visível, entre 550 e 750nm, porque é uma região com grande interferência de pigmentos de fitoplâncton, que segundo Rudorff et al. (2007) e Zhanget al. (2018), é um pigmento fotossintético, sendo o tipo de organismo que realiza a fotossíntese, de organismos eucarióticos e cianobactérias, e podem ter curta duração no ambiente.

Os pigmentos dos fitoplânctons produzem efeitos de absorção na região visível do espectro eletromagnético e contribuem para o espalhamento das partículas em suspensão, atuando na fotossíntese e provocando diminuição da reflectância na faixa do azul (400-525nm) e, conseqüentemente, um leve aumento da faixa do verde (525-600nm), atribuído principalmente pelos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a luz. Porém, essas partículas são refratoras e provocam o aumento desse pigmento no comprimento de onda do infravermelho próximo (IVP) (RUDORFF, 2006).

A clorofila é o resultado da presença do fósforo na água; quando se aumenta a concentração de fósforo automaticamente se aumenta a concentração de clorofila. A alta quantidade de fósforo é um indicador de enriquecimento de nutrientes de um reservatório. Essas variáveis são importantes para se criar um modelo de estado trófico (VON SPERLING 2007; CUNHA, CALIJURI, LAMPARELLI, 2013).

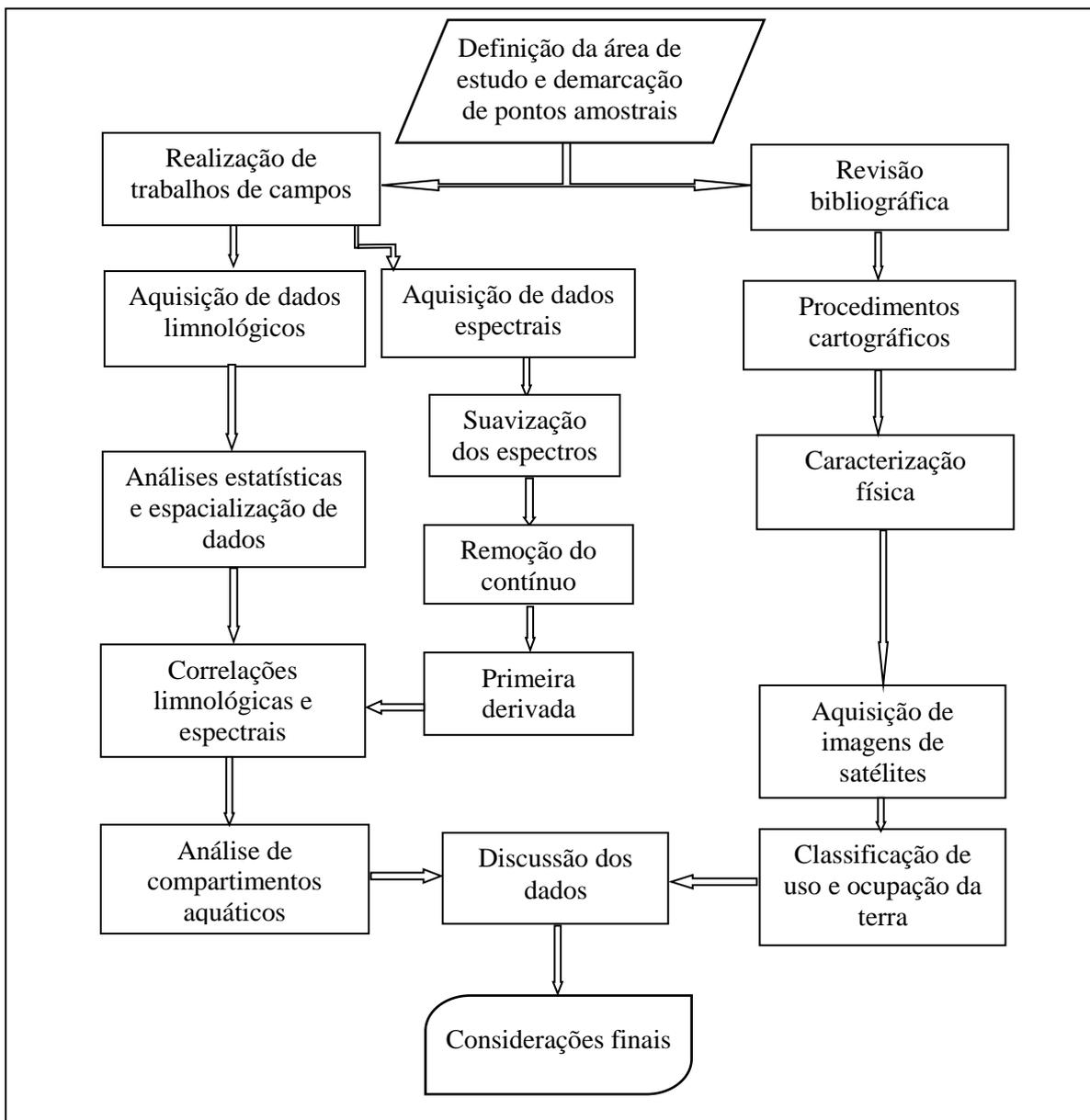
Os estudos limnológicos de Salas e Martino (1990), buscaram compreender a existência de níveis de fósforos e nitrogênios dispostos em uma bacia tanto pelo uso da terra quanto pelos seres vivos, e após os processos erosivos chegarem aos corpos d'água, assim, as fontes mais comprometedoras são: entre os seres vivos, os bovinos com mais de 7.000 gramas por hectares ao ano, e no uso da terra a agricultura e a segunda maior fonte com 500 gramas, superada pela ocupação urbana que vem em primeiro lugar com 1.000 gramas por hectares ao ano.

As mudanças do sistema aquático ocorrem por diversas referências, de mudanças no sistema da bacia como todo, por exemplo, em relação ao desflorestamento para entradas de produções agropecuárias e urbanização/industrialização, que são fontes pontuais de poluição, como de esgoto e poluentes industriais e, de poluição difusa da agricultura. Indicando elevados níveis de estado trófico da água de origem antropogênica, degradando à qualidade da água (GONS et al., 1991; NOVO, 2001; WACHHOLZ, 2011; ZHANG, 2018).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento dessa pesquisa se deu na escolha do reservatório UHE Salto do Rio Verdinho, cujo o interesse foi de compreender a dinâmica natural das águas do reservatório. Desse modo, seguiu-se uma sequência metodológica baseada no cronograma de trabalho, para que se organizasse todas as etapas. No fluxograma (Figura 3.1) são apresentadas as etapas metodológicas da pesquisa, que foram sequencialmente descritas nos subitens dos procedimentos metodológicos.

Figura 3.1 – Fluxograma das etapas dos procedimentos metodológicos



Organização: Própria Autora (2017).

3.1 Demarcação dos pontos de coletas e campanhas de campo

Foram definidos 32 pontos de coleta no lago, e as demarcações dos mesmos seguiram os procedimentos propostos na NBR 9897 da ABNT (1987b). Buscou-se cobrir todo o espaço aquático do reservatório referente aos ambientes lótico, de transição e lêntico de acordo com a proposta de Kimmel et al. (1990).

As campanhas de coleta de dados foram realizadas em quatro períodos distintos compreendendo o período chuvoso e menos chuvoso (seco); os dados foram coletados nos dias: 30 de janeiro de 2015, 29 de julho de 2015, 06 de fevereiro de 2016 e 05 de agosto de 2016, compreendendo o mesmo intervalo de horário, das 9 às 16h, conforme apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1- Localização dos pontos de amostragens, datas e horários das coletas

| Pontos de Amostragens | Coordenadas UTM | | Datas e Horários | | | |
|-----------------------|-----------------|---------|------------------|------------|------------|------------|
| | (X) | (Y) | 30/01/2015 | 29/07/2015 | 08/02/2016 | 05/08/2016 |
| P1 | 507909 | 7898574 | 10:25 | 09:55 | 09:15 | 09:20 |
| P2 | 507352 | 7897539 | 10:33 | 10:02 | 09:20 | 09:30 |
| P3 | 508540 | 7896871 | 10:41 | 10:10 | 09:30 | 09:37 |
| P4 | 509812 | 7895886 | 10:49 | 10:18 | 09:40 | 09:43 |
| P5 | 510735 | 7895826 | 10:55 | 10:25 | 09:52 | 09:55 |
| P6 | 511647 | 7895125 | 11:05 | 10:31 | 10:02 | 10:06 |
| P7 | 512319 | 7895633 | 11:09 | 10:37 | 10:10 | 10:16 |
| P8 | 512775 | 7894451 | 11:18 | 10:42 | 10:20 | 10:22 |
| P9 | 511826 | 7893270 | 11:28 | 10:52 | 10:30 | 10:34 |
| P10 | 513095 | 7893466 | 11:33 | 10:59 | 10:40 | 10:42 |
| P11 | 514018 | 7894489 | 11:41 | 11:05 | 10:55 | 10:54 |
| P12 | 514325 | 7893163 | 11:50 | 11:13 | 11:02 | 11:02 |
| P13 | 515438 | 7892878 | 11:56 | 11:19 | 11:11 | 11:10 |
| P14 | 515450 | 7891766 | 12:04 | 11:27 | 11:22 | 11:22 |
| P15 | 516148 | 7891912 | 12:12 | 11:33 | 11:31 | 11:38 |
| P16 | 517492 | 7891421 | 12:18 | 11:41 | 11:41 | 11:53 |
| P17 | 518684 | 7891484 | 12:25 | 11:49 | 11:50 | 12:08 |
| P18 | 518943 | 7890231 | 12:34 | 12:04 | 12:00 | 12:16 |
| P19 | 519951 | 7890746 | 12:38 | 12:10 | 12:09 | 12:23 |
| P20 | 520721 | 7889838 | 12:47 | 12:16 | 12:16 | 12:30 |
| P21 | 521690 | 7889499 | 12:54 | 12:22 | 12:25 | 12:48 |
| P22 | 522637 | 7888405 | 14:35 | 13:36 | 13:15 | 13:00 |
| P23 | 523248 | 7887021 | 14:45 | 13:43 | 13:22 | 13:20 |

| | | | | | | |
|-----|--------|---------|-------|-------|-------|-------|
| P24 | 522533 | 7886053 | 14:51 | 13:49 | 13:31 | 13:35 |
| P25 | 524315 | 7886275 | 15:00 | 13:57 | 13:40 | 13:43 |
| P26 | 523605 | 7885317 | 15:07 | 14:05 | 13:50 | 13:52 |
| P27 | 522412 | 7883401 | 15:16 | 14:12 | 14:00 | 14:06 |
| P28 | 523656 | 7883990 | 15:21 | 14:18 | 14:13 | 14:13 |
| P29 | 524457 | 7884480 | 15:30 | 14:25 | 14:20 | 14:22 |
| P30 | 525294 | 7885200 | 15:35 | 14:27 | 14:30 | 14:34 |
| P31 | 525100 | 7883342 | 15:44 | 14:34 | 14:40 | 14:43 |
| P32 | 524071 | 7882858 | 15:50 | 14:40 | 14:50 | 14:53 |

Fonte: Campanhas de campos. Organização: Própria Autora (2017).

3.2 Análise dos dados de chuva

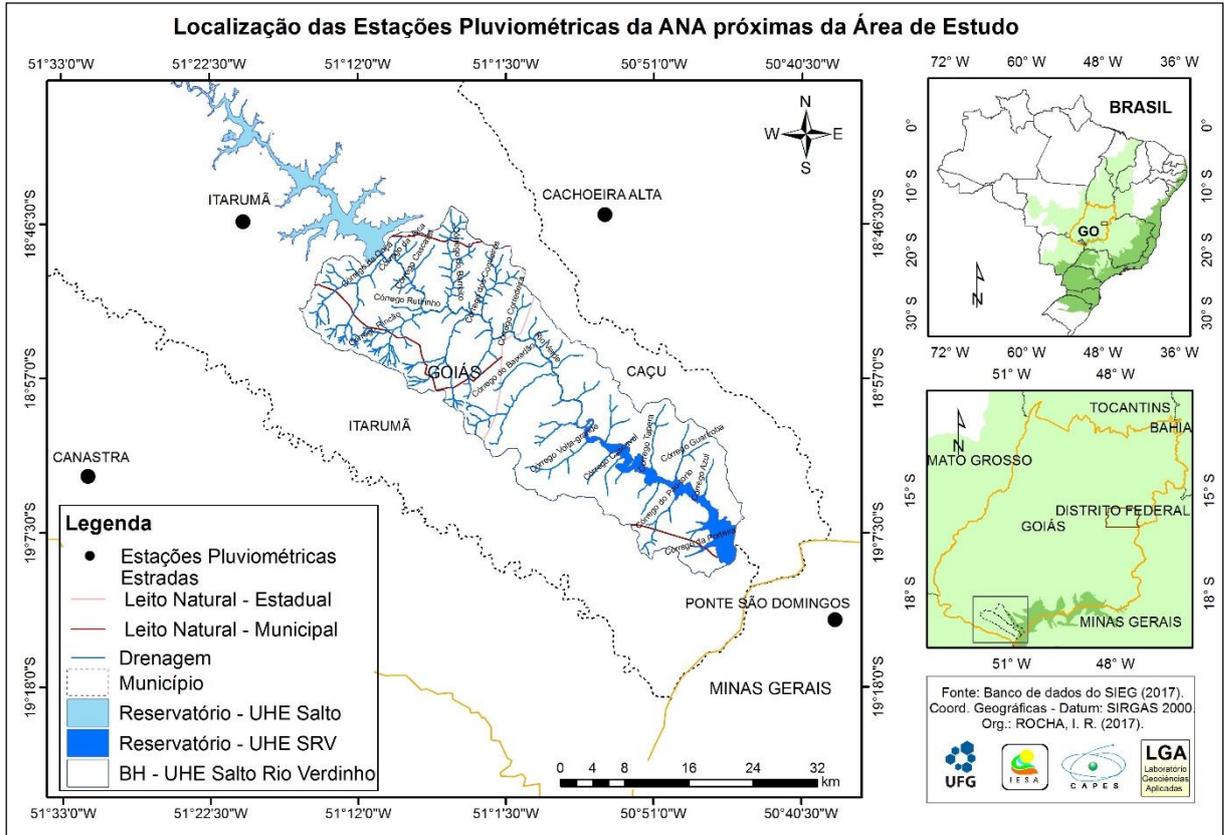
Buscando-se a compreensão da distribuição espaço-temporal das chuvas na bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, foi criado um banco de dados com as informações das chuvas registradas nos postos pluviométricos da ANA, pois não existem estações meteorológicas do INMET instalados na área da pesquisa. Portanto, na área de estudo só foi possível adquirir dados pluviométricos, porque dados de temperatura e umidade não são registrados.

Para gerar as interpolações, os resultados foram aplicados no procedimento de Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) com uso do software ArcGIS 10.2 gerando mapas de isoietas, pois somente se encontram 4 postos pluviométricos, sendo o método IDW indicado por Landim (2000) e Yamamoto e Landim (2013) como o mais adequado.

Assim, foi consultada uma série histórica de dados completos disponíveis para todas as estações dos anos, de 2005 a 2016. Com os dados foram gerados gráficos de precipitação média dos anos analisados, e também das chuvas diárias nos 30 dias que antecederam os trabalhos de campo.

Para se compreender os volumes de chuvas que ocorrem na bacia, na figura 3.2 são apresentados os quatro postos pluviométricos da ANA próximos as áreas de estudo, e seus dados estão disponíveis para acesso pelo sistema HidroWeb.

Figura 3.2- Localização das estações pluviométricas da ANA próximas da bacia em estudo



Fonte: ANA (2016). Organização: Própria Autora (2017).

3.3 Procedimentos cartográficos

3.3.1 Mapas dos aspectos físicos

Os dados cartográficos para geração dos mapeamentos físicos foram organizados no software ArcGIS 10.2 for Desktop na extensão ArcMap da Esri®, levando em consideração diversas metodologias de elaboração de mapas em ambiente SIG.

Os mapeamentos dos dados de geologia e pedologia, foram elaborados com base em shapefiles refinados pela Superintendência de Geologia e Mineração (SIC), disponíveis na plataforma do Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas de Goiás -SIEG para escala de 1:250.000, Datum Sirgas 2000, fuso 22 Sul, mosaicadas das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), folha SE-22-Y-B – Caçu, SE-22-Y-D – Paranaíba, SE-22-Z-A – Quirinópolis, SE-22-Z-C – Itarumã, sendo disponibilizados as bases de dados em formatos shapefiles (SIEG, 2017).

Os valores de altimetria foram obtidos por meio da imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com dados numéricos originais em formato GEOTIFF (MIRANDA, 2015). A partir da imagem SRTM, foi feito o mapa da declividade, elaborado a partir da imagem de relevo, convertendo as cotas de altimetria em valores de declividade, fatiadas para a proposta de Ross (1994), com as seguintes classes, cujos valores de declividade são obtidos em porcentagem de 0 - 6%; 6 - 12%; 12 - 20%; 20 - 30% e >30%, e associando com as classes de relevos apresentadas pela EMBRAPA (1983).

A base de remanescentes de Cerrado foi obtida na plataforma online de “Mapa Interativo” do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), para mensuração das fitofisionomias naturais (LAPIG, 2017).

3.3.2 Perfil Estrutural

Para a confecção do perfil estrutural foram necessários os mapeamentos temáticos concluídos dos atributos físicos da bacia em estudo, para realizar uma sobreposição no perfil altimétrico confeccionado no software ArcGIS 10.2.

Para a determinação do perfil, foi criada uma linha sobre a imagem SRTM, obedecendo a direção SO-NE a montante do reservatório. Porque contempla todas as variações de altimetria e das classes de geologia. Em seguida, a linha foi cruzada a imagem SRTM e extraídos os pontos de cotas altimétricas, gerando as distâncias e as altitudes em um gráfico bidimensional representando as irregularidades do terreno, pois a intenção era representar as unidades geológicas, litótipos, solos e remanescentes de vegetação encontrado na área de pesquisa.

3.3.3 Unidades Estruturais

As unidades estruturais foram identificadas com a integração das bases temáticas mapeadas e, Segundo Mezzomo (2013), para a delimitação se deve utilizar a característica do ambiente mais significativa da dinâmica local. Assim, o fator geológico foi o parâmetro principal adotado nessa análise, por ter maior exposição de classes para a região, em interferência na paisagem da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho.

Para se identificar as unidades estruturais foi utilizada a categoria geologia, pois as unidades geológicas são as mais heterogêneas na escala espacial da bacia em estudo. Sendo assim, foram definidas 4 unidades estruturais, segundo as 4 unidades geológicas existentes.

Os estudos sobre a análise dos elementos físicos da paisagem equivale à unidade geossistêmica estrutural da paisagem, numa escala espacial. A geodiversidade é uma fração apoiada por diversas categorias geossistêmicas, que se inclui na paisagem, com variações nas suas estruturas verticais e horizontais (RODRIGUEZ et al., 2017).

Deste modo, Rodriguez et al. (2017), Silva e Rodriguez (2014) e Mezzomo (2013), consideram a análise geossistêmica como análise integrada de várias feições, sendo baseada nas categorias físicas da paisagem. Portanto, a análise foi fundamentada no enfoque estrutural (Quadro 3.1) realizado na bacia do Reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, e no princípio estrutural, para análise das paisagens sugerido por Rodriguez et al. (2017). Porém, existem outros princípios de análise geossistêmicas da paisagem, além do enfoque estrutural.

Quadro 3.1 - Enfoque estrutural

| Princípio | Estrutural |
|------------------|--|
| Conceito básico | Estruturas das paisagens: monossistêmica e parassistêmica. Estrutura horizontal e vertical, geodiversidade |
| Método | Cartografia das paisagens, classificação quantitativa-estruturais, tipologia e regionalização |
| Índice | Imagem, complexidade, forma dos contornos, vizinhança, conexão, composição, integridade, coerência e configuração geocológica. |

Fonte: Rodriguez et al. (2017, p. 48).

3.4 Mapa de Uso da Terra

O mapeamento do uso da terra foi realizado em intervalos de cinco anos (Quadro 3.2), com intuito de compreender as alterações antes (ano de 2005), durante (ano de 2010) e após (ano de 2015) a construção do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 – Sensor TM (Thematic Mapper) e do Landsat 8 – Sensor OLI (Operational Land Imager), nas bandas R (red) G (green) B (blue) (USGS, 2016), disponibilizadas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS).

Quadro 3.2 – Datas das imagens dos satélites Landsat 5 e 8, selecionadas para o estudo

| Órbita e cena das imagens | Satélites e Passagens | | |
|----------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|
| | Landsat 5 – Sensor TM | | Landsat 8 – Sensor OLI |
| | 2005 | 2010 | 2015 |
| 222/73 | 30/07/2005 | 12/07/2010 | 11/08/2015 |
| 223/73 | 06/08/2005 | 03/07/2010 | 02/08/2015 |

Fonte: USGS (2016). Organização: Própria Autora (2016).

Para classificar as imagens, seguiram-se alguns procedimentos, a partir de mosaicos de imagens. Os mapeamentos de Uso da Terra foram organizados no software ArcGIS 10.2 na extensão ArcMap da Esri®. A seleção das imagens para os mosaicos compreendeu o mesmo período de análise. A época selecionada foi a de estação seca, pois é a que apresenta menores porcentagens de formação de nuvens e interferência dos efeitos atmosféricos, como massas de ar (ROSA, 2007).

A classificação utilizada foi a supervisionada, com a emprego do algoritmo classificador MaxVer (Máxima Verossimilhança), sendo coletadas 15 amostras de treinamento para cada classe subdividida, para que o classificador minimizasse os erros de confusões.

As unidades de usos identificadas nas áreas da pesquisa seguiram a classificação proposta pelo Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra (SCUT), prevista no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE, que define os procedimentos metodológicos para elaboração do mapa temático de Uso da Terra (IBGE, 2013). As classes englobaram as seguintes categorias: “Água”, que utilizou a classe <Águas Continentais>, “Áreas de Vegetação Natural” que englobou a classe <Vegetação Natural>, “Áreas antrópicas agrícolas”, permaneceram as classes <Culturas Temporárias> e <Pastagens>. Portanto, a bacia em estudo situa-se em ambiente rural, e as áreas urbanas não tiveram posição representada nos mapeamentos. Para a definição de cores, seguiu-se a “indicação do mapeamento estabelecido no nível II”, disponível em IBGE (2013, p. 149).

Para a análise de exatidão dos mapeamentos foi aplicado o coeficiente kappa, visando confirmar os resultados obtidos nas classificações, pois nem sempre é atingida com exatidão a realidade do cenário. Porém, é uma ferramenta útil e capaz de auxiliar nas análises ambientais de maneira rápida e com resultados satisfatórios (SILVA et al., 2016).

Para abranger a maior variabilidade de amostras, utilizou-se a fotointerpretação das imagens do Google Earth, da mesma época que foram realizadas as classificações de uso e ocupação das terras. Segundo Soares et al. (2009) e Nery et al.(2013), geralmente são selecionadas em campo, mas sendo utilizada a imagem, no caso dos mapeamentos de uso e ocupação das terras classificados em épocas de defasagem temporal, ressaltando sempre com visita a campo para maiores esclarecimentos da realidade local.

De acordo com Soares et al. (2009), as amostras reais, fora da época de classificação, comprometem a realidade dos mapeamentos, isso porque qualquer alteração no uso deixa erros grosseiros, por desatenção feita pelo observador. Assim, a acurácia das amostras está relacionada à proximidade das observações com a época do mapeamento (MONTGOMERY; SCHUCH, 1993).

Segundo Foody (2002), o índice kappa produz resultados de boa qualidade, obtidos em mapeamentos com o índice kappa expresso na equação (1), proposta por Landis e Koch (1977), podendo se verificar o nível de confiabilidade e exatidão das informações contidas nos mapas.

Equação (1):

$$K = \frac{N \sum^r - 1 \sum^{r-1} X_{ii} - \sum^{r-1} (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum^{r-1} (X_{i+} * X_{+i})}$$

Onde: K = Índice Kappa de concordância; N = Número de observações (pontos amostrais); \sum^r = Número de linhas da matriz de erro; X_{ii} = Observações na linha i e coluna i; X_{i+} = Total marginal da linha i; X_{+i} = Total marginal da coluna i.

Soares et al. (2009), Nery et al. (2013) e Facco e Benedetti (2016) indicam que a confiabilidade da classificação digital é avaliada a partir da matriz de confusão das áreas de treinamento das amostras de usos.

A tabela 3.2 apresenta a avaliação do índice kappa e a qualidade para cada classificação proposta por Landis e Koch (1977) e Tangerino e Lourenço (2013). O índice de kappa é avaliado de 0 a 1, e os dados mais apurados quanto à qualidade são os que mais se aproximam de 1. Por conseguinte, para que os dados sejam aceitáveis, Foody (2002) recomenda níveis para melhor exatidão do índice kappa em torno de 0,85.

Tabela 3.2 - Referências para classificações de Índice kappa e sua respectiva qualidade

| Índice kappa | Qualidade |
|---------------------|------------------|
| 0 | Péssima |
| 0,01 a 0,20 | Ruim |
| 0,21 a 0,40 | Razoável |
| 0,41 a 0,60 | Boa |
| 0,61 a 0,80 | Muito Boa |
| 0,81 a 1,00 | Excelente |

Fonte: Landis e Koch (1977). Organização: Própria Autora (2017).

3.5 Procedimentos de amostragens de água e das análises físico-químicas e biológica

As amostras de água foram obtidas de acordo com os procedimentos previsto em APHA (1998) e ABNT (1987b), na camada superficial, a 15 cm da coluna d'água.

Em cada ponto de coleta foram coletados 2 litros de água. Após as amostras foram armazenadas em caixas de isopor com gelo, buscando-se manter a temperatura de 4°C, e transferidas para o Laboratório de Geociências Aplicadas (LGA) da Universidade Federal de Jataí (UFJ), local onde as análises laboratoriais foram realizadas.

Os parâmetros previstos nessa pesquisa foram selecionados considerando os objetivos do estudo, isto é, aqueles que podem comprometer a qualidade das águas do reservatório, principalmente os que caracterizam a entrada de nutrientes e sedimentos por vias de afluentes hídricos e áreas nas bordas do próprio reservatório. Assim, as variáveis foram selecionadas observando os equipamentos disponíveis no laboratório de geociências da UFJ, para realizar as análises pretendidas, e a adoção do máximo de variáveis possíveis para serem aplicadas em análise estatística multivariada.

Todos os parâmetros físico-químicos selecionados são indicados pela ABNT (1987b) para controle e análise da qualidade das águas, e são previstos na resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

As variáveis limnológicas analisadas foram: Alumínio (AL), Clorofila (Chl), Condutividade elétrica (CE), Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), Ferro (Fe), Fósforo (P), Salinidade (NaCl), Nitrito (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Resistividade (Res), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura (Temp), Transparência da água (Secchi) e Turbidez (Turb).

Foram utilizados equipamentos portáteis *in loco* e de bancada em laboratório, conforme o quadro 3.3, com as descrições e as fotos dos equipamentos. Após o quadro são apresentadas as metodologias de avaliação dos parâmetros físico-químicos e biológico.

Quadro 3.3 - Equipamentos utilizados nas avaliações limnológicas

| | |
|---|---|
|  <p>Sonda Multiparâmetro Oakton PCD650.</p> |  <p>Disco de Secchi.</p> |
|  <p>Espectrorradiômetro portátil de campo - FieldSpec®HandHeld2™.</p> |  <p>Procedimento de filtração de CSS e Clorofila, utilizando os seguintes instrumentos: conjunto de kit de filtração, filtro de microfibras de vidro AP-20 da marca Millipore e bomba de sucção a vácuo.</p> |
|  <p>Turbidímetro HI 88703 da Hanna Instruments®.</p> |  <p>Espectrofotômetro SPECTRALE, modelo IL-227.</p> |



Fotocolorímetro AT 100PB II da Alfakit.



Multiparametro HI 83099-02 de bancada da marca Hanna Instruments®.

Fonte e Organização: Própria Autora (2017).

As concentrações de clorofila foram obtidas a partir do procedimento de filtragem (300 ml de água), com filtro de microfibras de vidro e, após, embalada e congelada para o procedimento de análise. A leitura foi realizada no equipamento Espectrofotômetro SPECTRALE, modelo IL-227, segundo o método espectrofotométrico sem acidificação (sem a determinação da feofitina), proposto por Mackinney (1941), em comprimento de onda de 663 nm e em 750 nm, e calculado pela equação 2:

Equação (2):

$$\text{Chl } (\mu\text{g/L}) = \frac{\text{Abs } (663 - 750) \times 12,63 \times V_{\text{met}} (\text{ml}) \times 1000}{V(\text{ml})}$$

Logo: Chl = clorofila, Abs = medida de absortância, 12,63 = constante, V_{met} = Volume de metanol, 1000 = constante e V = volume da amostra.

As medidas de transparência de água no lago foram realizadas com o disco de Secchi, de acordo com a proposta de Preisendofer (1986) e Esteves (1988). O disco de Secchi utilizado possui 20 cm de diâmetro, sendo colorido, alternando por partes brancas e pretas.

A avaliação da CSS foi realizada com base em trabalhos elaborados e consolidados por Cabral et al. (2009, 2013), Wachholz (2011), com referência aos procedimentos preconizados por Esteves (1998).

Para obter a CSS, é proposta a seguinte fórmula (equação 3):

Equação (3):

$$CSS = Pf - Pi / V * 1000$$

Onde: CSS = concentração de sólidos em suspensão (mg/L); Pi = peso inicial do filtro (g) vazio; Pf = peso final do filtro (g) com sedimento; V = volume de água utilizada na filtração (ml) (foram utilizados 500ml de água); 1000 = fator conversão para miligramas.

As demais variáveis limnológicas seguiram os manuais dos equipamentos e os procedimentos indicados por Apha (1998), Wetzel e Likens (2000), Tundisi e Matssamura Tundisi (2008).

Os valores de Alumínio, Ferro e Nitrito foram obtidos utilizando-se equipamento multiparamétrico de bancada da marca Hanna Instruments® (HI 83099-02). Os resultados de Fósforos foram obtidos por meio do equipamento fotolorimétrico de bancada (Fotolorímetro AT 100PB II). A CE, NaCl, OD, pH, RES, TDS e a Temp, foram mensurados em campo, com apoio da sonda multiparamétrica de campo (Marca Oakton PCD 650), e a Turbidez foi medida com o turbidímetro Hanna Instruments® (HI 88703).

Os parâmetros realizados em análises de equipamentos de bancada utilizaram kits compostos por reagentes análogos para cada variável, e foram feitas duplicatas das análises.

A qualidade das águas foi comparada com base nos parâmetros pertinentes à resolução CONAMA 357 de 27 de março de 2005, que foi criada para satisfazer e normatizar os padrões adequados à potabilidade das águas, que podem ser utilizadas para o abastecimento público, desde que passem por tratamento e desinfecção.

No quadro 3.4 apresentam-se os valores de referência estipulados pelo órgão competente para as condições ideais de qualidade das águas doces, segundo os parâmetros analisados nessa pesquisa. Mas, alguns parâmetros têm ausência de padrão segundo a legislação vigente observada.

Quadro 3.4 - Parâmetros de análises físico-químicos e biológico de qualidade da água, com padrões da Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005

| Parâmetros Limnológicos | Unidades | Valor máximo permitido pelo CONAMA 357 de 17/03/2005 | Método de Análise |
|-----------------------------|----------|--|----------------------------|
| Físicos | | | |
| CSS | mg/L | <500 | Filtragem |
| TDS | mg/L | <500 | Sonda Oakton PCD |
| Temperatura (Temp) | °C | Sem Padrão | Sonda Oakton PCD |
| Transparência da água | M | Sem Padrão | Disco de Secchi |
| Turbidez (Turb) | UNT | <50 – CL 1; 75 – 100 – CL 2; >100 – CL 3 e 4 | Turbidímetro |
| Químicos | | | |
| Alumínio (Al) | mg/L | < 0,1 CL 1; < 0,2 Demais CL | Sonda Multiparâmetro Hanna |
| Condutividade elétrica (CE) | µS/cm | Sem Padrão | Sonda Oakton PCD |
| Ferro (Fe) | mg/L | <0,3 CL 1 e 2; < 5,0 CL 3 | Sonda Multiparâmetro Hanna |
| Fósforo (P) | mg/L | <0,02 CL 1; <0,03 CL 2, <0,05 CL3 | Alfakit |
| NaCl | mg/L | <500 | Sonda Oakton PCD |
| Nitrito (NT) | mg/L | < 1 CL 1, 2, 3 e 4 | Sonda Multiparâmetro Hanna |
| Oxigênio Dissolvido (OD) | mg/L | >6 CL 1; >5 CL 2; >4 CL 3; >2 CL 4 | Sonda Oakton PCD |
| pH | - | 6,0 a 9,0 | Sonda Oakton PCD |
| Resistividade (RES) | Ωm | Sem Padrão | Sonda Oakton PCD |
| Biológico | | | |
| Clorofila (Chl) | µg/L | <10 CL 1; 10 < 30 CL 2; 30 < 60 CL 3; >60 CL 4 | Espectrofotômetro |

Legenda: mg/L = Miligrama por litro; µg/L = Micrograma por litro; µS/cm = microSiemens por centímetros; Ωm = Ohm/metro, °C = Grau Celsius; m = Metros; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez; CL = Classe; < = Menor; > = Maior; S/P = sem padrão.

Fonte: Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Organização: Própria Autora (2016).

3.6 Análises estatísticas aplicadas às variáveis físico-químicas e biológica

A elaboração dos gráficos dos dados limnológicos, bem como das análises estatísticas, como de testes de significância e das correlações, foram realizados no software Statistica 7.0[®] da StatSoft, e no software Microsoft Office Excel Professional Plus versão 2016, da Microsoft.

3.6.1 Histogramas de frequências

O histograma é o gráfico adequado para apresentar uma distribuição de frequência, e consta de colunas verticais agrupadas apresentando no eixo horizontal os valores (limites dos intervalos) da variável quantitativa e no eixo vertical a simples frequência de dados absolutos, que são resultantes de uma coleta direta, sem outra manipulação senão a contagem (BATTISTI; BATTISTI, 2008; WRUBLACK et al., 2014).

Os gráficos de histogramas foram elaborados no software Statistica 7.0[®] construídos em duas dimensões (2D), escolhendo-se o tipo normal para as curvas de frequências.

Os histogramas que apresentam curvas de frequências normais denominam-se curtose o grau de achatamento de uma distribuição em relação a uma distribuição padrão, denominada na curva normal (curva correspondente a uma distribuição teórica de probabilidade) e recebe o nome de mesocúrtica. Quando a distribuição apresenta uma curva de frequência mais fechada que a normal (ou mais aguda ou afilada em sua parte superior), ela recebe o nome de leptocúrtica. Onde a distribuição apresentar uma curva de frequência mais aberta que a normal (ou mais achatada em sua parte superior), ela recebe o nome de platicúrtica (BATTISTI; BATTISTI, 2008).

3.6.2 Média aritmética

Na análise estatística, o mínimo é o menor valor de uma série de dados, e, logo, o máximo é o maior valor. A média é o valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição, sendo uma forma de se descrever um grupo em um único número (LICHT, 1998).

A média aritmética é determinada segundo a soma dos valores do grupo de dados dividida pelo número de valores (KAZIMIER, 1982; ROGERSON, 2012), o resultado da média é obtido por meio da equação 4.

Equação (4):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Onde:

\bar{X} = Média da amostra;
 X_i = são os valores da variável;
 n = é o número de valores.

3.6.3 Desvio padrão

A medida mais comumente utilizada para quantificar a dispersão é o desvio padrão, obtido pela raiz quadrada da variância. O desvio padrão baseia-se nos desvios em torno da média aritmética e a sua fórmula básica pode ser traduzida como: a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios e é representada por S (Equação 5) (GERARDI; SILVA, 1981; LICHT, 1998, ROGERSON, 2012).

Equação (5):

$$S = \sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 / n}$$

Onde:

S = Desvio padrão da amostra;

N = Número de amostragens;

Xi = Valor de cada amostra;

\bar{X} = Média da amostra.

3.6.4 Coeficiente de variação

Quando for necessário comparar a dispersão de duas séries de dados com diferentes quantidades de amostras, só será possível com o uso do coeficiente de variação (CV), pois o CV é capaz de fornecer uma boa ideia acerca da distribuição dos dados. A comparação dos dados é válida devido ao CV ser expresso e interpretado em porcentagem (Equação 6) (LICHT, 1998).

Equação (6):

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Onde:

CV = Coeficiente de variação;

S = Desvio padrão da amostra;

\bar{X} = Média da amostra;

3.6.5 Correlação linear

A correlação de Pearson avalia a relação linear entre duas variáveis contínuas. Uma relação é linear quando a mudança em uma variável é associada a uma mudança proporcional na outra variável (BATTISTI; BATTISTI, 2008; ROGERSON, 2012).

Na análise de correlação existem as variáveis dependente e independente (x e y), e examina-se, particularmente, até quando o grau de duas variáveis são interdependentes ou covariam (KAZMIER, 1982; GERARDI; SILVA, 1981; LICHT, 1998; SANTOS, 2007).

A correlação linear conhecida como “r”, criada por Karl Pearson, é a mais utilizada entre os coeficientes de correlação. É uma medida em forma de um índice, para indicar o grau de associação linear entre variáveis, com dados na escala de intervalo ou de razão (GERARDI; SILVA, 1981; ROGERSON, 2012).

Gerardi e Silva (1981) destacam, ainda, que um coeficiente de correlação igual a zero não indica, necessariamente, que não há correlação entre as duas variáveis analisadas. Mas, sim, que pode se tratar de outra correlação que não seja linear. Assim, o valor zero designa unicamente que não há correlação linear ou efetivamente não se correlacionam.

Segundo Santos (2007) e Rocha et al. (2015), para se discutir as medidas dos dados encontradas, por meio do coeficiente de correlação linear, encontram-se no quadro 3.5 os coeficientes de correlação que foram estabelecidos em relação aos intervalos de correlação, que podem variar entre +1 a -1. Ele é positivo quando os valores crescentes de x aos valores de y aumentam, e negativo quando os valores de x aos de y diminuem.

Quadro 3.5 -Coeficiente de correlação linear e os intervalos de correlação

| Coeficientes de correlação | Intervalos de coeficientes |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $r = 1$ | Perfeita positiva - (PP) |
| $0,7 \leq r < 1$ | Forte positiva - (FtP) |
| $0,4 \leq r < 0,7$ | Moderada positiva - (MP) |
| $0,1 \leq r < 0,4$ | Fraca positiva - (FrP) |
| $0 < r < 0,1$ | Ínfima positiva- (IP) |
| 0 | Nula - (NL) |
| $-0,1 < r < 0$ | Ínfima negativa - (IN) |
| $-0,4 < r \leq -0,1$ | Fraca negativa - (FrN) |
| $-0,7 < r \leq -0,4$ | Moderada negativa - (MN) |
| $-1 < r \leq -0,7$ | Forte negativa - (FtN) |
| $r = -1$ | Perfeita negativa - (PN) |

Fonte: Adaptado de Santos (2007), Rocha (2012) e Rocha et al. (2015).

3.6.6 Regressão linear

A regressão linear é uma equação para se estimar a condicional (valor esperado) de uma variável y , em relação às medidas da variável x , indicando direção da reta de tendência, segundo expresso na equação 7 (KAZMIER, 1982).

Equação (7):

$$y = a.X+b$$

Onde:

y = variável dependente;

a e b = coeficientes da regressão;

X = variável independente

Conforme Battisti e Battisti (2008) e Rogerson (2012), a relação entre os eixos y e x pode ser adequada para sumarizar a associação entre as variáveis, sendo apresentado gráfico de dispersão quando temos duas variáveis quantitativas. Representamos uma variável em cada eixo.

Para o coeficiente de correlação de Pearson ser $+1$, quando uma variável aumenta, as outras variáveis aumentam por uma quantidade consistente. Este relacionamento forma uma linha perfeita (BATTISTI; BATTISTI, 2008).

3.6.7 Espacialização das variáveis limnológicas

Os mapas das variáveis limnológicas foram elaborados no software ArcGIS 10.2 for Desktop na extensão ArcMap da Esri®, com o auxílio da ferramenta Geostatistical Analyst para krigagem. O método krigagem pressupõe que os dados provêm de um processo estocástico estacionário, sendo discreto em um conjunto de variáveis aleatórias e assumem dados normalmente distribuídos (LANDIM, 2000; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A Krigagem Ordinária foi o método de interpolação utilizado para espacializar algumas variáveis limnológicas que influenciam nos COAs. Segundo Yamamoto e Landim, (2013), a krigagem produz uma distribuição consistindo na estimativa de cada ponto amostral com base nos vizinhos mais próximos, e tem-se em cada ponto amostral o valor estimado e o valor original. É um método estatístico para estimativa de variáveis categóricas, que podem

ser modeladas com base em pontos amostrais e representadas analiticamente em alguma superfície.

Segundo Landim (2000), é o método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de auto correlação de variáveis regionalizadas, e permite existir uma certa continuidade espacial, o que admite que os dados obtidos por amostragem em alguns pontos possam servir para parametrizar a estimação de pontos onde o valor é desconhecido. Contudo menos de 30 pontos amostrados são insuficientes para modelar o variograma da krigagem.

3.7 Procedimentos de coleta de dados espectrais

Os dados de radiâncias da água foram adquiridos simultaneamente aos parâmetros limnológicos, em campo, conforme sugerido por Pereira Filho et al. (2005), sendo observadas as condições do tempo, tais como: vento, presença de sol, e as condições da superfície aquática. Para a coleta de dados espectrais, utilizou-se o equipamento espectrorradiômetro portátil de campo: FieldSpec®HandHeld2™, que produz dados na faixa de 325 a 1.075 nm (nanômetros) ($1\text{nm} = 10^{-6}\text{ m}$) (ultravioleta, visível e infravermelho próximo) do espectro eletromagnético, com um campo de visada de um ângulo de 25° ajustado para 9° com apoio do suporte portátil, para concentrar o campo de visada.

As radiâncias coletadas em cada ponto amostral ocorreram sobre uma embarcação, perpendicular ao ângulo azimutal solar de orientação 90°, a uma inclinação de 45° do equipamento em relação à vertical e a altura aproximadamente de 1 m. Foram obtidas as radiâncias, realizando-se primeiramente, calibração com a placa de superfície Lambertiana de referência (Spectralon®), e, em seguida, coletou-se a medida da radiância da água (Equação 8) (MILTON, 1987; STEFFEN, 1996; JENSEN, 2009; WACHHOLZ, 2011).

Equação (8):

$$L_1 = L_2 / \cos(\theta)$$

Onde: L_1 é a radiância da água; L_2 é a radiância da água medida pelo equipamento após a correção atmosférica; e, θ é o Ângulo zenital do sol.

Os resultados das radiâncias foram convertidos em refletâncias, após descarregar os dados dos espectros obtidos em campo, com o auxílio do software ViewSpec™ específico do equipamento.

3.8 Técnicas de Análise de Dados Espectrais

3.8.1 Análise de Derivada e Remoção do Contínuo

De acordo com Barbosa (2005), a técnica de análise derivativa visa remover feições e sinais de interferência dos COAs em ambientes aquáticos. Han e Rundquist (1997) e Rudorff (2006) salientam que é importante para distinguir contrastes na distribuição espacial de imagens e de variáveis empíricas, e ainda facilitam o reconhecimento das feições de absorções espectrais. Assim, pode-se definir que a análise derivativa, serve para analisar dados medidos em níveis de campo como também orbitais, para se compreender os COAs da água, como dos parâmetros limnológicos de CSS e clorofilas.

A equação 9 representa como é feita a análise de derivada de espectros de reflectância, sendo uma técnica que foi efetivada por Chen et al. (1992), com a finalidade de realçar feições que se destacam em determinadas faixas espectrais. Como exemplo, Trentin (2009) utilizou da análise de derivada e evidenciou locais que, na curva original, não eram visíveis.

Equação (9):

$$ds = \frac{s(\lambda_j) - s(\lambda_i)}{\Delta\lambda}$$

Onde: ds = derivada espectral; s = sinal verdadeiro da reflectância (λ_j - maior comprimento de onda e λ_i - menor comprimento de onda); $\Delta\lambda$ = Separação entre as bandas adjacentes ($\Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_i$), constante.

A identificação do contínuo espectral foi apresentada pela primeira vez por Clark e Roush (1984), sendo feita a partir da ligação dos pontos de máxima reflectância do espectro segundo a equação 10.

Equação (10):

$$PCR\lambda = \frac{P_{Original\lambda}}{P_{Contínuo\lambda}}$$

Onde:

$PCR\lambda$ é o fator de reflectância direcional cônico com o contínuo removido;

$P_{Original\lambda}$ = fator de reflectância direcional cônico original;

$P_{Contínuo\lambda}$ = espectro do contínuo;

λ = é o comprimento de onda.

Para realizar a suavização das curvas de reflectâncias, dos espectros brutos, da remoção do contínuo e da primeira derivada, foi aplicado o filtro na ferramenta Spectral Library (Biblioteca Espectral), suavizando-se na categoria Curve Smothing (Suavização de Curva) disponível no software ENVI 5.3.

E indicado por Tsai e Philpot (1998) o filtro de suavização das curvas espectrais para dar um valor médio dos elementos, suavizando os valores para dar novo valor do ponto central de cada ponto da faixa de espectro eletromagnético.

Os métodos e técnicas de extração de informação espectral foram empregados, na faixa de 400 nm a 900 nm, assim como observado nos trabalhos de Novo (2001), Pereira Filho et al. (2005) e Corazza (2010, 2015).

As regiões que compreenderam os estudos de comprimento de onda da radiação eletromagnética representada na faixa de 400-900 nm, estão localizadas na faixa do visível e infravermelho próximo, de acordo com o aparelho espectrorradiômetro FieldSpec® HandHeld 2™ (Quadro 3.6).

Quadro 3.6 - Radiação eletromagnética de 400-900 nm

| Radiação Fotossinteticamente Ativa | | Nanômetros (nm) |
|------------------------------------|----------------|-----------------|
| (Visível) | Azul | 400 - 525 nm |
| | Verde | 525 - 605 nm |
| | Amarelo | 605 - 655 nm |
| | Vermelho | 655 - 725 nm |
| | Vermelho longo | 725 - 750 nm |
| (Infravermelho Próximo) | Infravermelho | 750 - 900 nm |

Fonte: Manual FieldSpec® HandHeld 2™ (ASD, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da Área de Estudo

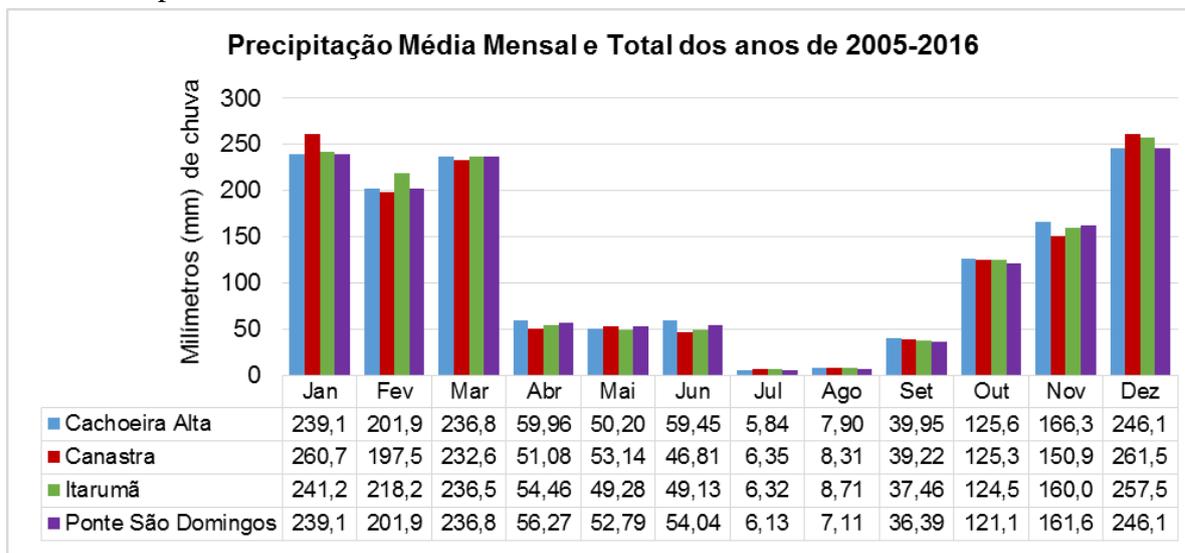
4.1.1 Clima

Na região sul de Goiás, a variabilidade climática acompanha as estações do ano com o aumento na temperatura do ar, em decorrência gradativa dos índices de umidade relativa do ar e da precipitação.

As características climáticas da região Sudoeste Goiano são representadas por duas estações climáticas distintas, alternadamente composta por invernos secos (maio a setembro), que define a estação seca ou de estiagem, e verões chuvosos (outubro a abril), que define a estação chuvosa, ou seja, o clima é o tropical com inverno seco (Aw), baseado na classificação de Köppen (1918). Assim, a precipitação é variável e a área sofre efeito da Massa Polar Continental (MPC), com desvio pluviométrico de até 20%, sendo que a média anual de pluviosidade varia entre 1200 e 1600 milímetros (AYOADE, 1998; MARIANO et al., 2003, CARDOSO et al., 2014).

Segundo análise da figura 4.1, nas estações próximas da bacia ocorreram os volume de chuva semelhantes aos descritos na literatura. Segundo as observações pluviométricas registradas nos anos de 2005 a 2016, o acumulado médio máximo total de precipitação anual foi de 1.443 mm, registrado na estação Itarumã, a noroeste da bacia, e o menor valor médio total foi de 1.419 mm, localizado na estação Ponte São Domingos, a sudeste da bacia. A média mensal observada obteve maior registro na estação Canastra, tanto em janeiro (260,8 mm), quanto em dezembro (261,5 mm). Os meses com os menores valores de precipitação são julho e agosto, com valores abaixo de 10 mm, considerando o baixo índice pluviométrico que a região possui durante o período mais seco.

Figura 4.1 - Precipitação média mensal e total de 2005 a 2016 das estações pluviométricas localizadas próximas da bacia



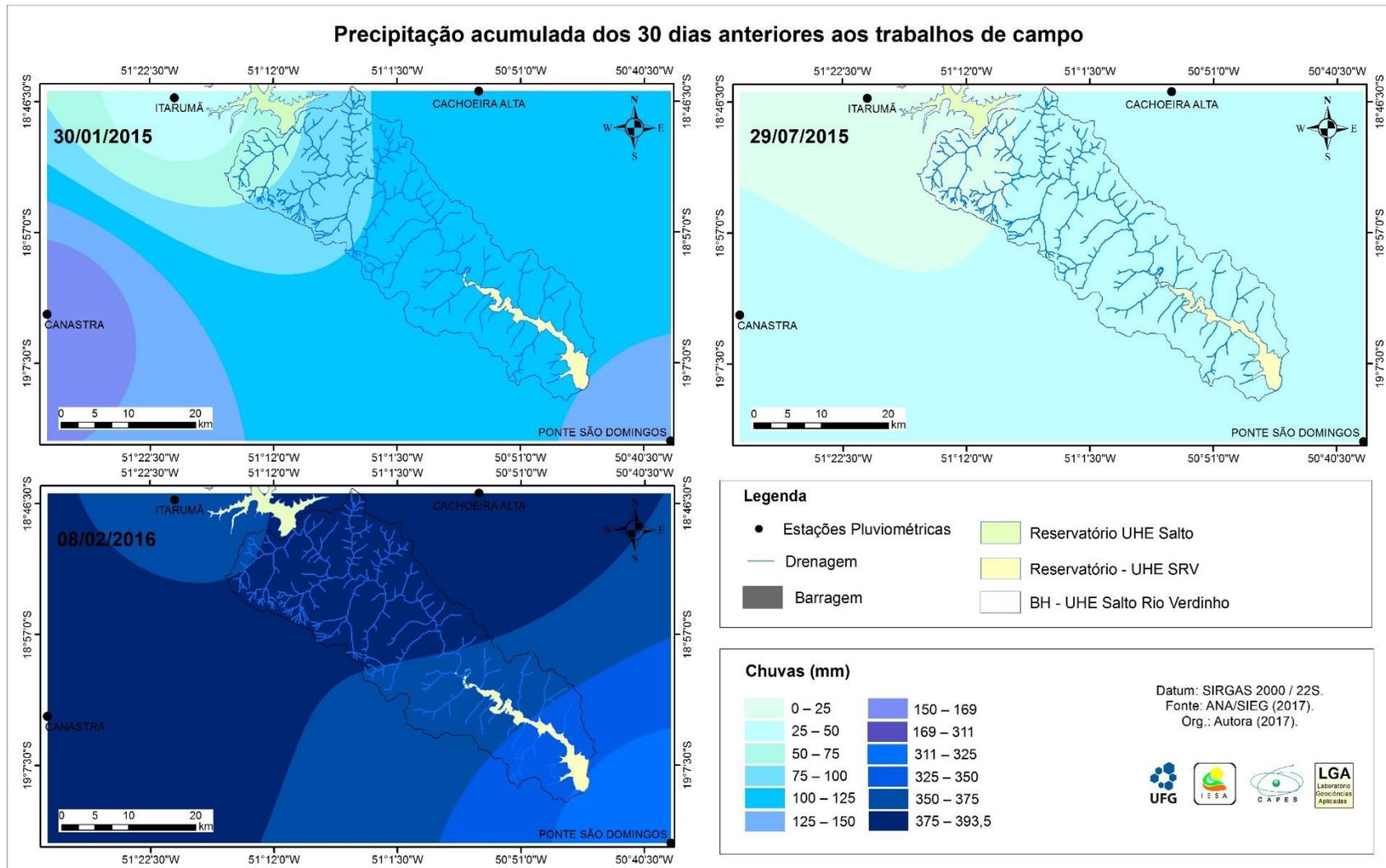
Fonte: ANA (2016). Organização: Própria Autora (2017).

Conforme os mapas (Figura 4.2) das espacializações das precipitações de chuvas para os períodos antecedentes aos trabalhos de campo, observa-se que, durante o período seco, nos meses de julho de 2015 e agosto de 2016, o volume pluviométrico foi bem inferior ao chuvoso, indicando a baixa interferência no escoamento das águas pluviais para o ambiente do reservatório.

As chuvas em todas as campanhas observadas tiveram sua concentração da direção de noroeste decrescendo para a sudeste na distribuição espacial. Durante o período chuvoso, registraram-se valores de precipitação acumulada, com máxima de 394 mm em fevereiro de 2016, acima do registrado em janeiro de 2015 com 169 mm de chuvas acumuladas antes da campanha de campo, ressaltando que o máximo de janeiro 2015 ficou muito abaixo da mínima registrada em fevereiro de 2016, como comprovado na figura 4.14, onde a classe de 169-311 mm não foi representada devido à diferença ocorrida entre o mês chuvoso habitual (fevereiro de 2016) e o chuvoso atípico (janeiro de 2015).

No mapeamento referente ao mês de julho de 2016 não foi possível realizar interpolação da chuva acumulada devido a não ocorrência de precipitação nesse período, somente a estação Ponte São Domingos apresentou valores registrados.

Figura 4.2 - Precipitação acumulada dos 30 dias anteriores aos trabalhos de campo



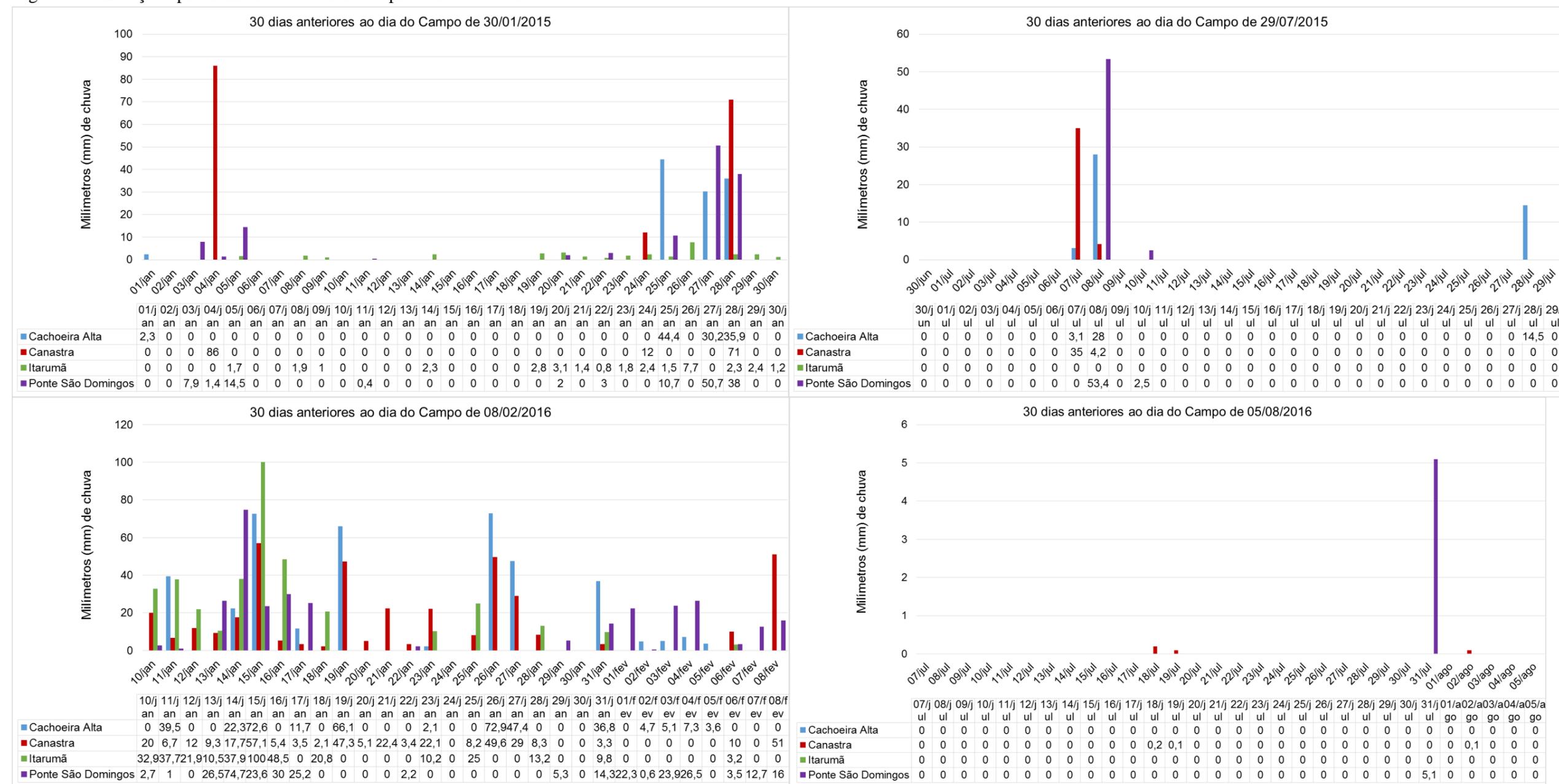
Fonte: ANA (2016). Organização: Própria Autora (2017).

Nos dias antecedentes às campanhas realizadas em janeiro de 2015 e fevereiro de 2016 ocorreram chuvas frequentes. Já no período seco, choveu no dia 8 de julho, 22 dias antecedentes ao dia de campo ocorrido em 29/07/2015. No segundo campo do período seco registrou-se 5,1 mm de chuva, na estação Ponte São Domingos, a sul da barragem do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, não influenciando diretamente no local de pesquisa.

Ressaltando que, no período chuvoso de janeiro de 2015, que foi um ano atípico, com relação à média de precipitação das normais climatológicas, considerado por Ayoade (1998) ano tendente a seco. Assim, foram realizadas as campanhas em ano chuvoso tendente a seco (ano de 2015) e ano chuvoso habitual (ano de 2016).

Os gráficos com os índices pluviométricos observados na figura 4.3 são referentes às precipitações de chuvas acumuladas (30 dias), ou seja, de cada mês que antecederam aos trabalhos de campo. Verificam-se que os meses chuvosos de janeiro de 2015 e fevereiro de 2016, apresentaram um volume pluviométrico elevado com relação aos meses secos de julho de 2015 e agosto de 2016, o que já é esperado para o clima com volumes de precipitações alternadas do ambiente de Cerrado.

Figura 4.3- Estações pluviométricas localizadas próximas da bacia



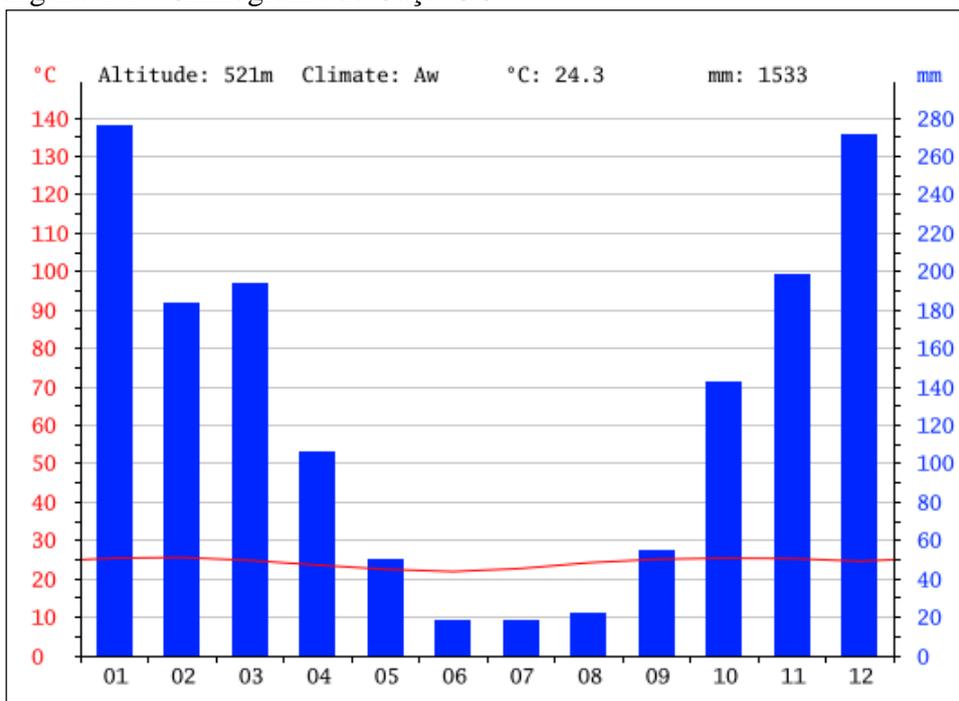
Fonte: ANA (2016). Organização: Própria Autora (2017).

Os dados obtidos das estações pluviométricas próximas a área de estudo, apresentam-se muito semelhantes aos resultados obtidos por Rocha (2012) para a bacia da UHE Barra dos Coqueiros, que se situa no rio Claro, paralelo ao rio Verde, com precipitação variando entre 1.100 a 1.900 mm, no período chuvoso de outubro a abril de 2011. Enquanto Lima (2013) encontrou precipitação anual acima de 1.679 mm para as estações pluviométricas instaladas nas bacias das UHEs Barra dos Coqueiros e Caçu. Já a precipitação do período seco, de maio a setembro em ambas as pesquisas estiveram entre 0 e 105 mm chuva.

Na região da UHE Salto do Rio Verdinho, como em toda região Centro-Oeste e no estado de Goiás, os verões são chuvosos e os invernos são secos. Segundo a THEMAG e CTE (2002), o clima na bacia do reservatório é quente e semi-úmido, típico de cerrado, marcado por amplitude térmica anual superior a 5°C, e a temperatura média anual varia entre 21° e 23°C.

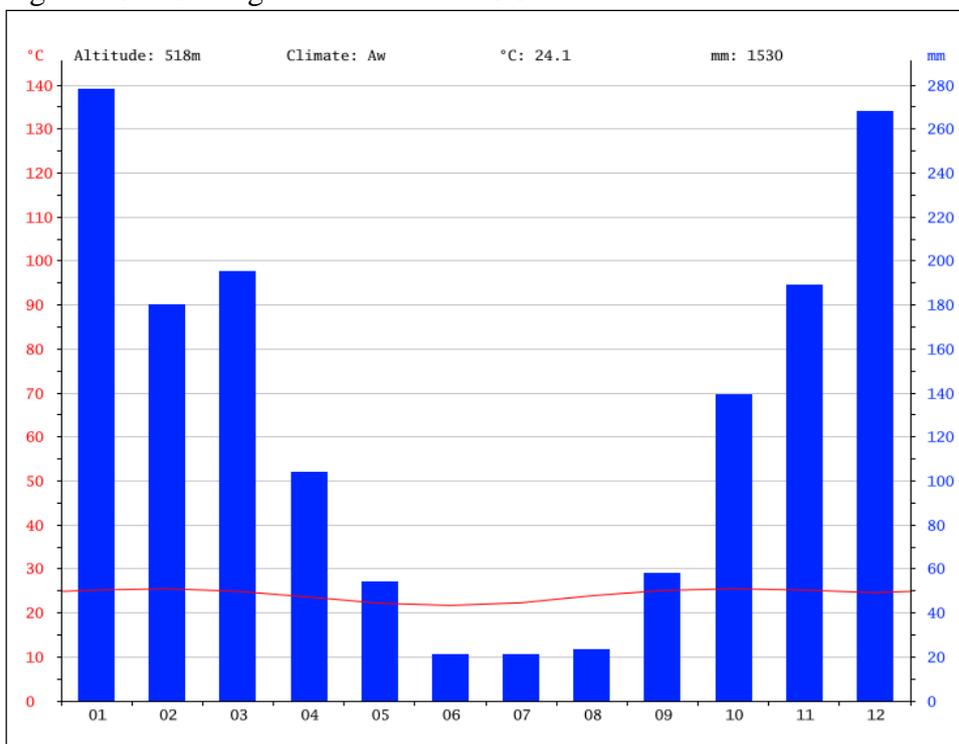
As médias totais de precipitação de 2005 a 2016, verificadas nas estações da ANA e analisadas, coincidem seus valores das chuvas com os índices expressos no RIMA da THEMAG e CTE (2002), que apresentaram registros de chuvas até 1.600 mm. Logo, coincidiram com os climogramas das normais climatológicas dos municípios de Caçu e Itarumã. Segundo fonte do Climate-data.org (2017), o município de Caçu possui média de 1.533 mm de chuvas e média de 24,1 °C de temperatura (Figura 4.4), e o município de Itarumã possui média de 1.530 mm e temperatura média de 21,9 °C (figura 4.5).

Figura 4.4 – Climograma de Caçu-GO



Fonte: Climate-data.org (2017).

Figura 4.5 – Climograma de Itarumã-GO



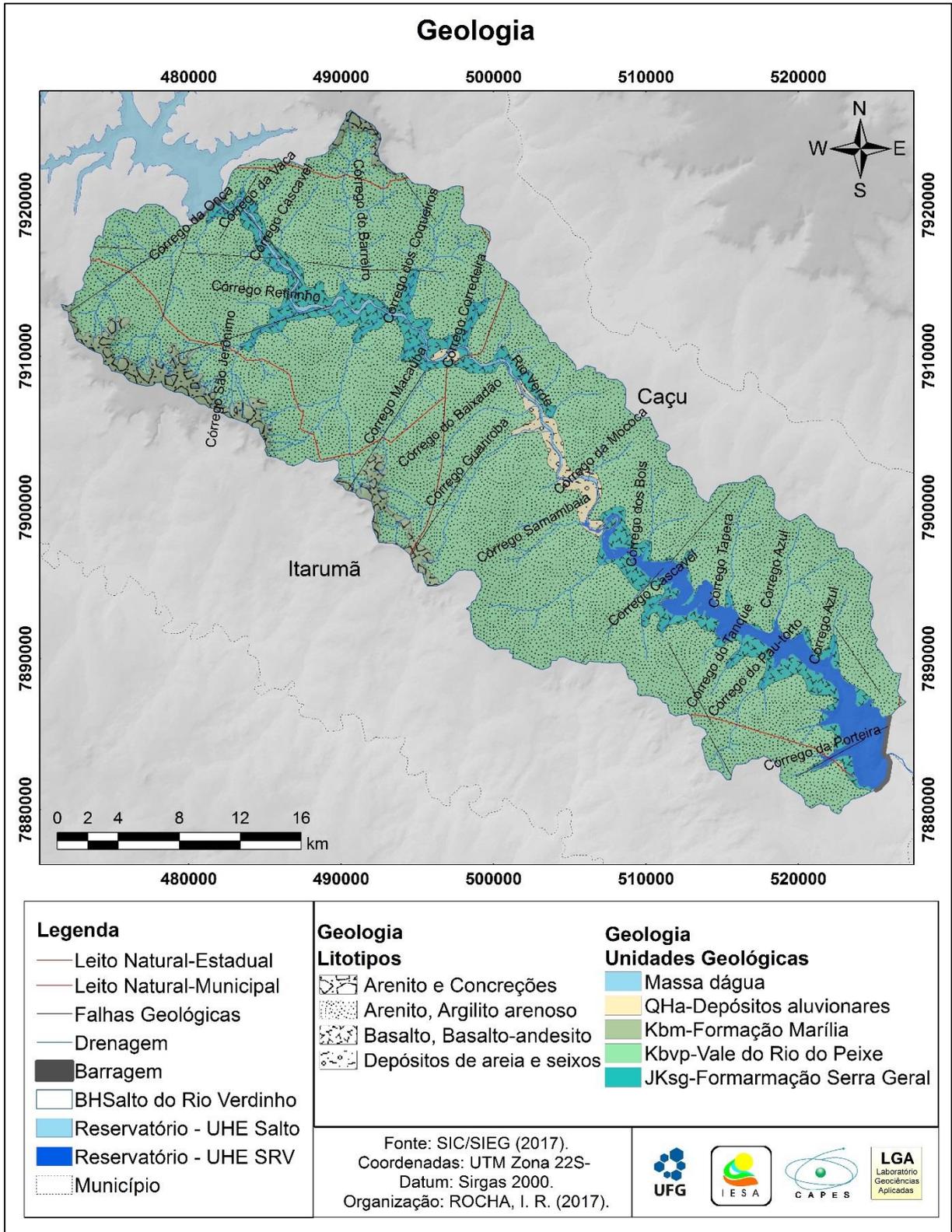
Fonte: Climate-data.org (2017).

4.1.2 Aspectos Físicos

Em termos de aspectos geológicos, a bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná, e é formada pelas rochas pertencentes ao grupo São Bento (Formação Serra Geral), ao grupo Bauru (Formação Marília e Formação Vale do Rio do Peixe) e aos Depósitos Aluvionares (Cobertura Cenozoica) (Figura 4.6).

A Formação Serra Geral ocorre principalmente no vale fluvial do rio Verde. A Formação Vale do Rio do Peixe ocorre posterior aos vales fluviais até as bordas interfluviais da bacia. Já a Formação Marília ocorre nas bordas da bacia, sobre os interflúvios, precisamente onde estão os relevos acidentados. Os Depósitos Aluvionares, de origem Cenozoica recente, recobrem a Formação Serra Geral, e são encontrados no leito do rio Verde, a montante do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho.

Figura 4.6 - Geologia da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho



Organização: Própria Autora (2017).

Ao se analisar geologicamente a área de estudo, de acordo com as suas características, verificou-se que a bacia de sedimentação é de idade Paleo-mesozoicas. As formações Vale do Rio do Peixe e Marília, ambas pertencentes ao grupo Bauru, acumulam uma sequência sedimentar essencialmente arenosa, hoje com espessura máxima de cerca de 300 m e área de 370.000 km (IBGE, 1999; FERNANDES; COIMBRA, 2000). A Formação Serra Geral é compreendida, por extensos derrames de basalto ocasionados por uma reativação pós-rift (HASSUI, 2012). As formações geológicas e sua distribuição estratigráfica estão sintetizadas no quadro 4.1.

Quadro 4.1- Síntese estratigráfica das formações geológicas observadas na área de estudo

| Era | Período | Grupo | Formação | Litologia | Idade | Sigla/ Símbolo |
|------------|----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------|
| Cenozoica | Quaternário | Cobertura Recente | Depósitos Aluvionares | Depósitos de areia e seixos | 875 mil anos | QHa |
| Mesozoica | Cretáceo | Bauru | Formação Marília | Arenito e concreções | 96 m.a. | Kbm |
| | | | Formação Vale do Rio do Peixe | Arenito, Argilito arenoso | 96 m.a. | Kbvp |
| | Jurássico | São Bento | Formação Serra Geral | Basalto, basalto-Adensito | 135 m.a. | JKsg |

Fonte: IBGE (1999) e SIEG (2017). Organização: Própria Autora (2017).

Os topos dos interflúvios são sustentados pela Formação Marília, que se constitui de relevo geralmente movimentado, de escarpas abruptas e topos aplainados, com as cristas ricas em carbonatos de cálcio silicificados e/ou conglomeráticos, conforme observado na figura 4.7 (MOREIRA et al., 2009; FERNANDES; COIMBRA, 2000). Segundo Fernandes e Coimbra (2000), o afloramento basáltico da Formação Serra Geral ocorre no leito do rio Verde, constituído na Era Mesozoica, por derrames basais, formando rochas basálticas, maciças, por vezes amigdalóides, de granulação fanerítica fina a média, conforme observado na figura 4.8.

Figura 4.7 - Superfície com cascalhos e concreções da Formação Marília



Figura 4.8- Basaltos próximos à barragem da UHE

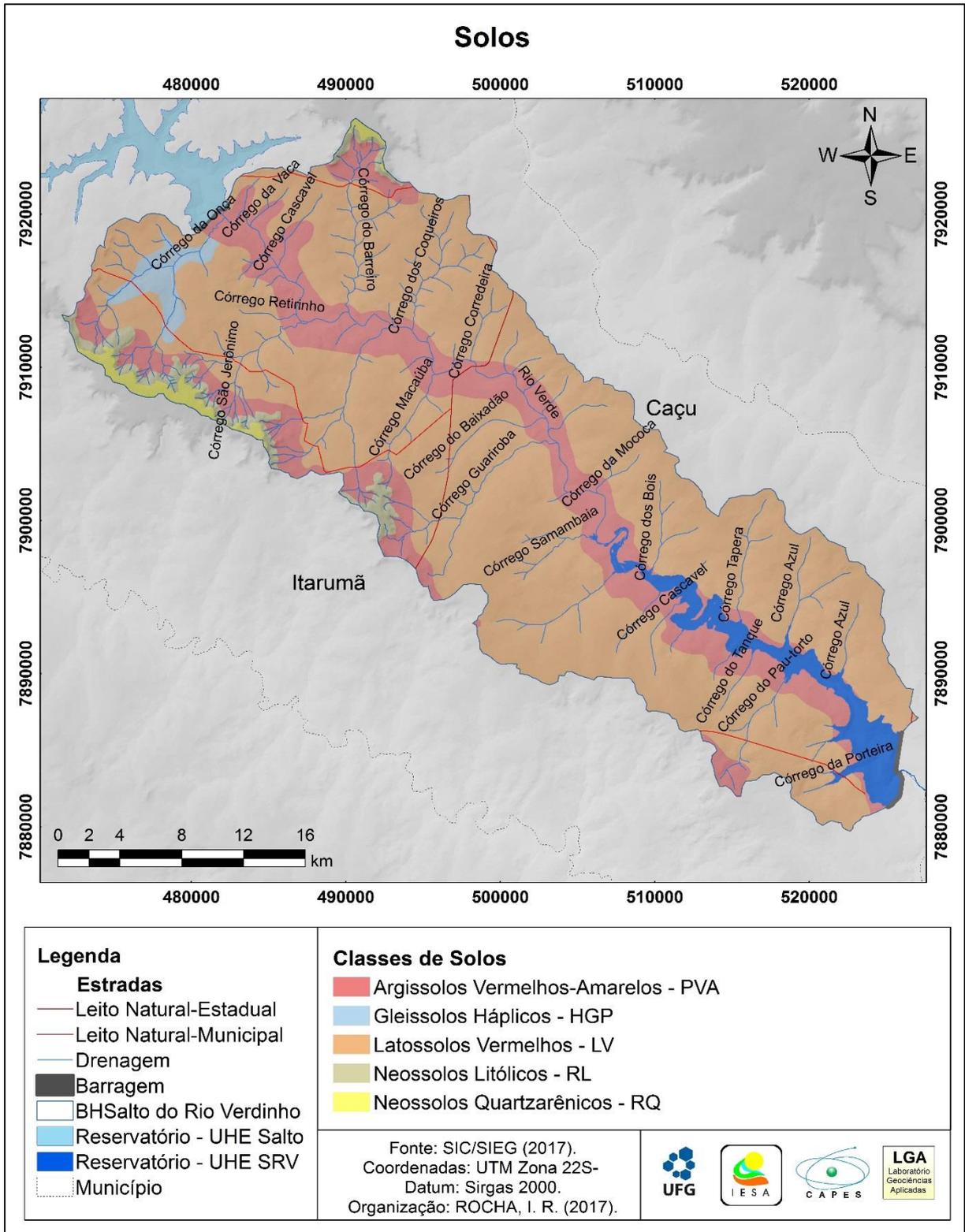


Fonte: Própria Autora (2016).

Os Depósitos Aluvionares são pouco extensos, e se compõem de sedimentos argilo-siltosos e arenosos Fúlvio-lacustres, que preenchem depressões resultantes de reativações neotectônicas ao longo de vales de rios (HASSUI, 2012).

Os principais tipos de solos encontrados na bacia contribuinte do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho, segundo a Embrapa (2013) e o IBGE (2013) (Figura 4.9), compreendem os Latossolos Vermelhos (LV), que se encontram na parte central da bacia; e os Argissolos Vermelhos-Amarelos (PVA), que se localizam no vale fluvial do rio Verde e nas partes rebaixada das serras. Os Neossolos Litólicos (RL) ocorrem nos topos aplainados das serras, enquanto que os Neossolos Quartzarênicos (RQ) estão nas bordas das escarpas, e os Gleissolos Háplicos (HGP) na região do córrego da Onça e córrego do Santa Luzia, parte noroeste da bacia.

Figura 4.9 - Solos da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho



Organização: Própria Autora (2017).

O mapeamento de solos aponta para o predomínio dos Latossolos Vermelhos, e este se relaciona especialmente com a declividade plana, a qual possibilita a espessura profunda para a ocorrência (Figura 4.10-A). Devido à degradação das rochas de origem ígneas (basaltos), ricas em elementos ferromagnesianos, apresentam características de pH básico e tom avermelhado (EMBRAPA, 2013).

A presença dos Argissolos Vermelhos-Amarelos é observada na bacia, conforme a figura 4.10-B. Esses solos sofrem processos de acumulação de argila, sendo os vales fluviais os ambientes ideais para a sua ocorrência. Porém, apresentam uma evolução avançada de laterização, por causa da atividade de argila ser baixa (EMBRAPA, 2013).

Figura 4.10 - A) Latossolos Vermelhos arado para plantios. B) Argissolos Vermelhos-Amarelos observados na margem do rio Verde

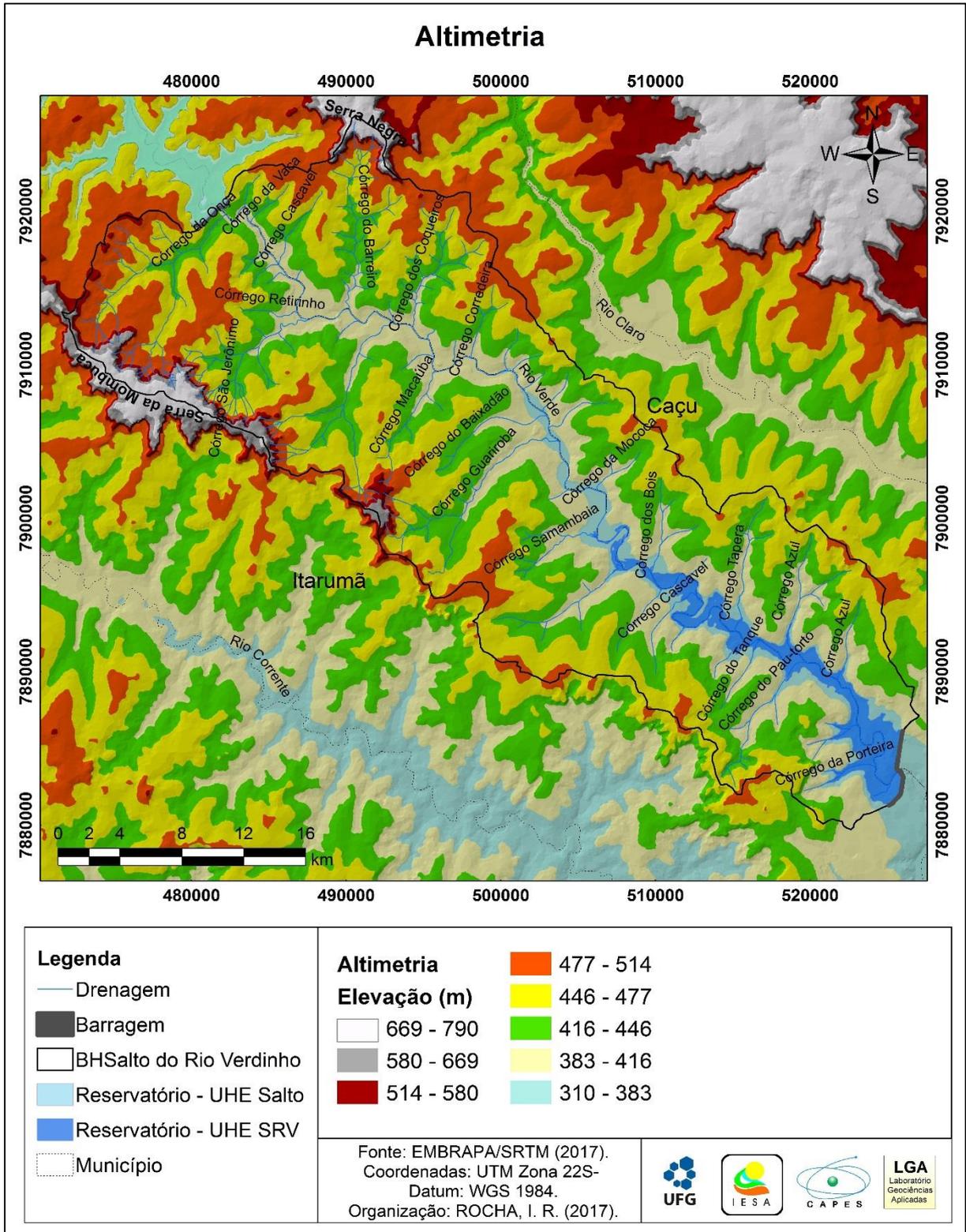


Fonte: Própria Autora (2016).

Para a compreensão do relevo da área de estudo, foi observada a variação da altimetria, segundo a figura 4.11, com cotas de 300 a 780 metros. Porém, é preciso observar as unidades geológicas, pois seus patamares estão condicionados as altitudes específicas, porque o nível altimétrico está relacionado com as estruturas preservadas, sendo as litologias com origens sedimentares resultantes de processos que esculpiram o ambiente. A preservação das serras com cotas elevadas ocorreu principalmente pela resistência de alguns tipos de rochas sedimentares como das concreções lateríticas, ao arrasamento sofrido nos períodos da Era Mesozoica (SCOPEL, 2005).

De acordo com o Projeto Radambrasil (1983), Guerra (2003) e Scopel (2005), a área da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho está localizada na borda setentrional da Bacia do Paraná na sub-unidade de relevo de Planalto setentrional da Bacia do Paraná, sendo essa a classificação de relevo recebido em 1983. Esse planalto é constituído de rochas areníticas e basálticas interiores, com relevos de patamares tabulares.

Figura 4.11 - Relevo da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho

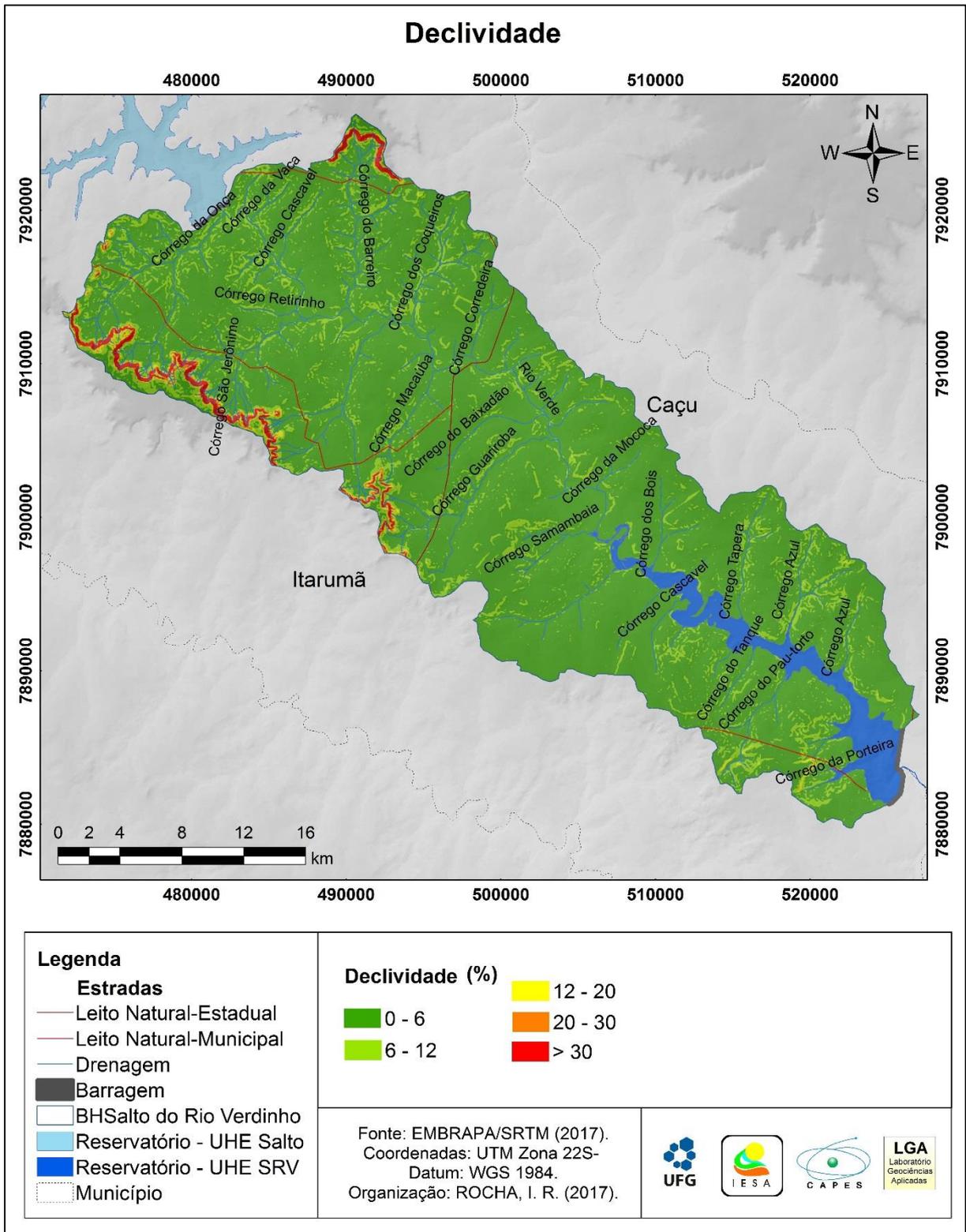


Organização: Própria Autora (2017).

A declividade é o atributo que mais possui relação com os aspectos naturais, pois as unidades geológicas, com os solos, e com a vegetação natural, estão contribuindo com as atividades antrópicas, praticadas em uma bacia. A declividade é um dos fatores importantes no controle do tempo do escoamento superficial das chuvas, tendo uma importância direta em relação à magnitude das enchentes de rios e reservatórios. Pois, quanto maior a declividade, maior a variação das vazões instantâneas (GUERRA, 2003).

Na figura 4.12 são apresentadas as classes de declividade que ocorrem na área de estudo. As cores mais frias, em torno do verde, representam as menores declividades, ocorrendo em quase toda a bacia, fato esse condicionado por compreender uma região formada por sedimentação fluvio-lacustre. As cores mais quentes, em torno do vermelho, representam as maiores declividades, nas bordas da bacia, onde se localizam as escarpas das serras, região de área de erosão interfluvial. A presença das classes de declividades com dissecação forte a muito forte ocorre nas escarpas dos relevos em processos de erosão, entre as cotas de 720 a 800 metros de altitudes.

Figura 4.12 - Declividade da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho



Fonte: Organização: Própria Autora (2017).

Assim, as classes correspondentes às declividades e às dissecções encontram-se expressas na tabela 4.1, e foram associadas as classes de relevos da Embrapa (1983). Mas, associadas para as hierarquias preconizadas pela proposta de Ross (1994), por se adaptar melhor ao relevo mais plano da região. As classes de declividades que compreendem 0-6% ocorrem em 85,96% da bacia, os relevos com declividade entre 6-12% correspondem, à dissecção fraca e abrangem 11,46% da bacia. Essas duas classes somadas ocupam quase toda área da bacia, correspondendo a 97,42%.

Já os relevos com dissecção moderada, forte e muito forte, se relacionam aos relevos ondulados a escarpados, e ocupam 2,6% da área da bacia, indicando que a área de estudo é uma bacia de sedimentação, por se constituir de relevos próximos de patamares planos.

Tabela 4.1 - Classes de declividades correspondentes as porcentagens de ocupação, dissecções e relevos

| Declividade (%) | Dissecção | Relevo (Embrapa, 1983) | Área (km²) | % |
|------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0-6 | Muito Fraca | Plano | 845,28 | 85,96 |
| 6-12 | Fraca | Suave ondulado | 112,73 | 11,46 |
| 12-20 | Moderada | Ondulado | 8,61 | 0,88 |
| 20-30 | Forte | Forte ondulado | 5,91 | 0,6 |
| >30 | Muito Forte | Escarpado | 10,86 | 1,1 |
| Total | | | 983,39 | 100 |

Organização: Própria Autora (2017).

Ao se relacionar os tipos de solos existentes na bacia com as declividades, verifica-se que os Latossolos Vermelhos apresentaram predominância nas áreas de declividade inferiores a 6%, compreendendo relevos planos. Os Neossolos Litólicos e Quartzarênicos ocorrem nas declividades mais acentuadas (20-30 e >30%), e nas áreas de remanescentes do Cerrado ainda preservados, demonstrando que o uso da terra com práticas agrícolas na pecuária devem ser realizadas de modo a preservar o solo, diminuindo a perdas de solos pelas pastagens degradadas.

Segundo as observações em campo, a região possui áreas de solos férteis, com áreas de declividades planas, e os recursos naturais têm grande potencial exploratório, como visto na figura 4.13. Na paisagem da foto, ocorre o predomínio de dissecções de muito fraca e fraca, e relevos planos, compatível para a produção agrícola mecanizada, e como observado, também é destinado às atividades pecuárias.

Figura 4.13- Visão panorâmica do reservatório, evidenciando os baixos declives e parte da ocupação da bacia por pastagens para criação de gado de corte



Fonte: Própria Autora (2016).

A compartimentação geomorfológica da área de estudo encontra-se inserida em formas tabulares com dissecação convexas em terraços fluviais (GUERRA, 2003; SCOPEL, 2005). Como pode ser observado na figura 4.14, as bordas dos interflúvios estão nas escarpas erosivas, mas com topos planos.

Figura 4.14 - Visão panorâmica, no plano de fundo as chapadas de topos planos, e no centro à depressão do rio Verde



Fonte: Própria Autora (2016).

Para a análise da composição vegetal da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho, foi realizado um trabalho de campo com objetivo de observar a paisagem de coberturas vegetais. Assim, a vegetação observada na área de estudo engloba as fisionomias do Bioma Cerrado. Dentre os tipos fito-fisionômicos que englobam a área de estudo, são observadas: a formação florestal de Mata Ciliar, as formações savânicas de Cerrado Denso e Típico (Quadro 4.2).

De acordo com Sano et al. (2008), o bioma Cerrado possui critérios para a diferenciação de seus subtipos, segundo indicações de classificações propostas pela Embrapa e pelo IBGE, que se basearam primeiramente na fisionomia, na estrutura, nas mudanças sazonais, e, ainda nos fatores edáficos e composição florística.

Quadro 4.2 - Variações de fitofisionomias do bioma Cerrado e outros usos encontrado na área da Bacia da UHE Salto do Rio Verdinho

| Fitofisionomia | Foto | Características |
|------------------|--|---|
| Mata Ciliar |  | <p>Áreas com densos extratos arbustivos, arbóreo e até herbáceos que acompanham as margens dos cursos fluviais.</p> |
| Cerrado Denso |  | <p>Áreas vegetadas de ambiente natural, com árvores de alturas entre 5 a 8m.</p> |
| Cerrado Alterado |  | <p>Áreas de extensão de gramíneas exóticas misturadas com arbustos de cerrado. Nesse ambiente o Cerrado se encontra, com características de desmatamento para cultivo de pastagens.</p> |

| | | |
|------------------|---|--|
| Cerrado Típico |  | Áreas que possuem estrato arbóreo destacado com média de altura de 2 à 4m. |
| Áreas antrópicas |  | Áreas onde a cobertura vegetal natural já foi alterada, e compreendem vários tipos de atividades antrópicas como da cultura de cana-de-açúcar. |

Fonte: Própria Autora (2016). Descrição adaptada de Ribeiro e Walter (2008).

Nas observações de campo se verificou que dentre as vegetações originais as matas ciliares foram as mais abrangentes, e estão associadas à presença do cursos d'água, pois a área da bacia encontra-se bem antropizada, demonstrando que o desmatamento de Cerrado é grande na maior parte dessa região. Na breve disposição das características das fitofisionomias realizada nessa pesquisa, foi observada a classificação indicada pela Embrapa, que se baseia na estrutura vegetal e apresenta os tipos principais de fitofisionomias para o bioma (RIBEIRO; WALTER, 2008, OLIVEIRA, 2014).

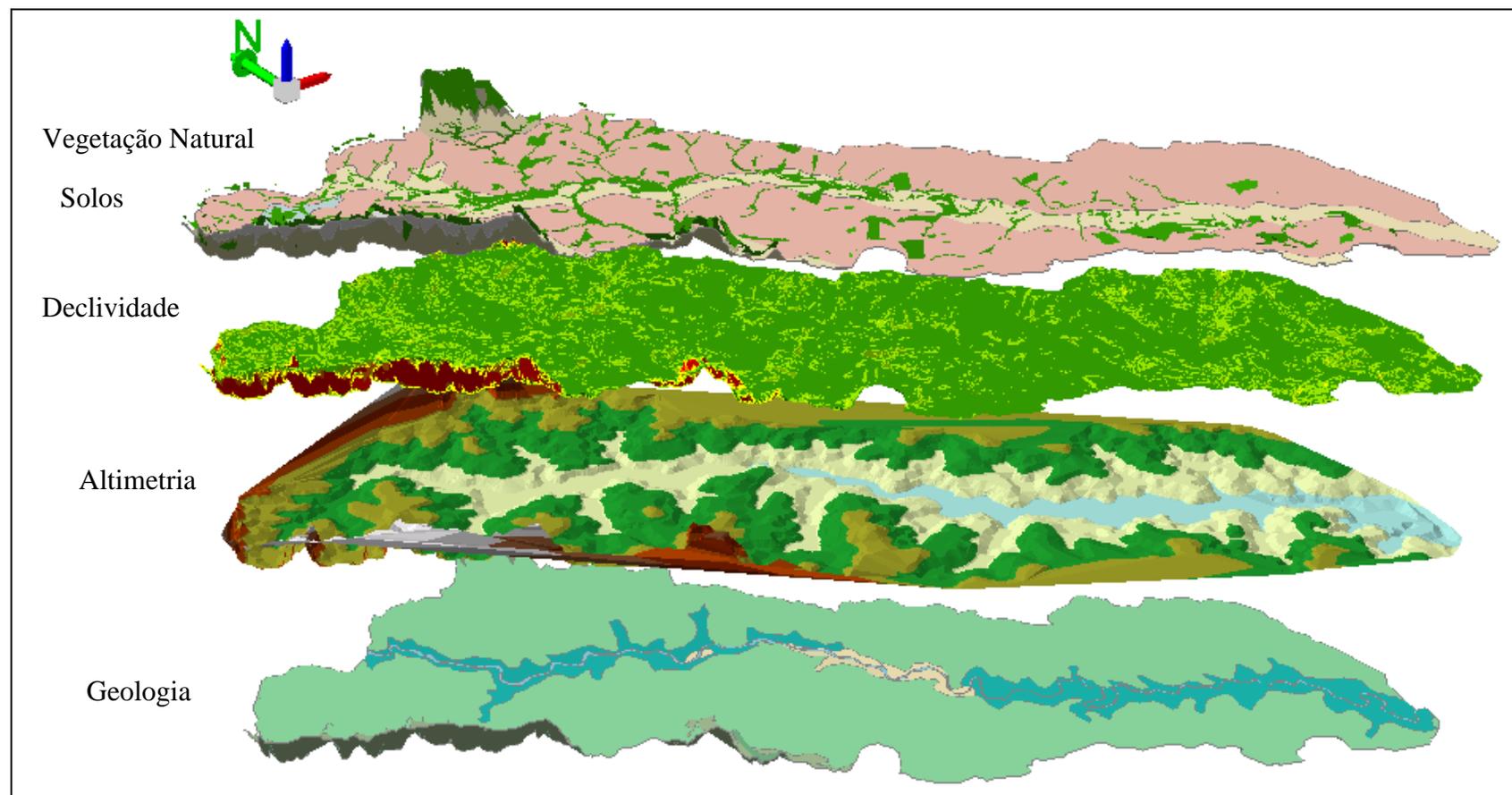
Ribeiro e Walter (2008) abordam sobre a importância do Bioma Cerrado, da sua riquíssima biodiversidade de espécies em relação às outras savanas mundiais, pois é o segundo maior bioma brasileiro. Mas, segundo Sano et al. (2008) e Oliveira (2014), encontra-se em processo avançado de degradação, em consequência de expansão agropecuária brasileira nas últimas décadas. Essa importância ecológica, em contrapartida com a degradação sofrida, elevou o bioma Cerrado a ser reconhecido como um dos hotspots mundiais, principalmente pelo grande número de espécies endêmicas já catalogadas, e

prevendo que podem ser encontradas muitas novas espécies em futuras pesquisas (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Para se compreender a importância dos atributos físicos na pesquisa realizada, foi elaborada uma sobreposição de dados, definidas como Geounidades da bacia da área de estudo. Dessa forma, seguiu-se os procedimentos metodológico descritos por Rodriguez et al. (2017), Silva e Rodriguez (2014) e Mezzomo (2013), consistindo na análise geossistêmica, com análise integrada de várias feições físicas da paisagem, que levaram em consideração os mapas de geologia, altimetria, declividade, solos e vegetação, atrelada às informações coletadas em trabalhos em campo, que serviram de parâmetros para identificar as Geounidades localizadas na bacia em estudo.

A partir da integração dos mapas físicos, gerou-se o esquema representado na figura 4.15, no software ArcGIS 10.2 na extensão ArcScene da Esri®, visualizando-se um modelo de sobreposição das camadas dos atributos físicos associados, possibilitando agrupar as áreas com confluências, indicando condições ambientais intrínsecas, de acordo com os parâmetros adotados sobre a categoria das formações geológicas.

Figura 4.15 - Modelo de sobreposição das camadas dos atributos físicos associados



Organização: Própria Autora (2017).

A análise integrada dos elementos físicos da paisagem possibilitou a compreensão das Geounidades (Quadro 4.3) da área de pesquisa e sua influência sobre o modelo de uso da terra e cobertura vegetal que será discutido posteriormente.

Quadro 4.3 - Confluências da relação dos componentes da paisagem

| Unidades Geoestruturais | Formações Geológicas | Litologias | Altitudes (m) | Solos | Área (km²) | % |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|------------|
| Geounidade 1 | Depósitos Aluvionares | Depósitos de areia e seixos | 320-500 | LV + PVA | 12,17 | 1,24 |
| Geounidade 2 | Formação Marília | Arenito e Concreções | 500-800 | LV + PVA +RL +RQ | 73,23 | 7,45 |
| Geounidade 3 | Formação Vale do Rio do Peixe | Arenito, Argilito arenoso | 320-700 | GX + LV+PVA +RL +RQ | 815,58 | 82,94 |
| Geounidade 4 | Formação Serra Geral | Basalto, basalto-Andesito | 320-500 | LV + PVA | 82,41 | 8,38 |
| Total | | | | | 983,39 | 100 |

Organização: Própria Autora (2017).

A partir da confluência dos dados aspectos físicos, a compreensão da Geounidade 1 abrange uma área menor que as demais geounidades, com 12,17 km². O embasamento geológico recente acumulou depósitos de sedimentos clásticos do leito fluvial, sendo importante para a compreensão de inundações durante cheias no canal fluvial, que acumulam sedimentos extravasados dos canais para as margens (HASSUI, 2012).

Os resultados obtidos demonstram que a Geounidade 2 merece cuidados especiais, os solos predominantes são Neossolos Litólicos e Quartzarênicos, oriundos das formações Marília e Vale do Rio do Peixe que apresentam baixa cimentação e compactação (FERNANDES, 1998, FERNANDES; COIMBRA, 2000; CABRAL, 2006). Os neossolos Litólicos e Quartzarênicos possuem baixo desenvolvimento pedogenético e são pouco coeso (EMBRAPA, 2013), indicando que o ambiente pode sofrer com processos erosivos caso sejam desprovido de cobertura vegetal devido se encontrarem nos topos das serras e escarpas, declividades superiores a 20%.

As áreas com as maiores ocupações de remanescentes de Cerrado, encontram-se nos topos e encostas das Serras, assentadas sobre a Formação Marília (Geounidade 2), com 7,45% da área da bacia.

As geounidades 3 e 4 ocorrem nas baixas altitudes, com altimetria entre 320 e 500 metros, com a presença de Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos-Amarelos,

recobrando os litotipos de argilito arenoso e basalto. A área da geounidade 3, onde se localiza a Formação Vale do Rio do Peixe, tem maior ocupação (815,58km², 82%) e os elementos que a integram, tem a presença da litologia de arenito, conglomerado e argilito, estando entre as cotas de 320 à 500m, e ocorrência de solos PVA e LV.

Como síntese geral da área de estudo, foi elaborado um perfil estrutural que resume a paisagem local, conforme pode ser observado na figura 4.16. Assim, a integração dos aspectos da paisagem natural e do corte topográfico de orientação SO-NE da Serra da Mombuca até a Serra Negra está representado no perfil, bem como, alguns mapas de categorias físicas, para melhor compreensão.

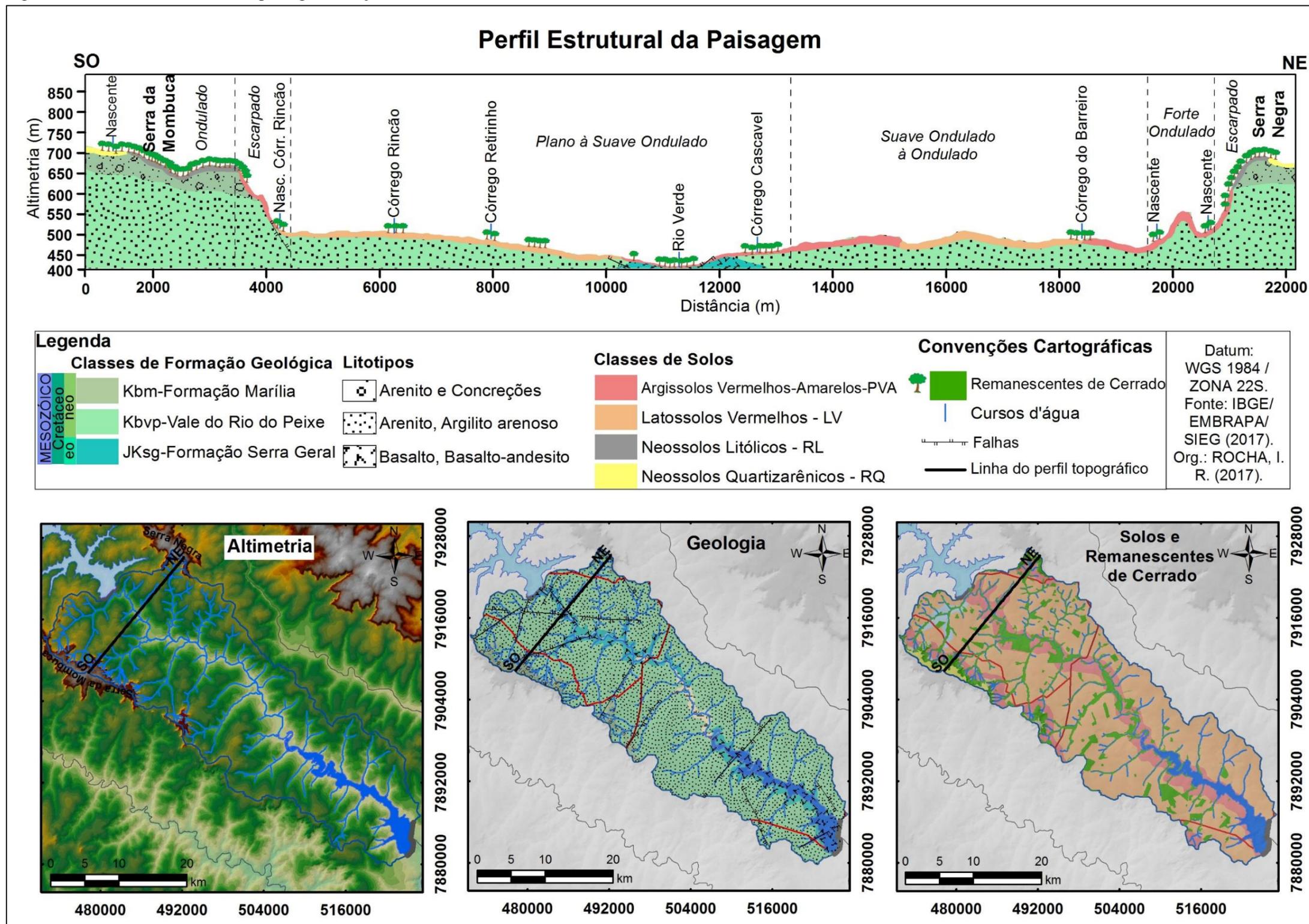
Conforme os dados avaliados, o perfil da seção estrutural da paisagem possui altimetria variando de 400 a 700 m, com amplitude altimétrica de 300 m, extensão de 22.000m entre SO-NE da bacia. No início da extensão do perfil, é observada a maior altitude, localizada na Serra da Mombuca, enquanto que a 11.000 m de distância, é localizado o vale do rio Verde, local de menor altitude. Nesse ponto, também é observado o afloramento da Formação Serra Geral. Já a nordeste, novamente é observado, a borda do interflúvio da bacia em estudo, compreendendo a Formação Marília, na Serra Negra.

A região como um todo compreende uma área de sedimentação da Era Mesozoica, onde as unidades litológicas são representadas por arenitos, argilitos e conglomerados, originários de depósitos sedimentares de diversas naturezas (MOREIRA et al., 2009).

Nas áreas onde ocorre a presença dos Latossolos Vermelhos, bem como os Argissolos Vermelhos-Amarelos, a vegetação natural destaca-se nas áreas limites dos cursos fluviais, fato este destacado por Rocha e Cabral (2017), devido às alterações ocorridas na bacia nos últimos 15 anos, a partir das conversões de áreas de vegetação natural em pastagem e depois em agricultura.

Com a caracterização de cada Geounidade estrutural, foi possível sintetizar as informações apresentadas nas figuras 4.15 e 4.16, ressaltando a importância dos mapas de geologia, declividade, altimetria, solos e vegetação na avaliação de um ambiente, no que diz respeito ao aspecto físico.

Figura 4.16 – Perfil estrutural da paisagem - seção transversal a montante do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho



Fonte: EMBRAPA/LAPIG/SIEG/SIC (2017). Organização: Própria Autora (2017).

O fator geológico foi o parâmetro principal adotado nessa análise, por ter maior expressividade para a região, ao contrário do relevo, que não permite muita associação, porque possui pouca variação altimétrica e interferência na paisagem da bacia da UHE Salto do Rio Verdinho.

No entanto, a observação geocológica de Marés Mikosik (2017), o relevo foi determinante na delimitação das classes, e exerceu função importante na análise da paisagem, principalmente, no desenvolvimento da vegetação rasteira, que está estritamente relacionado com a altitude elevada na bacia do rio Preto na Serra do Gandarela (MG).

Marent e Portilho (2009) também identificaram o relevo como parâmetro principal para análise das unidades, justamente por causa da irregularidade, na bacia do rio Sagrado Morretes (PR), onde o relevo é o condicionante estrutural da paisagem, porque é mais movimentado e tem a predominância de solos em formação, como os Neossolos e Cambissolos.

4.2 Alterações no Uso da Terra

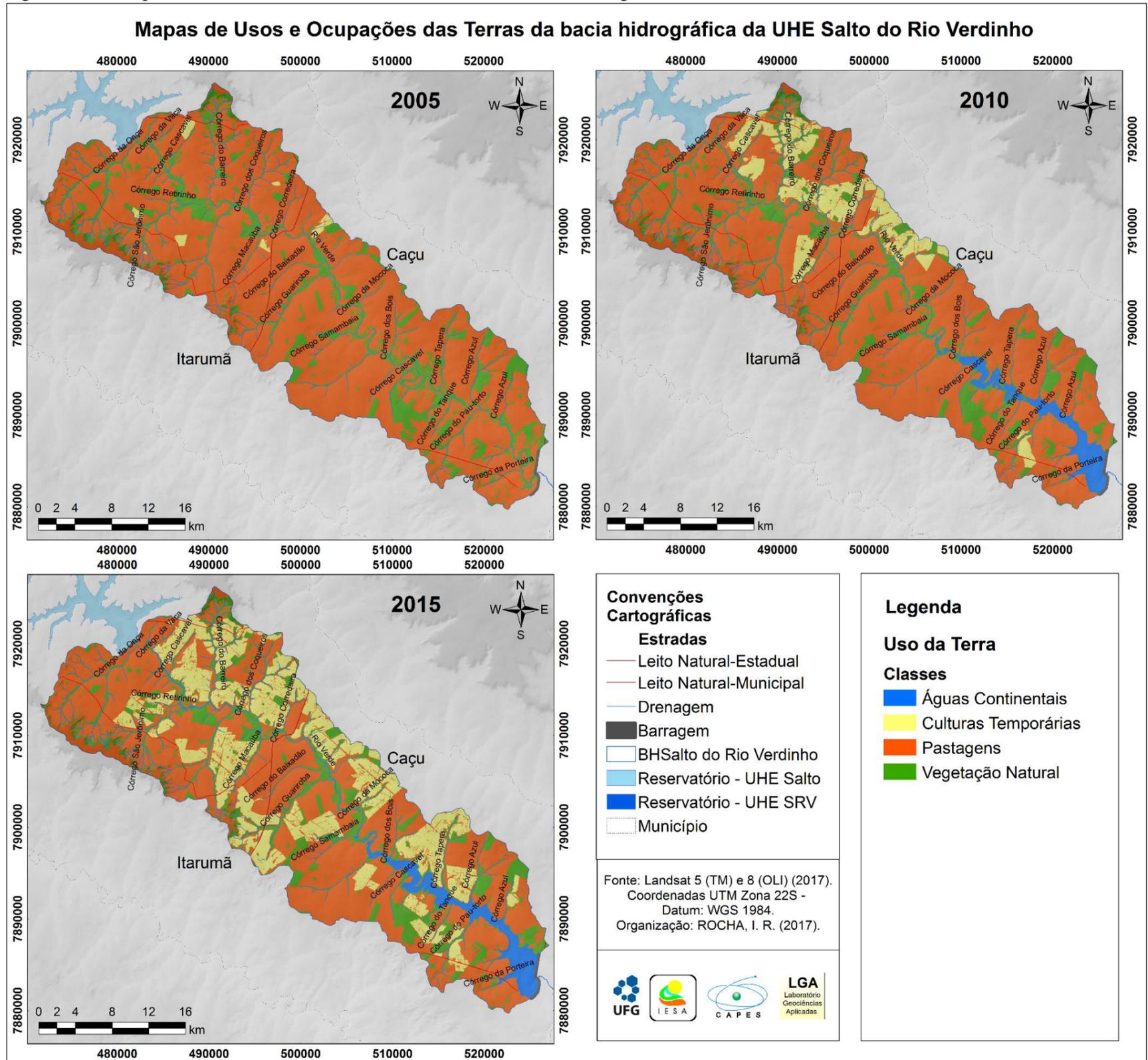
A partir da análise espaço-temporal de uso da terra (Figura 4.17) na bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, foi possível detectar que ocorreram mudanças em relação ao modelo de uso da terra entre os três períodos (anos de 2005, 2010 e 2015) de análises.

De acordo com o mapa de uso da terra no ano de 2005, ocorria o predomínio da classe pastagens, o que é legitimado pelos processos históricos de ocupação do Centro-Oeste, com a adoção do modelo pastoril. A pastagem se incorpora à paisagem a partir do desenvolvimento da economia na região (SANO et al., 2007; CASTRO et al., 2010).

A partir da instalação de novos complexos agroindustriais, as atividades de pastagem vem cedendo espaço para as atividades agrícolas, compreendendo a entrada do cultivo agrícola de cana-de-açúcar (CASTRO et al., 2010), como são observadas as alterações ocorridas a partir da evolução do uso e ocupação da terra de 2005 a 2015.

A bacia apresenta a ocupação da agricultura de cana-de-açúcar nas áreas que compreendem os relevos planos a suave ondulados, que nesse ambiente são um dos benefícios que favorecem a agricultura mecanizada de precisão.

Figura 4.17 – Mapas de Usos das Terras de 2005, 2010 e 2015 da bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho



Organização: Própria Autora(2017).

As áreas destinadas às culturas temporárias se destacam em 2015, com maior ocupação do que nos últimos 10 anos anteriores. Tanto a margem esquerda quanto a margem direita da bacia da UHE, vêm sendo alteradas devido a inserção da cultura da cana-de-açúcar fomentado pela implantação de indústrias sucroalcooleiras na região, com distância de 30 a 40 km das áreas de plantio, próximas a UHE Salto do Rio Verdinho. Como exemplo de indústria sucroalcooleira podemos citar a ETH Unidade Rio Claro (Figura 4.18) que localiza-se no município de Caçu (GO), e já está consolidada desde agosto de 2009, de acordo Lima (2013).

Figura 4.18 – Usina ETH Bioenergia S/A, Unidade Rio Claro, município de Caçu-GO



Fonte: LIMA (2013).

A ocupação da cana-de-açúcar na área de influência da bacia do UHE Salto do Rio Verdinho é recente, mas alterou extensões significativas de pastagens. Segundo Santos et al. (2013) foram observados no projeto PACUERA (Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial) que, entre as culturas presentes, a cana-de-açúcar era a de maior extensão, seguida de silviculturas em locais isolados na região do entorno da UHE.

Com à análise temporal do uso da terra, as áreas de APPs (Áreas de preservação permanente) cedem espaço para a classe água, observando-se a partir do atual local do reservatório que, anteriormente, era composto por áreas de vegetação de matas ciliares. A fase final do enchimento do reservatório foi concretizada no ano de 2010.

Ao avaliar o RIMA (THEMAG; CTE, 2002) da UHE Salto do Rio Verdinho, observou-se que se levaram em consideração a retirada da vegetação do leito do rio, como é

feito em todo empreendimento hidrelétrico, mas foi verificado nos mapas de 2010 e 2015, que não foram consideradas nos planejamentos prévios do projeto, que essas áreas seriam alagadas.

A partir da análise do mapeamento do uso da terra de 2015 e visita a campo, verificou-se que o que resta dessas antigas vegetações de matas ciliares nas áreas de APPs, são esqueletos de árvores no lago, além de paliteiros afogados no final de alguns córregos, como no córrego da Cavinha (Figuras 4.19 A e B).

Figura 4.19 - A) Paisagem que contempla a água e antigas matas ciliares inundadas; B) paliteiros no córrego da Cavinha



Fonte: Própria Autora(2015).

Conforme a resolução CONAMA N° 303/02, de 20 de março de 2002 para reservatórios artificiais, as áreas de APPs podem ser reflorestadas no entorno dos lagos com 15 metros de distância das margens do reservatório (BRASIL, 2002). A legislação veio a aparar os empreendimentos hidrelétricos, mas, nem sempre são cumpridas essas disposições, pois muitas áreas marginais dos reservatórios não possuem nem um limite reflorestado para as APPs.

Na comparação com o Código Florestal - Lei n° 12.651/12, verificou-se que a degradação das matas ciliares, já eram extensas, porque nem antes e nem após a implantação do reservatório atendiam o limite previstos pela lei, conforme os mapeamentos avaliados, para um percentual mínimo de proteção (BRASIL, 2012), constatando-se que existe a necessidade de recuperação das matas ciliares, para gerar maior proteção aos recursos hídricos do reservatório, preservando-se tanto as margens como todo espaço aquático do lago.

A aplicação de replantio de mata ciliar em reservatório, deve consentir em gerar proteção contra o uso e exploração das águas pelos proprietários rurais, para dessedentação

animal e pesca exploratória, principalmente, pois, o rebanho deve ser dessedentado com água canalizada segundo Fonseca (2010).

Na figura 4.20-A, pode ser observado que as margens próximas da barragem encontram-se sem proteção, sem a presença de áreas de APPs, que previnem a entrada direta do gado para o acesso à dessedentação, comprovando que ainda não está sendo implantado no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho o projeto de reflorestamento das APPs de acordo com a resolução CONAMA 303/02 (BRASIL, 2002). Assim, como também foi observado por CONSILIU (2009), o acesso livre do gado direto à água em algumas margens.

As ocupações tiveram significativas mudanças nos últimos 15 anos, nos três intervalos de diagnóstico, visto que, na região, foi observada nos mapeamentos a rotação das atividades de agricultura substituindo áreas de atividade pecuária. O domínio da paisagem da bacia permanece com extensas áreas de culturas e pastagens (Figura 4.20-A e B).

Figura 4.20 - A) Paisagens das ocupações de pastagens para pecuária; B) áreas destinadas à cultura de cana-de-açúcar no reservatório



Fonte: Própria Autora (2015).

A partir da análise da tabela 4.2, verifica-se que são evidentes as alterações nos usos das diversas áreas da bacia, em um intervalo de 15 anos, pois se percebem as diferenças ocorridas em relação às áreas remanejadas de anos anteriores.

Em 2005, a classe pastagem ocupava 806,37 km² da área da bacia. Em 2010, a área ocupada pela pastagem passa a ser de 714,4 km² e, em 2015, essa mesma classe ocupava 546,21 km².

Houve um crescimento das atividades agrícolas na bacia, no ano de 2010, de 73,36 km² em relação ao ano de 2005, sendo um crescimento de 156,41 km² em 2015,

em relação ao ano de 2010. Entre os usos que cederam áreas para a agricultura até 2015, estão as áreas de pastagens.

A Classe pertencente ao uso da água aumentou 21,98 km² em relação ao ano de 2005 e, no ano de 2015, aumentou 16,17km² em relação ao ano de 2010. A classe pastagens, bem como a vegetação natural cedeu áreas para a classe águas continentais, representada pelo alagamento do reservatório artificial no ano de 2010.

No mapeamento de 2015 as pastagens e as culturas temporárias cobrem juntas cerca 80% da área da bacia. Assim, 20% são equivalente às classes vegetação natural e águas continentais.

Tabela 4.2 – Cálculo de áreas das classificações de Usos das Terras, dos anos de 2005, 2010 e 2015

| Classes de Uso | 2005Km² | % | 2010Km² | % | 2015Km² | % |
|-----------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|
| Água Continentais | 10,58 | 1,08 | 32,56 | 3,31 | 48,73 | 4,95 |
| Culturas Temporárias | 7,87 | 0,8 | 81,23 | 8,26 | 237,64 | 24,16 |
| Pastagens | 806,37 | 81,99 | 714,4 | 72,61 | 546,21 | 55,54 |
| Vegetação Natural | 158,65 | 16,13 | 155,68 | 15,82 | 150,89 | 15,35 |
| TOTAL | 983,47 | 100 | 983,47 | 100 | 983,47 | 100 |

Organização: Própria Autora (2016).

Conforme a pesquisa de May e Reis (2016), com objetivo de verificar a expansão ou retração agrícola no município de Centenário (RS), no período de 1995-2014, tiveram resultados com significativa expansão agrícola e uma conseqüente retração das áreas de floresta e áreas de campo, conferindo resultados similares a presente pesquisa, demonstrando que a agricultura expandiu em todos os períodos na bacia da UHE Salto do Rio Verdinho.

No ambiente de Cerrado goiano, a vegetação natural está, em muitos casos, ligada aos cursos d'água, pois oferece cobertura para a proteção dos cursos e limites de coberturas das matas ciliares ou de galeria.

Na região ocupada pela bacia do rio Verde, predomina como cobertura vegetal original de tipo Cerrado. Em menor extensão, próximo à foz do rio Verde, estão presentes áreas de Tensão Ecológica, que correspondem à zona de contato entre o Cerrado e a Floresta Estacional Semidecidual, pertencente ao Bioma Mata Atlântica (AB'SABER, 2003, OLIVEIRA, 2014), presente apenas em pequena faixa da bacia. Segundo a THEMAG e CTE (2002), trata-se de Vegetação hidrófila (mata ciliar), característica de ambientes de várzeas,

destacando-se localmente, por representar ambiente diverso da vegetação de entorno, e pelo maior nível da conservação.

4.2.1 Qualidade dos mapeamentos (Índice Kappa)

No intuito de verificar a qualidade das classificações, os resultados da aplicação do coeficiente kappa podem ser observados na tabela 4.3. As classificações demonstraram índice kappa enquadrados em todos os anos de análises na classe excelente, com valores acima de 0,90. O maior nível sugerido por Foody (2002) para o índice kappa é acima de 0,85, que representa melhor exatidão nos mapas. Ou seja, os mapas classificados para a bacia do rio Verdinho contêm até 10% de erros de confusão.

Tabela 4.3 – Enquadramento do Índice de kappa e as respectivas qualidades dos resultados de uso e ocupação da terra dos anos de 2005, 2010 e 2015 em análise

| | 2005 | 2010 | 2015 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| Índice kappa | 0,90 | 0,92 | 0,93 |
| Qualidade | Excelente | Excelente | Excelente |

Organização: Própria Autora (2016).

Foram elaboradas matrizes de erros de dados temáticos geradas para os mapeamentos, como podem ser observados no apêndice - A. Isso porque, as mudanças foram significativas nos usos em várias áreas da bacia. O total de amostragens cobriu todas as áreas que compõem as alterações decorrentes, como de áreas de pastagens por culturas. Deste modo, quanto maior o número de amostras, mais significativo será o resultado do coeficiente.

Assim, a excelência do resultado obtido com o índice kappa ficou a cargo do classificador MaxVer, do software ArcGIS 10.2, pois a cada ano, novas versões são publicadas visando melhoria nas ferramentas de SIGs.

Segundo Nascimento et al. (2016), baseado nos resultados da classificação do método MaxVer e Isso Clauter, o MaxVer foi o que apresentou melhor desempenho na distinção das classes temáticas na área do município de Cáceres (MT), principalmente por ser um método supervisionado. Porém, a realização de trabalho de campo é sempre essencial na compreensão da realidade do Uso da Terra, facilitando a elaboração de mapas temáticos.

4.3 Análise de qualidade das águas

As análises de qualidade das águas realizadas anteriormente a implantação do reservatório, foram obtidas entre os dias 02 e 09 de julho de 2001 pelo laboratório do Centro Tecnológico de Engenharia (CTE), disponibilizadas no RIMA. As coletas ocorreram, durante o período seco em 4 pontos, com amostras analisadas conforme apresentado no anexo A, à montante de onde seria instalado o reservatório, entre os municípios de Caçu e Itarumã. Somente essas análises de qualidade das águas, foram verificadas em publicações consultadas (THEMAG; CTE, 2002).

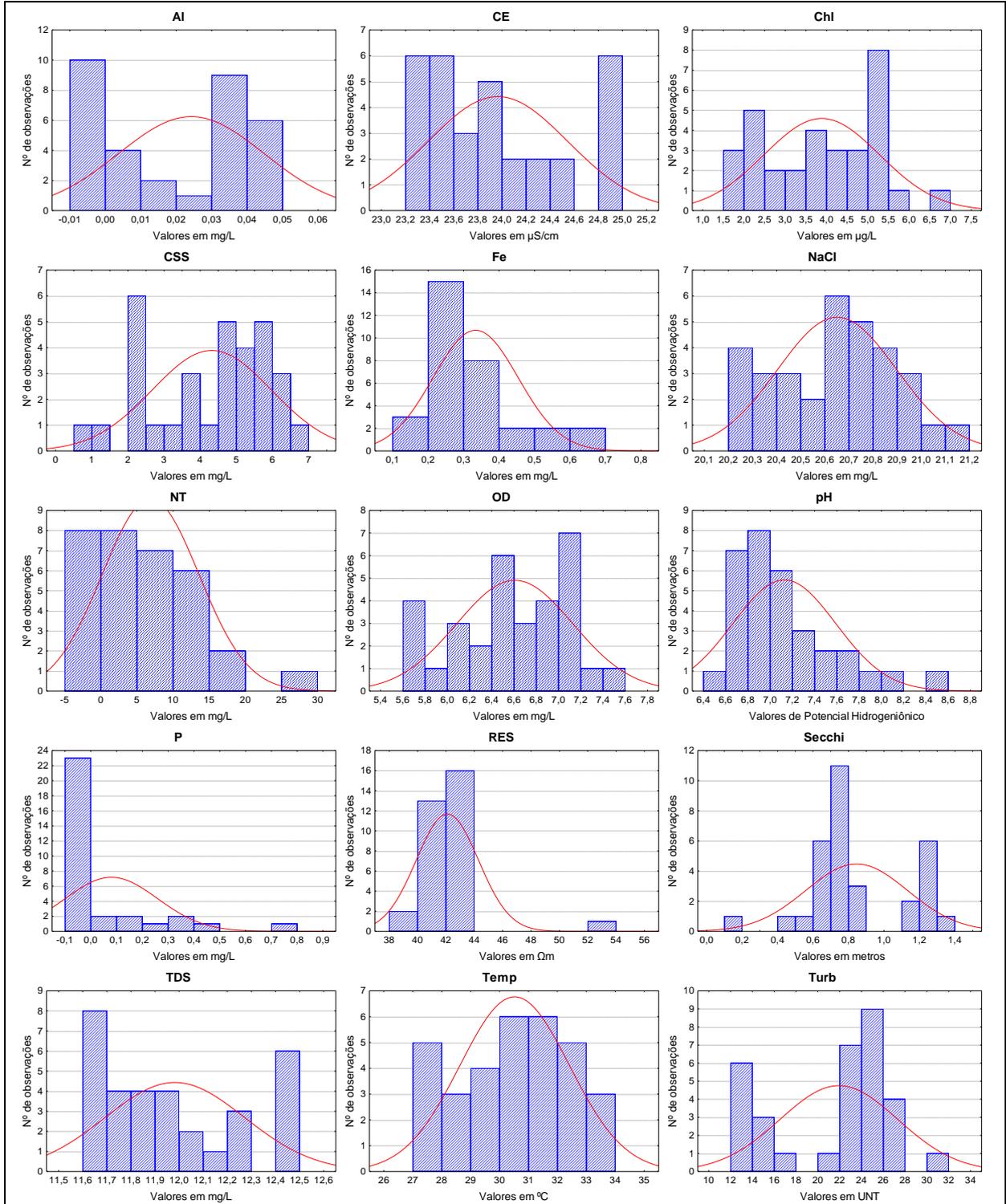
A qualidade das águas na bacia do rio Verde, descritas no RIMA indicavam que a turbidez, média era de 11,50 UNT, o pH encontrava-se entre 6 e 7, os sólidos totais em suspensão médio era de 11 mg/L, e a transparência da água era de 0,71 m. Já a CE encontrava-se em torno de 17,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando uma pequena amplitude, o valor máximo aferido foi de 20,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o mínimo de 12,87 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o OD médio era de 7,90 mg/L (THEMAG; CTE, 2002). A avaliação das águas realizada pela CTE apresentaram medidas semelhantes nesta pesquisa, sendo valores que consisti na qualidade própria deste ambiente.

Para as análises das variações das amostragens de dados limnológicos, optou-se por apresentarem histogramas com frequências das observações e concentrações de cada parâmetro medido, segundo indicado por Wrublack et al. (2014), quando se faz necessário representar muitos parâmetros com muitos pontos de amostragens.

Para se fazer uma análise de histograma é indicado o número de amostragem de no mínimo 20 pontos, pois cada barra do histograma não apresentará precisamente a distribuição se amostra for inferior a 20 pontos (BATTISTI; BATTISTI, 2008). Desse modo, foi avaliada a qualidade das águas segundo 15 parâmetros limnológicos mensurados em 32 pontos amostrados.

Interpretando a campanha de janeiro de 2015, a figura 4.21 apresenta as distribuições das frequências dos resultados obtidos dos parâmetros limnológicos nesta campanha. Verificando-se, que a variável fósforo (P) teve o maior número de amostragens com valor 0 (Zero). Porém, esse valor foi registrado, porque o aparelho não permitiu detectar as faixas decimais após o valor 0. Segundo Esteves (1998) o resultado 0 não significa que exista de fato, pois, o que pode ocorrer são que alguns aparelhos não registram algumas faixas decimais após a vírgula, depois do número zero. Outras variáveis que apresentaram dados com valores zeros foram o Al, NT e Fe.

Figura 4.21 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de janeiro de 2015



Legenda: Alumínio (AL), a Clorofila (Chl), Condutividade elétrica (CE), Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), Ferro (Fe), Fósforo (P), Salinidade (NaCl), Nitrito (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Resistividade (Res), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura (Temp), Transparência do Disco de Secchi (Secchi), Turbidez (Turb), e, mg/L = Miligrama por litro; µg/L = Micrograma por litro; µS/cm = microSiemens por centímetros; Ωm = Ohm/metro; °C = Grau Celsius; m = Metros; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez. Organização: Própria Autora (2017).

A maioria dos parâmetros analisados apresentou dados assimétricos no histograma, com o número de observações e os valores dos parâmetros bem distribuídos, como nas variáveis CE, Chl, NaCl, TDS e Temp. Somente a variável RES pode ter apresentado um único valor fora do padrão, indicando possível outlier, por ter esse valor distante dos valores considerados assimétricos.

A maior parte dos histogramas apresentou com um pico de ajuste dos dados, como observado mais nitidamente para as variáveis Fe, Chl, P e Secchi, embora alguns dos gráficos com dados assimétricos não tenham apresentado pico, ou tiveram o pico próximo dos valores assimétricos.

Já as variáveis Al, Sechhi e Turb apresentaram seus valores com picos multimodais, ou seja, com dois valores centrais de observações mais frequentes.

As linhas de distribuição normal ajustada, foram melhor apresentadas nas variáveis NaCl e temp, sendo padrão mesocúrtica. A RES foi a que evidenciou uma linha leptocúrtica, enquanto que o P, Secchi, TDS e Turb apresentaram linhas platicúrticas (BATTISTI; BATTISTI, 2008).

Os valores obtidos na primeira campanha de coleta, em 30 de janeiro de 2015, são apresentados a partir da estatística descritiva da tabela 4.4, e correspondem as análises do período chuvoso.

Tabela 4.4 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 30/01/2015

| Variáveis Limnológicas | Máximo | Mínimo | Média | Desvio-Padrão | CV (%) |
|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|---------------|
| Al | 0,05 | 0 | 0,02 | 0,02 | 100,0 |
| CE | 24,99 | 23,24 | 23,96 | 0,58 | 2,4 |
| Chl | 6,74 | 1,68 | 3,87 | 1,39 | 35,9 |
| CSS | 6,67 | 0,83 | 4,3 | 1,64 | 38,1 |
| Fe | 0,67 | 0,2 | 0,33 | 0,12 | 36,4 |
| NaCl | 21,1 | 20,23 | 20,65 | 0,25 | 1,2 |
| NT | 26 | 0 | 6,81 | 6,67 | 97,9 |
| OD | 7,56 | 5,68 | 6,6 | 0,52 | 7,9 |
| pH | 8,42 | 6,59 | 7,12 | 0,46 | 6,5 |
| P | 0,79 | 0 | 0,08 | 0,18 | 25,0 |
| RES | 52,78 | 39,93 | 42,08 | 2,19 | 5,2 |
| Secchi | 1,35 | 0,14 | 0,84 | 0,29 | 34,5 |
| TDS | 12,49 | 11,62 | 11,98 | 0,29 | 2,4 |
| Temp | 34 | 27,4 | 30,5 | 1,89 | 6,2 |
| Turb | 30,67 | 13 | 21,86 | 5,37 | 24,6 |

Organização: Própria Autora (2017). Obs.: CV (%) = Coeficiente de Variação em porcentagem.

De acordo com a estatística descritiva, a variável NT foi a que apresentou maior desvio-padrão com 6,67, indicando grande variabilidade de seus resultados. O segundo maior desvio-padrão foi para a variável turbidez, que registrou valor mínimo de 13 UNT e máximo de 30,67 UNT. Porém, essa tendência de diferença já era esperada, considerando o ambiente que é de reservatório com atenuação de velocidade no transporte de sedimentos.

Na observação da estatística descritiva, algumas variáveis apresentam valores próximos a estáveis, com pouca diferença entre os resultados, como o Al, CE, NaCl, pH, TDS e Temp, quais permaneceram com baixa variação entre os valores mínimos e máximos.

Os coeficientes de variação foram elevados para as variáveis de acordo com a dispersão dos dados, com relação do desvio-padrão sobre a média, como no caso do Al, CSS, Fe e NT. Pois estes parâmetros apresentaram valores mais heterogêneos.

A tabela 4.5 expressa a matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, com seus valores obtidos para a campanha de janeiro de 2015. Os valores destacados em vermelho referem-se às correlações de Pearson estatisticamente significativa geradas automaticamente no software Statística 7.0[®], com 95% de significância, sendo identificadas para todas as campanhas. O coeficiente de correlação varia entre -1 e 1. Próximo de 1 mais forte é o nível de associação entre as variáveis, enquanto próximo a zero, menor é o nível de associação, ou ausência de correlação. Uma correlação positiva indica que, os parâmetros avaliados estão associados a valores altos dos dois parâmetros. Uma correlação negativa indica que, quando um parâmetro aumenta, o outro diminui, ou seja, valores altos de determinado parâmetro estão associados a valores baixos de outro parâmetro (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

As correlações de valores mais baixos, classificadas como fraca (Positiva ou negativa) e sem a presença de níveis de significância ocorreram para as variáveis Al, Fe, NT e P, indicando que não estão estatisticamente correlacionadas com as demais variáveis. Já as com correlações mais fortes ocorreram para CE, CSS, pH, Secchi, TDS, Temp e Turb, com variação tanto positivas quanto negativas.

Porém, as correlações entre as variáveis TDS e CE (1,00 – PP), Temp e TDS ($r=-0,92$ – FtN) e, Temp e CE ($r=-0,92$ FtN), são consideradas fortes segundo Santos (2007) e permitiram observar, que apresentam um modelo linear de interpolação entre os dados, conforme Yamamoto e Landim (2013), demonstrando que o aumento da temperatura interfere na concentração de íons em solução aquosa, pois atua diretamente na dispersão desses íons. Já a quantidade de TDS dissolvidos na água encontra-se diretamente relacionado com a deslocamento da CE, sendo essas duas variáveis proporcionalmente correspondentes, segundo Esteves(1998) e Tundisi e Matssamura Tundisi (2008).

Tabela 4.5– Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 30/01/2015

| Variáveis Limnológicas | Al | CE | Chl | CSS | Fe | NaCl | NT | OD | pH | P | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Al | 1 | FrP | FrN | IP | IN | FrP | IP | FrN | FrN | FrP | IN | FrN | FrP | FrN | FrP |
| CE | 0,30 | 1 | MN | FtP | IN | MN | FrP | FtN | FtN | FtN | MN | FtN | PP | FtN | FtP |
| Chl | -0,14 | -0,55 | 1 | MN | IN | MP | IP | MP | FrP | IN | FrP | FrP | MN | MP | FrN |
| CSS | 0,08 | 0,77 | -0,42 | 1 | IN | MN | IP | MN | FtP | FrP | MN | FtN | FtP | FtN | FtP |
| Fe | -0,01 | -0,05 | -0,06 | -0,01 | 1 | IP | IN | IN | IN | FrP | IN | IN | IN | IP | IP |
| NaCl | -0,36 | -0,68 | 0,61 | -0,58 | 0,08 | 1 | FrP | MP | MP | FrN | FrP | MP | MN | FtP | MN |
| NT | 0,03 | 0,12 | 0,06 | 0,01 | -0,02 | 0,14 | 1 | IN | IP | IN | FrN | IP | IP | IN | FrN |
| OD | -0,29 | -0,88 | 0,48 | -0,69 | -0,05 | 0,66 | -0,06 | 1 | FtP | FrN | MP | MP | FtN | FrP | MN |
| pH | -0,24 | -0,75 | 0,38 | -0,83 | -0,09 | 0,45 | 0,05 | 0,79 | 1 | FrN | MP | FtP | FtN | FtP | FtN |
| P | 0,12 | 0,25 | -0,07 | 0,24 | 0,25 | -0,16 | -0,08 | -0,13 | -0,28 | 1 | FrN | FrN | FrP | FrN | FrP |
| RES | -0,02 | -0,59 | 0,33 | -0,51 | -0,03 | 0,21 | -0,21 | 0,62 | 0,69 | -0,18 | 1 | MP | MN | MP | MN |
| Secchi | -0,11 | -0,70 | 0,32 | -0,83 | -0,05 | 0,42 | 0,03 | 0,68 | 0,87 | -0,25 | 0,53 | 1 | FtN | FtP | FtN |
| TDS | 0,29 | 1,00 | -0,56 | 0,78 | -0,05 | -0,69 | 0,08 | -0,88 | -0,77 | 0,25 | -0,60 | -0,71 | 1 | FtN | FtP |
| Temp | -0,30 | -0,92 | 0,46 | -0,81 | 0,12 | 0,77 | 0,02 | 0,80 | 0,74 | -0,23 | 0,40 | 0,74 | -0,92 | 1 | FtN |
| Turb | 0,15 | 0,70 | -0,39 | 0,86 | 0,12 | -0,43 | -0,16 | -0,61 | -0,83 | 0,29 | -0,50 | -0,85 | 0,70 | -0,72 | 1 |

Obs.: Os valores destacados em vermelho são estatisticamente significativos, com nível de significância acima de $\alpha < 0,05$. Significado da sigla FtP = Forte positiva; MP = Moderada positiva; FrP = Fraca positiva; IP = Ínfima positiva; IN = Ínfima negativa; FrN = Fraca negativa; MN = Moderada negativa; FtN = Forte negativa; PN = Perfeita negativa. Organização: Própria Autora (2017).

As coletas da época de estiagem, em julho de 2015, tiveram os dados das variáveis com valores contrários à campanha de campo de janeiro, porque, nesse período, o baixo índice pluviométrico registrado foi insuficiente para propiciar a entrada de nutriente por meio do escoamento das chuvas, assim, o que prevalece é o aumento da dissolução de sólidos na água parada (ESTEVES, 1998), como no caso do aumento dos valores de TDS, CE e RES. Isso porque, nesse período, a solubilidade das partículas é mais estável, enquanto que, na época chuvosa, a água absorve e arrasta mais os sedimentos e a matéria orgânica, os quais deixam vários parâmetros variáveis.

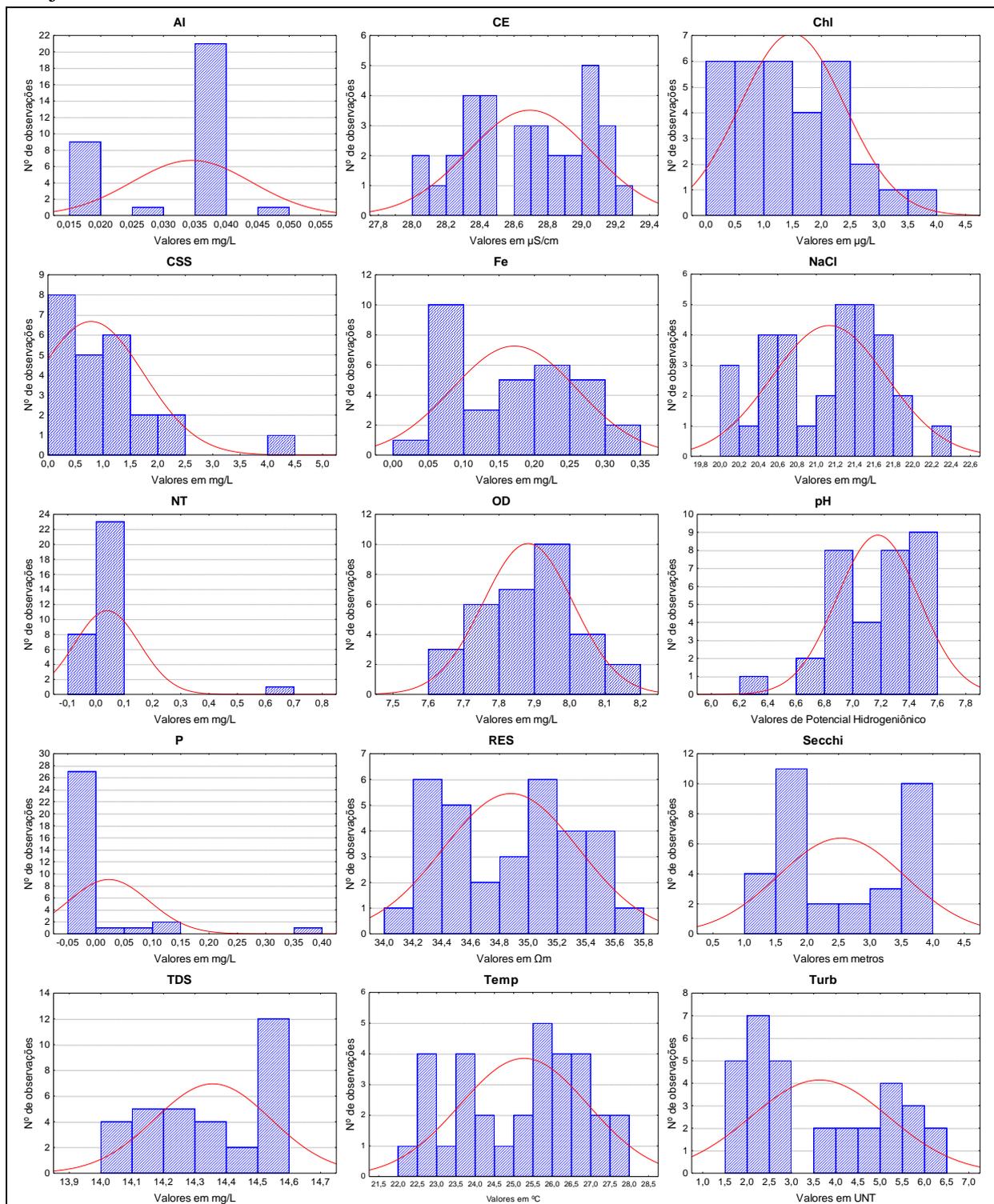
Os histogramas apresentados na figura 4.22 são das variáveis que foram avaliadas na campanha de julho de 2015, e apresentaram valores reduzidos aos da campanha de janeiro de 2015, com poucas semelhanças entre os resultados, porque ainda, alguns parâmetros se mantiveram estáveis como o pH e OD.

A avaliação dos histogramas de Julho de 2015 apresentou a maioria das variáveis com dados assimétricos, ou seja, mais distribuídos entre o total de amostras, como observado para a CE, Chl, CSS, Fe, NaCl, RES, Temp e Turb. A uniformidade na distribuição se deu ao fato pelo período climático de escassez de chuvas, pois na grande concentração de chuva, ocorre maior movimentação da água e aumenta a concentração de sedimentos, modificando bastante os valores dos parâmetros limnológicos.

Mas, algumas variáveis apresentaram um único pico de distribuição, apresentando um agrupamento maior em número de observações, sendo as variáveis Al, NT, P e TDS. As variáveis que apresentaram dois picos foram RES e Secchi, pois registram dois grupos de dados com mais observações homogêneas.

A representação da curtose que se ajustou melhor, foi para o OD com a linha normal mesocúrtica, enquanto que no Al permite observar uma linha bem achatada, a platicúrtica, devido a ínfima assimetria dos dados.

Figura 4.22 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de julho de 2015



Legenda: Alumínio (AL), a Clorofila (Chl), Condutividade elétrica (CE), Concentração de Sedimentos em Suspensão(CSS), Ferro (Fe), Fósforo (P), Salinidade (NaCl), Nitrito (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Resistividade (Res), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura (Temp), Transparência do Disco de Secchi (Secchi), Turbidez (Turb), e, mg/L = Miligrama por litro; µg/L = Micrograma por litro; µS/cm = microSiemens por centímetros; Ωm = Ohm/metro; °C = Grau Celsius; m = Metros; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez. Organização: Própria Autora (2017).

De acordo com a tabela 4.6, os dados das variáveis analisadas podem ser considerados homogêneos quando comparados aos dados da estação chuvosa. Foi observado um baixo desvio-padrão para a maioria dos parâmetros com exceção para as variáveis Temp e Turb que apresentaram resultados acima dos demais parâmetros. O baixo índice pluviométrico pode ser considerado um dos fatores que corroborou para a diminuição das concentrações das variáveis analisadas quando comparadas com os resultados do campo de 30/01/15.

Tabela 4.6 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 29/07/2015

| Variáveis Limnológicas | Máximo | Mínimo | Média | Desvio-Padrão | CV (%) |
|------------------------|--------|--------|-------|---------------|--------|
| Al | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 33,3 |
| CE | 29,26 | 28,02 | 28,69 | 0,36 | 1,3 |
| Chl | 3,79 | 0,42 | 1,49 | 0,9 | 60,4 |
| CSS | 4,33 | 0 | 0,78 | 0,96 | 123,1 |
| Fe | 0,32 | 0,05 | 0,17 | 0,09 | 52,9 |
| NaCl | 22,24 | 20,08 | 21,13 | 0,59 | 2,8 |
| NT | 0,66 | 0 | 0,04 | 0,11 | 275,0 |
| OD | 8,11 | 7,64 | 7,88 | 0,13 | 1,6 |
| pH | 7,54 | 6,28 | 7,17 | 0,29 | 4,0 |
| P | 0,36 | 0 | 0,02 | 0,07 | 350,0 |
| RES | 35,61 | 34,16 | 34,87 | 0,47 | 1,3 |
| Secchi | 3,92 | 1,24 | 2,53 | 1 | 39,5 |
| TDS | 14,6 | 14,04 | 14,35 | 0,18 | 1,3 |
| Temp | 27,9 | 22,5 | 25,25 | 1,66 | 6,6 |
| Turb | 6,2 | 1,83 | 3,62 | 1,54 | 42,5 |

Organização: Própria Autora (2017). Obs.: CV (%) = Coeficiente de Variação em porcentagem.

As variáveis analisadas na matriz de correlação da tabela 4.7, indicam que CE, NaCl, Temp, Res, TDS e Turbidez, apresentaram as correlações mais significativas, considerando com as mais fortes. Tal fato pode ser associado a concentração de íons em solução aquosa que reflete diretamente no aumento desses parâmetros.

Segundo Carneiro (2002) as correlações existentes entre NaCl x Res e NaCl x Temp estão associadas diretamente à quantidade de sal na água, sendo que a intensificação dos valores desses parâmetros é ocasionada no período seco, devido à cristalização dos minerais, aumentando a concentração de íons no meio aquático.

As variáveis que apresentaram correlações fracas e ínfimas, ficam a cargo das variáveis Al, Chl, NT e P. Assim, as baixas correlações indicam que as variáveis não estão com seus coeficientes estatisticamente correlacionados com as demais variáveis.

Tabela 4.7 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 29/07/2015

| Variáveis Limnológicas | Al | CE | Chl | CSS | Fe | NaCl | NT | OD | pH | P | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|-------------------------------|-----------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|----------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| Al | 1 | IN | FrP | FrP | FrP | FrN | FrP | FrN | FrN | FrN | IP | FrN | IN | FrN | FrP |
| CE | -0,08 | 1 | FrN | MN | FtN | FtP | IN | FrP | FtP | FrN | FtN | FtP | FtP | FtP | FtN |
| Chl | 0,14 | -0,32 | 1 | FrP | FrP | FrN | FrN | FrP | FrN | FrN | FrP | FrN | FrN | FrN | FrP |
| CSS | 0,26 | -0,59 | 0,26 | 1 | MP | MN | FrP | IN | MN | FrP | MP | MN | MN | MN | MP |
| Fe | 0,25 | -0,85 | 0,33 | 0,63 | 1 | FtN | IP | FrN | FtN | FrP | FtP | FtN | FtN | FtN | FtP |
| NaCl | -0,16 | 0,89 | -0,14 | -0,58 | -0,80 | 1 | FrP | MP | FtP | FrN | FtN | FtP | FtP | FtP | FtN |
| NT | 0,13 | -0,05 | -0,14 | 0,30 | 0,08 | -0,14 | 1 | FrN | FrN | IN | IP | FrN | IN | FrN | FrP |
| OD | -0,30 | 0,18 | 0,30 | -0,09 | -0,14 | 0,40 | -0,22 | 1 | FrP | FrN | FrN | FrP | FrP | FrP | MN |
| pH | -0,22 | 0,72 | -0,16 | -0,62 | -0,70 | 0,89 | -0,29 | 0,39 | 1 | FrN | FtN | FtP | MP | FtP | FtN |
| P | -0,23 | -0,28 | -0,14 | 0,15 | 0,13 | -0,29 | -0,06 | -0,25 | -0,20 | 1 | FrP | FrN | FrN | FrN | FrP |
| RES | 0,09 | -0,92 | 0,23 | 0,58 | 0,85 | -0,93 | 0,06 | -0,24 | -0,86 | 0,23 | 1 | FtN | FtN | FtN | FtP |
| Secchi | -0,21 | 0,88 | -0,29 | -0,64 | -0,83 | 0,88 | -0,25 | 0,23 | 0,88 | -0,16 | -0,92 | 1 | FtP | FtP | FtN |
| TDS | -0,04 | 0,96 | -0,35 | -0,52 | -0,79 | 0,79 | -0,09 | 0,13 | 0,58 | -0,29 | -0,83 | 0,82 | 1 | FtP | FtN |
| Temp | -0,15 | 0,87 | -0,12 | -0,59 | -0,79 | 0,97 | -0,16 | 0,38 | 0,88 | -0,28 | -0,93 | 0,89 | 0,78 | 1 | FtN |
| Turb | 0,23 | -0,88 | 0,15 | 0,58 | 0,79 | -0,94 | 0,12 | -0,44 | -0,88 | 0,29 | 0,90 | -0,91 | -0,80 | -0,93 | 1 |

Obs.: Os valores destacados em vermelho são estatisticamente significativos, com nível de significância acima de $\alpha < 0,05$. Significado da sigla FtP = Forte positiva; MP = Moderada positiva; FrP = Fraca positiva; IP = Ínfima positiva; IN = Ínfima negativa; FrN = Fraca negativa; MN = Moderada negativa; FtN = Forte negativa; PN = Perfeita negativa. Organização: Própria Autora (2017).

Borges et al. (2015) identificaram que as variáveis mais significativas no estudo da qualidade da água na bacia de Santa Teresa/GO foram a CE e a turbidez. E, Silva (2014) observou que as variáveis que apresentaram correlações mais fortes foram CE, TDS, NaCl, Turb, DBO e DQO, na bacia do rio Pomba, estado de Minas Gerais. As correlações acima apresentadas podem ser comparadas aos resultados dessa pesquisa, que indicaram algumas semelhanças entre as variáveis correlacionadas com significância mais forte, no reservatório de Salto do Rio Verdinho.

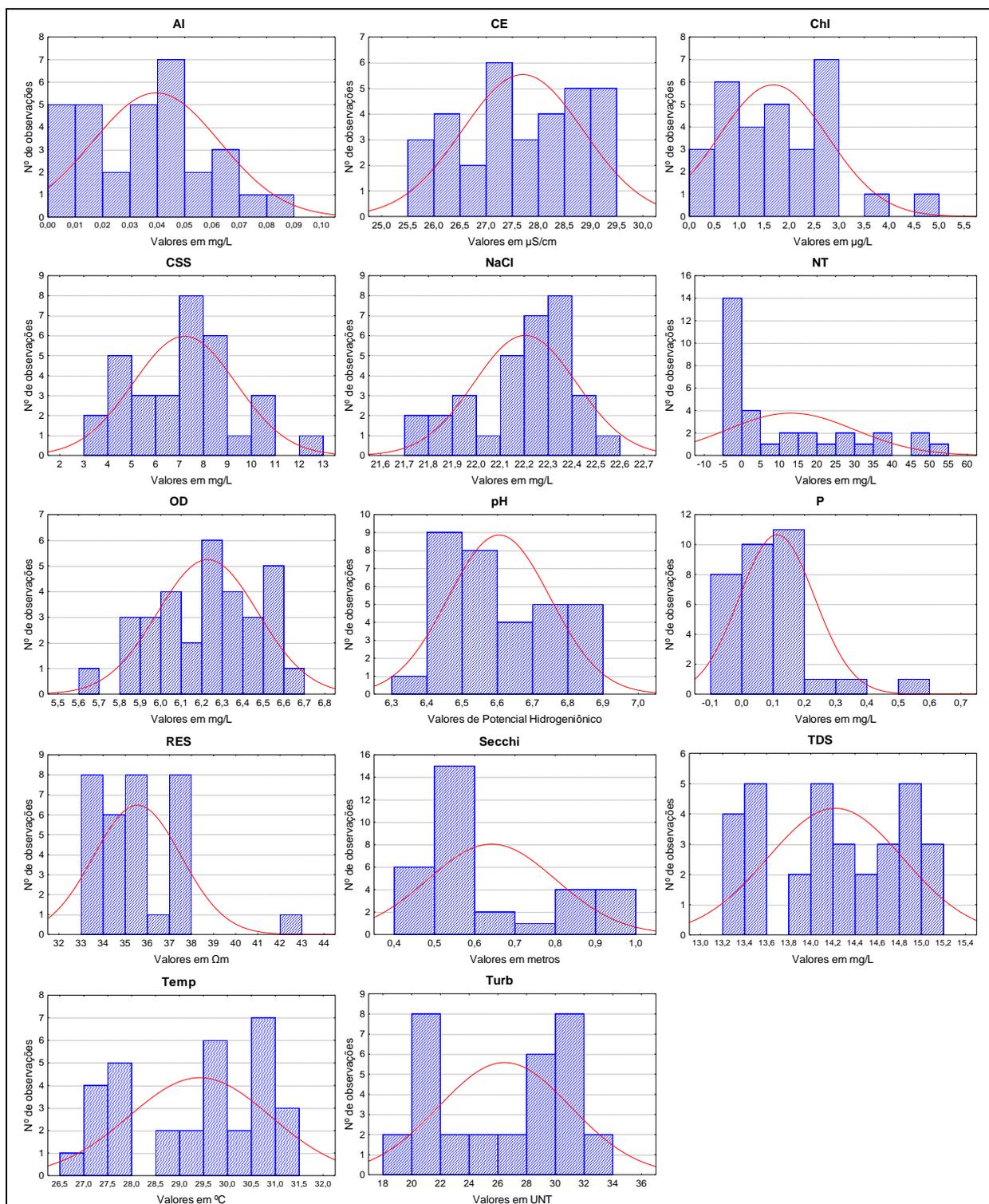
Os histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos, podem ser observados na figura 4.23, para o campo de fevereiro de 2016, verificando-se semelhanças ao campo de janeiro de 2015. As análises dos dados indicam que no período chuvoso, existe uma tendência de aumento dos valores de algumas variáveis que são influenciadas pelos sedimentos suspensos.

Na campanha de fevereiro de 2016 foi observado uma assimetria maior entre os dados limnológicos. Porém, indicaram as variáveis NT e Secchi, como as únicas que apresentaram uma distribuição em um único pico de maiores observações, com 14 pontos cada uma, embora outras variáveis tenham apresentado um pico, mas não foram muito expressivas.

A variável que apresentou dois picos de observações foi a Turb, cada pico observou 8 pontos com dados semelhantes, um pico com valor de 22 UNT e outro pico com 32 UNT respectivamente, sendo identificadas como multimodais, dois grupos com frequências similares em relação ao total de pontos de amostragens (BATTISTI; BATTISTI, 2008).

A variável pH foi a que melhor se adequou a linha normal mesocúrtica, devido a melhor assimetria dos dados, logo a variável NT se ajustou melhor a linha normal platicúrtica, pela distribuição dos dados serem baixas nas observações.

Figura 4.23 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de fevereiro de 2016



Legenda: Alumínio (AL), a Clorofila (Chl), Condutividade elétrica (CE), Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), Fósforo (P), Salinidade (NaCl), Nitrito (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Resistividade (Res), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura (Temp), Transparência do Disco de Secchi (Secchi), Turbidez (Turb), e, mg/L = Miligrama por litro; $\mu\text{g/L}$ = Micrograma por litro; $\mu\text{S/cm}$ = microSiemens por centímetros; Ωm = Ohm/metro; $^{\circ}\text{C}$ = Grau Celsius; m = Metros; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez. Organização: Própria Autora (2017).

Em relação ao parâmetro ferro, foram realizadas análises nas campanhas de 2015, e a falta de reagente não possibilitou as análises nas campanhas de 2016. Sendo, identificado valor máximo de concentração de 0,67mg/L em janeiro de 2015, e de 0,32 mg/L em julho de 2015. Assim, o ferro não é considerado como um elemento tóxico, mas provoca diversos problemas, principalmente para o abastecimento público. Essa variável confere cor e sabor à água e, em grandes concentrações, tem capacidade de manchar roupas e utensílios sanitários, entre outros (VON SPERLING, 1996).

Os valores da estatística descritiva do campo de 08/02/16 presente na tabela 4.8, indica que ocorreu grande variação dos dados, entre os valores dos parâmetros limnológicos, demonstrando desvios-padrão elevados para as variáveis NT (16,94), Turb (4,57) e CSS (2,14) quando comparado aos outros parâmetros avaliados.

Tabela 4.8 – Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 08/02/2016

| Variáveis Limnológicas | Máximo | Mínimo | Média | Desvio-Padrão. | CV (%) |
|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------------|---------------|
| Al | 0,09 | 0 | 0,04 | 0,02 | 50,0 |
| CE | 29,4 | 25,84 | 27,69 | 1,15 | 4,2 |
| Chl | 4,63 | 0 | 1,67 | 1,09 | 65,3 |
| CSS | 12 | 3,6 | 7,18 | 2,14 | 29,8 |
| NaCl | 22,53 | 21,77 | 22,2 | 0,21 | 0,9 |
| NT | 52 | 0 | 12,91 | 16,94 | 131,2 |
| OD | 6,62 | 5,69 | 6,23 | 0,24 | 3,9 |
| pH | 6,89 | 6,37 | 6,6 | 0,14 | 2,1 |
| P | 0,56 | 0 | 0,11 | 0,12 | 109,1 |
| RES | 42,33 | 33,13 | 35,53 | 1,97 | 5,5 |
| Secchi | 0,95 | 0,47 | 0,64 | 0,16 | 25,0 |
| TDS | 15,17 | 13,3 | 14,21 | 0,61 | 4,3 |
| Temp | 31,5 | 27 | 29,41 | 1,47 | 5,0 |
| Turb | 33,4 | 19,63 | 26,42 | 4,57 | 17,3 |

Organização: Própria Autora (2017). Obs.: CV (%) = Coeficiente de Variação em porcentagem.

Para a variável Chl foram registrados valores que variaram até 4,65 µg/L em janeiro de 2015, mas em fevereiro de 2016 o valor ficou mais elevado, com o máximo de 6,74 µg/L. No reservatório, o ambiente lântico, pode reter mais nutrientes, propiciando a decomposição de matéria orgânica.

Borges et al. (2015), encontraram níveis baixos de Chl na bacia de Santa Teresa/GO, com concentração que variaram de 2,5µg/L a 3,0µg/L, valores inferiores quando comparados com os resultados obtidos para o reservatório desta pesquisa. Porém, no reservatório de São

Simão, Fonseca (2010) registrou concentrações de Chl de até 104µg/L, perto da barragem em janeiro de 2002, e nos tributários a média foi de 2 µg/L, indicando que a grande carga de nutrientes chega pelos tributários através da agricultura, e fica retido se decompondo perto da barragem, local com a água mais parada.

No presente trabalho, os valores de Chl se encontram em conformidade com legislação, sendo as águas enquadradas na classe 1, de até 10 µg/L, possivelmente devido a não ocorrer o lançamento de efluentes domésticos diretamente no corpo d'água, fato contrário do detectado nas pesquisas de Affonso et al. (2011), Chellappa (2008), Faria et al. (2013) e Nogueira et al. (2015), onde os valores de clorofila ficaram acima do estipulado para a classe 4 da resolução CONAMA 357/05.

Nogueira et al. (2015) detectaram na bacia do rio Claro, bacia vizinha ao rio Verde, na área da UHE Foz do Rio Claro, em Itaguaçu, Goiás, níveis de até 60 µg/L, tal fato foi associado ao lançamento de efluentes da área urbana do distrito de Itaguaçu e ao fósforo de áreas agrícolas na bacia de influência.

Vale ressaltar que alguns parâmetros são importantes para manutenção da biota aquática, como por exemplo o OD. Os valores obtidos de OD para o reservatório do Rio Verdinho, apresenta-se muito próximo aos valores obtidos nos estudos realizado por Rocha et al. (2015), para o reservatório da UHE Caçu, pois o oxigênio dissolvido apresentou concentrações médias de 6 mg/L, e as oscilações de OD em relação aos períodos observados ocorreram principalmente no período chuvoso de 2013. O baixo valor de OD pode ser responsável por uma série de problemas na qualidade da água, e também aos que afetam a biota aquática, diretamente na respiração dos microrganismos (VON SPERLING, 2007).

Os resultados apresentados na tabela 4.9 indicam as correlações da campanha de fevereiro de 2016. Os destaques das correlações mais forte foram para as variáveis que são intrinsecamente relacionadas devido a dissolução iônica para CE, RES e TDS, e das partículas inorgânicas para TDS, Secchi e Turb.

Tabela 4.9 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 08/02/2016

| Variáveis Limnológicas | Al | CE | Chl | CSS | NaCl | NT | OD | pH | P | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| Al | 1 | FrP | IN | FrP | FrP | IP | FrN | IN | IN | MN | FrN | FrP | FrN | FrP |
| CE | 0,32 | 1 | FrP | FtP | MP | FrP | FtN | FtN | FrN | FtN | FtN | FtP | FtN | FtP |
| Chl | -0,07 | 0,33 | 1 | FrP | FrP | FrP | FrN | MN | IN | FrN | MN | FrP | FrN | FrP |
| CSS | 0,26 | 0,77 | 0,39 | 1 | MP | FrP | FtN | MN | FrN | FtN | FtN | FtP | FtN | FtP |
| NaCl | 0,20 | 0,48 | 0,37 | 0,48 | 1 | FrP | FrN | MN | FrN | MN | FtN | MP | FrN | MP |
| NT | 0,05 | 0,32 | 0,21 | 0,30 | 0,20 | 1 | FrN | FrN | IP | FrN | FrN | FrP | FrN | FrP |
| OD | -0,12 | -0,86 | -0,17 | -0,72 | -0,37 | -0,25 | 1 | MP | FrP | FtP | FtP | FtN | FtP | FtN |
| pH | -0,07 | -0,71 | -0,58 | -0,62 | -0,62 | -0,22 | 0,67 | 1 | FrP | FtP | FtP | FtN | MP | FtN |
| P | -0,05 | -0,12 | -0,04 | -0,18 | -0,11 | 0,04 | 0,26 | 0,22 | 1 | FrP | FrP | FrN | FrP | FrN |
| RES | -0,41 | -0,87 | -0,35 | -0,75 | -0,67 | -0,13 | 0,79 | 0,74 | 0,19 | 1 | FtP | FtN | FtP | FtN |
| Secchi | -0,25 | -0,87 | -0,43 | -0,81 | -0,71 | -0,25 | 0,82 | 0,81 | 0,17 | 0,90 | 1 | FtN | FtP | FtN |
| TDS | 0,36 | 0,94 | 0,34 | 0,82 | 0,65 | 0,36 | -0,82 | -0,72 | -0,20 | -0,91 | -0,93 | 1 | FtN | FtP |
| Temp | -0,40 | -0,94 | -0,22 | -0,76 | -0,35 | -0,37 | 0,84 | 0,58 | 0,23 | 0,81 | 0,78 | -0,92 | 1 | FtN |
| Turb | 0,30 | 0,91 | 0,39 | 0,80 | 0,56 | 0,39 | -0,82 | -0,75 | -0,28 | -0,87 | -0,89 | 0,94 | -0,89 | 1 |

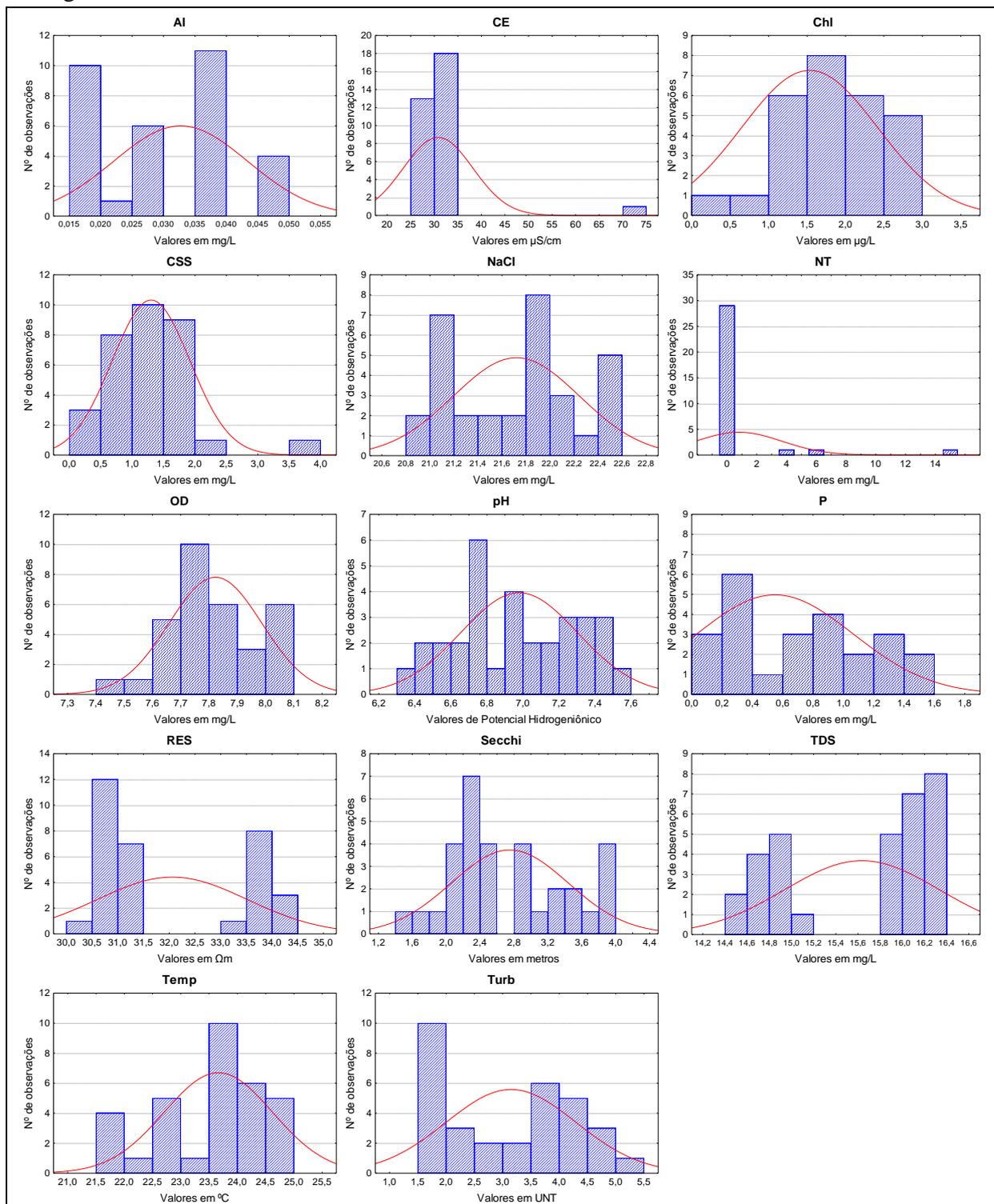
Obs.: Os valores destacados em vermelho são estatisticamente significativos, com nível de significância acima de $\alpha < 0,05$. Significado da sigla FtP = Forte positiva; MP = Moderada positiva; FrP = Fraca positiva; IP = Ínfima positiva; IN = Ínfima negativa; FrN = Fraca negativa; MN = Moderada negativa; FtN = Forte negativa; PN = Perfeita negativa. Organização: Própria Autora (2017).

Os histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de agosto de 2016 são observados na figura 4.24, onde os resultados se apresentaram semelhantes aos comparados com de julho de 2015.

Na observação dos histogramas de agosto de 2016, nota-se que no geral os resultados não foram muito assimétricos na distribuição. Entretanto, as variáveis CSS, Chl e OD indicaram o ajuste a linha mesocúrtica, devido a distribuição se encontrar mais aglomerada próxima do valor médio.

Muitas variáveis apresentaram um único pico de maior concentração de valores mensurados, sendo elas CE, NT, OD, pH, P, Secchi, Temp e Turb. Isso porque, os dados admitiram valores mais semelhantes. As que apresentaram dois picos de observação foram Al, NaCl, RES e TDS, e permaneceram ajustadas melhor na linha platicúrtica.

Figura 4.24 – Histogramas das frequências dos resultados dos parâmetros limnológicos de agosto de 2016



Legenda: Alumínio (AL), a Clorofila (Chl), Condutividade elétrica (CE), Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), Ferro (Fe), Fósforo (P), Salinidade (NaCl), Nitrito (NT), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Resistividade (Res), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Temperatura (Temp), Transparência do Disco de Secchi (Secchi), Turbidez (Turb), e, mg/L = Miligrama por litro; $\mu\text{g/L}$ = Micrograma por litro; μScm = microSiemens por centímetros; Ωm = Ohm/metro; $^{\circ}\text{C}$ = Grau Celsius; m = Metros; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez. Organização: Própria Autora (2017).

A tabela 4.10 apresenta a estatística descritiva das variáveis limnológicas do campo de agosto de 2016. Nessa campanha foram observadas menores variações dos resultados dos dados, e mesmo com desvios-padrão baixo foram observados limites acima de 1 para as variáveis de CE (1,32), NT (2,88) e RES (1,45). O CV se apresentou elevado para a variável NT, principalmente devido as leituras se encontrarem com desvio padrão alto em relação ao valor médio e o valor máximo.

Tabela 4.10–Estatística descritiva das variáveis limnológicas, do campo do dia 05/08/2016

| Variáveis Limnológicas | Máximo | Mínimo | Média | Desvio-Padrão | CV (%) |
|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|---------------|
| Al | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 33,3 |
| CE | 30,97 | 27,38 | 29,49 | 1,32 | 4,5 |
| Chl | 2,95 | 0 | 1,53 | 0,88 | 57,5 |
| CSS | 3,6 | 0,4 | 1,29 | 0,62 | 48,1 |
| NaCl | 22,59 | 20,9 | 21,71 | 0,52 | 2,4 |
| NT | 15 | 0 | 0,78 | 2,88 | 369,2 |
| OD | 8,1 | 7,44 | 7,82 | 0,16 | 2,0 |
| pH | 7,51 | 6,38 | 6,97 | 0,32 | 4,6 |
| P | 1,55 | 0 | 0,55 | 0,51 | 92,7 |
| RES | 34,46 | 30,48 | 32,05 | 1,45 | 4,5 |
| Secchi | 4 | 1,6 | 2,74 | 0,69 | 25,2 |
| TDS | 16,39 | 14,5 | 15,63 | 0,7 | 4,5 |
| Temp | 25 | 21,8 | 23,65 | 0,95 | 4,0 |
| Turb | 5,09 | 1,55 | 3,14 | 1,14 | 36,3 |

Organização: Própria Autora (2017). Obs.: CV (%) = Coeficiente de Variação em porcentagem.

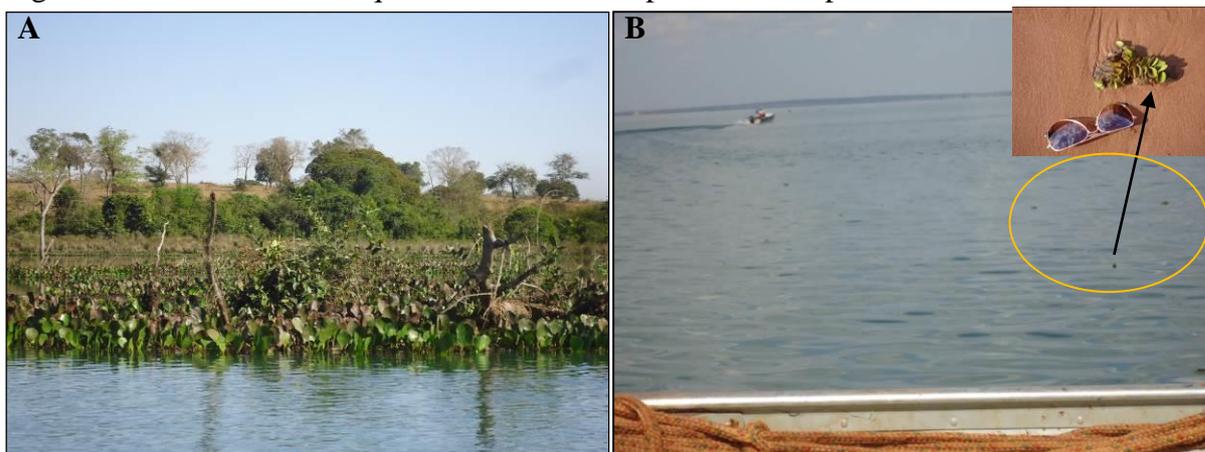
Em relação a variável NT verificou-se que as concentrações encontram-se acima do limite máximo de 1 mg/L para todas as classes de águas doces do CONAMA (BRASIL, 2005) na campanha do período chuvoso de 2016, como pode ser observado também na campanha de agosto de 2016.

De acordo com Von Sperling (2007), o nitrito possui inter-relações com as demais constituintes que são frações do nitrogênio total, sendo as variáveis de nitrogênio orgânico, amoniacal e o nitrato. Assim, quando analisadas em conjunto, é possível verificar os ciclos biogeoquímicos dessas variáveis (ESTEVES, 1998), o que não foi possível de ser aplicado na pesquisa, por conta da indisponibilidade de reagentes específicos para as análises.

O NT apresentou valores discrepantes, registrando valores entre 0 e 15 mg/L, na campanha de agosto de 2016, demonstrando que, mesmo na estação seca, são encontrados em alta concentração, assim como a variável P, devido aos processos de decomposição e excreção

pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas conforme destacado por Esteves (1998). Na figura 4.25-A, demonstra-se a presença de macrófitas próximas do ponto P8 (NT 4 mg/L e P 0,82mg/L) e deslocando sentido a barragem no P26 (NT 15mg/L e P 1,55mg/L) (Figura 4.25-B).

Figura 4.25 – Macrófitas aquáticas observadas próximo dos pontos P8 e P26



Fonte: Própria Autora (2016).

Segundo os valores das correlações expressos na tabela 4.11, as variáveis CE e TDS identificaram a correlação mais elava de perfeita positiva ($r=1,00$), devido à alta concentração de íons que permitem maior condução elétrica quando possui mais sólidos dissolvidos.

A CE e RES, juntamente com o TDS e RES, apresentaram ambas correlações perfeita negativa ($r=-1,00$), pois são inversamente proporcionais, quando o ambiente possui maior dissolução de íons na água, possui pouca resistência a condução elétrica. Nesse sentido, vale ressaltar que as variáveis correlacionadas estatisticamente, possuem relação ambiental entre si (VON SPERLING, 2007).

Portanto, de acordo com Von Sperling (2007), as variáveis CE, NaCl, RES e TDS possuem interação ambiental, sendo cada uma dependente e produzindo interferências nas outras. O aumento da CE reduz os valores de RES, e os valores de TDS interagem na quantidade e disponibilidade de NaCl.

Para Rocha et al. (2015), os melhores resultados das correlações das avaliações limnológicas foram encontradas para os parâmetros de CE, TDS, pH e Temp, no período chuvoso de 2012, no reservatório UHE Caçu, no rio Claro, em Goiás, com correlação perfeita positiva para a correlação das variáveis CE e TDS, respectivamente ao observado nesta pesquisa.

Tabela 4.11– Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas, do campo do dia 05/08/2016

| Variáveis Limnológicas | Al | CE | Chl | CSS | NaCl | NT | OD | pH | P | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| Al | 1 | FrP | IN | IN | FrP | FrP | FrN | MN | MN | FrN | FrN | FrP | FrN | FrP |
| CE | 0,36 | 1 | FrN | FrP | FtP | FrN | FtN | FtN | MN | PN | FtN | PP | MN | FtP |
| Chl | -0,09 | -0,13 | 1 | FrP | IP | IN | IP | FrP | IN | FrP | FrP | FrN | FrP | FrN |
| CSS | -0,02 | 0,39 | 0,16 | 1 | FrP | FrN | FrN | FrN | FrN | FrN | MN | FrP | FrN | MP |
| NaCl | 0,24 | 0,87 | 0,02 | 0,28 | 1 | FrN | FtN | MN | MN | FtN | MN | FtP | IP | MN |
| NT | 0,11 | -0,25 | -0,04 | -0,24 | -0,22 | 1 | FrP | FrP | FrN | FrP | MP | FrN | IN | FrN |
| OD | -0,17 | -0,71 | 0,06 | -0,16 | -0,79 | 0,26 | 1 | MP | FrP | FtP | MP | FtN | IP | MN |
| pH | -0,46 | -0,78 | 0,29 | -0,38 | -0,60 | 0,11 | 0,55 | 1 | FrP | FtP | FtP | FtN | MP | FtN |
| P | -0,46 | -0,46 | -0,01 | -0,11 | -0,49 | -0,13 | 0,34 | 0,34 | 1 | MP | FrP | MN | FrP | FrN |
| RES | -0,40 | -1,00 | 0,14 | -0,38 | -0,88 | 0,24 | 0,71 | 0,78 | 0,46 | 1 | FtP | PN | FrP | FtN |
| Secchi | -0,23 | -0,81 | 0,14 | -0,53 | -0,67 | 0,41 | 0,64 | 0,75 | 0,29 | 0,80 | 1 | FtN | FrP | FtN |
| TDS | 0,40 | 1,00 | -0,13 | 0,39 | 0,88 | -0,25 | -0,71 | -0,79 | -0,46 | -1,00 | -0,81 | 1 | FrN | FtP |
| Temp | -0,37 | -0,41 | 0,26 | -0,34 | 0,07 | 0,07 | 0,01 | 0,46 | 0,10 | 0,39 | 0,39 | -0,40 | 1 | MN |
| Turb | 0,31 | 0,83 | -0,23 | 0,59 | 0,61 | -0,23 | -0,47 | -0,79 | -0,32 | -0,83 | -0,88 | 0,83 | -0,56 | 1 |

Obs.: Os valores destacados em vermelho são estatisticamente significativos, com nível de significância acima de $\alpha < 0,05$. Significado da sigla FtP = Forte positiva; MP = Moderada positiva; FrP = Fraca positiva; IP = Ínfima positiva; IN = Ínfima negativa; FrN = Fraca negativa; MN = Moderada negativa; FtN = Forte negativa; PN = Perfeita negativa. Organização: Própria Autora (2017).

4.4 Qualidade da água segundo a Resolução CONAMA 357/05

A qualidade das águas foram comparadas com base em alguns parâmetros com valores estipulados no enquadramento realizado pela resolução CONAMA 357 de 27 de março de 2005, conduzindo a uma classificação expressa no quadro 4.4, onde são observados os valores máximos obtidos dos parâmetros limnológicos das quatro campanhas de campo.

Quadro 4.4 - Enquadramento de qualidade da água, de acordo com os padrões da Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005

| Parâmetros | CLASSES - CONAMA Nº 357/2005 | | | | Valores máximos das Campanhas | | | |
|---------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | Boa CL 1 | Regular CL 2 | Ruim CL 3 | Péssima CL 4 | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 |
| Al | 0,1 mg/L | 0,2 mg/L | 0,2 mg/L | 1,0 mg/L | 0,05 | 0,05 | 0,09 | 0,05 |
| CE | S/P | S/P | S/P | S/P | 24,99 | 29,26 | 29,4 | 30,97 |
| Chl | 10 µg/L | 30 µg/L | 60 µg/L | >60 µg/L | 6,74 | 3,79 | 4,63 | 2,95 |
| CSS | 500mg/L | 500mg/L | 500mg/L | 500mg/L | 6,67 | 4,33 | 12 | 3,6 |
| Fe | 0,3 mg/L | 0,3 mg/L | 5,0 mg/L | 5,0 mg/L | 0,67 | 0,32 | S/D | S/D |
| NaCl | 0,05% = 500mg/L | 0,05% = 500mg/L | 0,05% = 500mg/L | 0,05% = 500mg/L | 21,1 | 22,24 | 22,53 | 22,59 |
| NT | 1 mg/L | 1 mg/L | 1 mg/L | 1 mg/L | 26 | 0,66 | 52 | 15 |
| OD | > 6mg/L | > 5mg/L | > 4mg/L | > 2,0mg/L | 7,56 | 8,11 | 6,62 | 8,1 |
| pH | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 8,42 | 7,54 | 6,89 | 7,51 |
| P | 0,02 mg/L | 0,03 mg/L | 0,05 mg/L | 0,05 mg/L | 0,79 | 0,36 | 0,56 | 1,55 |
| RES | S/P | S/P | S/P | S/P | 52,78 | 35,61 | 42,33 | 34,46 |
| Secchi | S/P | S/P | S/P | S/P | 1,35 | 3,92 | 0,95 | 4 |
| TDS | 500mg/L | 500mg/L | 500mg/L | 500mg/L | 12,49 | 14,6 | 15,17 | 16,39 |
| Temp | S/P | S/P | S/P | S/P | 34 | 27,9 | 31,5 | 25 |
| Turb | 40 UNT | 100 UNT | 100 UNT | 100 UNT | 30,67 | 6,2 | 33,4 | 5,09 |

Legenda: mg/L = C 1 = Campo de janeiro de 2015; C 2 = Campo de julho de 2015; C 3= Campo de fevereiro de 2016; C 4 = Campo de agosto de 2016; Miligrama por litro; µg/L = Micrograma por litro; UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez; CL = Classe; < = Menor; > = Maior; S/D = sem dados; S/P = sem padrão. Obs.: Cada cor está relacionada ao padrão de cores estipulados pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).
Organização: Própria Autora(2017).

As variáveis que permaneceram na classe 1 em todas as campanhas observadas foram Al, Chl, CSS, OD, NaCl, pH, TDS e Turb, pois estão em acordo com o padrão estabelecido pelo CONAMA. Já a variável Fe esteve classificada na classe 2, ultrapassando a concentração limite de 0,3 mg/L do CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005).

O NT e P foram as variáveis que apresentaram concentrações que excederam os limites das classes 1, 2 e 3, de valor máximo de 1 mg/L para a variável NT, e de 0,05 mg/L limite máximo para a variável P, permitindo assim ficarem classificadas na classe 4, considerada de péssima qualidade (BRASIL, 2005).

A partir do diagnóstico da ANA e SPR (2013) em relação aos parâmetros avaliados pelo relatório, foi possível realizar relações com os resultados adquiridos neste trabalho, pois as variáveis das estações monitoradas pela ANA seguiram os métodos e unidades padrões que também foram realizados nesta pesquisa.

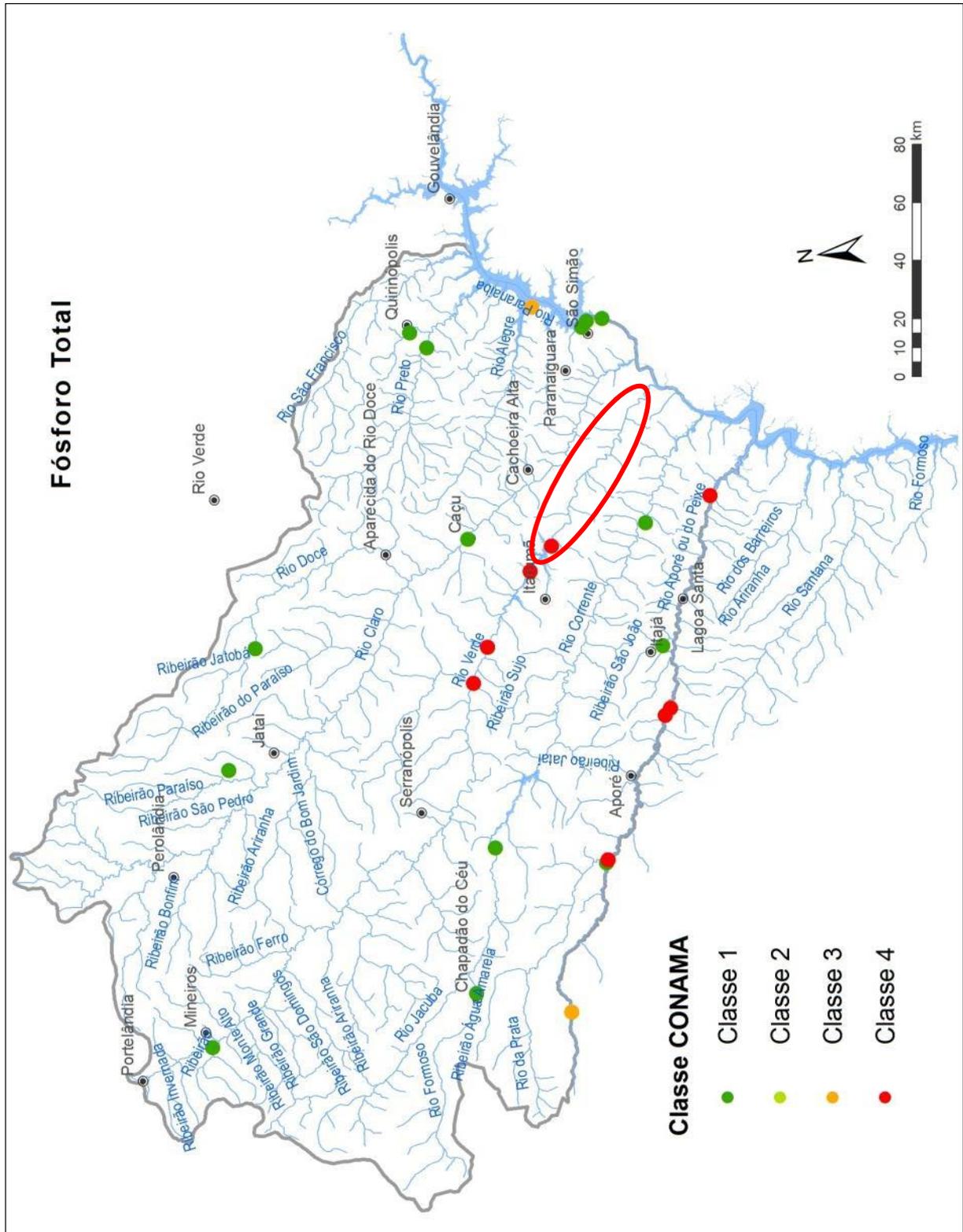
De modo geral, de acordo com a ANA e SPR (2013), pode-se considerar que, ao nível das informações existentes, o rio Verde apresentou características de algumas variáveis limnológicas correspondentes para a classe 2 do CONAMA 357/05, como o OD e coliformes termotolerantes. No entanto, foi indicada que a intensificação do uso da terra na bacia do rio Verde inspira cuidados, no sentido de serem adotadas práticas conservacionistas.

Já o alumínio é um elemento natural em águas superficiais e subterrâneas, e é um dos parâmetros utilizados na qualidade de saúde, principalmente. Para saneamentos ambientais, altas concentrações de alumínio dão característica tóxica ao ambiente (BRASIL, 2005). E, em valores de pH abaixo de 5,0, bem como o ferro, provocam o aumento da solubilidade dos íons metálicos especialmente do alumínio (ESTEVEZ, 1998).

Com a intensificação da agricultura na região da área de estudo, principalmente com entrada da cana-de-açúcar, elevou-se os níveis de fósforo consideravelmente no período chuvoso, os valores aumentaram significativamente conforme verifica-se na figura 4.26 abrangendo e ultrapassando a classe 4 do CONAMA 357/05(ANA; SPR, 2013).

Segundo a definição do enquadramento de classes de qualidade das águas realizadas pela ANA e SPR (2013), uma variável em desacordo com o limite máximo aceitável para uma boa qualidade hídrica, gera perda da qualidade para o corpo hídrico como um todo.

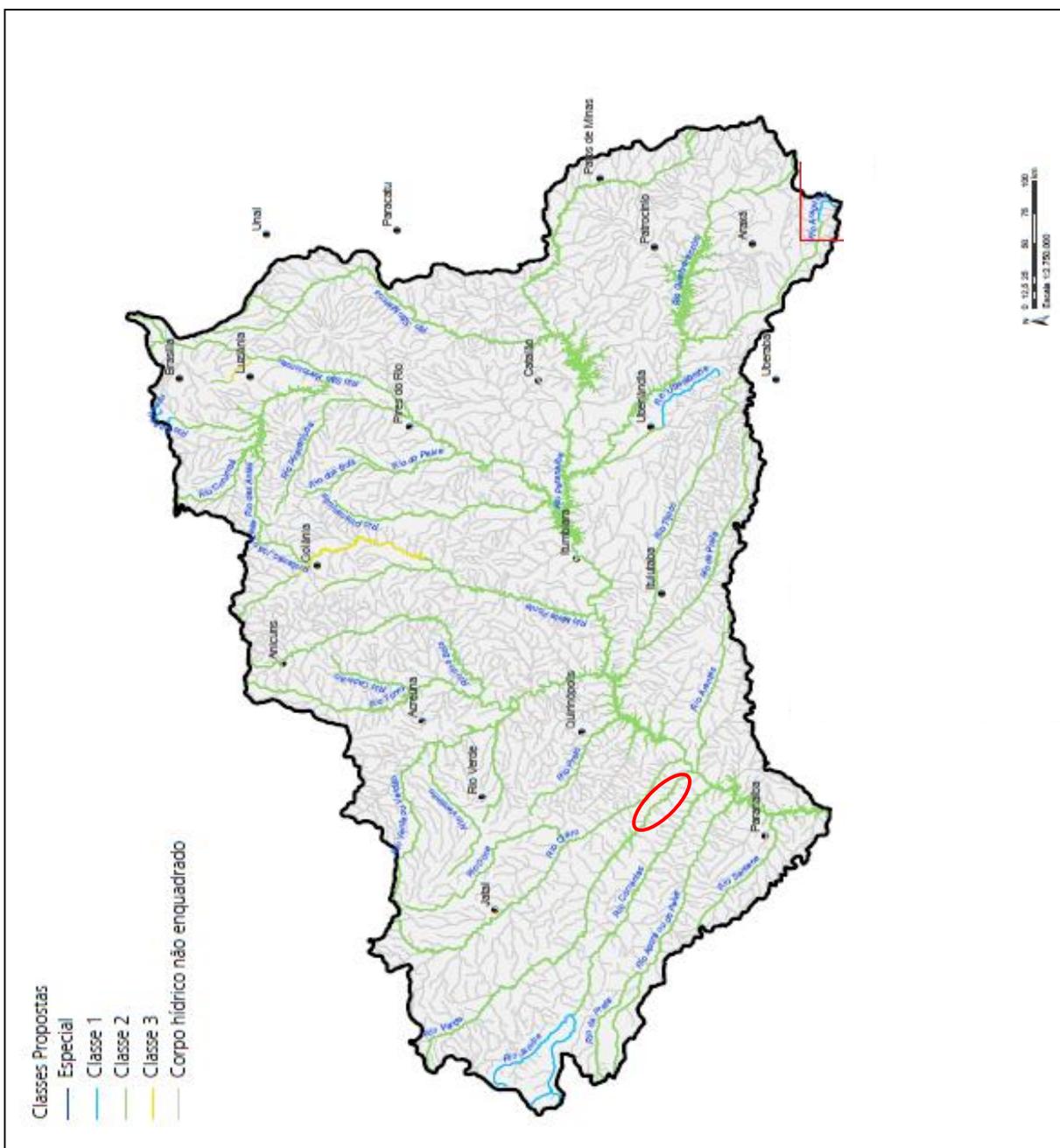
Figura 4.26 - Valores médios do parâmetro fósforo total (2008-2009) dos afluentes goianos da bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Fonte: ANA; SPR (2013, p. 54). Em destaque, na cor vermelha está o local da área de estudo.

A ANA (2013) realizou um enquadramento total para o corpo hídrico do rio Verde, e o evidenciou na qualidade das águas de classe 2 (Figura 4.27). Os resultados gerados para a bacia do rio Verde como para a maioria das bacias contribuintes do rio Paranaíba, indicam que sofrem influência de muitas atividades humanas, principalmente como as atividades agropecuárias e ocupação urbana pela contribuição difusa, e podem conduzir a processos de eutrofização e contaminação por efluentes domésticos e industriais.

Figura 4.27 -Proposta de enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Fonte: ANA (2013, p. 71). Em destaque, na cor vermelha está o local da área de estudo.

4.5 Espacialização de variáveis limnológicas - Compartimentação do reservatório.

As medidas de profundidade em cada ponto de coleta, foram obtidas na campanha de janeiro de 2015, com um ecobatímetro. A tomada das profundidades foi aferida somente uma única vez, com interesse de compreender quais eram as profundidades dos pontos de amostragens de acordo com sua localização no reservatório.

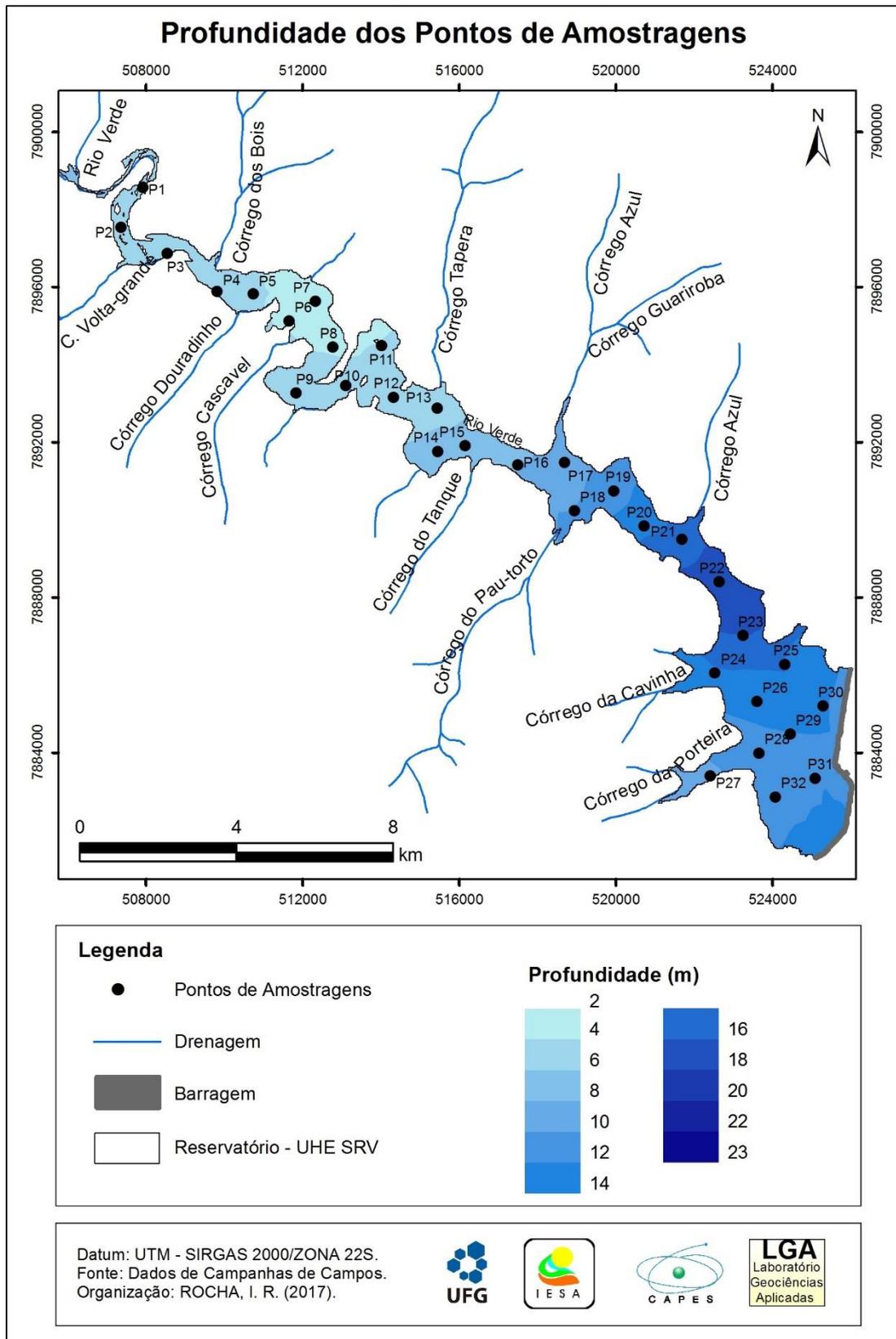
As medições de profundidades podem ser observadas na figura 4.28, onde estão localizados os 32 pontos amostrais e suas posições na espacialização das profundidades. Os locais mais rasos no reservatório encontram-se entre os pontos P6, P7 e P11, estes ambientes foram alagados após a construção do barramento. Já os locais mais profundos foram detectados nos pontos P22, P23, P26, P31 e P32, que se localizam onde se encontrava a calha do antigo leito. Os pontos P31 e P32, localizam-se onde ocorreu a escavação para a construção da barragem.

Nesse sentido, para se avaliar a qualidade das águas, precisa-se compreender sua profundidade em relação ao tempo necessário para o deslocamento no reservatório, chamado de tempo de residência da água, pois, é a variação do nível conforme a vazão para a produção de energia elétrica, porque muda-se de acordo com cada época do ano.

No reservatório de Salto do Rio Verdinho o tempo de residência da água é de 24 dias para o mês de agosto, mês com menor índice pluviométrico, assim menor vazão, e de 14 dias para o mês de dezembro, onde ocorre a maior vazão e o deslocamento da água é mais rápido (THEMAG; CTE, 2002).

De acordo com os valores de profundidade, o trecho mais raso do reservatório, com profundidade entre 2 e 8m, ocorre entre o barramento da UHE Salto e o córrego Tapera. Os locais mais profundos ocorrem entre o córrego Azul e a barragem da UHE Salto do Rio Verdinho.

Figura 4.28 – Profundidade dos 32 pontos de amostragens



Fonte: Campanhas de campos. Organização: Própria Autora (2017).

As variáveis dos grupos dos COAs, foram espacializadas, por meio de interpolação (krigagem), para determinar modelos de distribuições em escala espaço-temporal. Visto que, existe ocorrência de comportamento sazonal, nas águas represadas em determinadas épocas dos anos (NOVO, 1993, 2001).

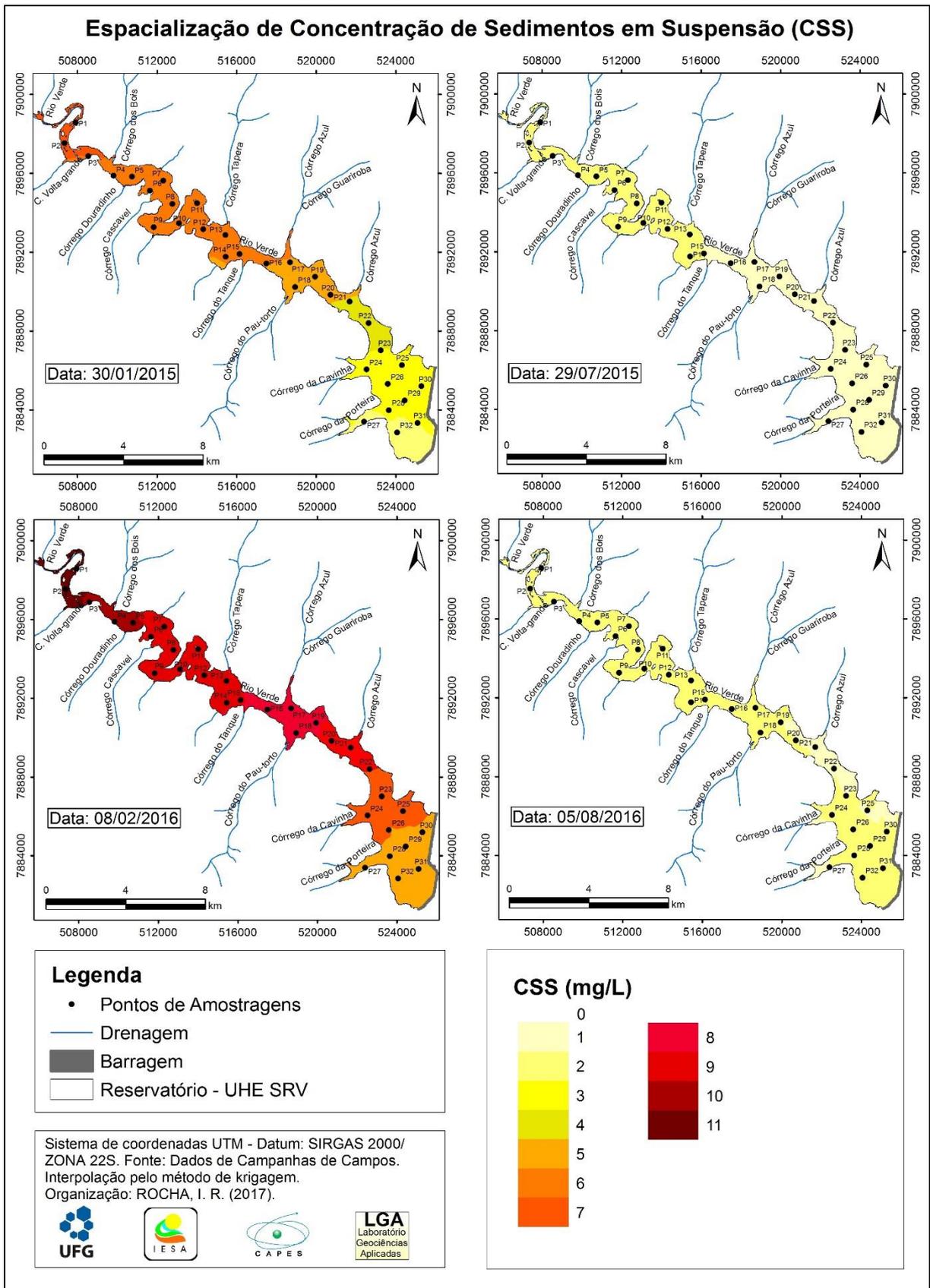
Assim, verificou-se na figura 4.29, que as medições de CSS variaram conforme os períodos secos e chuvosos. Durante a distribuição nos períodos chuvosos, foram detectados os valores gerais de 0,83 a 6,67mg/L em janeiro de 2015, enquanto que em fevereiro de 2016 verificou-se valores de 3,60 a 12 mg/L. A maior concentração detectada em 2016, está relacionada a maior contribuição da precipitação pluviométrica na bacia nesse período.

Em relação ao estudo de compartimentos aquáticos, conforme a proposta de Kimmel et al. (1990), no mês de janeiro de 2015 foi possível detectar que a zona fluvial ocorre entre o início do reservatório até o Córrego Guariroba. O segundo compartimento, conhecido como zona de transição, ocorre do Córrego Guariroba até o Córrego Azul. E, por fim, se percebeu que o compartimento lacustre ocorre do Córrego Azul até a barragem do reservatório. Assim, conforme Kimmel et al. (1990), Tundisi e Matssamura Tundisi (2008), o ambiente apresenta uma tendência de mistura decrescente dos materiais particulados, à medida que o reservatório alarga, sendo depositado os materiais de acordo com o tempo de residência da água.

Durante o período seco, aferiram-se baixa concentração de CSS, demonstrando que os resultados em julho de 2015 variaram de 0,1 a 4,33 mg/L e em agosto de 2016, valores de 0,40 a 3,60 mg/L. Assim, a espacialização da CSS não foi significativa, dentro da visualização de compartimentos aquáticos, pois o período seco em Julho de 2015, o reservatório apenas apresentou dois compartimentos principais, o fluvial e o lacustre, carecendo da identificação da zona de transição.

Todavia, a associação do CSS na compartimentação permitiu observar a variação e deslocamento dos sedimentos pelo reservatório, indicando que nos meses chuvosos ocorre contribuição dos afluentes e do rio principal e, durante os períodos secos, a falta da pluviosidade não favorece de forma intensa a entrada de sedimentos/nutrientes nesse período.

Figura 4.29 - Distribuição espaço-temporal do CSS no reservatório em pesquisa



Organização: Própria Autora (2017).

A partir da espacialização de dados de CSS no reservatório da UHE Barra dos Coqueiros Braga (2012), identificou-se a ocorrência de sedimentos no reservatório pelo escoamento nos afluentes principais, durante o período chuvoso, fator que Corazza (2010) e Wachholz (2011) também observaram no reservatório Dona Francisca. Nestas pesquisas mencionadas, a carga sedimentar foi associada à utilização das áreas agrícolas na bacia hidrográfica. Assim, o uso das terras é um fator expositor para a perda de sedimentos. Deste modo, a bacia da UHE Salto do Rio Verdinho possui áreas agrícolas que, em função das chuvas, carregam na forma de sedimentos para dentro do reservatório.

As concentrações de clorofilas foram obtidas por método de extração sem acidificação, determinado somente os valores totais, oriundos dos materiais orgânico alóctone e às reentrâncias ao material autóctone, oriundos, principalmente, da excreção e da decomposição das algas na produtividade primária (ESTEVES, 1998).

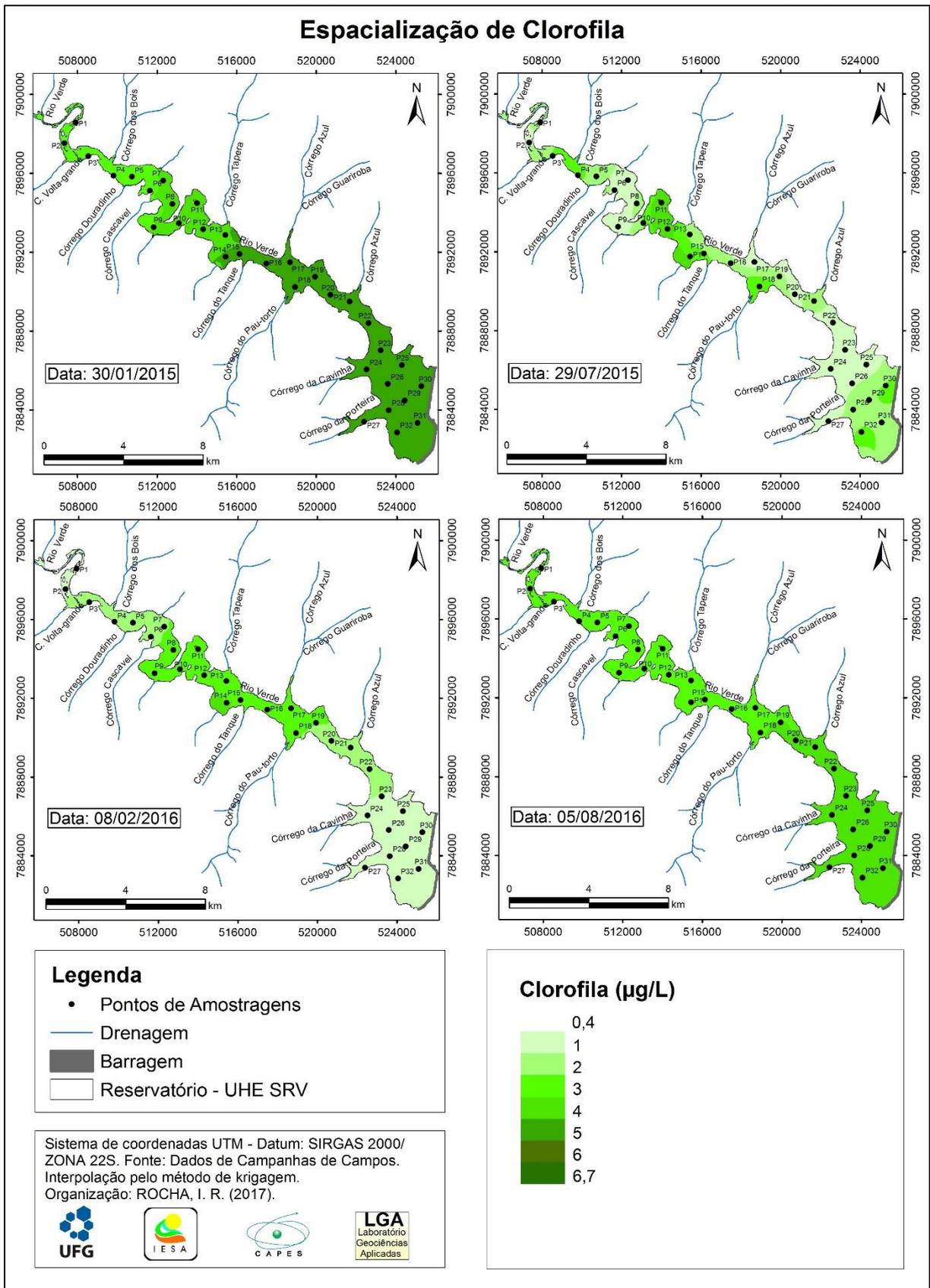
Com relação aos valores medidos, no período chuvoso (Figura 4.30), os valores brutos das concentrações, no mês de janeiro de 2015, mediram entre 1,68 a 6,74 $\mu\text{g/L}$, e de 0,42 a 3,79 $\mu\text{g/L}$ no mês de fevereiro de 2016. Já os dados medidos durante o período seco, apresentam variação entre 0,1 a 3,37 $\mu\text{g/L}$ em julho de 2015, e entre 0,1 a 2,95 $\mu\text{g/L}$ em agosto de 2016. Ressaltando que, somente no período chuvoso de 2015, obteve-se valores de concentrações de clorofilas mais elevadas. As variações das clorofilas ficarão a cargo do tempo de residência na água no reservatório.

Nas observações dos períodos secos, precisamente em Julho de 2015, ocorreram variações muito pontuais sobre os valores registrados, sendo observados próximos dos maiores córregos contribuintes, como exemplo o Córrego Pau-Torto, valores mais elevados e, próximo da barragem, uma concentração também mais elevada, pelo fato da água ficar mais parada (menor movimentação) e promover a maior proliferação de fitoplâncton.

Em agosto de 2016 as concentrações apresentaram-se bastante semelhantes, pois em campo, foram observadas a presença de macrófitas aquáticas por quase todo o ambiente do reservatório. Assim, quando associados à entrada de nutrientes dos tributários são pertinentes ao material autóctone, a variável clorofila não foi muito significativa para definir compartimentos aquáticos, pois os dados não permanecem compartimentados na espacialização da montante para a jusante do reservatório.

A espacialização da clorofila, não permitiu observar zonas de compartimentação, segundo a proposta de Kimmel et al. (1990), devido à pouca relação da distribuição dos dados, com o comportamento em escala espaço-temporal, como o CSS claramente apresenta.

Figura 4.30 - Distribuição espaço-temporal da Clorofila no reservatório em pesquisa



Organização: Própria Autora (2017).

As medidas de transparências das águas foram realizadas por meio do Disco de Secchi, segundo orientações provenientes de Preisendofer (1986) e Esteves (1998), indicando medidas na área de entrada da luminosidade no ambiente.

Segundo Pereira et al. (2011), Santos (2016) e Cabral e Pereira Filho (2018), a variável transparência pode ser utilizada para se identificar os compartimentos aquáticos de um reservatório devido a sua relação com a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão, pois à medida que os reservatórios aumenta em largura e profundidade, a força de transporte dos sedimentos diminui favorecendo o aumento da transparência (WETZEL; LIKENS, 2000).

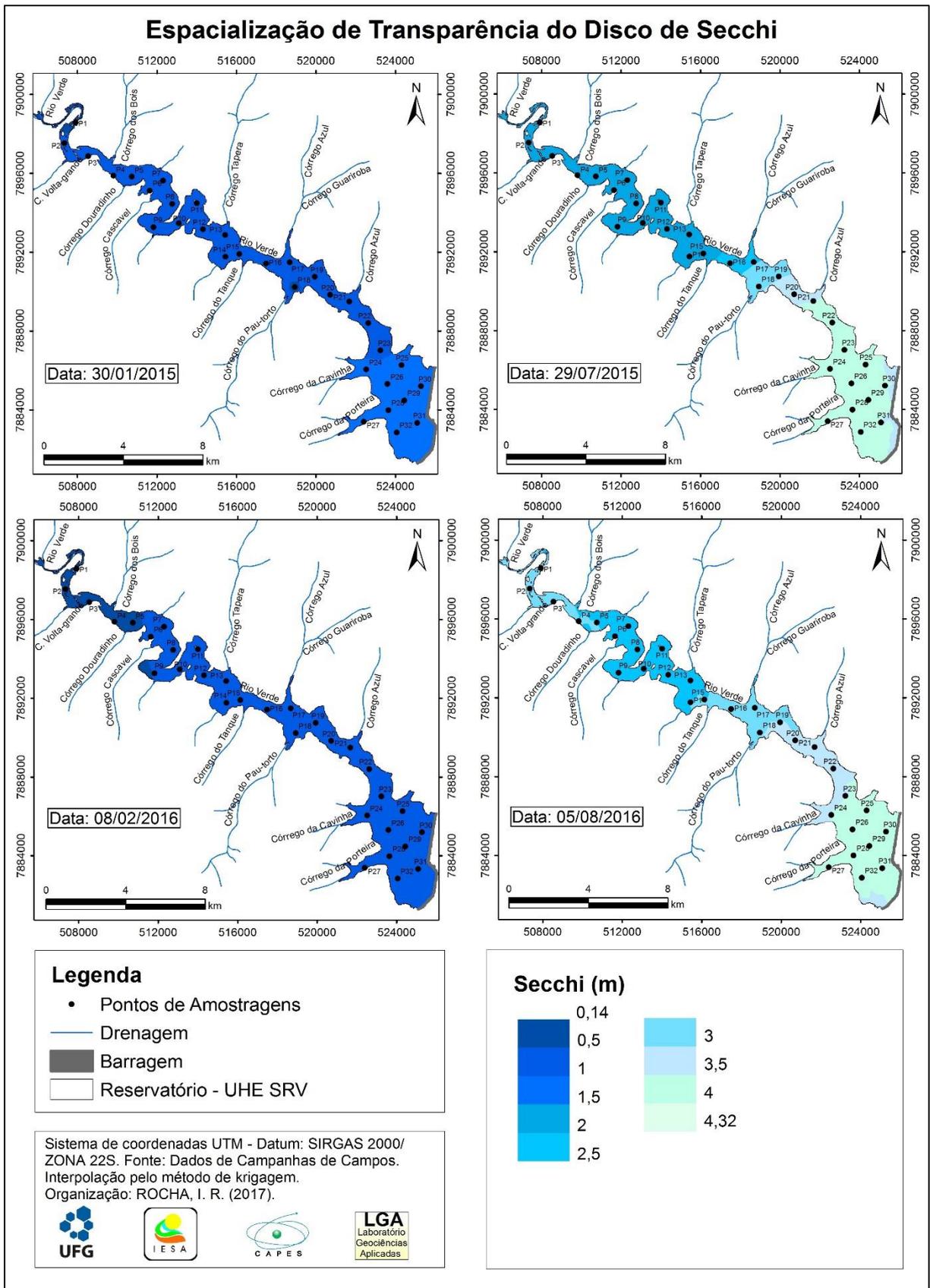
As transparências nos períodos chuvosos, para o mês de janeiro de 2015 variaram entre 0,14 a 1,35 m, e em fevereiro de 2016 entre 0,47 a 0,95 m, indicando uma relação com os resultados da CSS elevado, pois essas variáveis são inversamente relacionadas. Nos períodos secos, os valores de transparência verificados variaram em julho de 2015, de 1,24 a 3,92 m, e entre 1,60 a 4,32 m, em agosto de 2016 (Figura 4.31).

No período chuvoso ocorre uma certa homogeneidade dos dados, não sendo possível detectar visualmente os três compartimentos aquáticos do reservatório. No período seco ocorre uma inversão de valores, sendo possível visualizar-se a compartimentação aquática, de acordo com a proposta de Kimmel et al. (1990).

Os compartimentos visualizados no mês de Julho de 2015 indicam que a zona fluvial ocorre da área inicial do reservatório até o Córrego do Tanque; o compartimento de transição situa-se entre o córrego do Tanque e o Córrego Pau-torto; enquanto o compartimento, lacustre ocorre entre o córrego do Pau-torto até a barragem.

Já em agosto de 2016, os valores de profundidade Secchi apresentaram resultados para a presença de três compartimentos, similares ao fatiamento de julho de 2015. Compreendendo que durante a estiagem sempre ocorre uma tendência de aumento da transparência com a distância longitudinal do reservatório, segundo Tundisi e Matssamura Tundisi (2008).

Figura 4.31 - Distribuição espaço-temporal da Transparência da água



Organização: Própria Autora (2017).

As distribuições espaço-temporais da variável turbidez, assemelham-se com os dados obtidos para CSS, pois são variáveis intrínsecas, conexas de acordo com Wetzel e Likens (2000), devido a presença de partículas na água, que interferem nas propriedades que absorverem a luz, deixando as turvas.

Desse modo, a figura 4.32, apresenta as interpolações das 4 campanhas, para as medidas de Turbidez da água, e segundo as observações no período chuvoso, no mês de janeiro de 2015 variam de 13 a 30,67 UNT, já em fevereiro de 2016 de 19 a 33,4 UNT. As observações no período seco, apresentaram diferentes medidas, sendo aferidos valores em julho de 2015 de 1,83 a 6,2 UNT, e entre 1,55 a 5,09 UNT em agosto de 2016. Consequentemente correlatos com os valores baixos de CSS das mesmas campanhas.

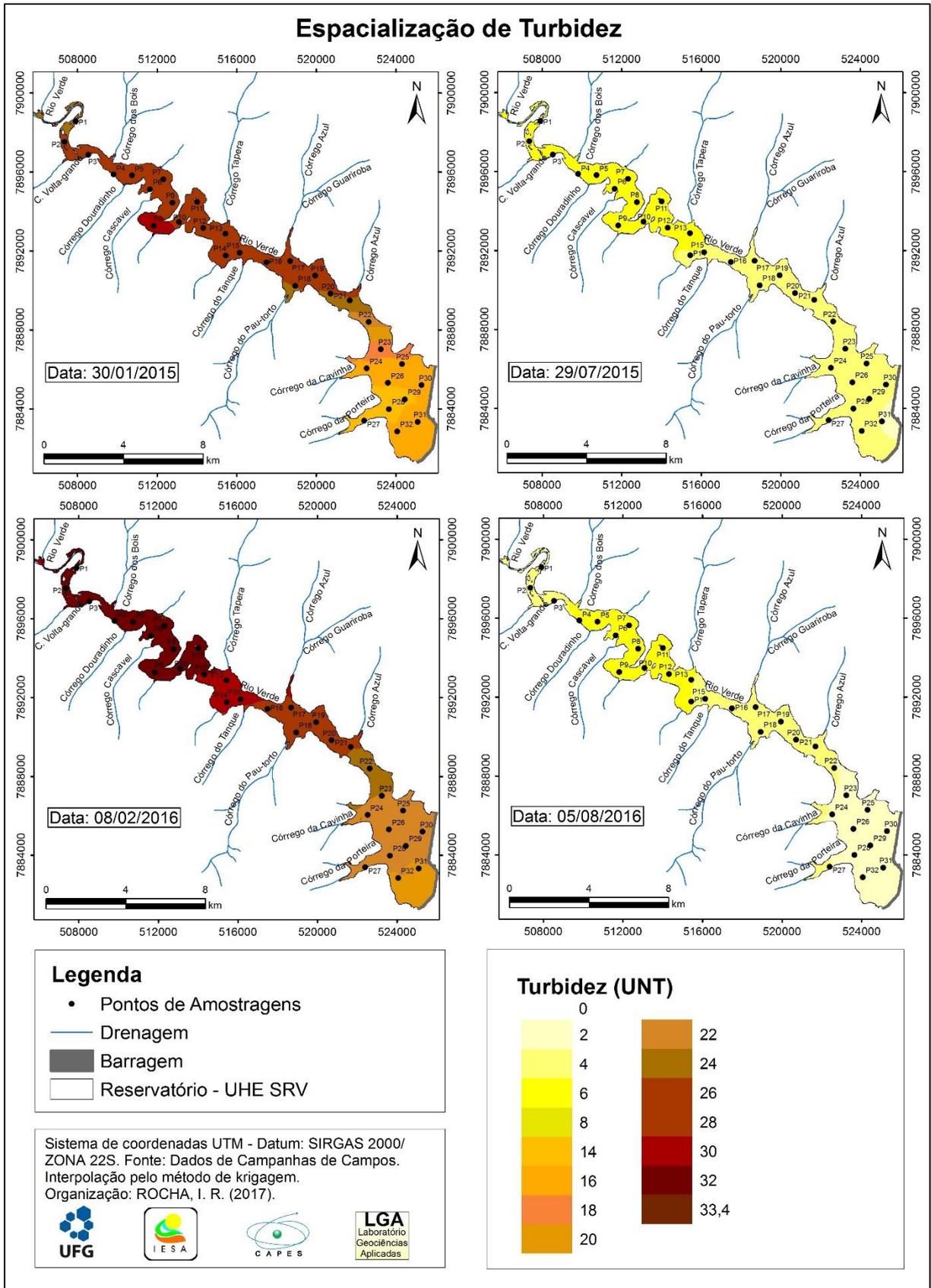
Assim, verifica-se que a chuva é um elemento primordial para se compreender os níveis de turbidez em reservatórios, pois de acordo com Esteves (1998), Pereira et al. (2011) e Przytulaska (2016) as águas de lagos e represas, em geral, apresentam baixa turbidez, e os fatores determinantes são a pouca movimentação da água que revolvem o sedimento de fundo, mas podem aumentar, após chuvas fortes, nos escoamentos superficiais e carreamento de tributários de altos fluxos.

Segundo a proposta de Kimmel et al. (1990), para compartimentação de similaridades de dados em diferentes zonas de um reservatório, a variável turbidez se assemelha ao CSS, nos fatiamentos realizados. Durante o período chuvoso, a alta concentração permitiu a presença de muitas classes, apresentando a definição das três zonas de compartimentação, seguindo uma tendência decrescente dos valores de turbidez da montante para jusante.

No período de 30/01/15 o setor fluvial do reservatório ocorreu entre o início do reservatório e córrego do Pau Torto, em 08/02/16 variou do início do reservatório até área de influência do córrego do Tanque. Já o setor lacustre ocorre entre o córrego da Cavinha e barragem, tal fato pode ser justificado devido a menor velocidade de escoamento da água e o tempo de residência, ocasionando a decantação do material particulado e homogeneização dos valores de turbidez.

Durante os períodos secos, os valores de turbidez foram inferiores aos valores detectado para o período chuvoso, indicando comportamento da compartimentação diferente do período chuvoso. Em Julho de 2015 e agosto de 2016, é possível detectar dois compartimentos, sendo o primeiro entre o início do reservatório até o córrego do Tanque com valores que variam entre 4 e 6 UNT, e do córrego do tanque até a barragem com valores variando entre 1 e 4 UNT.

Figura 4.32 - Distribuição espaço-temporal da Turbidez no reservatório em pesquisa



Organização: Própria Autora (2017).

A compartimentação aquática finalizada da área de estudo foi detectada com o cruzamento dos resultados das campanhas de campo, possibilitando diferenciação dos três compartimentos aquáticos. Mas, tendo a compreensão que esses compartimentos são transitórios e não fixos. Assim, são compreendidos que essas divisões foram decorrentes das bases de distribuição evidenciadas das variáveis de CSS, transparência e turbidez, as quais se apresentam comportamentos distintos e que são reguladas a partir do regime de precipitações.

Nesse sentido, já é de se esperar que as regiões de zonas de compartimentos pudessem ser definidas segundo Kimmel et al. (1990), por meios da ponderação dessas variáveis. Todas as variáveis foram ponderadas e se apresentaram nas classes de compartimentos aquáticos de Rio, Transição e Lago. Os compartimentos foram estabelecidos para as concentrações distintas durante as épocas de chuva e estiagem.

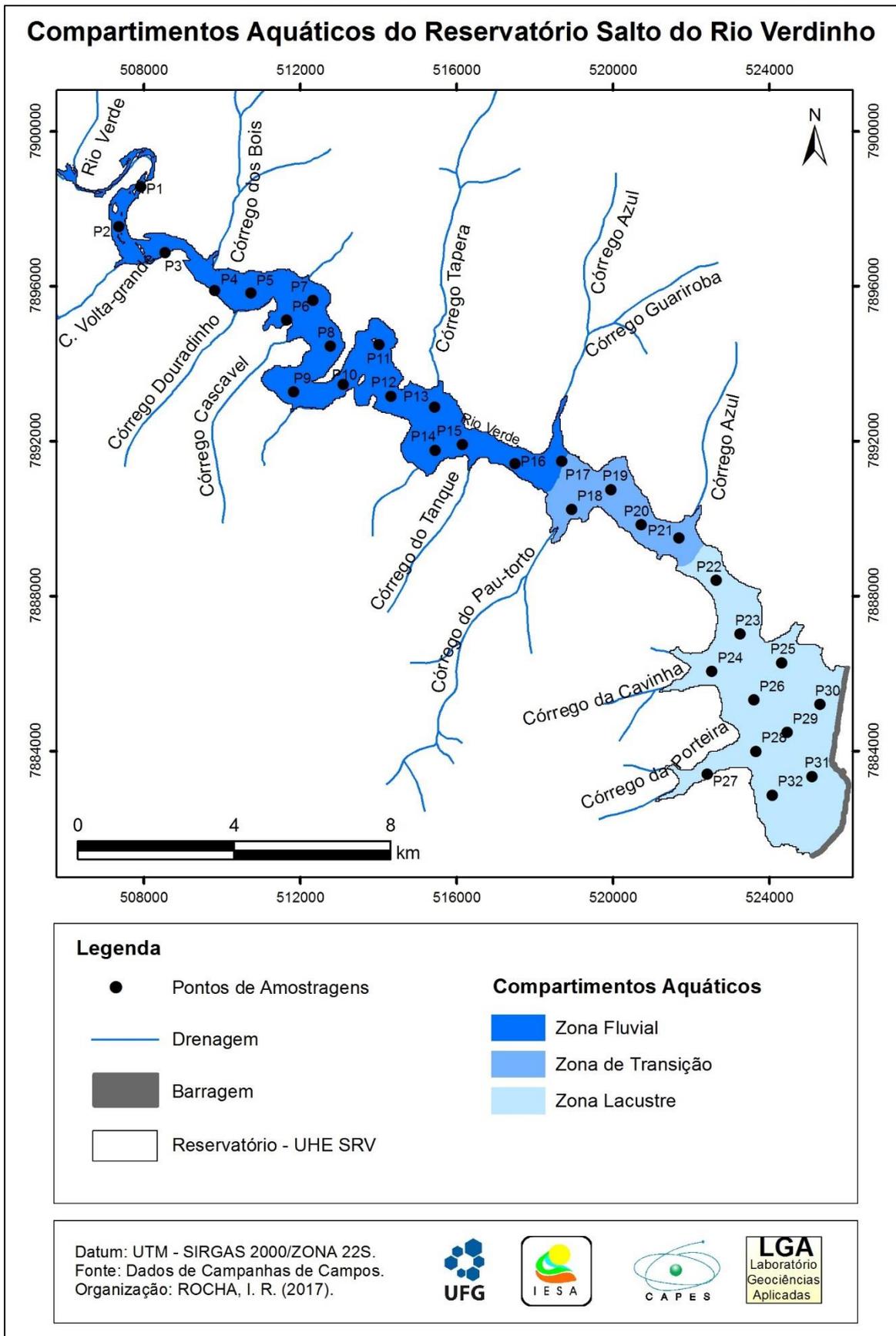
A zona com maiores concentrações de sedimentos, que influenciaram nas variáveis analisadas, se encontra localizadas a montante do reservatório, como já era esperado, por ocorrer grande quantidade de materiais em suspensão permanecendo em turbulência na zona lótica (ESTEVES, 1998).

Os compartimentos permaneceram definidos no mapa de compartimentação aquática final do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho com uma confluência entre as classes de compartimentos como pode ser observado na figura 4.33.

Percebe-se que a compartimentação o trecho rio se estende do ponto P1 ao P17; o trecho transição do ponto P17 ao P21; e, o trecho lago do ponto P22 ao P32.

O cruzamento entre os compartimentos aquáticos encontrados foram realizados com as variáveis de CSS, Transparência e Turbidez, que se apresentaram melhor na relação entre os dados nas campanhas de campo. E definiu à zona fluvial do início do reservatório até o ponto P17 (córrego Guariroba), pois possui como característica menor tempo de residência da água e maior transporte de nutrientes como de sólidos em suspensão. A partir do ponto até o P17, a velocidade da água vai perdendo força no transporte de materiais com similaridade até o P21 (córrego Azul), devido a essa situação é restrito à zona de transição. Coincidentemente o trecho mais largo (zona lacustre) do reservatório é a partir do ponto P22 até o P32 (barragem), a água perde quase totalmente a força no transporte e passa a depositar, chegando a reter grande quantidade de sedimentos.

Figura 4.33 - Distribuição espaço-temporal da Turbidez no reservatório em pesquisa



Organização: Própria Autora (2017).

4.6 Análise dos espectros de reflectâncias de feições originais e os COAs

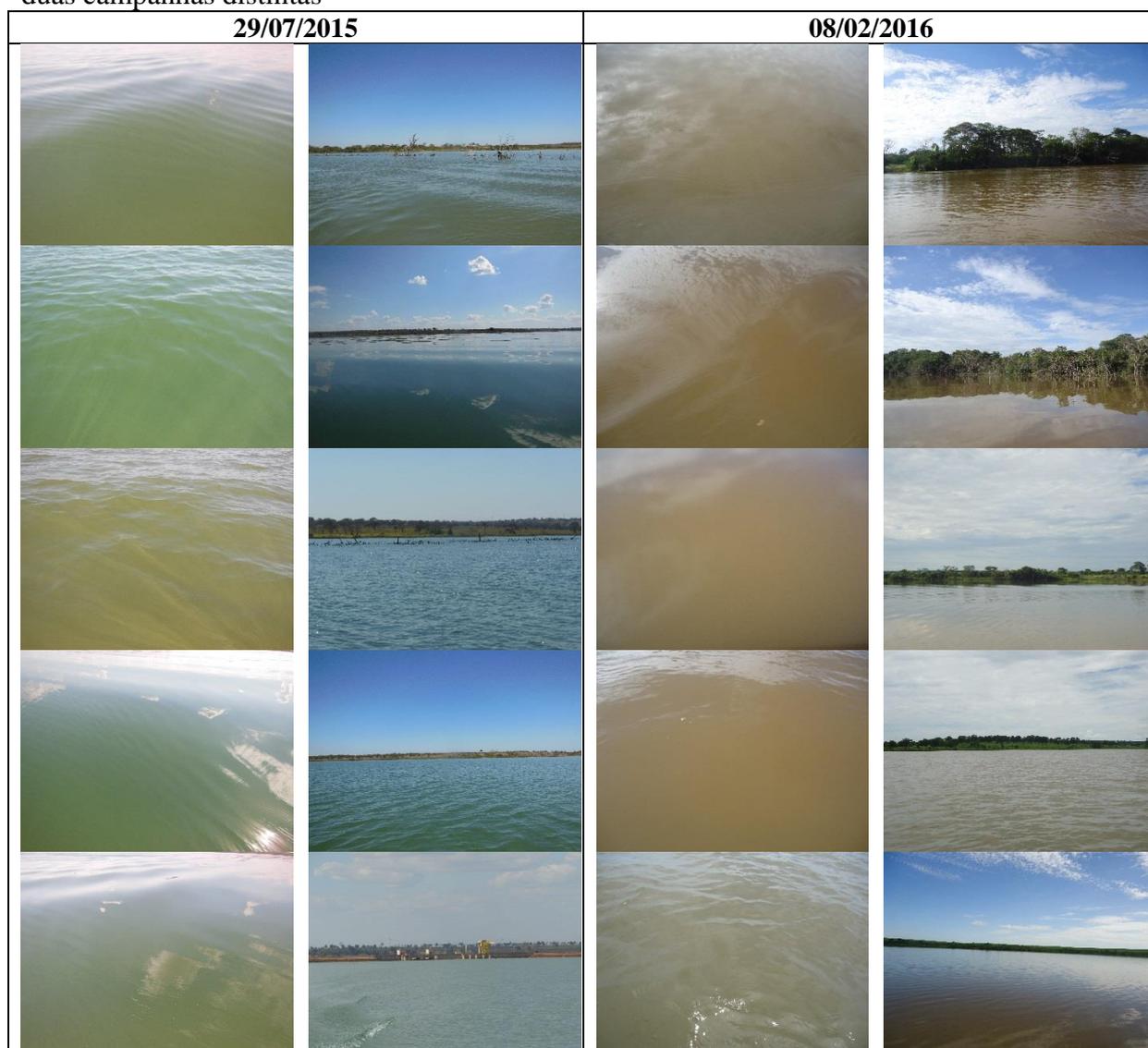
A utilização de espectros de reflectâncias para avaliar os componentes opticamente ativos, é observada em muitas pesquisas atuais, e recomendados para a avaliação da superfície aquática, no intervalo de 400 a 900 nm, como indicado em trabalhos de Novo (2001, 2010), Pereira Filho et al. (2005), Breunig et al., (2007), Cabral e Pereira Filho (2018).

A extração de informação espectral fornece indicativos de diferenças de albedo no espectro original (BREUNIG et al., 2007, WACHHOLZ, 2011). Porém, as análises das curvas espectrais de reflectâncias precisam ficar mais proeminentes para se identificar melhor as feições. Desse modo, as curvas originais, foram suavizadas na ferramenta Spectral Library (Biblioteca Espectral), disponível no software ENVI 5.3.

Para as coletas dos espectros da água no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho foram observadas as condições climáticas locais, de céu limpo (sem a presença de nuvens) e da água sem movimentação. Foram realizadas por observações visuais em cada ponto de amostragem e o apoio de fotografias simultâneas as observações serviu para comprovar a realidade do ambiente, segundo indicações de Pereira Filho et al. (2005), Wachholz (2011) e Corazza (2010, 2015).

No quadro 4.5 são apresentadas as fotografias registradas em distintos pontos do reservatório, para representar as condições durante as coletas. Foram utilizadas duas campanhas para a demonstração fotográfica, mas em todas as quatro campanhas verificaram-se as condições da superfície das águas, visto que, não ocorriam interferências de precipitações de chuvas nos períodos de coletas, e não apresentavam-se agitadas nos momentos de análises.

Quadro 4.5 - Fotografias da água e da paisagem, representando as condições das águas em duas campanhas distintas

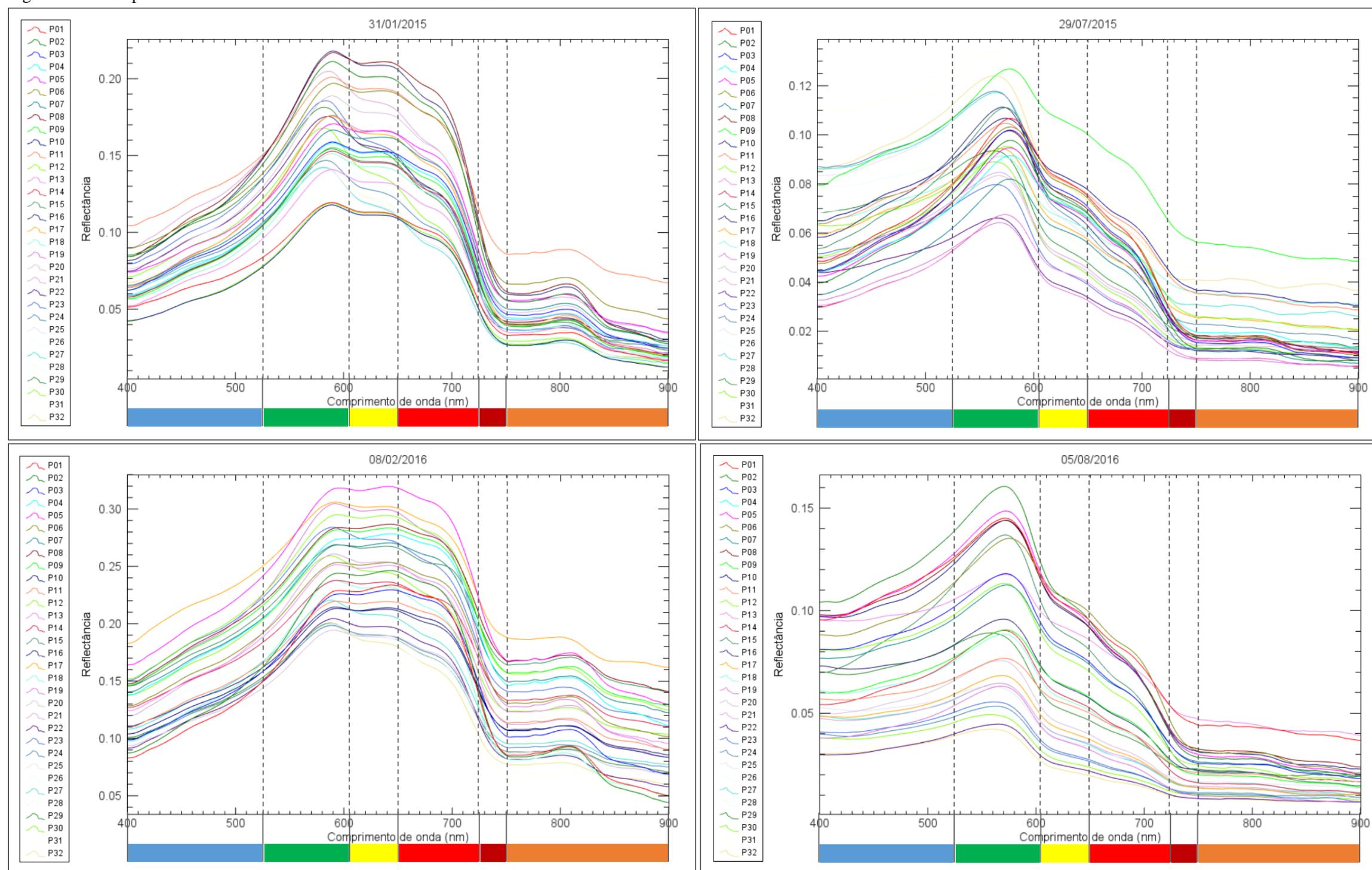


Organização: Própria Autora (2017).

Os gráficos apresentados na figura 4.34 correspondem aos espectros coletados em 4 campanhas de campo, entre os anos de 2015 e 2016. Notam-se, que os comportamentos espectrais durante os meses chuvosos (janeiro de 2015 e fevereiro de 2016) registraram entre 0,04 e 0,23 de reflectância. Já nos meses secos (julho de 2015 e agosto de 2016), registraram valores entre 0,03 e 0,14 de reflectância. Os valores máximos obtidos das reflectâncias se localizam na faixa da cor verde em todas as campanhas analisadas. Já as maiores absorções ocorreram na faixa do vermelho longo, até o início do infravermelho.

Uma observação importante foi a baixa reflectância detectada na faixa do azul, podendo ser atribuída à presença de clorofila-a ou de matéria orgânica dissolvida, que são responsáveis por elevar o coeficiente de absorção nos comprimentos de onda mais curtos, conforme os trabalhos descritos por Gitelson (1992) e Kirk (1994).

Figura 4.34 – Espectros de reflectâncias do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho com suas datas de coleta



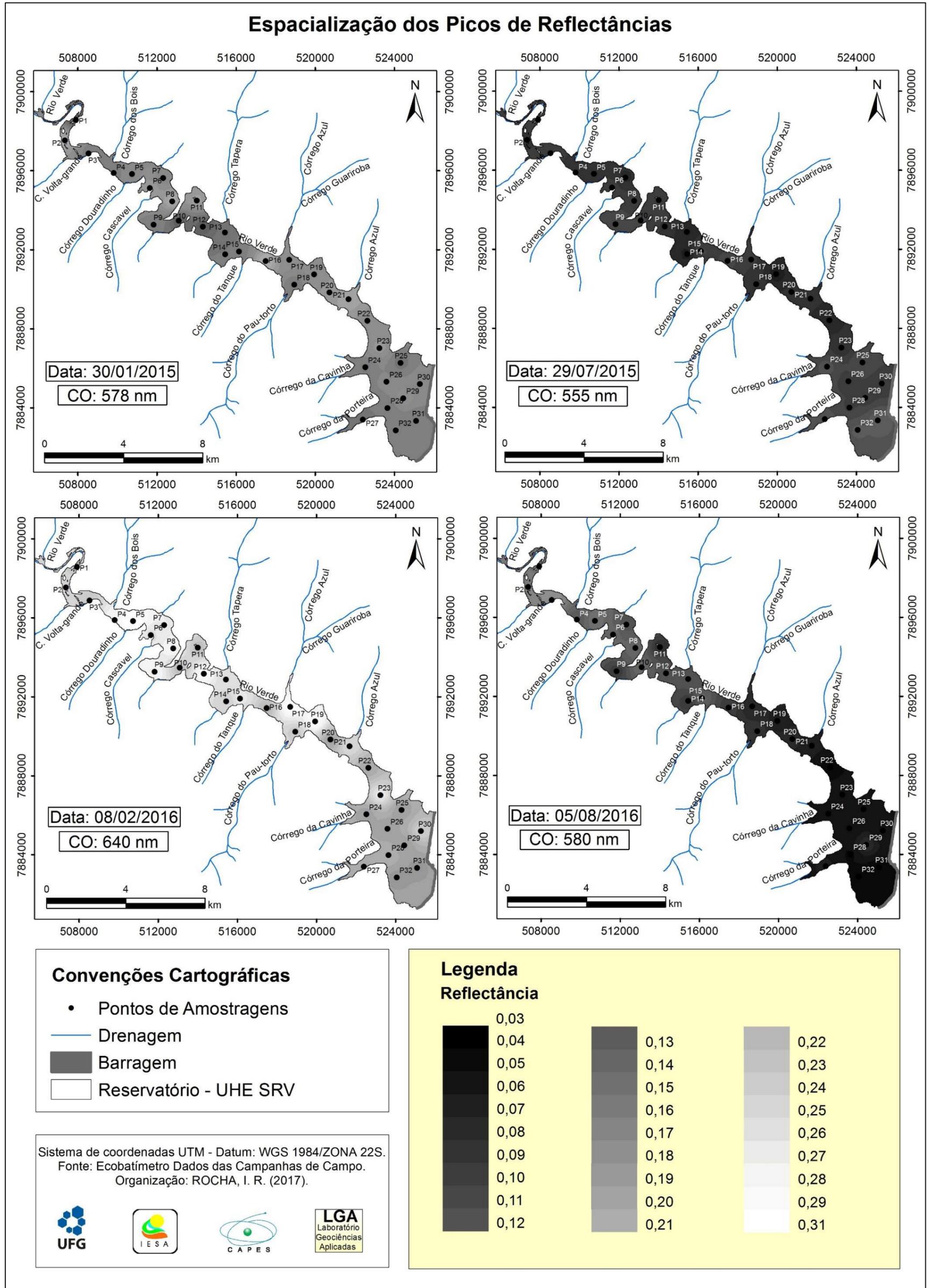
Organização: Própria Autora (2017).

Em janeiro de 2015, o comprimento de onda de maior reflectância foi em 578 nm, que segundo Dekker (1993), indica a influência de partículas na faixa do verde, independente da origem, se são orgânicas ou inorgânicas. O intervalo de maior aprofundamento de banda ocorreu entre 695 a 735nm, principalmente na região do vermelho longo para as 4 campanhas, conferido por Jensen (2009) sendo a faixa que ressalta uma região de absorção mínima da água pura.

Ainda observando as reflectâncias máximas, no mês de julho de 2015, o valor mais elevado foi na faixa de 555 nm, enquanto no mês de fevereiro de 2016, a maior reflectância ocorreu na faixa de 583 nm. Já em agosto de 2016, observam-se que a faixa de 580 nm registrou o maior pico de reflectância.

Na figura 4.35 é apresentada a espacialização das faixas espectrais de maior reflectância, constituindo as que se destacaram entre todos os espectros coletados, contemplados os períodos chuvosos e secos de precipitação pluviométrica. Assim, o mês de fevereiro de 2016 foi o responsável pelo maior espalhamento das reflectâncias, na bacia da UHE Salto do Rio Verdinho, sendo mais elevadas em relação às chuvas registradas em janeiro de 2015, pois as variações ocorreram, principalmente, pela quantidade de componentes inorgânicos, como de sedimentos em suspensão presentes na água, que é mais disponível durante as concentrações das chuvas no verão (RUDORFF, 2006; WACHHOLZ, 2011; CICERELLI, 2013; CABRAL, PEREIRA FILHO, 2018).

Figura 4.35 – Variação espaço-temporal dos picos de reflectâncias



Organização: Própria Autora (2017). Obs.: CO = Comprimento de Onda.

Nas observações limnológicas, onde foram verificadas elevadas concentrações de CSS e Turb, coincidentemente, apresentaram-se altas reflectâncias, juntamente com valores de Secchi. No entanto, na pesquisa de Breunig et al. (2007), as reflectâncias não permitiram diferenciar muito as relações espectrais e limnológicas no reservatório Rodolfo Costa e Silva, como foram definidos nessa pesquisa, o fator principal foi a pequena extensão e largura do reservatório, que dificulta visualizar o tempo entre transporte e deposição.

Conforme observado por Cabral e Pereira Filho (2018), no reservatório da UHE Foz do Rio Claro, no Sudoeste Goiano, o principal influenciador no processo de espalhamento da faixa do vermelho pela radiação solar nos meses chuvosos, foi a concentração de sedimentos em suspensão. E no período seco foi a faixa espectral referente ao verde, indicando a presença de fitoplâncton, condições semelhantes às encontradas na presente avaliação.

Dekker (1993) observou em muitos trabalhos que as variáveis limnológicas influenciam na reflectância da água, conforme já é esperado para o comportamento dessa natureza, nas águas em diversas épocas dos anos. Os dados apresentados, nos artigos de Gons et al. (1991) no lago Loosdrecht, e no Lago Maarsseveen por Klepper et al. (1984), ambos localizados na Holanda, evidenciaram baixas concentrações de partículas orgânicas em períodos de escassez de chuvas, e concluíram nos resultados que as componentes inorgânicas também tiveram características semelhantes na absorção de espectro.

Para identificar relações sazonais entre as concentrações das variáveis limnológicas com os espectros de reflectâncias, foram aplicadas correlações lineares de Pearson entre as variáveis. De acordo com o quadro 4.6, as correlações mais significativas, destacadas em vermelho, estão evidenciando os componentes relacionados com as partículas de sedimentos que obtiveram melhores significâncias, e nos comprimentos de ondas acima de 600 nm, nas 4 campanhas observadas. Notam-se que somente a Chl, não obteve correlações significativas para nenhuma das quatro campanhas estudadas. Já a variável com as melhores correlações foi a Turb, em todas as campanhas.

Quadro 4.6 - Correlações mais altas entre as variáveis dos COAs e as reflectâncias dos comprimentos de ondas

| 30/01/2015 | | 29/07/2015 | | 08/02/2016 | | 05/08/2016 | |
|-------------------|-------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| CSS x 720 | 0,63 | CSS x 408 | -0,49 | CSS x 705 | 0,52 | CSS x 704 | 0,58 |
| Chl x 833 | -0,35 | Chl x 897 | 0,19 | Chl x 682 | -0,34 | Chl x 574 | -0,21 |
| Secchi x 716 | -0,5 | Secchi x 652 | -0,49 | Secchi x 691 | -0,69 | Secchi x 697 | -0,7 |
| Turb x 720 | 0,66 | Turb x 652 | 0,53 | Turb x 712 | 0,7 | Turb x 647 | 0,84 |

Obs.: Em vermelho as correlações com significância de $\alpha < 0,05$. Organização: Própria Autora (2017).

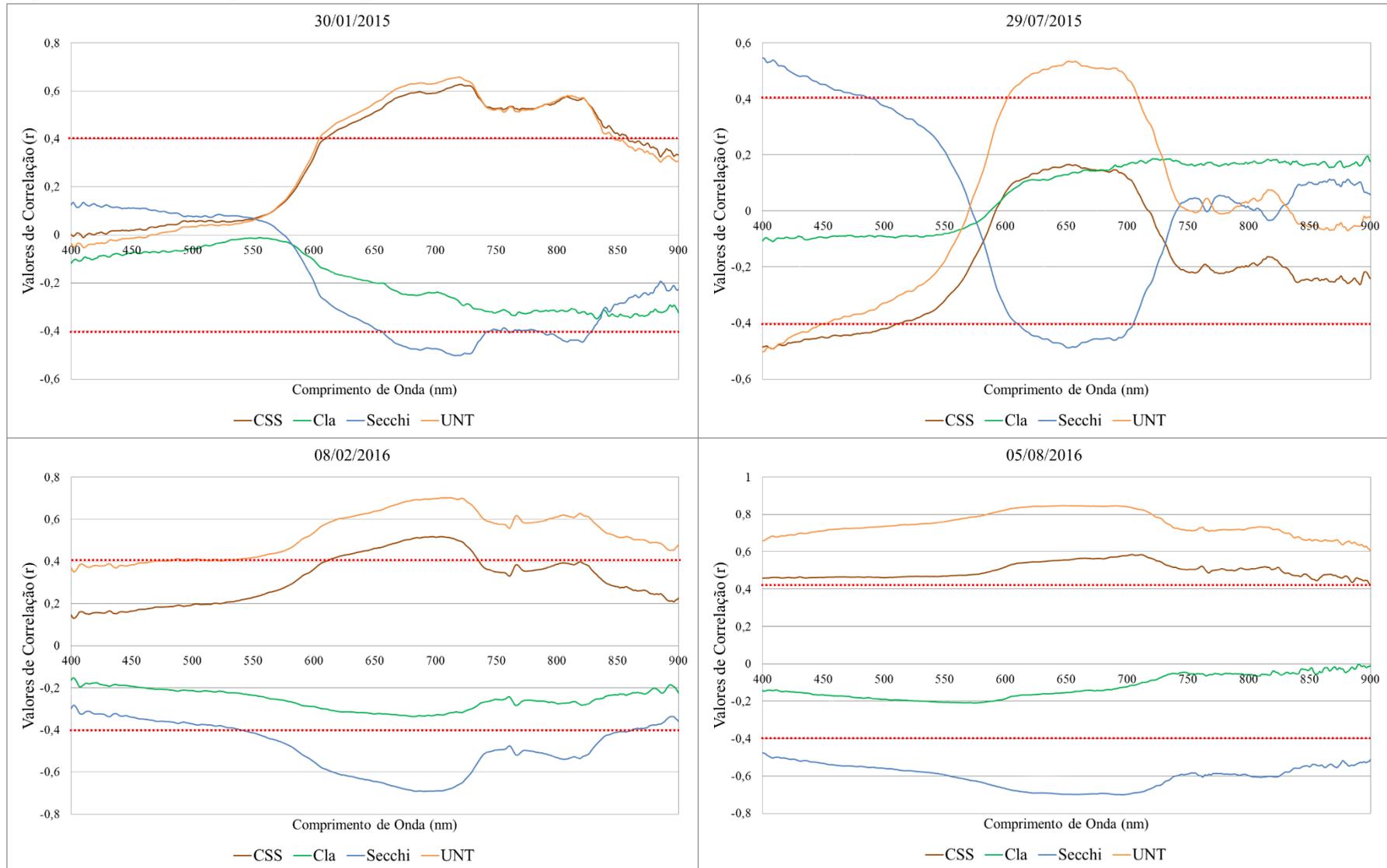
A partir da análise dos gráficos da figura 4.36, as correlações das variáveis dos COAs, nas campanhas dos períodos chuvosos, são observados os gráficos que representam as correlações mais significativas, verificando que acima do comprimento de onda de 600 nm, para os variáveis CSS, transparência de Secchi e Turb, já os valores de Chl permaneceram abaixo da linha de correlações significativas para todas as campanhas, pois seus valores interferiram muito pouco nos espectros de reflectâncias.

Ocorreram semelhanças entre as variáveis, conforme um padrão das correlações, as variáveis CSS e Turb obtiveram mais correlações positivas, enquanto as variáveis Secchi e Chl apresentaram, em sua maioria correlações negativas, indicando que os dois grupos de variáveis são inversamente proporcionais, fato este observado por Santos (2016), com dois grupos distintos entre Secchi e Turb, no reservatório de Passo Real, e por Cabral e Pereira Filho (2018) no reservatório de Foz do Rio Claro, para uma única variável, o Secchi, que se apresentou com correlação inversa entre as campanhas. No período seco as correlações foram positivas, enquanto no período chuvoso as correlações foram negativas.

Na relação de comprimentos espectrais com as variáveis dos COAs, foi possível observar que a Clorofila foi um parâmetro que apresentou fracas correlações com os espectros. Já a CSS, Secchi e a Turb indicaram níveis elevados de correlações sazonais, responsáveis pelas reflectâncias mais proeminentes nas faixas de 600-750 nm.

No correlograma das variáveis dos COAs e as faixas espectrais Toniolo (2016), apresentou que as variáveis que obtiveram correlações com valores mais elevados foram o TSS e TURB, que se assemelharam muito nos maiores valores, entre as faixas de 675 a 700 nm, como pode ser conferido, os resultados são bem próximos aos obtidos nessa pesquisa.

Figura 4.36 - Correlações entre espectros de refletâncias e variáveis dos COAs

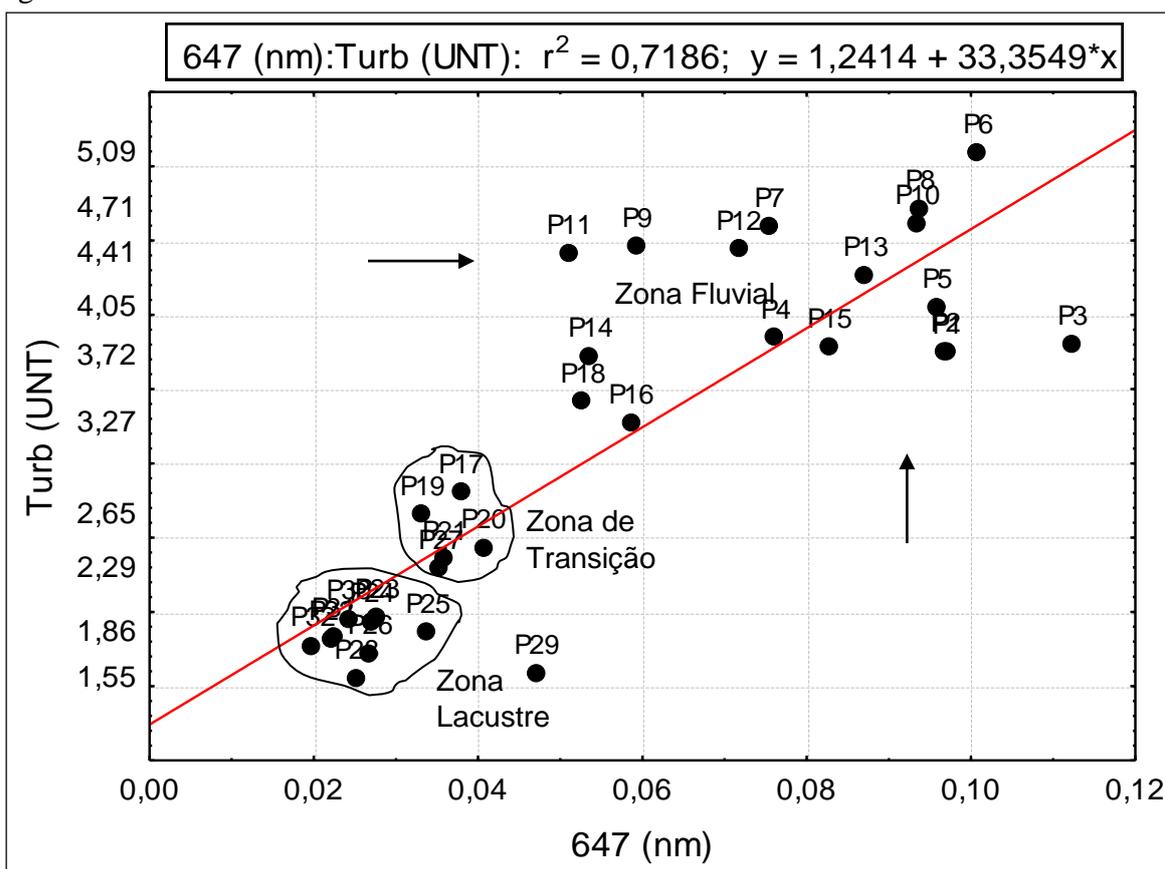


Organização: Própria Autora (2017). Obs.: Acima da linha vermelha pontilhada são as correlações significativas.

As correlações de Turb com os comprimentos de ondas foram bastante significativas, apresentando comportamento semelhante ao encontrado por Santos (2016), que avaliou a turbidez como a componente que melhor correlacionou com as reflectâncias no Lago de Passo Real, pois obteve o $r = 0,8$, entre Turb e 675 nm, resultado próximo ao encontrado em agosto de 2016 no reservatório de Salto do Rio Verdinho, entre a Turb com 647 nm, com $r = 0,84$.

Conforme a figura 4.37, o diagrama de dispersão obtido pela melhor correlação, entre a Turb x 647 nm, foram formados dois grupos bem definidos, que se enquadraram nos compartimentos, de transição e lacustre e, outro grupo de pontos espalhados, que se localizam na zona fluvial. Assim, os menores registros de Turb indicaram menores reflectâncias, concomitante com maiores valores de Turb, maior reflectância.

Figura 4.37 – Algoritmo de regressão linear da reflectância 647 nm x Turb no período de agosto de 2016



Organização: Própria Autora (2017).

4.7 Avaliação da remoção do contínuo das curvas espectrais

A aplicação da técnica de remoção do contínuo foi realizada para destacar as feições de absorção de cada espectro de reflectância com relação as variáveis interferentes nos COAs, segundo a proposta Clark e Roush (1984). Sendo, as sessões analisadas no intuito de apresentar o máximo de absorção, e a variação ocorre de 0 a 1.

As semelhanças entre as campanhas de campo dos mesmos períodos, indicaram que as reflectâncias são uma importante ferramenta na mensuração e compreensão das regiões de absorção da radiação na água, que é ocultada pelas feições espalhadas pelos COAs. Observam-se que as curvas do contínuo removido nos períodos secos e nos chuvosos, apresentaram feições de absorção de comportamento similar em cada época distinta.

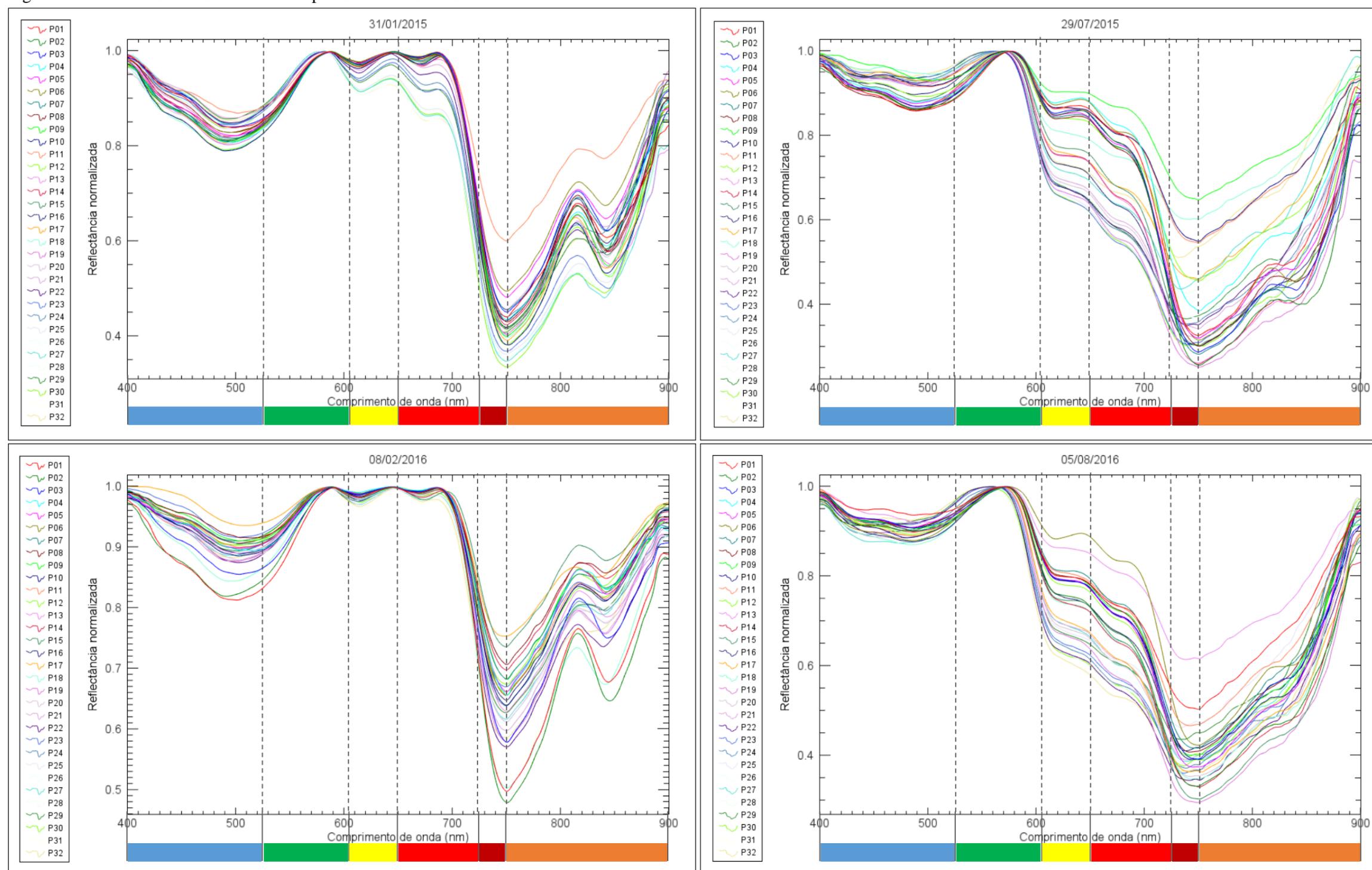
Nesse sentido, conforme é observado nos gráficos da análise de remoção do contínuo na figura 4.38, a técnica realçou características que influenciam nas feições de absorção. E as faixas mais acentuadas nas absorções, foram as observadas nos períodos secos, pois, durante os meses chuvosos, os níveis de sedimentos nas águas impossibilitam proeminência dos tipos de clorofilas na água.

As feições de absorção no meses chuvosos, não identificaram as interferências dos tipos de clorofilas, mas, durante o período seco, mesmo com valores baixos de clorofila, ocorreu realce de absorção pela presença de fitoplâncton na água, próxima da faixa de 500 nm, sendo relacionado na literatura com a ficorobilina, pigmento da cianobactéria, e as maiores absorções, foram nas faixas de 600-650nm, com os pigmentos de clorofilas relacionados as também as cianobactérias, segundo identificado por Dekker (1993).

Breunig et al. (2007), aplicaram a técnica de remoção do contínuo, nos espectros de reflectância de campo, do reservatório Rodolfo Costa e Silva, e visualizaram a minimização das ações produzidas pelos COAS, em efeitos de absorção nas faixas de 610-640 nm, relativos ao espalhamentos pelo CSS.

Cicerelli (2013) evidenciou feições similares de absorção, e nas faixas de 590-610nm foram mais profundas e melhor definidas em virtude da maior concentração do pigmento fitoplanctônico de ficocianina.

Figura 4.38 – Contínuo removido dos espectros de reflectâncias



Organização: Própria Autora (2017).

4.8 Primeira derivada das reflectâncias e as correlações com as variáveis dos COAs

Os gráficos da figura 4.39 representam os resultados da primeira derivada dos espectros coletados no reservatório da UHE Salto do Rio verdinho, sendo uma técnica que analisa o nível de feições de absorção ou espalhamento dos comprimentos de ondas, pouco evidentes nos espectros de reflectância originais, segundo Chen et al. (1992), Cicerelli (2013) e Santos (2016).

As feições das derivadas encontradas nas 4 campanhas, apresentaram-se semelhantes para os períodos distintos. Mas a técnica apresentou, de modo discreto, poucas feições relacionadas.

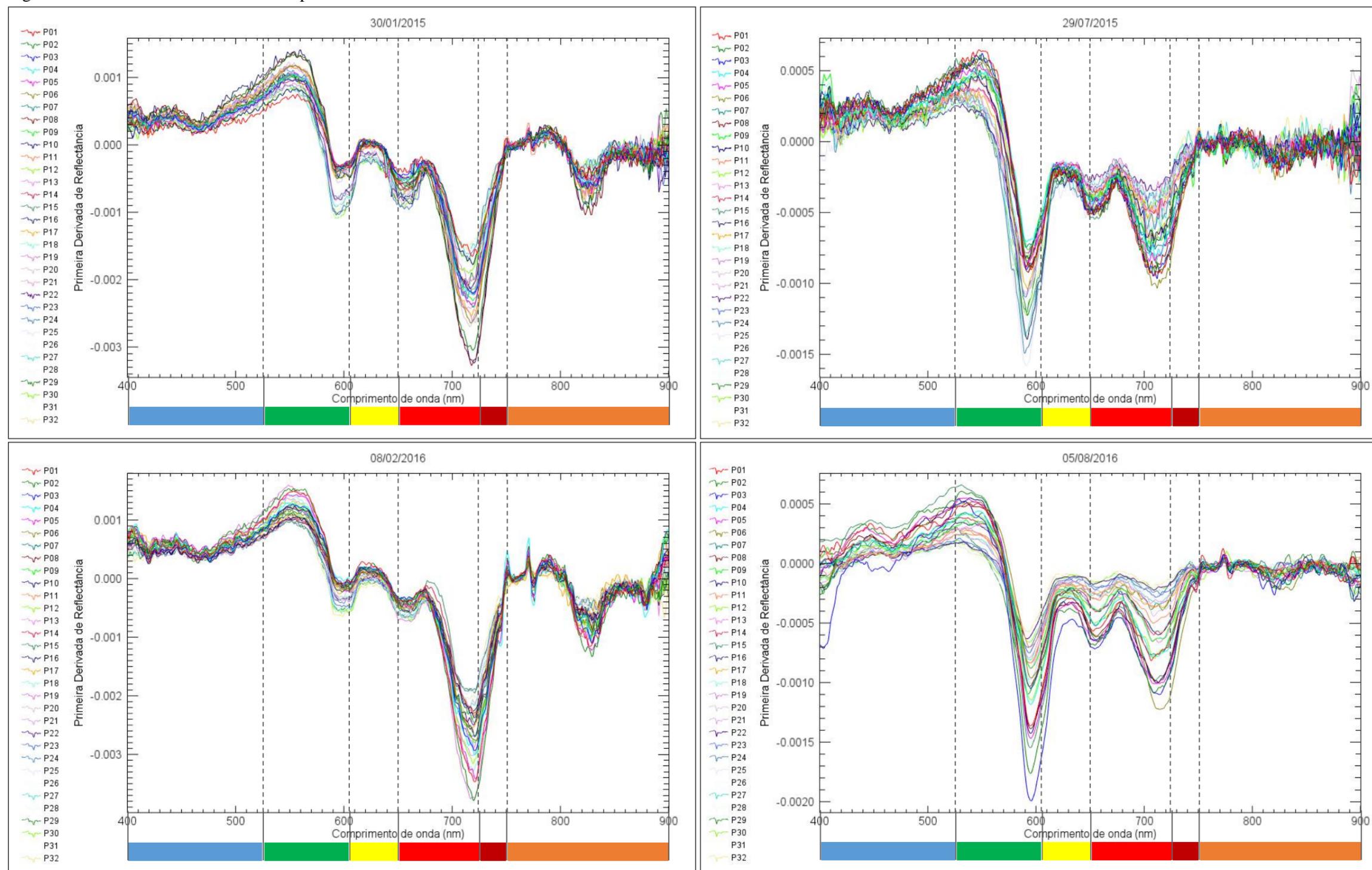
Assim, a aplicação das derivadas nos espectros de reflectância, durante as campanhas chuvosas, foram observados picos de reflectâncias de primeira derivada entre as faixas de 500 a 580 nm, localizadas no comprimento de onda do verde, permitindo correlacionar à ocorrência de pigmentos de clorofilas. Observações bastante evidentes nas feições com máxima exposição da derivada, encontradas por Corazza (2015) no Lago Guaíba e de Santos (2016), no reservatório Passo Real.

As derivadas observadas nas campanhas dos períodos secos, também apresentaram os seus resultados semelhantes nas faixas de absorção e espelhamento das reflectâncias. Mas, o espalhamento mais acentuado, foi observado nas faixas de reflectâncias de 520-560 nm. Considerando essa característica do comportamento das curvas de derivadas, associadas na literatura à presença do pigmento de ficoeretrina (DEKKER, 1993; RUDORFF, 2006).

As faixas de maior absorção nos meses considerados secos (Julho de 2015 e agosto de 2016) ocorreram nas faixas de 560-600 nm, 640-670 nm e de 675-750 nm, obtendo aprofundamento de banda, por conta da água se encontrar mais transparente. A faixa de absorção de 560-600 nm não foi tão evidente nos períodos chuvosos, pois ocorreram grande reflectância na faixa do verde, pela presença de sedimentos em suspensão, que mascararam a absorção de clorofilas.

Assim como verificado por Toniolo (2016), as análises nessa pesquisa permitiram constatar que as variáveis que são oriundas dos sedimentos inorgânicos de CSS e TURB são as variáveis que dominam a resposta espectral da água do reservatório Salto do Rio Verdinho.

Figura 4.39 – Primeira derivada dos espectros de reflectâncias



Organização: Própria Autora (2017).

Na tentativa de melhor explicar as relações das curvas de reflectâncias com as variáveis dos COAs, empregou-se as análises de correlações entre a primeira derivada espectral, com as variáveis limnológicas, identificando feições auxiliares que expliquem melhor os efeitos dos COAs nos comprimentos de ondas.

Assim, o quadro 4.7, demonstrou que todas as variáveis dos COAs foram correlacionadas significativamente com as faixas espectrais mais proeminente. E, as variáveis Turb e Secchi, foram as que obtiveram correlações mais expressivas, assim, como a CSS também proporcionou. Resultados contrários foram apontados por Cicerelli (2013) no reservatório de Nova Avanhandava-SP, no qual as variáveis de sedimentos em suspensão não se mostraram estatisticamente significativos, mas as de pigmentos totais, sim.

Quadro 4.7 - Correlações entre as variáveis dos COAs e a primeira derivada das reflectâncias dos comprimentos de ondas (CO)

| 30/01/2015 | | 29/07/2015 | | 08/02/2016 | | 05/08/2016 | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| CSS x 596 | 0,74 | CSS x 594 | 0,67 | CSS x 596 | 0,81 | CSS x 715 | -0,66 |
| Chl x 611 | -0,54 | Chl x 684 | 0,62 | Chl x 743 | 0,56 | Chl x 473 | -0,56 |
| Secchi x 588 | -0,82 | Secchi x 567 | -0,89 | Secchi x 593 | -0,78 | Secchi x 568 | -0,88 |
| Turb x 596 | 0,84 | Turb x 567 | 0,83 | Turb x 596 | 0,79 | Turb x 560 | 0,86 |

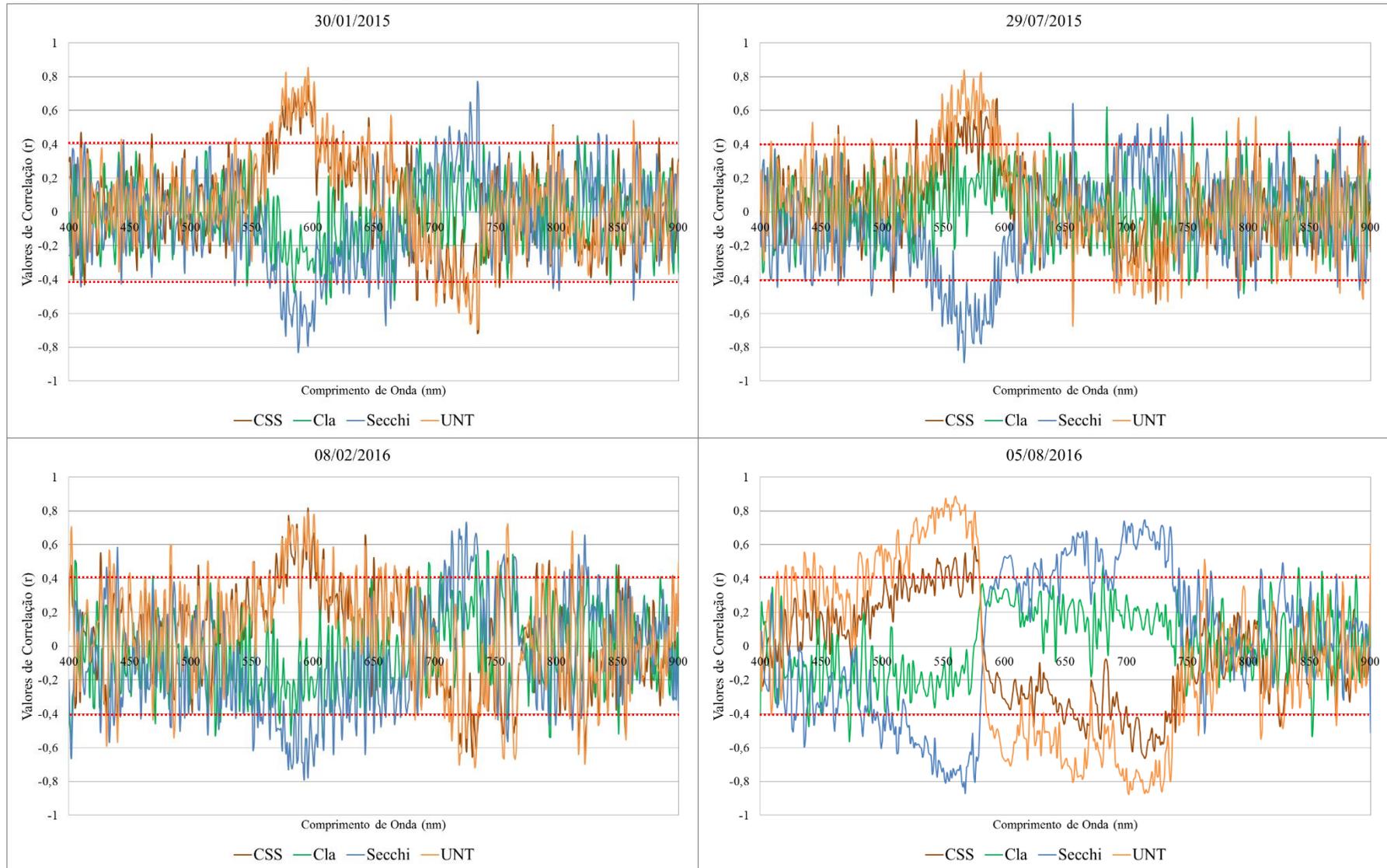
Obs.: Em negrito as correlações com significância de $\alpha < 0,05$ ou seja 95% de erro. Em vermelho destacam-se as correlações mais altas de cada campanha. Organização: Própria Autora (2017).

Os comprimentos de ondas com as correlações mais significativas para a variável clorofila foram em janeiro de 2015, no CO de 611 nm apresentando influência da ficocianina. Já em julho de 2015, no CO 684 nm e em fevereiro de 2016, no CO de 743 nm a presença da clorofila-a foi a maior interferência.

Desse modo, quando observados os correlogramas da figura 4.40, os resultados da primeira derivada, discriminaram feições pouco discerníveis no espectro original, indicando que os sedimentos presentes na água elevaram as correlações, principalmente durante as campanhas chuvosas, mascarando assim, a presença dos tipos de clorofilas. Mas ocorreram correlações das clorofilas, sobressaindo-se, mesmo que discretamente, durante os períodos secos, ficando mais evidente a inversão sofrida entre as variáveis CSS e Turb, com as variáveis Clorofila e Transparência, em todos os períodos analisados.

No período seco, foram identificadas as feições de absorção nos comprimentos de ondas de 600-750 nm pela primeira derivada, em virtude da água conter menos interferência de partículas inorgânicas.

Figura 4.40 - Correlogramas da primeira derivada das reflectências com as variáveis dos COAs



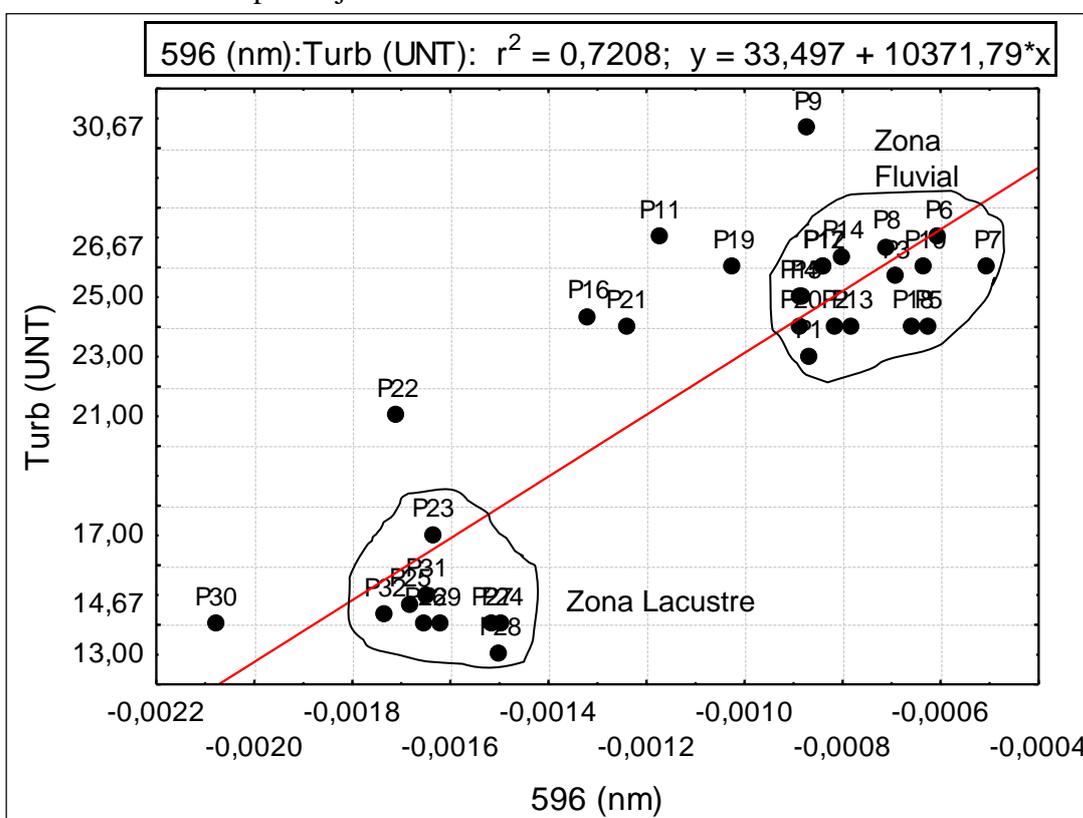
Organização: Própria Autora (2017). Obs.: Acima da linha vermelha pontilhada são as correlações significativas.

Como observado nos gráficos anteriores, a maioria das correlações foi significativa, permanecendo com significância de 95%, para a maior parte das faixas espectrais, o que está evidenciado que todas as variáveis, com correlações de $r > 0,4$ com a primeira derivada.

O melhor diagrama de dispersão (Figura 4.41), foram destacadas as correlações entre a faixa de 596 x Turb ($r^2 = 0,72$), de janeiro de 2015, sendo a mais representativa no modelo de regressão linear, pois possibilitou visualizar dois grupos que obtiveram destaque, um no início da reta linear com pontos a montante da barragem, anteriores ao ponto P15 (Zona fluvial), e outro grupo, depois do ponto P23 (Zona lacustre). Assim, foi observado que os maiores registros de Turb coincidiram com as menores variações da primeira derivada normalizada, enquanto as maiores variações de derivada coincidiram com valores mínimos de Turb.

Chen et al. (1992) detectaram primeiramente para as análises de derivada o máximo de $r^2 = 0,87$ entre CSS e a faixa de 670 nm em testes realizados em laboratório, para estimar várias concentrações de sedimentos, em amostras de águas adquiridas em vários lagos e rios, naquela época.

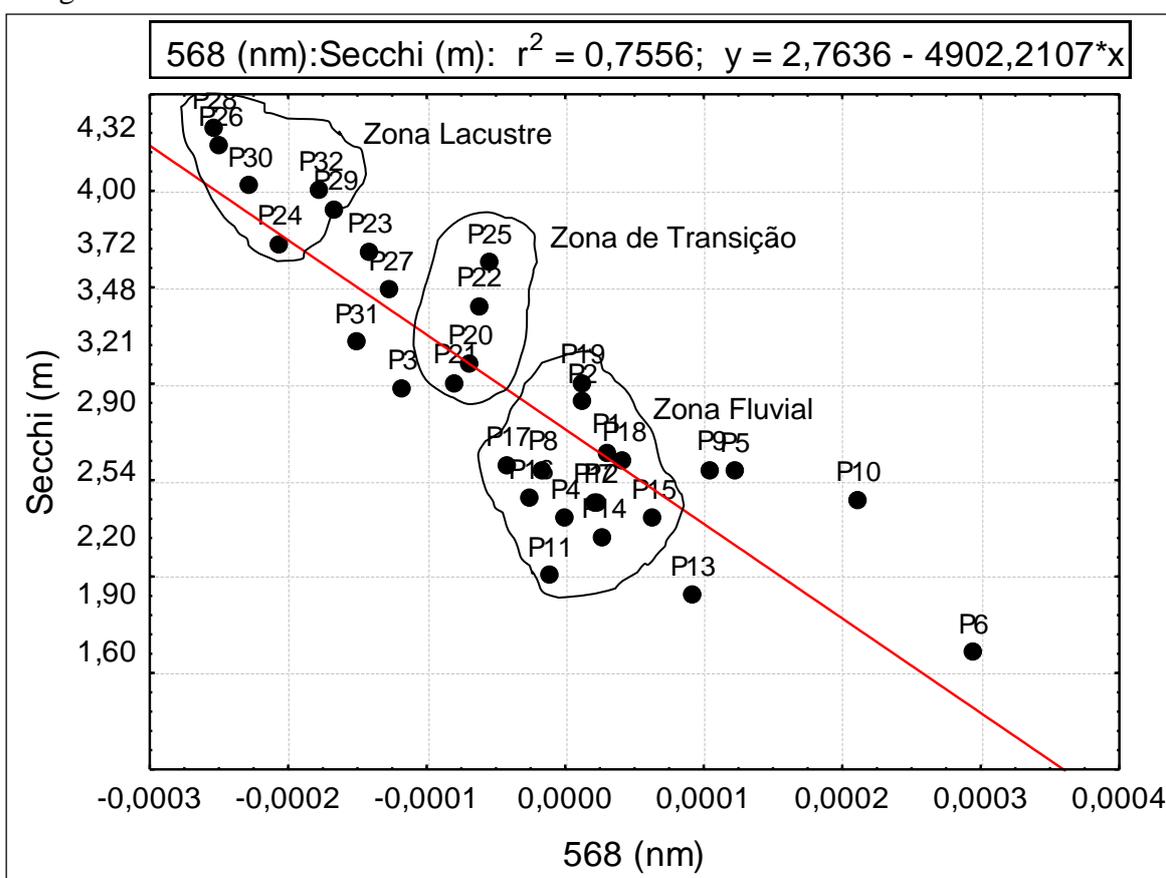
Figura 4.41 – Algoritmo de regressão linear da reflectância normalizada da faixa de 596 nm x Turb do campo de janeiro de 2015



Organização: Própria Autora (2017).

De acordo com a regressão da figura 4.42, outro diagrama proeminente, que representa bem a interferência dos sedimentos, foi a correlação entre a faixa de 568 nm e o Secchi. Isso porque, permitiu-se definir três grupos próximos, que se correlacionam as zonas de compartimentos aquáticos. A diferença observada indica que na ocorrência de profundidade de Secchi ocorre maior absorção, e não espalhamento das refletâncias encontradas no ambiente do reservatório de Salto do Rio Verdinho.

Figura 4.42 – Modelo de regressão linear da reflectância de 568 nm x Secchi do campo de agosto de 2016



Organização: Própria Autora (2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, a presente pesquisa atingiu o objetivo geral proposto, de “*compreender a dinâmica de uso e ocupação das terras da bacia do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho e sua relação com diferentes aspectos físico-ambientais, que geram influência sobre a qualidade das águas, a partir da mensuração de parâmetros limnológicos de constituintes inorgânicos e orgânicos*” consistindo que a avaliação evidenciou as variáveis limnológicas que são influenciadas pelo escoamento superficial que carrega os componentes que afetam a qualidade das águas, oriundo da bacia como um todo.

Assim, as hipóteses puderam ser testadas, pois algumas variáveis foram alteradas devido às dinâmicas externas ao reservatório, como dos usos da terras. E o uso das geotecnologias permitiu realizar mensurações da qualidade das águas com seus componentes de partículas inorgânicas e orgânicas presentes no reservatório, principalmente com a utilização de dados espectrais.

Considerações dos objetivos específicos

a) *Analisar os aspectos físicos da bacia, por meio de levantamento de dados físico-ambientais e de mapeamentos temáticos.*

Considerando os componentes da paisagem de geologia, solos, declividade, geomorfologia e remanescentes de vegetação natural, os produtos obtidos neste trabalho permitem a identificação de áreas com diversidades físicas que representaram bem a realidade da região. As áreas têm solos férteis, boa declividade e uma riqueza de recursos naturais que tem se intensificado em grande exploração nos últimos anos.

Em termos geológicos predomina na área de estudo a Formação Vale do Rio do Peixe em maior ocupação, onde a declividade dessa área se apresenta baixa com predominâncias de declividades na classe de 0-6%, com dissecação muito fraca.

As geounidades 3 e 4 ocorrem nas baixas altitudes, com altimetria entre 320 e 500 metros, com a presença de Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos-Amarelos, recobrando os litotipos de argilito arenoso e basalto. A área da geounidade 3, onde se localiza a Formação Vale do Rio do Peixe, tem maior ocupação (815,58km², 82%) e os elementos

A integração dos aspectos da paisagem natural com as geounidades possibilitou verificar os aspectos naturais da bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, pois os elementos que a integram, tem a presença da litologia de arenito, conglomerado e argilito, gerando a ocorrência de solos PVA e LV. E para melhor compreensão das categorias físicas a

observação do corte topográfico da Serra da Mombuca até a Serra Negra, foi uma boa alternativa de visualização da estratigrafia e da natureza dos sedimentos que a formaram, sendo de sedimentação da Era Mesozoica.

b) Compreender as concentrações e distribuições espaço-temporal das chuvas na bacia hidrográfica em estudo.

Conforme as espacializações das precipitações de chuvas para os períodos antecedentes aos trabalhos de campo, observa-se que o volume pluviométrico em janeiro de 2015, foi bem inferior ao chuvoso de fevereiro de 2016, indicando que foi um ano atípico, com relação à média de precipitação das normais climatológicas.

Os resultados ainda indicaram, que o reservatório apresentou comportamentos diferentes na qualidade das águas, conforme a sazonalidade das chuvas, e as variáveis mensuradas na qualidade das águas, apresentaram resultados coerentes com as alterações de acordo com os volumes de chuvas acumulados. Mas é preciso frisar que outras variáveis complementares, tanto químicas quanto biológicas podem melhorar o diagnóstico de qualidade das águas, em futuras pesquisas.

c) Realizar análise espaço-temporal a fim de compreender as alterações no uso da terra nos últimos 15 anos.

As áreas modificadas da paisagem da bacia, de acordo com as mudanças observadas no Uso da Terra de 2005 a 2015, ficaram a cargo da inserção das atividades agrícolas como da cana-de açúcar, que alterou áreas de pastagens. Mas, a predominância da maior classe de cobertura ainda é representada pela pastagem.

A construção do reservatório artificial possibilitou o acréscimo significativo de água represada, que inundou áreas de vegetação natural, como de matas ciliares. Assim, as áreas de APPs ainda não foram reflorestas na maior parte do entorno do reservatório, porque algumas margens não se encontravam protegidas durante as observações em campo, permitindo o acesso direto do gado no momento de dessedentação.

d) Avaliar a qualidade das águas do reservatório e realizar o enquadramento do corpo hídrico de acordo com as resoluções vigentes.

De maneira geral, sobre a análise da qualidade das águas, o reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto do Rio Verdinho possui parâmetros que indicam limites aceitáveis de acordo com a resolução vigente, para um diagnóstico de boa qualidade das águas, como dos

parâmetros de NaCl, OD, pH e TDS. Já os parâmetros de fósforo e nitrito com seus resultados elevados para o limite da classe 4, passam a deixar a água com péssima qualidade.

O nitrito e o fósforo identificaram valores muito elevados, que houve influência a partir do uso e ocupação da bacia como um todo, pois os usos de pastagens e agriculturas contribuíram desde a montante a jusante do reservatório, e os valores elevados foram detectados, principalmente durante o período chuvoso.

A qualidade das águas do reservatório indicou que para o uso da água necessita-se de tratamento mais eficiente que o simplificado e convencional, sendo o tratamento avançado, no caso da utilização para o abastecimento humano, pois os níveis de fósforo e nitrito estão muito acima do permitido para o consumo humano, e podem provocar aparecimento de doenças patogênicas. Assim, o reservatório está recebendo mais lançamento de efluentes de nitrito e fósforo, que provém de atividades agrícolas e pecuárias, deixando o corpo hídrico do reservatório na classe 4 com péssima qualidade, para o uso de irrigação, atividade de pesca, dessedentação animal e recreação de contato secundária, como está indicado segundo a legislação vigente.

As correlações das variáveis foram de suma importância, obtendo informações relevantes aos processos de estudos aquáticos. As variáveis apresentaram relação entre si, e foram comprovadas pela estatística da correlação Linear de Pearson. E os resultados mais significativos estatisticamente, ocorreram no período chuvoso, com algumas correlações acima de $r=0,90$, entre as variáveis CE, NaCl, RES, TDS e Temp. Já as variáveis que não apresentaram correlações significativas foram Al, Chl, NT e P, em todas as campanhas analisadas.

e) Verificar a existência de níveis de compartimentação do reservatório com apoio de técnicas de geoprocessamento e de hidrossedimentologia.

De maneira geral, do início do reservatório até a barragem a tendência dos valores da temperatura foi sempre aumentar, assim como da transparência da água obtida com disco de Secchi, porém os valores de CSS e turbidez tenderam a diminuir, por conta da água diminuir a velocidade de escoamento no transporte de sedimentos.

A dinâmica espaço-temporal com relação dos variáveis limnológicas dos COAs, foram satisfatórias nas espacializações, sendo coerentes com os períodos chuvosos e secos, onde a entrada de nutrientes de partículas orgânicas e inorgânicas, contribui com o aumento significativo dos resultados de algumas variáveis, nos períodos de maior contribuição pluviométrica.

Desse modo, contribuições de sedimentos, ocorreram, sobre influência dos principais afluentes, e do próprio rio Verde, com nutrientes oriundos das atividades agrícolas na bacia, mas, identificando compartimentos aquáticos tanto no período chuvoso quanto no período seco, devido ao processo de sedimentação sempre ocorrer independente das estações.

Entre os parâmetros analisados, que foram melhor representados na compartimentação aquática, foi a CSS, transparência de Secchi e Turbidez, fato relacionado a concentração de nutrientes inorgânicos de maior natureza no ambiente.

f) Analisar os dados espectrais e identificar os comprimentos de ondas mais relevantes em relação aos Componentes Óticamente Ativos (COAs) na água.

As correlações mais significativa entre os espectros de reflectâncias e os COAs, foram para as variáveis CSS e Turb, durante as campanhas chuvosas. Enquanto que, durante os períodos secos, foram para as variáveis Secchi e Turb.

Portanto, nas análises de interferências nas reflectâncias dos comprimentos de ondas, que mais sobressaiu nos correlogramas, tanto das reflectância brutas, quanto das derivadas, foram os parâmetros que são influenciados pela presença de partículas de origem sedimentar, a CSS, Secchi e Turb. Já variável Chl, apresentou baixas correlações com as reflectâncias, por conta dos valores baixos obtidos e, ficaram mascaradas no espalhamento das faixas espectrais. Porém, com a aplicação da primeira derivada a clorofila apresentou correlações significativas em algumas faixas, em que ocorre absorção por pigmentos como da ficocianina.

De acordo com todos os dados espectrais de campo e suas melhores correlações obtidas com os COAs, foram identificadas nas faixas espectrais acima 600 nm, nas faixas de 716 nm e 720 nm no mês de janeiro de 2015, enquanto que em fevereiro de 2016, as melhores correlações foram com as faixas de 647 nm, 697 nm e 704 nm, identificadas no comprimento de onda de cor vermelha, e os melhores ajustes foram das variáveis CSS, Transparência e Turbidez.

Assim, as técnicas adotadas para as análises dos espectros de feições originais como da aplicação de remoção do contínuo e da primeira derivada foram importantes, pois apresentara as feições quanto ao realce e absorção dos comprimentos de ondas mais proeminentes. E a contribuição dessas análises possibilitaram identificação das relações entre os dados radiométricos e as variáveis limnológicas dos COAs.

Desse modo, as técnicas empregadas nos dados radiométricos de campo permitiram compreender melhor as feições espectrais originais e foram satisfatórias para esta pesquisa,

mas sugere-se relacionar esses dados, bem como os limnológicos com dados de imagens de satélites para aprofundamentos maiores em outras pesquisas.

Algumas recomendações

Dentre as recomendações para uma sustentação de qualidade das águas, estão atividades de fiscalização das práticas incorretas, principalmente nos locais de dessedentação animal, em ambientes de prováveis contaminações da água provinda da agricultura ou de fontes de efluentes, nos locais de solos frágeis com erosões e voçorocas, e onde ocorre o avanço dos desmatamentos.

Assim, os manejos adequados dos usos e ocupações das terras na bacia hidrográfica, são ações essenciais para recuperação e, posteriormente uma manutenção da qualidade das águas do reservatório.

Indicam-se para estudos futuros, a utilização de técnicas de principais componentes (PC), aplicadas nas imagens multiespectrais, principalmente, porque são ferramentas importantes para a pesquisa de comportamento espectral da água, com correlações espectrais dos COAs e as similaridades dos pixels.

Outra necessidade indicada, para um futuro monitoramento no ambiente do reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho é a análise de outras variáveis ambientais mais restritivas de qualidade das águas, com outros parâmetros biológicos, de frações orgânicas dos tipos de nitrogênios, de microrganismos com coliformes termotolerantes, de carbono orgânico dissolvido (COD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

A análise por meio de imagens multiespectrais podem ser melhores apresentadas em futuras pesquisas, podendo ser empregados outros modelos de análises espectrais das águas como, do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), onde promove realce das informações de cada pixel com a mistura dos componentes presentes na água.

Todas as recomendações apresentadas, visam cobrir lacunas existentes em pesquisas ambientais e de monitoramento no âmbito de bacias hidrográficas, e devem ser observadas para prevenções e garantias de boa qualidade da água, e para compensações dos usos empregados incorretamente aos sistemas hídricos.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo, Ateliê Editorial, 2003.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento**. ABNT, 1987a.
- _____. **NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento**. ABNT, 1987b.
- AGRÍCOLA, Josie Melissa Acelo. **Cerrado, energia e sustentabilidade**. Goiânia Ed. da PUC Goiás, 2012.
- ALCÂNTARA, E. H.; NOVO, E. M. L. M.; STECH, J. L. **Novas Tecnologias para o monitoramento e estudo de reservatórios hidrelétricos e grandes lados**. Rio de Janeiro: Parentêse, 2011.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2014**. Brasília: ANA, 2014.
- ANA; SPR, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Plano de ação de recursos hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Claro, Verde, Correntes e Apuré ou afluentes Goianos do baixo Paranaíba**. CBH Paranaíba, 2013.
- _____. **Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. ANA, 2017. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: 16 jun. 2017.
- _____. **Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba: resumo executivo**. Brasília: ANA, 2013.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório anual 2010**. São Paulo, 2010.
- APHA, American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Eaton, A. d.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Ed.), 20th ed. Washington, D.C.: [s.n.], 2005.
- ARAUJO, T. D. FONSECA, E. L. Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando sensoriamento remoto orbital. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 09 N. 01, 2016, p. 280-295. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1456/915>> Acesso em: 10 dez. 2016.
- ASD, Analytical Spectral Devices, Inc.. **FieldSpec® HandHeld 2™ Spectroradiometer User's Manual**. ASD Inc., 2010, 140p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p.138-144.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas**. 282f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – São Jose dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2005.

BARRETT, D. C.; FRAZIER, A. E. Automated Method for Monitoring Water Quality Using Landsat Imagery. **Water**, v.8, 257, p. 1-14, 2016. Disponível em: <doi:10.3390/w8060257> Acesso em: 14 jan. 2018.

BAUGHMAN, A. C.; JONES, B. M.; BARTZ, K. K.; YOUNG, D. B.; ZIMMERMAN, C. E. Reconstructing Turbidity in a Glacially Influenced Lake Using the Landsat TM and ETM+ Surface Reflectance Climate Data Record Archive, Lake Clark, Alaska. **Remote Sensing**, v. 7, p.13692-13710, 2015. Disponível em:<doi:10.3390/rs71013692> Acesso em: 12 jan. 2018.

BATTISTI, I. D. E.; BATTISTI, G. **Métodos estatísticos**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2008, 80 p.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI E EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no Bioma Cerrado. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version**, Curitiba, v. 21, n4, p. 813, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400047> Acesso em: 23 nov. 2016.

BONANSEA, M.; RODRIGUEZ, M. C.; PINOTTI, L.; FERRERO, S. Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). **Remote Sensing of Environment**, March, Vol.158, p.28-41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.032> Acesso em: 23 ago. 2017.

BORGES, P. P et al. Relative influence of direct and indirect environmental effects on sestonic chlorophyll-a concentration in Cerrado streams. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v 27 n.3, p. 301-310, 2015.

_____, MARTINS, P. T. A., FERREIRA, A. A. Uso e ocupação do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 09 N. 01, 2016, p. 296-304. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1496/916> Acesso em: 10 dez. 2016.

BOSCHI, L. S. **Espacialização e quantificação volumétrica de plantas aquáticas submersas, a partir da integração de dados obtidos por sensores remotos**. 164f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, 2011.

BRAGA. C. C. **Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão nos afluentes e reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros - GO**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia- Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí, 2012.

_____. **Análise espaço-temporal dos processos hidrossedimentológicos e sedimentação no reservatório da UHE Caçu**. 155f. Tese (Doutorado em Geografia)

Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

BRAGA, et al. A reforma institucional do setor de recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A. C. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

BRASIL. **Código Florestal**: Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acesso em: 22 jun. 2016.

_____. **Lei das Águas**: Institui a Política de Nacional de Recursos Hídricos, e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH Lei N. 9433 de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM> Acesso em: 14 jun. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 303 de 20 de março de 2002**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>> Acesso em: 10 mar. 2015.

_____. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 20 mar. 2014.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas**. São Carlos, CETESB / Ed. E. Blucher, 1977. 185p.

BREUNIG, F. M.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; RUDORFF, C. M. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva - Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo em imagens orbitais multiespectrais. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinar Journal of applied science**. v 2, n2, p. 88-102,2007.

CABRAL, J. B. P. **Análise da sedimentação e aplicação de métodos de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada GO/MG**. 194f. Tese (Doutorado em Geologia, Área de Concentração Geologia Ambiental) UFPR - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra: Curitiba – PR, 2006.

_____, ROCHA, I. R., MARTINS, A. P., da ASSUNÇÃO, H. F. e BECEGATO, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. **GeoFocus (Artículos)**, n° 11, 2011, p. 51-69. Disponível em: <http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo3_2011.pdf> Acesso em: 08 ago. 2015.

_____.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da transparência da água em corpos lânticos a partir de dados espectrais. In: BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. de G. **A questão ambiental em debate: pesquisas e práticas**. 2 ed. Tupã-SP: ANAP, 2018, p.165-178.

_____.; WACHHOLZ, F.; BECEGATO, V. A.; NASCIMENTO, E. S. Diagnóstico Hidrossedimentológico do Reservatório da UHE Caçu - GO. **Geofocus (Madrid)**, v. 13, p. 25-

37, 2013. Disponível em: <http://geofocus.rediris.es/2013/Informe2_2013_1.pdf>. Acesso em: 24 out. 2015.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, jan./mar, p.40-55, 2014. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/actageo/article/view/1384/0>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v., 22, p. 361-380, 1977.

CARNEIRO, F. M. **Análise do estudo de impacto ambiental e da qualidade da água - o caso Açude Atalho - Brejo Santo, Ceará**. 198f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e meio ambiente) - Universidade Federal do Ceará/ Campus do PICI, Fortaleza-CE. 2002.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; APARECIDA SILVA, A.; BORGES, V. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no Estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 30, p. 171-191, 2010.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: 2006. São Paulo: CETESB, 2007.

CHEN, Z.; CURRAN, P. J.; HANSOM, J. D. Derivative Reflectance Spectroscopy to Estimate Suspended Sediment Concentration. **Remote Sens. Environ**, New York, N. 40 p. 67-77, 1992.

CHENG, C.; WEI, Y.; XU, J.; YUAN, Z. O. Remote sensing estimation of Chlorophyll a and suspended sediment concentration in turbid water based on spectral separation. **International Journal for Light and Electron Optics**, December, Vol.124 (24), p.6815-6819, 2013.

CICERELLI, R. E. **Estudo da ocorrência de cianobactérias no reservatório de Nova Avanhandava-SP por meio da inferência do pigmento ficocianina**. 174 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: UNESP, 2013.

CLARK, R. N.; ROUSH, T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis. **B7**, p. 6329-6340, July 10, 1984.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima**: Caçu. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43422/>> Acesso em: 15ago. 2017.

_____. **Clima**: Itarumã. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/312816/>> Acesso em: 15ago. 2017.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement, New York**, v. 20, n. 1, 1960, p. 37-46.

CONSILIU, Meio Ambiente e Projetos. Plano ambiental de conservação e uso do entorno do reservatório artificial (PACUERA) – UHE Salto do Rio Verdinho. Volume 2: **Zoneamento**. Jun., 2009.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca-RS**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

_____. **Identificação de florações de algas no Lago Guaíba com o uso de imagens de satélite e espectrorradiometria de campo**. 226 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geografia, Porto Alegre-RS, 2015.

COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, nº1, v.1, p.17-23, 1978.

_____. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasileira**, nº20, v.1, p.1-11, 2006.

DEKKER, A.G. **Detection of Optical Water Quality Parameters for Eutrophic Waters by High Resolution Remote Sensing**. Amsterdam: University of Amsterdam, 1993.

DOMINGUES, M. S.; BERMAN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo Vol. XV, Nº. 2, mai.-ago., 2012, p. 1 -22. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v15n2/02.pdf>> Acesso em: 10 out. 2015.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Cerrados: História**. 2015. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/unidade/historia/>> Acesso em: 20 out. 2015.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

_____. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do rio Paranã, Estado de Goiás**. Rio de Janeiro, 1983. 503p

ENNES, R.; GALO, M. L. B. T.; TACHIBANA, V. M. Caracterização Espectral da Água Do Reservatório De Itupararanga, SP, a partir de Imagens Hiperespectrais Hyperion e Análise Derivativa. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 16, p. 86-104, 2010.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

FACCO, D. S.; BENEDETTI, A. C. A evolução temporal do uso e ocupação da terra em municípios da Quarta Colônia de Imigração Italiana – RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria v.38 n.3, 2016, p. 1254 – 1264. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a08.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2015.

FERREIRA, M. E.; ANJOS, A. F.; FERREIRA, L. G.; BUSTAMANTE, M. M. C.; FERNANDES, G. W.; MACHADO, R. B. Cerrado: fim da história ou uma nova história? **Ciência Hoje**, v. 56, p. 24-29, 2016. Disponível em: <<http://34.213.240.202/revistas/ch/334/index.html>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

FERNANDES, L. A. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

_____.; COIMBRA, A. M. O. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (NEOCRETACEO). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.30, n.4, 2000, p.717-728. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Tres_Morrinhos_Terra_Rica_PR_2000_Fernandes_Coimbra_RB.G.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2017.

FIGUEIREDO FILHO, D. B., ROCHA E. C., SILVA J.R. J., PARANHOS R., NEVES J. A. B., SILVA, M.B. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Perarson. In: **Leviathan Cadernos de Pesquisa Política**, nº8, p.66-95,2014.

FONSECA, G. A. B. **Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: o Caso da Usina Hidrelétrica de São Simão - GO/MG**. 129f.Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE Programa de Planejamento Energético, 2010.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.

GAIDA, W., PEREIRA FILHO, W.; WACHHOLZ, F.; KONRAD, C. G. Dinâmica da vegetação e uso da terra com uso do NDVI na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. **Geo UERJ**, v. 2, n. 24, p. 684-698, 2012. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/4824>> Acesso em: 23 nov. 2016.

GALVAO, L. S. Espectros e Imagens. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: ed. UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, p. 251-262.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. de A. Conservation polices and control of habitat fragmentation the Brazilian Cerrado biome. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo Vol. XVI, Nº. 3 jul.-set., 2013, p. 99-118. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v16n3/v16n3a07.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2015.

GERALDES, A. M.; GEORGE, C. Limnological variations of a deep reservoir in periods with distinct rainfall patterns. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 2012, vol. 24, no. 4, p. 417-426

GERARDI, L. H. O; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981.

GONS, H. J.; OTTEN, J.; RIJKEBOER, M. The significance of wind resuspension for the predominance of filamentous cyanobacteria in a shallow, eutrophic lake; Mem. 1st. **Hal. Idrobiol.** 48: p. 233-249, 1991.

GONZÁLEZ-MÁRQUEZ, L. C.; TORRES-BEJARANO, F. M.; TORREGROZA-ESPINOSA, A. C.; HANSEN-RODRÍGUEZ, I. R.; RODRÍGUEZ-GALLEGOS, H. B. Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia. **Journal of South American Earth Sciences**, March, Vol.82, p.231-238, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.01.004>> Acesso em: 12 jan. 2018.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Questão ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.191-218.

HAN, L.; RUNDQUIST, D. C. Comparison of NIR/RED Ratio and First Derivative of Reflectance in Estimating Algal-Chlorophyll Concentration: A Case Study in a Turbid Reservoir. **Remote Sens. Environ** v. 62, p.253-261, 1997.

HASSUI, Y. et.al. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geologia**. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/geologia.html>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. – Manuais Técnicos em Geociências, nº. 7 - 3ª ed. Rio de Janeiro: RJ, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, IBGE, 2013.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências, nº. 1 - 2ª ed. Rio de Janeiro: RJ, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, IBGE, 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2º Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 604p.

KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada à Economia e Administração**. São Paulo: Editora Makron books Ltda., 1982.

KIMMEL, B. L. GROEGER, A. W. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs: A perspective. In: **Lake and Reservoir Management**. Report EPA-440/5-84-001, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1984, p.277-281.

_____.; LIND; O. T.; PAULSON, J. L. Reservoir Primary Production. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnology**: Ecological Perspectives. New York: John Wiley and sons, 1990. p. 133-173.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

KLECKA, W. R. **Discriminant analysis**. Beverly Hills: SAGE, 1980. 71 p.

KLEPPER, O.; VERMIJ, S.G.; LINGEMAN, R. The influence of light scattering on vertical extinction in Lake Maarsseveen; Verh. **Int. Ver. Limnol.**, v.22, p 82-86, 1984.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 2000, 20 p. Disponível em<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

LANDIS, J. R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LAPIG, Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. **Plataforma online de Mapa Interativo**. 2017. Disponível em: <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 238f. Tese (Doutorado em Ecologia) –Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

LIMA, A. M. **Relação clima e vegetação na área das bacias das usinas hidrelétricas de Barra dos Coqueiros e Caçu-GO**. 89f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPG-GEO Stricto Sensu da Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí/CAJ-UFG. GO, Jataí, 2013. Disponível em: <http://posgeo.jatai.ufg.br/uploads/180/original_Disserta%C3%A7%C3%A3o_Andreia_Medeiros_de_Lima.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2015.

_____.; MARIANO, Z. F. Análise microclimática no interior e fora das florestas estacionais semidecíduais na área da bacia da usina hidrelétrica de Caçu - GO. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume 27, p. 67-87, 2014.

MACKINNEY, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. *The Journal Biological Chemistry*, v. 140, p. 315–322, 1941.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. 189f. Campinas. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 2005.

MANZO, C.; BRAGAB, F.; ZAGGIAB, L.; BRANDOD, V. E.; GIARDINOC, C.; BRESCIANIC, M.; BASSANIC, C. Spatio-temporal analysis of prodelta dynamics by means of new satellite generation: the case of Po river by Landsat-8 data. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation**, v. 66, p.210–225, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.11.012>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

MARENT, B. R.; PORTILHO, S. Unidades de paisagem na bacia hidrográfica do Ribeirão Preto, Serra do Gandarela-MG. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 1, p. 138-155, abril. 2017. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/116477>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

MARÉS MIKOSIK, A. P.; MARANGON, F. H. S; SILVA, J. P.; PAULA, E. V. Confecção e Análise do Perfil Geoecológico da Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...**, Viçosa, 2009, 10p. Disponível em: <http://www.labs.ufpr.br/site/wp-content/uploads/2014/07/mikosik_anaisdecongressos_sbgfa_2009.pdf> Acesso em: 02 ago. 2017.

MARIANO, Z. F.; SANTOS, M. J. Z.; SCOPEL, I. Variabilidade e tendência climática da região do Sudoeste de Goiás e sua relação com a cultura da soja. In: Seminário de Pós-Graduação em geografia da UNESP, **Anais...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2003, v. 1, p. 596-616.

MAY, G. C.; REIS, J. T. Análise das alterações do uso e cobertura do solo no município de Centenário-RS com o auxílio do Sensoriamento Remoto, no período de 1995-2014. *Ciência e*

Natura, Santa Maria v.38 n.3, 2016, p. 1228 – 1237. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a08.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2015.

MEZZOMO, M. D. M. Caracterização Geocológica do trecho superior da bacia hidrográfica do rio Mourão-PR: subsídio ao Planejamento da Paisagem. **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 5, p. 18-38, 2013. Disponível em:

<<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/viewFile/19886/11586>>. Acesso em: 10 set. 2017.

MILTON, E. J. Principles of Field Spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 12, p.1807-1827, 1987.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 18mar. 2015.

MONTGOMERY, G.; SCHUCH, C. **Gis Data Conversion Handbook**. Fort Collins: Gis Word Books. 1993.

MORAGAS, W. M. **Análise dos sistemas ambientais do alto rio Claro – Sudoeste de Goiás**: contribuição ao planejamento e gestão. 226 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. SP - Rio Claro, 2005.

MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. de; LACERDA FILHO, J. V. de; COSTA, H. F. da. **Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2009.

MUTANGA, O. et al. Estimating tropical pasture quality at canopy level using band depth analysis with continuum removal in the visible domain. **International Journal of RemoteSensing**. v. 26, n. 6, p. 1093–1108, 2005.

NASCIMENTO, I. S. et al. Avaliação da Exatidão dos Classificadores MAXVER e ISO Cluster do Software Arcgis for Desktop com Uso de Imagem Landsat 8 do Município de Cáceres/MT. **Revista Continentes (UFRRJ)**, n. 8, p. 48-62, 2016. Disponível em: <<http://www.tiagomarino.com/continentes/index.php/continentes/article/view/95/90>> Acesso em: 16 jun. 2018.

NERY, C. V. M.; OLIVEIRA, D. B.; ABREU, L. H. G. Estudo comparativo entre os índices NDVI obtidos a partir dos sensores Landsat 5 - TM e Resourcesat - Liss III. **Caminhos de Geografia-Uberlândia**, v. 14, n. 46 Jun. p.160-167, 2013.

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B. P.; OLIVEIRA, S. F.; ROCHA, I. R. Eutrofização No Reservatório da UHE Foz do Rio Claro (GO). **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 30, 2015, p. 19-33

NOVO, E. M. L. de M. Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P. R., MADEIRANETTO, J. da S. (Orgs.). **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001, p. 203-221.

_____. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010, 387p.

_____.; HANSOM, J.; CURRAN, P. J.. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, Inglaterra, v. 10, n.8, p. 1357-1372, 1986.

_____. Ambientes Fluviais. In: Teresa G. Florenzano. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, v. 1, p. 219-236.

_____.; BRAGA, C. Z. F.; TUNDISI, J. G. Remote Sensing Estimation of total chlorophyll pigments distribution in Barra Bonita Reservoir. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. (Org.). **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**. 1ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers Group, 1993, v. 1, p. 1-304.

OLIVEIRA, I. J. Chapadões Descerrados: Relações Entre Vegetação, Relevo e Uso das Terras em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 311-336, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/31734/17010>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

PEREIRA, A. C. F.; GALO, M. L. B. T.; VELINI, E. D. Inferência da transparência da água - reservatório de Ituparanga/SP, a partir de imagens multiespectrais Ikonos e espectrorradiometria de campo. **Revista Brasileira de Cartografia(Online)**, v. 63, p. 179-190, 2011.

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, região Sul do Brasil. In: SIMPOSIOLATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 8, 1997, Mérida, **Anais...**, Mérida: Selper, 1997.

_____.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M. Influência das condições do tempo em espectros de reflectância da água. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 415-422.

_____.; BARBIERI, D. W.; WACHHOLZ, F.; CORAZZA, R.; TRENTIN, A. B.; DOMINGUES, A. L. Relação entre clorofila a com perfil espectral e imagem de satélite no reservatório Passo Real - RS. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. v. 1. p. 1533-1540.

POMPÊO, M. L. M. **Perspectivas da limnologia no Brasil**. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999.191 p.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 22 Goiânia**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983, 764p.

PRZYTULSKA, A.; COMTE, J.; CREVECOEUR, S.; LOVEJOY, C.; LAURION, I.; VINCENT, W. Phototrophic pigment diversity and picophytoplankton in permafrost thaw lakes. **Biogeosciences**, Vol.13 n.1, p.13-26, 2016. Disponível em: <<https://www.biogeosciences.net/13/13/2016/>> Acesso em: 12 ago. 2017.

PREISENDOFER, R. W. Secchi disk science: visual optics of natural waters. **Limnology and Oceanography**, v 31, n5, p.909-926, 1986.

QUEIROZ JUNIOR, V. S.; MARTINS, A. P.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) associado à quantidade de concentração de sólidos em suspensão (CSS) na bacia hidrográfica da UHE de Caçu, Goiás. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Porto Alegre. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**, Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-8.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Org.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

ROCHA, H. M. **Análise espaço-temporal das águas dos afluentes e reservatório da UHE Barra dos Coqueiros em Goiás**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí, 2012.

_____.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.131-142, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p131-142>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

ROCHA, I. R. **Avaliação das águas do reservatório da UHE Caçu (GO)**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2014.

_____.; CABRAL, J. B. P. Alterações no Uso da Terra da Bacia Hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, Goiás, Brasil. **Revista Ciência & Natura**, v. 39, Edição Especial PROCAD/CAPES, p.142-153, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/27432>> Acesso em: 02 dez. 2017.

_____.; CABRAL, J. B. P.; NOGUEIRA, P. F.; BARCELOS, A. A. de.. Avaliação Sazonal das Águas do Reservatório da Usina Hidrelétrica Caçu no Município de Caçu, Goiás. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Vol. 29, 2015, p. 137-160. Disponível em:<<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/102093>> Acesso em: 22 jan. 2016.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5ª ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222p.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para a geografia: um guia para o estudante**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 348 p.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74, 1994.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrorradiômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.** 2005, 138 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

_____. et. al. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica**, V. 37, n. 2, p. 269 – 280, 2007.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluation de eutrofication en lagos calidos tropicales.** CEPIS, 1990.

SANO, E. E. et al. **Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Org.). **Cerrado Ecologia e Flora.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva** - Manual de Auto-aprendizagem, Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

SANTOS, D. A. R. et al. Aplicação de Geotecnologias para a elaboração do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA) da UHE Salto do Rio Verdinho/Goiás. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. p. 6548-6555.

SANTOS, F. C. **Potencial de utilização do sensoriamento remoto para monitoramento da água do Reservatório Passo Real.** 92f. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2016.

SCOPEL, I. **A formação de areais e seu controle na região de Jataí e Serranópolis (GO).** Jataí – GO: PROINPE/SECTEC, 2005.

SIEG. Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas de Goiás. **SIEG Mapas.** Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M. Planejamento e Zoneamento de Bacias Hidrográficas: A Geocologia das Paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. Especial, p. 4-17, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/116477>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

SILVA, J. S., SILVA, R. M., SILVA, A. M. Mudanças do uso e ocupação do solo e degradação eco-ambiental usando imagens orbitais: o estudo de caso da bacia do rio Bacanga, São Luís (MA). **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 09 N. 01, 2016, p. 265-279. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1291/914>> Acesso em: 10 dez. 2016.

SILVA, R. R. **Bacia do rio Pomba (MG): uso e ocupação do solo e impactos ambientais nos recursos hídricos**. 135f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás (UFG) - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, 2014.

SOARES, M. C. E.; CAMPOS, S.; CAVASINI, R.; GRANATO, M. e SILVA, M. G. da. **Avaliação da exatidão de mapa de uso do solo através do índice Kappa**. São José do Rio Preto, FAPESP, 2009.

SOUSA, M. S.; SCOPEL, I.; PEIXINHO, D. M.; CARVALHO, N. R. Compartimentação geomorfológica do Sudoeste de Goiás e relação com a situação de areais. In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, **Anais...**, Goiânia, 2006, 11p. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/595.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2016.

STEFFEN, C. A., MORAES, E. C., GAMA, F. F. Tutorial radiometria óptica espectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 1996. Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

TANGERINO, D. F.; LOURENÇO, R. T. Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice kappa na micro bacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 4093, 2013.

THEMAG, Energia e gerenciamento LTDA; CTE, Centro tecnológico de engenharia LTDA. **Relatório de Impacto Ambiental da UHE Salto do Rio Verdinho**. THEMAG e CTE, 2002.

TONIOLO, G. R. **Identificação de Constituintes Ópticamente Ativos na água do Lago Guaíba, a partir de dados de sensores orbitais e espectrorradiometria de campo**. 104f. (Dissertação) Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_GustavoToniolo.pdf> Acesso em: 16 jun. 2018.

TRENTIN, A. B. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – RS**. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TSAI F., PHILPOT W. Derivative Analyses of Hyperspectral Data. **Remote sensing Environment**, St. Paul, v. 66, p. 41–51, 1998.

TUNDISI, J.G; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

USGS, Science for a changing world. **EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 17fev. 2016.

_____. Science for a changing world. **Landsat Missions: Landsat 8**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>> Acesso em: 02 jul. 2017.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. 1ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 576p.

_____. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2ª Ed. - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

WACHHOLZ, F. Alterações espectrais nas imagens de satélite nos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas Caçu e Barra dos Coqueiros - GO. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 1170-1179, 2012.

_____. **Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí-RS**. 2011. 197 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista - Unesp de Rio Claro, Rio Claro, 2011.

_____.; ROCHA, I. R.; CABRAL, J. B. P. Estudo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) como Subsídio à Criação de um Parque Florestal no Sudoeste de Goiás. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória. XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens. **Anais...**, Vitória, 2013. v. 1. p. 835-844.

_____.; CABRAL, J. B. P. Impacto das Usinas Hidrelétricas a modo de fio d'água no rio Claro na transparência da água, com o uso de dados espectrais de imagens Landsat TM5. In: Symposium SELPER, 15, 2012, Caiena. **Anais...** Caiena: PROCEEDINGS SELPER, p. 1-8, 2012.

WANG, F., ZHOU, B., LIU, X. Remote-sensing inversion model of surface water suspended sediment concentration based on in situ measured spectrum in Hangzhou Bay, China. **Environmental Earth Sciences**, November 2012, Volume 67, Issue 6, p. 1669–1677.

WEAVER, E. C.; WRIGLEY, R. **Factors affecting the identification of phytoplankton groups by means of remote sensing**. NASA Technical Memorandum 108799, 1994.

WAIBEL, L. A vegetação e o uso da terra no Planalto Central (Trad. Vegetation und Landnutzung auf dem Planalto Central. In: PFEIFER; KOHLHEPP, 1984, p.9-32). **Revista Brasileira de Geografia**, nº10, v.3, p. 335-380, 1984.

WETZEL, R. G; LIKENS, G. E. **Limnological analisys**. 3ed. New York. Springer Verlag. 429p. 2000.

WRUBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A. Caracterização do uso e ocupação do solo e qualidade da água com utilização de técnicas de geoprocessamento. In: POLETO, C. **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014, p.179-218.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de TEXTOS, 2013, 215p.

YANG Y.; LI, Y.; WANG, Q.; WANG, Y.; JIN, X.; YIN, B.; ZHANG, H. Retrieval of chlorophyll a concentration by threeband model in Lake Chaohu. **Journal of Lake Science**, v. 22

n.4, p. 495-503, 2010. Disponível em: <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-FLKX201004007.htm>. Acesso em: 12 mar. 2018.

YEPEZ, S.; LARAQUE, A.; MARTINEZ, J. M.; DE SA, J.; CARRERA, J. M.; CASTELLANOS, B.; GALLAY, M.; LOPEZ, J. L. Retrieval of suspended sediment concentrations using Landsat-8 OLI satellite images in the Orinoco River (Venezuela). **Comptes rendus - Geoscience**, January-February, Vol. 350, n.1-2, p.20-30, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.08.004>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

ZHANG, Y.; ZHOU, Y.; SHI, K.; QIN, B.; YAO, X.; ZHANG, Y. Optical properties and composition changes in chromophoric dissolved organic matter along trophic gradients: Implications for monitoring and assessing lake eutrophication. **Water Research**, March, Vol.131, n.15, p.255-263, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.051>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

ZHANG, D.; LAVENDER, S.; MULLER, J.-P.; WALTON, D.; KARLSON, B.; KRONSELL, J. Determination of phytoplankton abundances (Chlorophyll-a) in the optically complex inland water - The Baltic Sea. **Science of the Total Environment**, December, Vol.601-602, p.1060-1074, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.245>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabelas de matrizes de confusão referentes as classificações dos usos e ocupações das terras, no bacia hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho

Tabela 7.1 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2005.

| Classes | (Águas Continentais) | (Culturas Temporárias) | (Pastagens) | (Vegetação Natural) | Soma das linhas |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| (Águas Continentais) | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| (Culturas Temporárias) | 0 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| (Pastagens) | 0 | 0 | 60 | 2 | 62 |
| (Vegetação Natural) | 0 | 2 | 3 | 36 | 41 |
| Soma das colunas | 6 | 9 | 63 | 38 | 116 |
| Somatório da diagonal | 109 | | | | |
| Número de amostras | 116 | | | | |
| Soma do produto da soma entre colunas e linhas | 5563 | | | | |
| Kappa | 0,90 | | | | |
| Kappa em % | 89,71 | | | | |

Organização: Própria Autora (2017).

Tabela 7.2 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2010.

| Classes | (Águas Continentais) | (Culturas Temporárias) | (Pastagens) | (Vegetação Natural) | Soma das linhas |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| (Águas Continentais) | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| (Culturas Temporárias) | 0 | 26 | 2 | 0 | 28 |
| (Pastagens) | 0 | 2 | 54 | 2 | 58 |
| (Vegetação Natural) | 0 | 1 | 1 | 37 | 39 |
| Soma das colunas | 16 | 29 | 57 | 39 | 141 |
| Somatório da diagonal | 133 | | | | |
| Número de amostras | 141 | | | | |
| Soma do produto da soma entre colunas e linhas | 5895 | | | | |
| Kappa | 0,92 | | | | |
| Kappa em % | 91,93 | | | | |

Organização: Própria Autora (2017).

Tabela 7.3 - Matriz de confusão referente à classificação das categorias de uso e ocupação da terra de 2015.

| Classes | (Águas Continentais) | (Culturas Temporárias) | (Pastagens) | (Vegetação Natural) | Soma das linhas |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| (Águas Continentais) | 19 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| (Culturas Temporárias) | 0 | 46 | 2 | 0 | 48 |
| (Pastagens) | 0 | 3 | 66 | 2 | 71 |
| (Vegetação Natural) | 0 | 1 | 1 | 40 | 42 |
| Soma das colunas | 19 | 50 | 69 | 42 | 180 |
| Somatório da diagonal | 171 | | | | |
| Número de amostras | 180 | | | | |
| Soma do produto da soma entre colunas e linhas | 9424 | | | | |
| Kappa | 0,93 | | | | |
| Kappa em % | 92,95 | | | | |

Organização: Própria Autora (2017).

Apêndice B – Tabelas de dados das análises das variáveis limnológicas coletadas no reservatório da UHE Salto do Rio Verdinho.

Tabela 7.4 - Dados de análises limnológicas do campo de 30/01/2015.

| Pontos | Al | CE | Chl | CSS | Fe | NaCl | NT | OD | pH | PT | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb | Profundidade (m) |
|--------|------|-------|------|------|------|-------|----|------|------|------|-------|--------|-------|------|-------|------------------|
| 1 | 0,01 | 24,86 | 2,11 | 6,67 | 0,20 | 20,26 | 13 | 5,84 | 6,62 | 0 | 40,16 | 0,14 | 12,44 | 27,4 | 23,00 | 4,27 |
| 2 | 0,05 | 24,85 | 2,11 | 6,00 | 0,28 | 20,28 | 6 | 5,72 | 6,64 | 0,02 | 40,13 | 0,73 | 12,44 | 27,4 | 24,00 | 5,79 |
| 3 | 0,05 | 24,87 | 3,79 | 6,00 | 0,33 | 20,23 | 8 | 5,72 | 6,86 | 0 | 40,21 | 0,73 | 12,42 | 27,4 | 25,67 | 5,49 |
| 4 | 0,02 | 24,99 | 1,68 | 5,83 | 0,30 | 20,28 | 18 | 5,68 | 6,76 | 0,11 | 39,93 | 0,70 | 12,49 | 27,8 | 25,00 | 7,62 |
| 5 | 0,05 | 24,98 | 2,95 | 4,83 | 0,27 | 20,33 | 11 | 5,69 | 6,75 | 0,28 | 39,94 | 0,70 | 12,46 | 27,8 | 24,00 | 3,35 |
| 6 | 0,01 | 24,45 | 3,79 | 6,17 | 0,28 | 20,61 | 16 | 6,39 | 6,77 | 0 | 40,95 | 0,71 | 12,21 | 29,0 | 27,00 | 2,44 |
| 7 | 0,04 | 24,91 | 2,11 | 6,33 | 0,20 | 20,55 | 0 | 6,16 | 6,59 | 0,16 | 40,06 | 0,68 | 12,46 | 28,5 | 26,00 | 3,66 |
| 8 | 0,04 | 24,39 | 5,05 | 5,00 | 0,45 | 20,56 | 0 | 6,45 | 6,75 | 0,79 | 41,06 | 0,65 | 12,21 | 29,2 | 26,67 | 5,49 |
| 9 | 0,05 | 24,52 | 1,68 | 5,17 | 0,30 | 20,32 | 1 | 6,04 | 6,65 | 0 | 41,07 | 0,64 | 12,24 | 29,0 | 30,67 | 3,96 |
| 10 | 0,01 | 24,37 | 3,37 | 4,17 | 0,67 | 20,83 | 5 | 6,13 | 6,82 | 0 | 41,23 | 0,65 | 12,20 | 30,4 | 26,00 | 5,79 |
| 11 | 0,00 | 24,04 | 1,68 | 6,17 | 0,31 | 20,49 | 9 | 6,69 | 6,88 | 0,32 | 41,63 | 0,60 | 12,02 | 29,7 | 27,00 | 1,83 |
| 12 | 0,04 | 24,04 | 2,11 | 5,33 | 0,60 | 20,70 | 9 | 6,51 | 6,85 | 0 | 41,59 | 0,72 | 12,00 | 30,1 | 26,00 | 9,14 |
| 13 | 0,03 | 23,91 | 4,21 | 4,83 | 0,63 | 20,63 | 13 | 6,64 | 6,91 | 0,47 | 41,77 | 0,72 | 11,95 | 30,4 | 24,00 | 3,35 |
| 14 | 0,00 | 24,00 | 5,47 | 5,67 | 0,20 | 20,83 | 5 | 6,54 | 6,93 | 0 | 41,64 | 0,72 | 11,99 | 30,6 | 26,33 | 7,32 |
| 15 | 0,04 | 23,89 | 5,05 | 5,33 | 0,35 | 20,62 | 0 | 6,76 | 6,99 | 0 | 41,84 | 0,74 | 11,95 | 30,3 | 25,00 | 8,23 |
| 16 | 0,02 | 23,57 | 4,63 | 5,67 | 0,30 | 20,36 | 1 | 6,53 | 7,04 | 0 | 42,45 | 0,73 | 11,80 | 30,0 | 24,33 | 9,75 |
| 17 | 0,00 | 23,86 | 4,21 | 5,17 | 0,29 | 20,74 | 0 | 7,08 | 7,06 | 0 | 42,11 | 0,71 | 12,02 | 29,4 | 26,00 | 10,06 |
| 18 | 0,05 | 23,81 | 6,74 | 3,83 | 0,33 | 20,92 | 14 | 6,5 | 6,93 | 0 | 42,08 | 0,43 | 11,89 | 31,1 | 24,00 | 5,49 |
| 19 | 0,00 | 23,70 | 4,21 | 5,00 | 0,32 | 20,78 | 5 | 6,87 | 7,08 | 0 | 42,14 | 0,73 | 11,82 | 31,3 | 26,00 | 12,80 |
| 20 | 0,04 | 23,67 | 2,95 | 3,50 | 0,25 | 20,76 | 1 | 6,94 | 7,06 | 0 | 42,26 | 0,82 | 11,83 | 31,2 | 24,00 | 16,46 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|------|------|-------|----|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 21 | 0,01 | 23,66 | 3,79 | 4,83 | 0,28 | 20,82 | 0 | 6,94 | 7,06 | 0,34 | 42,20 | 0,73 | 11,84 | 31,4 | 24,00 | 16,76 |
| 22 | 0,00 | 23,58 | 3,79 | 3,67 | 0,42 | 20,77 | 0 | 6,56 | 7,24 | 0 | 42,60 | 0,88 | 11,78 | 32,1 | 21,00 | 18,29 |
| 23 | 0,04 | 23,44 | 4,63 | 2,50 | 0,32 | 20,96 | 8 | 7,02 | 7,04 | 0 | 42,63 | 0,90 | 11,73 | 31,9 | 17,00 | 22,86 |
| 24 | 0,00 | 23,34 | 5,47 | 2,17 | 0,32 | 20,96 | 0 | 6,33 | 7,30 | 0 | 42,72 | 1,11 | 11,70 | 32,4 | 14,00 | 14,94 |
| 25 | 0,00 | 23,37 | 5,05 | 2,50 | 0,32 | 20,90 | 15 | 7,08 | 7,39 | 0 | 42,85 | 1,15 | 11,68 | 32,2 | 14,67 | 17,37 |
| 26 | 0,00 | 23,37 | 5,05 | 2,17 | 0,25 | 20,80 | 2 | 7,14 | 7,61 | 0 | 42,61 | 1,22 | 11,68 | 32,4 | 14,00 | 21,34 |
| 27 | 0,04 | 23,47 | 5,05 | 2,17 | 0,27 | 20,48 | 5 | 6,97 | 7,45 | 0 | 42,48 | 1,23 | 11,75 | 31,2 | 14,00 | 3,96 |
| 28 | 0,00 | 23,28 | 3,37 | 2,67 | 0,53 | 20,63 | 6 | 7,14 | 7,96 | 0 | 42,94 | 1,30 | 11,66 | 33,9 | 13,00 | 8,78 |
| 29 | 0,05 | 23,24 | 2,11 | 1,17 | 0,30 | 20,67 | 6 | 7,08 | 7,77 | 0,03 | 42,97 | 1,30 | 11,62 | 34,0 | 14,00 | 3,51 |
| 30 | 0,04 | 23,37 | 5,89 | 3,67 | 0,27 | 21,08 | 26 | 7,15 | 7,56 | 0 | 42,84 | 1,25 | 11,67 | 33,3 | 14,00 | 8,23 |
| 31 | 0,04 | 23,42 | 4,63 | 2,50 | 0,28 | 20,48 | 0 | 7,35 | 8,20 | 0 | 52,78 | 1,25 | 11,70 | 30,3 | 15,00 | 21,64 |
| 32 | 0,00 | 23,50 | 5,05 | 0,83 | 0,22 | 21,10 | 15 | 7,56 | 8,42 | 0 | 42,67 | 1,35 | 11,70 | 32,8 | 14,33 | 20,73 |

Fonte: Campanha de campo de 30/01/2015. Organização: Própria Autora (2017).

Tabela 7.5 - Dados de análises limnológicas do campo de 29/07/2015.

| Pontos | Al | CE | Chl | CSS | Fe | NaCl | NT | OD | pH | PT | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|---------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,04 | 28,70 | 1,26 | 1,83 | 0,22 | 20,08 | 0,01 | 7,7 | 6,28 | 0 | 35,61 | 0,47 | 14,60 | 22,5 | 5,73 |
| 2 | 0,02 | 28,09 | 0,84 | 1,50 | 0,24 | 20,13 | 0,03 | 7,81 | 6,78 | 0,36 | 35,56 | 0,47 | 14,05 | 22,6 | 6,07 |
| 3 | 0,04 | 28,15 | 2,11 | 2,00 | 0,27 | 20,16 | 0 | 7,8 | 6,93 | 0 | 35,54 | 0,50 | 14,07 | 22,7 | 5,83 |
| 4 | 0,04 | 28,02 | 2,11 | 1,33 | 0,30 | 20,21 | 0,04 | 7,73 | 6,93 | 0 | 35,51 | 0,48 | 14,04 | 22,9 | 5,47 |
| 5 | 0,05 | 28,39 | 1,68 | 1,83 | 0,18 | 20,48 | 0,01 | 7,67 | 6,94 | 0,15 | 35,14 | 0,49 | 14,19 | 22,9 | 5,47 |
| 6 | 0,04 | 28,63 | 0,84 | 2,50 | 0,21 | 20,7 | 0,66 | 7,75 | 6,73 | 0 | 34,98 | 0,51 | 14,28 | 23,9 | 4,57 |
| 7 | 0,04 | 28,28 | 0,42 | 0,83 | 0,32 | 20,48 | 0,02 | 7,75 | 6,88 | 0 | 35,33 | 0,52 | 14,21 | 23,2 | 5,47 |
| 8 | 0,04 | 28,47 | 1,26 | 1,17 | 0,30 | 20,60 | 0,03 | 7,86 | 6,97 | 0 | 35,26 | 0,53 | 14,22 | 23,8 | 5,40 |
| 9 | 0,04 | 28,34 | 0,42 | 1,17 | 0,21 | 20,59 | 0,01 | 7,83 | 6,99 | 0 | 35,27 | 0,50 | 14,18 | 23,7 | 6,20 |
| 10 | 0,04 | 28,31 | 2,11 | 0,33 | 0,22 | 20,70 | 0,05 | 7,71 | 6,96 | 0 | 35,37 | 0,52 | 14,15 | 23,9 | 5,53 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 11 | 0,04 | 28,23 | 3,79 | 1,00 | 0,29 | 20,73 | 0,01 | 8,11 | 7,00 | 0 | 35,41 | 0,53 | 14,10 | 24,4 | 3,97 |
| 12 | 0,04 | 28,46 | 3,37 | 0,50 | 0,27 | 20,66 | 0,03 | 7,78 | 7,05 | 0 | 35,18 | 0,54 | 14,20 | 24,5 | 4,70 |
| 13 | 0,02 | 28,37 | 1,68 | 1,33 | 0,19 | 20,92 | 0,03 | 7,93 | 7,06 | 0 | 35,15 | 0,57 | 14,18 | 24,8 | 4,43 |
| 14 | 0,04 | 28,41 | 2,95 | 4,33 | 0,31 | 21,16 | 0 | 8,11 | 7,14 | 0 | 35,14 | 0,58 | 14,24 | 25,1 | 3,67 |
| 15 | 0,03 | 28,44 | 2,11 | 0,67 | 0,23 | 21,17 | 0 | 8,08 | 7,16 | 0,06 | 35,15 | 0,58 | 14,26 | 25,6 | 4,20 |
| 16 | 0,02 | 28,80 | 1,26 | 0,00 | 0,14 | 21,34 | 0,03 | 8,01 | 7,24 | 0 | 35,13 | 0,60 | 14,39 | 25,09 | 2,57 |
| 17 | 0,04 | 28,70 | 0,42 | 0,33 | 0,16 | 21,32 | 0,02 | 7,92 | 7,24 | 0 | 34,81 | 0,58 | 14,35 | 25,8 | 2,93 |
| 18 | 0,02 | 28,79 | 2,95 | 0,33 | 0,06 | 21,43 | 0,01 | 7,96 | 7,29 | 0 | 34,35 | 0,58 | 14,39 | 26,1 | 2,80 |
| 19 | 0,02 | 28,77 | 1,26 | 0,00 | 0,06 | 21,34 | 0,03 | 7,98 | 7,25 | 0 | 34,85 | 0,59 | 14,36 | 25,9 | 2,83 |
| 20 | 0,02 | 28,87 | 0,84 | 0,33 | 0,10 | 21,4 | 0,01 | 7,96 | 7,43 | 0 | 34,69 | 0,64 | 14,45 | 25,9 | 2,17 |
| 21 | 0,02 | 28,83 | 1,26 | 0,00 | 0,19 | 21,38 | 0 | 8,03 | 7,30 | 0 | 34,62 | 0,60 | 14,43 | 25,7 | 2,37 |
| 22 | 0,02 | 29,04 | 0,42 | 0,17 | 0,13 | 21,64 | 0 | 7,64 | 7,53 | 0,12 | 34,43 | 0,59 | 14,51 | 27,3 | 2,07 |
| 23 | 0,02 | 29,04 | 0,84 | 0,33 | 0,08 | 21,58 | 0 | 7,95 | 7,49 | 0 | 34,46 | 0,65 | 14,51 | 26,1 | 2,73 |
| 24 | 0,04 | 28,94 | 0,42 | 0,00 | 0,08 | 21,6 | 0,04 | 7,91 | 7,54 | 0 | 34,43 | 0,75 | 14,56 | 26,8 | 2,00 |
| 25 | 0,04 | 29,09 | 0,42 | 0,00 | 0,11 | 21,71 | 0,01 | 7,86 | 7,49 | 0 | 34,41 | 0,85 | 14,51 | 26,8 | 2,20 |
| 26 | 0,04 | 29,18 | 0,84 | 0,00 | 0,05 | 21,69 | 0,01 | 7,96 | 7,46 | 0 | 34,24 | 0,82 | 14,59 | 27,0 | 1,97 |
| 27 | 0,04 | 29,17 | 0,84 | 0,00 | 0,07 | 21,60 | 0,03 | 7,83 | 7,43 | 0 | 34,33 | 0,89 | 14,55 | 26,4 | 1,97 |
| 28 | 0,04 | 29,08 | 1,26 | 0,67 | 0,07 | 21,6 | 0,02 | 7,91 | 7,32 | 0 | 34,32 | 0,90 | 14,57 | 27,8 | 1,97 |
| 29 | 0,04 | 29,12 | 1,68 | 0,00 | 0,08 | 21,88 | 0,04 | 7,94 | 7,38 | 0 | 34,35 | 0,90 | 14,54 | 27,4 | 2,30 |
| 30 | 0,04 | 29,08 | 2,11 | 0,00 | 0,17 | 21,62 | 0 | 8,02 | 7,48 | 0,02 | 34,32 | 0,89 | 14,55 | 26,5 | 2,03 |
| 31 | 0,04 | 28,98 | 1,68 | 0,50 | 0,08 | 21,93 | 0,05 | 7,82 | 7,45 | 0 | 34,45 | 0,93 | 14,51 | 27,0 | 1,83 |
| 32 | 0,04 | 29,26 | 2,11 | 0,00 | 0,07 | 22,24 | 0 | 7,84 | 7,38 | 0 | 34,16 | 0,95 | 14,60 | 27,9 | 2,43 |

Fonte: Campanha de campo de 29/07/2015. Organização: Própria Autora (2017).

Tabela 7.6 - Dados de análises limnológicas do campo de 08/02/2016.

| Pontos | Al | CE | Chl | CSS | NaCl | NT | OD | pH | PT | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|---------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,06 | 29,40 | 0,42 | 10,10 | 22,36 | 1 | 5,925 | 6,81 | 0,147 | 33,13 | 0,47 | 15,17 | 27,10 | 31,40 |
| 2 | 0,09 | 29,30 | 1,26 | 10,90 | 22,34 | 36 | 6,09 | 6,50 | 0,169 | 33,22 | 0,47 | 15,11 | 27,20 | 29,30 |
| 3 | 0,05 | 29,29 | 1,26 | 9,80 | 22,35 | 0 | 5,865 | 6,47 | 0 | 33,26 | 0,50 | 15,10 | 27,00 | 30,97 |
| 4 | 0,05 | 29,02 | 0,42 | 10,50 | 22,26 | 29 | 5,86 | 6,53 | 0 | 33,39 | 0,48 | 14,97 | 27,20 | 33,40 |
| 5 | 0,02 | 28,80 | 2,11 | 8,80 | 22,28 | 36 | 5,965 | 6,52 | 0,073 | 33,76 | 0,49 | 14,85 | 27,70 | 31,60 |
| 6 | 0,01 | 29,19 | 2,95 | 8,40 | 21,92 | 13 | 5,69 | 6,45 | 0,071 | 35,18 | 0,51 | 14,29 | 28,00 | 29,30 |
| 7 | 0,08 | 28,81 | 1,68 | 8,30 | 22,30 | 52 | 6,09 | 6,51 | 0,16 | 33,78 | 0,52 | 14,86 | 27,80 | 32,83 |
| 8 | 0,01 | 28,86 | 2,53 | 8,40 | 22,32 | 22 | 5,885 | 6,47 | 0,074 | 33,20 | 0,53 | 14,89 | 27,70 | 31,67 |
| 9 | 0,07 | 28,78 | 1,68 | 7,40 | 22,20 | 35 | 5,925 | 6,49 | 0 | 33,81 | 0,50 | 14,84 | 27,40 | 30,63 |
| 10 | 0,05 | 28,57 | 2,95 | 8,50 | 22,20 | 0 | 6,28 | 6,52 | 0,144 | 34,04 | 0,52 | 14,74 | 27,90 | 30,57 |
| 11 | 0,02 | 27,90 | 1,26 | 7,70 | 22,17 | 0 | 6,115 | 6,48 | 0 | 34,86 | 0,53 | 14,41 | 29,20 | 30,03 |
| 12 | 0,06 | 28,44 | 2,53 | 8,30 | 22,37 | 3 | 6,045 | 6,37 | 0,097 | 34,22 | 0,54 | 14,67 | 28,60 | 29,60 |
| 13 | 0,05 | 28,35 | 3,79 | 5,80 | 22,40 | 20 | 6,275 | 6,52 | 0,006 | 34,30 | 0,57 | 14,61 | 29,00 | 30,07 |
| 14 | 0,03 | 27,48 | 4,63 | 12,00 | 22,20 | 20 | 6,265 | 6,51 | 0,154 | 35,44 | 0,58 | 14,20 | 29,80 | 28,10 |
| 15 | 0,02 | 28,11 | 2,95 | 7,90 | 22,50 | 46 | 6,215 | 6,55 | 0,231 | 34,68 | 0,58 | 14,50 | 29,50 | 28,53 |
| 16 | 0,05 | 28,27 | 1,68 | 7,80 | 22,41 | 0 | 6,265 | 6,50 | 0,07 | 34,98 | 0,60 | 14,34 | 29,60 | 28,67 |
| 17 | 0,02 | 27,64 | 2,11 | 7,30 | 22,53 | 26 | 6,23 | 6,47 | 0,175 | 35,17 | 0,58 | 14,29 | 30,50 | 27,87 |
| 18 | 0,01 | 27,55 | 1,68 | 6,30 | 22,32 | 0 | 6,155 | 6,45 | 0 | 35,37 | 0,58 | 14,20 | 30,00 | 23,33 |
| 19 | 0,04 | 27,45 | 2,53 | 7,40 | 22,25 | 2 | 6,385 | 6,54 | 0,185 | 35,52 | 0,59 | 14,13 | 29,90 | 26,13 |
| 20 | 0,07 | 27,29 | 2,53 | 6,20 | 22,27 | 0 | 6,515 | 6,64 | 0 | 35,63 | 0,64 | 14,09 | 30,00 | 25,83 |
| 21 | 0,07 | 27,21 | 0,84 | 7,20 | 22,21 | 7 | 6,1 | 6,74 | 0,022 | 35,70 | 0,60 | 14,07 | 29,90 | 25,57 |
| 22 | 0,01 | 27,05 | 2,11 | 7,20 | 22,33 | 0 | 6,33 | 6,63 | 0,175 | 35,94 | 0,59 | 13,99 | 31,00 | 21,40 |
| 23 | 0,04 | 26,81 | 0,84 | 4,40 | 22,30 | 0 | 6,335 | 6,66 | 0,562 | 36,35 | 0,65 | 13,82 | 31,00 | 21,40 |
| 24 | 0,01 | 26,28 | 0,00 | 5,40 | 22,13 | 0 | 6,35 | 6,70 | 0 | 37,23 | 0,75 | 13,58 | 31,30 | 23,83 |
| 25 | 0,02 | 25,92 | 0,84 | 4,80 | 22,02 | 0 | 6,485 | 6,78 | 0,087 | 37,43 | 0,85 | 13,42 | 31,50 | 20,73 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|------|-------|----|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 26 | 0,04 | 26,07 | 1,26 | 5,10 | 22,44 | 12 | 6,56 | 6,74 | 0,028 | 37,36 | 0,82 | 13,50 | 30,80 | 20,63 |
| 27 | 0,05 | 25,93 | 0,42 | 4,60 | 21,99 | 0 | 6,415 | 6,73 | 0 | 37,51 | 0,89 | 13,38 | 31,20 | 20,40 |
| 28 | 0,04 | 26,10 | 1,68 | 4,00 | 21,94 | 0 | 6,53 | 6,81 | 0,067 | 37,40 | 0,90 | 13,44 | 30,70 | 20,50 |
| 29 | 0,05 | 26,06 | 0,84 | 6,30 | 21,82 | 0 | 6,505 | 6,83 | 0,162 | 37,45 | 0,90 | 13,42 | 30,70 | 20,43 |
| 30 | 0,03 | 26,97 | 0,00 | 4,90 | 21,79 | 0 | 6,42 | 6,78 | 0,183 | 37,50 | 0,89 | 13,40 | 30,30 | 21,10 |
| 31 | 0,04 | 27,28 | 0,84 | 3,60 | 21,77 | 4 | 6,525 | 6,82 | 0,36 | 37,98 | 0,93 | 13,30 | 30,60 | 19,97 |
| 32 | 0,00 | 25,84 | 0,84 | 4,50 | 21,81 | 49 | 6,615 | 6,89 | 0,151 | 42,33 | 0,95 | 13,33 | 30,90 | 19,63 |

Fonte: Campanha de campo de 08/02/2016. Organização: Própria Autora (2017).

Tabela 7.7 - Dados de análises limnológicas do campo de 05/08/2016.

| Pontos | Al | CE | Chl | CSS | NaCl | NT | OD | pH | PT | RES | Secchi | TDS | Temp | Turb |
|--------|------|-------|------|------|-------|----|------|------|------|-------|--------|-------|-------|------|
| 1 | 0,05 | 70,44 | 1,26 | 0,90 | 21,56 | 0 | 7,81 | 6,78 | 0 | 31,05 | 2,05 | 16,11 | 21,80 | 3,74 |
| 2 | 0,04 | 30,78 | 1,68 | 1,20 | 21,82 | 0 | 7,72 | 6,74 | 0,63 | 30,76 | 2,54 | 16,26 | 22,00 | 3,75 |
| 3 | 0,03 | 30,74 | 1,26 | 1,60 | 21,80 | 0 | 7,72 | 6,78 | 0,31 | 30,73 | 2,45 | 16,26 | 22,00 | 3,80 |
| 4 | 0,04 | 30,81 | 1,26 | 1,90 | 21,79 | 0 | 7,7 | 6,59 | 0,33 | 30,62 | 2,30 | 16,34 | 21,90 | 3,84 |
| 5 | 0,03 | 30,97 | 1,26 | 1,40 | 21,90 | 0 | 7,74 | 6,89 | 0,64 | 30,48 | 2,20 | 16,39 | 22,10 | 4,05 |
| 6 | 0,04 | 30,81 | 2,95 | 3,60 | 22,10 | 0 | 7,81 | 6,69 | 0 | 30,74 | 1,60 | 16,33 | 22,90 | 5,09 |
| 7 | 0,05 | 30,7 | 0,00 | 1,60 | 21,89 | 0 | 7,93 | 6,63 | 0 | 30,66 | 2,32 | 16,28 | 22,70 | 4,59 |
| 8 | 0,05 | 30,43 | 0,00 | 1,50 | 21,85 | 4 | 7,75 | 6,49 | 0,82 | 30,94 | 2,46 | 16,12 | 22,80 | 4,71 |
| 9 | 0,04 | 30,43 | 0,00 | 1,20 | 21,91 | 0 | 7,83 | 6,59 | 0 | 30,99 | 2,40 | 16,13 | 23,00 | 4,46 |
| 10 | 0,04 | 30,18 | 2,95 | 1,30 | 21,82 | 0 | 7,79 | 6,49 | 0,44 | 31,24 | 2,30 | 16,00 | 23,00 | 4,61 |
| 11 | 0,02 | 30,02 | 0,42 | 1,60 | 21,84 | 0 | 7,8 | 6,91 | 0,97 | 31,47 | 2,00 | 15,90 | 23,30 | 4,41 |
| 12 | 0,02 | 29,98 | 0,00 | 1,60 | 21,91 | 0 | 7,8 | 6,99 | 1,19 | 31,42 | 2,31 | 15,88 | 23,70 | 4,44 |
| 13 | 0,02 | 30,34 | 2,11 | 2,10 | 22,22 | 0 | 7,79 | 6,77 | 0,9 | 31,15 | 1,70 | 16,06 | 24,00 | 4,26 |
| 14 | 0,02 | 30,13 | 2,53 | 1,60 | 22,15 | 0 | 7,7 | 6,95 | 0,34 | 31,31 | 2,09 | 15,97 | 24,30 | 3,72 |
| 15 | 0,04 | 30,09 | 2,11 | 1,20 | 22,16 | 0 | 7,83 | 6,80 | 0,14 | 31,47 | 2,20 | 15,93 | 24,50 | 3,78 |
| 16 | 0,04 | 30,52 | 1,68 | 1,30 | 22,52 | 0 | 7,53 | 6,80 | 0 | 30,88 | 2,38 | 16,21 | 25,00 | 3,27 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|------|-------|----|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 17 | 0,04 | 30,51 | 2,11 | 0,80 | 22,48 | 0 | 7,63 | 7,02 | 0 | 30,86 | 2,28 | 16,19 | 24,80 | 2,80 |
| 18 | 0,02 | 30,51 | 2,53 | 1,70 | 22,59 | 0 | 7,44 | 7,03 | 0 | 30,95 | 2,52 | 16,16 | 24,40 | 3,41 |
| 19 | 0,03 | 30,56 | 0,84 | 0,40 | 22,47 | 0 | 7,61 | 7,18 | 0,24 | 30,86 | 2,95 | 16,19 | 24,90 | 2,65 |
| 20 | 0,04 | 30,61 | 1,26 | 0,90 | 22,49 | 0 | 7,63 | 6,38 | 0,72 | 30,76 | 2,85 | 16,23 | 24,80 | 2,43 |
| 21 | 0,02 | 27,38 | 0,00 | 1,30 | 20,95 | 0 | 7,8 | 6,92 | 0,22 | 34,46 | 2,85 | 14,50 | 24,00 | 2,35 |
| 22 | 0,03 | 27,47 | 1,26 | 0,80 | 20,90 | 0 | 7,79 | 7,23 | 1,49 | 34,33 | 2,90 | 14,56 | 23,80 | 1,81 |
| 23 | 0,03 | 27,7 | 1,68 | 1,10 | 21,03 | 0 | 7,94 | 7,22 | 1,29 | 34,08 | 3,25 | 14,69 | 23,90 | 1,96 |
| 24 | 0,02 | 27,94 | 1,68 | 0,50 | 21,14 | 0 | 8,09 | 7,34 | 1,15 | 33,72 | 3,55 | 14,81 | 23,90 | 1,93 |
| 25 | 0,03 | 27,88 | 2,11 | 0,60 | 21,05 | 0 | 7,89 | 7,51 | 0,3 | 33,91 | 3,45 | 14,75 | 24,30 | 1,86 |
| 26 | 0,04 | 27,92 | 1,68 | 0,50 | 21,21 | 15 | 7,99 | 7,12 | 1,55 | 33,7 | 3,98 | 14,82 | 24,00 | 1,72 |
| 27 | 0,05 | 28,34 | 2,11 | 1,30 | 21,46 | 0 | 7,89 | 7,41 | 0,18 | 33,23 | 3,25 | 15,03 | 23,90 | 2,29 |
| 28 | 0,04 | 28,03 | 2,11 | 0,70 | 21,27 | 0 | 8,06 | 7,49 | 0,14 | 33,64 | 3,90 | 14,86 | 23,90 | 1,55 |
| 29 | 0,02 | 27,92 | 1,68 | 2,00 | 21,15 | 0 | 8,1 | 7,34 | 1,29 | 33,71 | 3,78 | 14,81 | 24,00 | 1,58 |
| 30 | 0,02 | 27,87 | 2,95 | 1,60 | 21,11 | 0 | 8,02 | 7,38 | 1,31 | 33,79 | 3,88 | 14,77 | 24,20 | 1,95 |
| 31 | 0,02 | 27,92 | 1,68 | 0,70 | 21,15 | 0 | 8,02 | 7,28 | 0,89 | 33,69 | 3,05 | 14,83 | 24,60 | 1,83 |
| 32 | 0,02 | 27,84 | 1,68 | 0,90 | 21,16 | 6 | 8,08 | 7,44 | 0 | 33,92 | 4,00 | 14,73 | 24,40 | 1,77 |

Fonte: Campanha de campo de 05/08/2016. Organização: Própria Autora (2017).

ANEXOS

Anexo A – Resultados da campanha de campo realizada pelo RIMA da UHE Salto do Rio Verdinho.

Figura 7.1 – Resultados da campanha realizada pela CTE em julho de 2001.

|   | | | | | |
|---|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Tabela 5. 78 - Resultados da campanha de qualidade da Água - julho de 2001 | | | | | |
| Parâmetro | Unidade | V1 | V2 | V3 | V4 |
| Temperatura Ambiente | °C | | | | |
| Temperatura Água | °C | | | | |
| pH | Potenciométrico | 7,19 | 6,67 | 6,75 | 7,70 |
| Condutividade Elétrica | µs/cm | 20,60 | 12,87 | 17,80 | 19,53 |
| Cor Aparente | PT/CO | 33,00 | 66,00 | 83,00 | 82,00 |
| Turbidez | UNT | 4,00 | 11,00 | 15,00 | 16,00 |
| Transparência | m | 0,77 | 0,77 | 0,74 | 0,56 |
| Sólidos Totais em suspensão | Mg/L | 4,00 | 4,00 | 11,00 | 8,00 |
| Alcalinidade Total | Mg/L CaCO ₃ | 13,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 |
| Dureza Total | Mg/L CaCO ₃ | 7,00 | 5,00 | 9,00 | 7,00 |
| Ferro Total | Mg/L Fe | 0,30 | 0,58 | 0,53 | 0,51 |
| Cálcio | Mg/L Ca | 1,51 | 0,77 | 1,24 | 1,47 |
| Sódio | Mg/L Na | 0,24 | 0,20 | 0,22 | 0,45 |
| Magnésio | Mg/L Mg | 0,92 | 0,41 | 0,62 | 0,70 |
| Cloretos | Mg/L Cl | 5,50 | 8,50 | 6,50 | 6,00 |
| TKN | | 0,27 | 0,32 | 0,89 | 0,41 |
| N - Amoniacal | Mg/L N | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| N - Nitrito | Mg/L N | 0,06 | 0,08 | 0,03 | 0,07 |
| N - Nitrato | | 0,65 | 1,05 | 1,04 | 0,72 |
| Fósforo Total | Mg/L P | 1,09 | 0,93 | 1,18 | 0,94 |
| Silicatos | | 0,34 | 0,28 | 0,76 | 0,43 |
| Dióxido de Carbono | Mg/L CO ₂ | 5,50 | 5,50 | 4,00 | 0,90 |
| Oxigênio Dissolvido | Mg/L O ₂ | 8,20 | 7,20 | 8,20 | 8,00 |
| Oxigênio Consumido | Mg/L O ₂ | 1,60 | 2,00 | 1,60 | 1,00 |
| Coliformes Fecais | | 230,00 | 430,00 | 390,00 | 210,00 |
| Clorofila a | | | | | |
| Fitoplâncton e Zooplâncton | | | | | |

V1 - Rio Verde - cerca de 100m a montante da ponte sobre o rio Verde na Rod. BR 060, próximo a cidade de Mineiros;
V2 - Rio Verde - cerca de 100m a montante da ponte da estrada Serranópolis - Itumirim, sobre o rio Verde;
V3 - Rio Verde - aproximadamente 30m à jusante da ponte da estrada Caçu - Itarumã, sobre o rio Verde;
V4 - Rio Verde - cerca de 100m a montante da ponte, sobre o rio Verde, da estrada Itaguaçu - Olaria do Angico.

Fonte: THEMAG e CTE (2002), p. 252.