



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FABIANO LUÍS BELÉM

**Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório
da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**

Goiânia

2019



**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: Fabiano Luis Belem

Título do trabalho: **Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**

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: 29 /07 / 2019

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.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FABIANO LUÍS BELÉM

**Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório
da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Federal de Goiás, para obtenção do título de
Doutor em Geografia.

Orientador: Dr. João Batista Pereira Cabral

Goiânia
2019

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

Belém, Fabiano Luis

Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do
reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes - Amapá
[manuscrito] / Fabiano Luis Belém. - 2019.

CCL, 252 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, 2019.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes Energia.
2. Bacia Hidrográfica. 3. Qualidade da água. 4. Componentes
ópticamente ativos da água . 5. Modelo de vulnerabilidade ambiental.
I. , João Batista Pereira Cabral, orient. II. Título.

CDU 55



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
FABIANO LUIS BELÉM**

Aos 29 dias do mês de **junho** do ano de dois mil e dezenove (2019), a partir das 8h e 30min, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Tese de Doutorado de **FABIANO LUIS BELÉM**, intitulada: "**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DA FERREIRA GOMES – AMAPÁ**". A Banca Examinadora foi composta, conforme portaria n.º 070/2019 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: **João Batista Pereira Cabral** (Orientador), **Ivanilton José de Oliveira** (Membro Titular Interno), **Guilherme Taitson Bueno** (Membro Titular Interno), **Celso de Carvalho Braga** (Membro Titular Externo) e **Hudson Moraes Rocha** (Membro Titular Externo). Os examinadores arguíram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 12:00 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 Batista Pereira Cabral

Aprovado (X) Reprovado ()

Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira – Ass. Ivanilton José de Oliveira

Aprovado (X) Reprovado ()

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno – Ass. Guilherme Taitson Bueno

Aprovado (X) Reprovado ()

Prof. Dr. Celso de Carvalho Braga – Ass. Celso de Carvalho Braga

Aprovado (X) Reprovado ()

Prof. Dr. Hudson Moraes Rocha – Ass. Hudson Moraes Rocha

Aprovado (X) Reprovado ()

Resultado final: Aprovado (X) Reprovado ()

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

Em caso afirmativo, especifique o novo título: _____

Outras observações: _____

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

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



Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo
Rua: Jacarandá, Qd. D, Campus Samambaia. IESA, Sala A-07, CEP 74.690-900 Goiânia-GO, Brasil.
Fone: (62) 3521-1184 ramal 202/203/204 - <http://posgeo.iesa.ufg.br/>

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a todos os meus discentes da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, que me ajudaram e me estimulam diariamente a ser um professor melhor. Em especial ao aluno do curso de Geografia Arilson Texeira e aos meus orientandos do curso Tasso Wesley Galeno Baleiro e Dario Melo Pereira Junior.

Ao professor Dr. Wanderley Rodrigues Bastos por ter acreditado em mim no mestrado e ter me dado a oportunidade de licenciar na Universidade Federal do Amapá, consequentemente, a chance de poder fazer o doutorado.

Ao professor Dr. Júlio Cesar de Sá, o técnico Juan lotado no Laboratório de Limnologia e Oceanografia da Universidade Federal do Amapá, principalmente seus bolsistas: Jackson, Thalita e Aryana que realizaram as análises limnológicas desta tese. O professor Dr. Herondino Filho por ter me ajudado a tratar os dados da tese.

Aos meus amigos Matheus da Costa Alves Pereira (“Bob”) Toshio Takahashi e Altamir Al Gilcon Neto (“Nem”), só tenho a agradecer pelo companheirismo.

A Dona Hélia Portilho de Oliveira, que está no céu e num plano melhor que este as minhas eternas homenagens; muito obrigado por todo o apoio que me foi dado na minha trajetória de vida.

Aos amigos Gabriel Mediland e sua mãe, Gilmara, por terem cuidados da minha casa e dos meus bichos de estimação, quando tive que me ausentar para fazer o doutorado.

Aos técnicos da Secretária de Meio Ambiente do Amapá Me. Claudia Funi, Patrick da Silveira Farias por ter sempre me cedido os dados que foram necessários para a construção da tese.

Ao Professor Dr. Silvio Wilgmam meu amigo da Unifap agradeço a experiência de vida transmitida. Agradeço os colegas e amigos para além da UNIFAP: a professora Dra. Renata dos Santos e o Me. Rosinei dos Santos Ferreira, de quem sempre lembrarei, pela grande parceria desde o início do projeto de qualidade das águas do rio Araguari e pelas dicas de companheirismo, na vida e nos trabalhos de campo.

Aos colegas do Laboratório de Geociências Aplicadas da Universidade Federal de Jataí: Me. Sheyla Birro, Me. Fernanda Luisa Carvalho, Me. Polyana Nogueira, Patrícia Gomes, Me. Vanderlúbio Gentil, Dalila Brito de Jesus agradeço pelos conselhos dados para o manuseio dos instrumentos de análise da água em laboratório e as dicas de procedimentos de coletas de campo das variáveis limnológicas, na qual me auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa. Especiais

agradecimentos aos que me ajudaram nos trabalhos de campo: Dra. Isabel Rocha, Dr. Celso Carvalho, Me. Assunção Barcelos e Dra. Suzy Cordeiro. À colega Me. Ana Karoline dos Santos, por me ajudar a realizar o tratamento dos dados.

Ao Dr Hudson Moraes Rocha que me ajudou na análise de multicritérios e nas análises estatísticas dos dados. Aos professores Dr. Guilherme Taitson e Dr. Ivanilton de Oliveira, pela contribuição na construção do projeto desta pesquisa e na qualificação com sugestões relevantes para este trabalho. Ao professor Dr. Waterloo Pereira Filho, que dispôs seu tempo a me ajudar no tratamento dos dados espectrais, sou muito agradecido pelos ensinamentos de técnicas de trabalho de sensoriamento remoto.

Finalmente, ao meu orientador Dr. João Batista Pereira Cabral que soube, como ninguém, conduzir e orientar este trabalho. Me trouxe de volta todas as vezes em que desfoquei dos objetivos. Pelas inúmeras lições aprendidas, tenho somente a agradecer.

Dedico com amor esta tese à minha família. À minha esposa, Patrícia Helena, por todo suporte; sem ela não teria chegado até aqui. À sua irmã, à minha sogra e ao meu sogro que me ajudaram neste trabalho. À minha mãe, Edna, com todo carinho e amor, que me mostra, diariamente, apesar das dificuldades de saúde, o caminho para levar a vida com serenidade, mesmo frente a grandes desafios. Ao meu pai, Francisco, por todo o apoio dado durante a vida. À minha irmã, Elaine, pelos conselhos frente a tantas missões árduas, e ao meu irmão, Fernando, pela compreensão e pela capacidade de suporte e apoio familiar para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos às pessoas que contribuíram de maneira direta e indireta para que eu chegasse ao fim desta árdua jornada.

Por fim, agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Sócio Ambientais da Universidade Federal de Goiás.

À Universidade Federal de Goiás.

À Universidade Federal do Amapá.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP).

À CAPES

RESUMO

A abordagem analítica da qualidade da água é necessária não apenas para a realização de estudos ambientais, mas também econômicos, já que o desenvolvimento do estado do Amapá e do município de Ferreira Gomes, região selecionada para este estudo, depende diretamente deste recurso natural. Todavia, nota-se que, na região central do estado, o problema da qualidade da água cresce devido à grande quantidade de concentração de matéria orgânica em áreas que são alagadas e inundadas durante a construção de reservatórios, o que faz com que vastas quantidades de concentração de carbono no ambiente gerem processos de degradação da água. Além disso, este problema se agrava devido à mudança da qualidade da água nos reservatórios do rio Araguari, localizado a jusante da barragem do reservatório de Ferreira Gomes Energia. Dessa forma, a motivação desse trabalho decorre desta situação, a qual exige um monitoramento contínuo da biota, para que não haja grandes danos ao meio ambiente e, por consequência, à qualidade da água. Sendo assim, para a realização do estudo da bacia de contribuição direta presente no reservatório, é necessário fazer o levantamento dos diversos fatores físicos que podem influenciar a qualidade da água no reservatório da UHE Ferreira Gomes. A partir disso, se fez necessário apresentar o modelo de vulnerabilidade ambiental que apresenta as áreas que tem maior probabilidade de se há processos erosivos. Este trabalho, portanto, teve como objetivo estudar e analisar as variáveis que influenciam a qualidade das águas do reservatório supracitado. Para tanto, adotou-se a seguinte metodologia: (1) a delimitação da área de estudo e o mapeamento desta área de trabalho de campo para obter o levantamento de seus fatores físicos; (2) a construção de modelos de toda a bacia hidrográfica de captação direta do reservatório; e (3) a coleta da água em diversos pontos do reservatório, tanto para análise física e química em laboratório, quanto para análise do comportamento espectral de cada ponto, por meio do espectroradiômetro portátil. Assim, identificou-se que 35% da área de floresta ombrófila foi inundada com a construção do reservatório. Além disso, os estudos de vulnerabilidade ambiental mostraram que 15% da área da bacia de contribuição direta tem maior probabilidade de haver processos erosivos. Por fim, em relação à qualidade das águas, os parâmetros físico-químicos classificam o corpo hídrico como de classe 1 segundo resolução CONAMA 357 de 2005, devido a grande quantidade de concentração de matéria orgânica na água e à decomposição da biomassa que foi inundada com a construção do reservatório; a água apresenta uma coloração escura e contém baixa concentração de sedimentos em suspensão, que apresenta baixa correlação da refletância com os componentes opticamente ativos avaliados.

Palavras-chave: Reservatório; Qualidade da água; Componentes opticamente ativos; Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The analytical approach to water quality is necessary not only for environmental studies but also for economic studies, since the development of the state of Amapá and the municipality of Ferreira Gomes, the region selected for this study, depends directly on this natural resource. However, it is noted that in the central region of the state, the problem of water quality increases due to the large amount of organic matter concentration in areas that are flooded and flooded during the construction of reservoirs, which causes vast amounts of concentration of carbon in the environment generate processes of water degradation. In addition, this problem is aggravated by the change in water quality in the reservoirs of the Araguari River, located downstream of the Ferreira Gomes Energia reservoir dam. Thus, the motivation of this work stems from this situation, which requires a continuous monitoring of the biota, so that there is no great damage to the environment and, consequently, to the quality of the water. Therefore, for the study of the direct contribution basin present in the reservoir, it is necessary to survey the various physical factors that may influence the water quality in the reservoir of the Ferreira Gomes HPP. From this, it was necessary to present the model of environmental vulnerability that presents the areas that are most likely if there are erosive processes. This work, therefore, had the objective of studying and analyzing the variables that influence the water quality of the aforementioned reservoir. To do so, the following methodology was adopted: (1) the delimitation of the study area and the mapping of this field work area to obtain a survey of its physical factors; (2) the construction of models of the entire catchment basin; and (3) the collection of water at various points in the reservoir, both for physical and chemical analysis in the laboratory, and for the analysis of the spectral behavior of each point, by means of the portable spectroradiometer. Thus, it was identified that 35% of the ombrophilous forest area was flooded with the reservoir construction. In addition, environmental vulnerability studies have shown that 15% of the direct contribution basin area is more likely to have erosive processes. Finally, in relation to water quality, the physico-chemical parameters classify the water body as class 1 according to CONAMA resolution 357 of 2005, due to the large amount of organic matter concentration in the water and the decomposition of the biomass that was flooded with the construction of the reservoir; the water has a dark coloration and contains a low concentration of suspended sediments, which presents a low correlation of the reflectance with the evaluated optically active components.

Key words: Reservoir; Water quality; Optically Active Components; Watershed

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Áreas de floresta alagadas no reservatório da UHE Ferreira Gomes	23
Figura 2 – Mapa localização do reservatório da UHE Ferreira Gomes em relação ao posicionamento na Bacia do Rio Araguari e a bacia de contribuição direta do reservatório.....	27
Figura 3 – Mapa de contribuição direta do reservatório da UHE Ferreira Gomes	30
Figura 4 – Rio Araguari a montante do reservatório da UHE Ferreira Gomes	32
Figura 5 – Compartimentos de um ambiente lacustre aquático	35
Figura 6 – Zonas de compartimentação de um reservatório	37
Figura 7 – Estudo do comportamento espectral das diversas cores de água.....	49
Figura 8 – Interação da energia eletromagnética da água	50
Figura 9 – Gráfico de refletância dos diversos tipos de água.....	51
Figura 10 – Espectro de absorção da água pura. Absorção entre os comprimentos de onda entre 310 nm - 790 nm e entre 790 nm – 1000 nm	51
Figura 11 – Interação da luz com os componentes oticamente ativos	54
Figura 12 – Comportamento espectral de absorção da Matéria Orgânica Dissolvida	55
Figura 13 – Variação de refletância pela concentração de sedimentos.....	56
Figura 14 – Diferentes quantidades de clorofila e suas diferenças na refletância	57
Figura 15 – Reflexões que ocorrem no corpo hídrico	59
Figura 16 – Pontos de coleta sobre o reservatório da Ferreira Gomes Energia	70
Figura 17 – Mapas com as fotos de pontos de coleta no reservatório da UHE Ferreira Gomes	72
Figura 18 – Imagens Landsat da Bacia do reservatório da UHE Ferreira Gomes	74
Figura 19 – Sonda multiparâmetros OAKTON PCD-650	75
Figura 20 – Exemplo de tratamento do banco de dados georreferenciados e coletados em SQL	76
Figura 21 – Processo de calibração do aparelho e depois a coleta do dado de comportamento espectral. ...	79
Figura 22 – Metodologia de coleta de dados do comportamento espectral da água dentro de um barco	80
Figura 23 – Vegetação de cerrado na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes.	82
Figura 24 – Área de mata ciliar queimada para plantio agrícola e retirada de madeira.	82
Figura 25 – Mapas de vegetação da bacia de captação do reservatório da UHE.....	84
Figura 26 – Mapa de Geologia da bacia de captação do reservatório da UHE.....	86
Figura 27 – Mapa geomorfológico da bacia de captação do reservatório da UHE.	88
Figura 28 – Relevo de colinas suavemente ondulado na Bacia do Reservatório da UHE Ferreira Gomes ..	89
Figura 29 – Mapa de declividade em % da bacia de contribuição direta.....	90
Figura 30 – Índice pluviométrico da bacia de captação da UHE Ferreira Gomes.....	92
Figura 31 – Médias pluviométricas mensais do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	93
Figura 32 – Mapa de solos da bacia de captação da UHE Ferreira Gomes	94
Figura 33 – Plantação de açaí na área na bacia do reservatório	95
Figura 34 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	96

Figura 35 – Plantação de macaxeira na área na bacia do reservatório.....	97
Figura 36 – Mineração de brita no reservatório do UHE Ferreira Gomes.....	97
Figura 37 – Área que foi limpa para a passagem de linha de transmissão.....	98
Figura 38 – Solo exposto de área abandonada do canteiro de obras.....	98
Figura 39 – Mapa geológico de vulnerabilidade da bacia de captação do reservatório.....	101
Figura 40 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da amplitude altimétrica	103
Figura 41 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da declividade da bacia.....	105
Figura 42 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da amplitude interfluvial da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes	108
Figura 43 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da geomorfologia da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.	109
Figura 44 – Modelo Digital de Terreno da UHE Ferreira Gomes	111
Figura 45 – Mapa hipsométrico e perfil topográfico.....	112
Figura 46 – Mapa de vulnerabilidade ambiental dos solos da bacia de captação do reservatório.....	114
Figura 47 – Mapa de vulnerabilidade ambiental do uso do solo da bacia de captação	116
Figura 48 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da pluviometria da bacia de captação	117
Figura 49 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia do reservatório da UHE.	119
Figura 50 – Mapa de uso e ocupação da bacia do reservatório o nos anos 1997, 2007, 2017.....	124
Figura 51 – Área de floresta alagada no reservatório da UHE Ferreira Gomes.	125
Figura 52 – Área alagada com a construção do reservatório no ano de 2013.....	126
Figura 53 – Vegetação a margem do reservatório da UHE Ferreira Gomes	128
Figura 54 – Espacialização dos dados de temperatura do ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca, vazante.....	129
Figura 55 – Gráfico de temperatura do reservatório da UHE Ferreira Gomes	130
Figura 56 – Estatística descritiva da temperatura da UHE Ferreira Gomes	130
Figura 57 – Teste de anova one-way utilizando a variável temperatura.....	131
Figura 58 – Espacialização dos dados da condutividade elétrica no reservatório da UHE Ferreira Gomes no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante.....	133
Figura 59 – Gráfico de concentração da condutividade elétrica na UHE Ferreira Gomes.....	134
Figura 60 – Estatística descritiva do reservatório da UHE Ferreira Gomes	134
Figura 61 – Teste Anova one-way do reservatório da UHE Ferreira Gomes	135
Figura 62 – Espacialização de dados de oxigênio dissolvido nas estacoes de enchente, cheia, vazante e seca do reservatório da Ferreira Gomes Energia.....	137
Figura 63 – Gráfico de concentração de oxigênio dissolvido no reservatório da UHE Ferreira Gomes	138
Figura 64 – Estatística descritiva de concentração de Oxigênio Dissolvido	138
Figura 65 – Teste de Anova one-way nas concentrações de Oxigênio Dissolvido	139
Figura 66 – Espacialização dos dados coletados de transparência no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	140

Figura 67 – Gráfico de transparência no reservatório da UHE Ferreira Gomes	141
Figura 68 – Estatística descritiva da transparência do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	141
Figura 69 – Teste de Anova one-way de transparência da água do reservatório UHE Ferreira Gomes	142
Figura 70 – Gráfico de pH no reservatório na UHE Ferreira Gomes	143
Figura 71 – Espacialização dos dados de pH no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes	144
Figura 72 – Estatística descritiva de pH nos trabalhos de campo	145
Figura 73 – Teste Anova one -way de pH nos reservatórios da UHE Ferreira Gomes.	146
Figura 74 – Gráfico de salinidade no reservatório da UHE Ferreira Gomes	147
Figura 75 – Espacialização da salinidade no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes	148
Figura 76 – Teste de Anova One-Way de salinidade .no reservatório da UHE Ferreira Gomes	149
Figura 77 – Mapa de distribuição do Total de Sólidos Dissolvidos no ano de 2017 nos períodos de cheia enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	150
Figura 78 – Valores da concentração de Total de Sólidos Dissolvidos no reservatório	151
Figura 79 – Estatística descritiva dos valores de total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes	151
Figura 80 – Teste anova one way de Total de Sólidos Dissolvidos.....	152
Figura 81 – Concentração de sólidos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes	153
Figura 82 – Análise exploratória dos sólidos suspensos do reservatório da UHE Ferreira Gomes	154
Figura 83 – Teste Anova de sólidos suspensos da UHE Ferreira Gomes.....	154
Figura 84 – Mapa de sedimentos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes	155
Figura 85 – Gráfico de concentração de nitrito do reservatório da UHE Ferreira Gomes	156
Figura 86 – Estatística descritiva da concentração de nitrito	157
Figura 87 – Espacialização dos dados nitritos do ano de 2017	158
Figura 88 – Teste Anova One Way para diferenciação entre as estacoes climáticas	159
Figura 89 – Gráfico de concentração de nitrato na UHE Ferreira Gomes	160
Figura 90 – Espacialização da concentração dos nitratos no reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	161
Figura 91 – Estatística descritiva da concentração de nitrato do reservatório da UHE.	162
Figura 92 – Teste de Anova one-way variável nitrato	162
Figura 93 – Espacialização da concentração de fosforo total da UHE Ferreira Gomes.	164
Figura 94 – Gráfico de concentração de Fosforo Total no reservatório da UHE	165
Figura 95 – Estatística descritiva da UHE Ferreira Gomes.....	166
Figura 96 – Teste de Anova One -Way de fosforo total	167
Figura 97 – Concentração de ortofosfato da UHE Ferreira Gomes	168
Figura 98 – Espacialização dos dados de ortofosfato no reservatório da UHE.	169
Figura 99 – Estatística descritiva da concentração de ortofosfato da UHE	170
Figura 100 – Teste Anova one-way de variação da concentração de ortofosfato.....	171

Figura 101 – Concentração de clorofila no reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	173
Figura 102 – Estatística descritiva da concentração de clorofila	173
Figura 103 – Espacialização da concentração de clorofila no reservatório da UHE.	174
Figura 104 – Teste de anova one-way concentração de clorofila.	175
Figura 105 – Gráfico de correlação entre a condutividade elétrica e total de sólidos dissolvidos	177
Figura 106 – Gráfico de correlação entre o fosforo e ortofosfato.....	178
Figura 107 – Correlação entre a transparência e o total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes.	179
Figura 108 – Gráfico de correlação entre a condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos.	179
Figura 109 – Gráfico de correlação entre a condutividade e a salinidade	180
Figura 110 – Gráfico de correlação entre o total de sólidos dissolvidos e transparência	181
Figura 111 – Gráfico de correlação das variáveis Na Cl e transparência	181
Figura 112 – Gráfico de correlação entre condutividade e transparência da água	182
Figura 113 – Gráfico de correlação entre a salinidade e o total de sólidos dissolvidos.....	183
Figura 114 – Gráfico de correlação entre a condutividade e o total de sólidos dissolvidos	184
Figura 115 – Gráfico de correlação entre a salinidade e a condutividade elétrica na água	184
Figura 116 – Gráfico de correlação entre ortofosfato e fosforo.....	185
Figura 117 – Gráfico de correlação entre pH e temperatura	186
Figura 118 – Rejeito de manganês no município de Serra de Navio próximo ao Rio Amapari.....	188
Figura 119 – Maquinário contendo manganês no município de Serra de Navio próximo ao Rio Amapari	188
Figura 120 – Compartimentação do reservatório baseado no Oxigênio Dissolvido.....	190
Figura 121 – Compartimentação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	191
Figura 122 – Espectros eletromagnéticos dos pontos coletados durante o período de enchente.....	195
Figura 123 – Margem das ilhas da UHE Ferreira Gomes.	196
Figura 124 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a cheia do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	197
Figura 125 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	198
Figura 126 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a seca do reservatório da UHE Ferreira Gomes	199
Figura 127 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a enchente	200
Figura 128 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a cheia.....	201
Figura 129 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante vazante.....	202
Figura 130 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a seca.	204

Figura 132 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de enchente do reservatório da UHE Ferreira Gomes	206
Figura 133 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de cheia do reservatório da UHE Ferreira Gomes.	206
Figura 134 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes	207
Figura 135 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de seca do reservatório da UHE Ferreira Gomes.	208
Figura 136 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a enchente amazônica	209
Figura 137 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a cheia amazônica.....	211
Figura 138 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a vazante amazônica	213
Figura 139 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a seca amazônica.....	215
Figura 140 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de enchente do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes	217
Figura 141 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de cheia do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes	218
Figura 142 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de vazante do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes	219
Figura 143 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de seca do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes	220

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diagrama de aplicação metodológico – Aplicação quali-quantitativa no Estudo de Caso	25
Quadro 2 – Classificação dos modelos de vulnerabilidade	34
Quadro 3 – Dados dos pontos de coleta, data e horário de coleta dos pontos amostrados	71
Quadro 4 – Cor da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de água, segundo a Resolução Conama 357/2005	46
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos, segundo resolução CONAMA 357/2005	46
Tabela 3 – Medidas de distância interfluvial, de peso e de cada classe de amplitude interfluvial	68
Tabela 4 – Coeficientes de correlação linear	78
Tabela 5 – Área de classes de vegetação da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes.	83
Tabela 6 – Área de classes de geologia da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes	85
Tabela 7 – Área das classes de geomorfologia da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes.	87
Tabela 8 – Área das classes de declividade da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes	89
Tabela 9 – Medias pluviométricas mensais do reservatório da UHE Ferreira Gomes.	91
Tabela 10 – Área das classes de solos da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes	93
Tabela 11 – Área das classes de uso da terra da bacia do reservatório.	99
Tabela 12 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de geologia da UHE Ferreira Gomes	102
Tabela 13 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de Amplitude Altimétrica.....	104
Tabela 14 – Dados de área do modelo de vulnerabilidade de declividade	104
Tabela 15 – Dados d áreas de amplitude interfluvial	107
Tabela 16 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de geomorfologia.....	107
Tabela 17 – Áreas do modelo de vulnerabilidade do solo	113
Tabela 18 – Modelo de Vulnerabilidade de Uso e Ocupação do Solo.....	115
Tabela 19 – Áreas das unidades territoriais básicas do modelo de vulnerabilidade da Bacia da UHE Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes.....	120
Tabela 20 – Área das classes de uso da terra da bacia do reservatório	123
Tabela 21 – Área das classes alagadas pelo espelho de água do reservatório	125
Tabela 22 – pH na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	145
Tabela 23 – Correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório da UHE Ferreira Gomes durante o período de enchente	176
Tabela 24 – Tabela de correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório	177
Tabela 25 – Tabela de correlação de dados limnológicos durante a estação de vazante.....	182
Tabela 26 – Tabela de correlação de dados limnológicos durante a estação de seca.	185
Tabela 27 – Tabela de temperatura da água do reservatório	242
Tabela 28 – Tabela de condutividade elétrica no reservatório	242
Tabela 29 – Tabulação de oxigênio dissolvido durante as coletas de campo	243
Tabela 30 – Tabulação de transparência no reservatório da UHE Ferreira Gomes	244
Tabela 31 – Tabela de pH no reservatório da UHE Ferreira Gomes	245
Tabela 32 – Tabela de coleta de NaCl no reservatório da UHE Ferreira Gomes	245
Tabela 33 – Tabela do total de sólidos dissolvidos na UHE Ferreira Gomes.....	246

Tabela 34 – Dados de nitrito no reservatório da UHE Ferreira Gomes	247
Tabela 35 – Tabela de nitrato do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	248
Tabela 36 – Tabela de fosforo no reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	248
Tabela 37 – Tabela de ortofosfato do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	249
Tabela 38 – Tabela de clorofila na área de estudo	250

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

COA – Componente opticamente ativo

COT – Centro de Ordenamento Territorial

CPRM – Conselho Prospecção de Recursos Naturais

DSG – Departamento Serviço Geográfico do Exército

GEA – Governo do Estado do Amapá

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

IEPA – Instituto Estadual de Pesquisa do Amapá

IMAP – Instituto do Meio Ambiente e Ordenamento Territorial do Amapá

OLI – *Operational land imager*

SEMA – Secretária do Meio Ambiente

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TIN – Triangular irregular network (modelo triangular de terreno)

UHE – Usina Hidrelétrica

μm – milionésima parte da unidade internacional de medida de comprimento da onda a 10^{-6} metros.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
a) Hipóteses	23
b) Objetivos	23
c) Metodologia	24
PARTE I – CARACTERIZAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	26
1. REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
1.1 Cores das Águas	31
1.2 Modelo de vulnerabilidade ambiental	32
1.3 Limnologia	34
1.4 O estudo da qualidade da água e sua relação com as bacias hidrográficas	37
1.4.1 <i>Parâmetros físico-químicos da qualidade de água.....</i>	<i>38</i>
1.4.1.1 Cor	38
1.4.1.2 Turbidez, sólidos suspensos e transparências.....	39
1.4.1.3 Condutividade elétrica	39
1.4.1.4 Temperatura da água	40
1.4.1.5 Parâmetro físico do oxigênio dissolvido	40
1.4.1.6 Salinidade.....	41
1.4.1.7 pH: potencial Hidrogeniônico	41
1.4.1.8 Fósforo e ortofosfato para estudo da qualidade da água	42
1.4.1.9 Nitrogênio, nitrato e nitrito para estudo da qualidade da água.	43
1.4.1.10 Estudo de clorofila para a qualidade da água	44
1.4.2 <i>Avaliação da qualidade de água em reservatório</i>	<i>44</i>
1.4.3 <i>Resolução Conama número 357/2005</i>	<i>45</i>
1.5 Geotecnologias aplicadas aos estudos dos ambientes aquáticos.	47
1.5.1 <i>A interação da luz com a água</i>	<i>49</i>
1.5.2 <i>Propriedades óticas da água</i>	<i>52</i>
1.5.3 <i>Componentes Opticamente Ativos da Água - COAs</i>	<i>53</i>
1.5.4 <i>Técnicas de análises dos componentes opticamente ativos da água.</i>	<i>57</i>
1.6 Qualidade da água e sensoriamento remoto.....	58
1.6.1 <i>Comportamento espectral dos alvos naturais para confeccionar o uso e ocupação do solo.</i>	<i>60</i>
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	62
2.1 Uso da terra	63
2.2 Modelo de vulnerabilidade	67
2.3 Método para análise da qualidade das águas	69
2.4 Realização do estudo de análise da paisagem	73
2.5 Levantamento dos parâmetros limnológicos para estudo da qualidade da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.....	74
2.5.1 <i>Metodologia para interpolação espacial das variáveis limnológicas.</i>	<i>76</i>
2.5.2 <i>Estudo estatístico da variáveis limnológicas.....</i>	<i>77</i>
2.6 Metodologia para o estudo do comportamento espectral da água	78
2.6.1 <i>Análise de precipitação na área de estudo.....</i>	<i>78</i>
2.6.2 <i>Procedimento para coletas do comportamento espectro eletromagnético e processamento dos dados coletados.....</i>	<i>78</i>
PARTE II – CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA.....	81
1. ANÁLISE DOS FATORES FÍSICOS DA BACIA DE CAPTAÇÃO	81
1.1 Análise espacial da vegetação	81
1.2 Análise do esboço geológico.....	85
1.3 Análise geomorfológica.....	87
1.4 Análise da declividade	89

1.5	Análise do índice pluviométrico	91
1.6	Análise pedológica	93
1.7	Análise do uso e ocupação do solo e sua influência na bacia hidrográfica.	95
2.	MODELO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	100
2.1	Análise de vulnerabilidade geológica da bacia de contribuição direta do reservatório	100
2.2	Estudo de vulnerabilidade ambiental da geomorfologia da bacia de contribuição direta do reservatório.	102
2.2.1	<i>Amplitude altimétrica da bacia de captação</i>	102
2.2.2	<i>Declividade da bacia de contribuição direta</i>	104
2.2.3	<i>Amplitude interfluvial da bacia de captação do reservatório</i>	106
2.3	Análise espacial da vulnerabilidade ambiental do solo da bacia de contribuição direta do reservatório	110
2.4	Análise da vulnerabilidade ambiental do uso e ocupação da terra da bacia de contribuição direta do reservatório.	113
2.5	Análise de vulnerabilidade da pluviometria da bacia de contribuição direta do reservatório	115
2.6	Análise de vulnerabilidade ambiental da bacia de contribuição direta do reservatório.	115
3.	ANÁLISE DA ALTERAÇÃO DA PAISAGEM DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA DO RESERVATÓRIO	122
3.1	Análise da paisagem do reservatório da bacia de captação nos anos de 1997, 2007 e 2017	122
3.2	Análise da métrica da mudança da paisagem do reservatório da bacia de contribuição direta do reservatório durante os anos de 1997, 2007 e 2017	123
4.	ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS	127
4.1	Análise dos parâmetros físicos da água	127
4.1.1	<i>Análise da temperatura da água do reservatório.</i>	127
4.1.2	<i>Análise da condutividade elétrica do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	132
4.1.3	<i>Análise do oxigênio dissolvido do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	135
4.1.4	<i>Análise da transparência da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	139
4.1.5	<i>Análise do pH da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	142
4.1.6	<i>Análise da salinidade da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	147
4.1.7	<i>Análise do Total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	149
4.1.8	<i>Análise do Total de sólidos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes</i>	153
4.2	Análise dos parâmetros químicos da água.	156
4.2.1	<i>Análise do nitrito do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	156
4.2.2	<i>Análise do nitrato na água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	159
4.2.3	<i>Análise do fósforo total da água no reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	163
4.2.4	<i>Análise do ortofosfato da água da do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	167
4.2.5	<i>Análise da clorofila nas águas do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	171
4.2.6	<i>Análise de correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório</i>	175
4.2.6.1	<i>Análise durante o período de enchente.</i>	175
4.2.6.2	<i>Análise durante o período de cheia.</i>	177
4.2.6.3	<i>Análise durante o período de vazante.</i>	182
4.2.6.4	<i>Análise durante o período de seca.</i>	185
4.2.7	<i>Variável limnológica de maior influência no reservatório</i>	186
4.3	Compartimentação do reservatório em zona fluvial, zona de transição e zona lacustre.	188
5	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS COAS D'ÁGUA	192
5.1	Análise do comportamento espectral da água do reservatório	194
5.1.1	<i>Regime de enchente</i>	194
5.1.2	<i>Regime de cheia</i>	196
5.1.3	<i>Regime de vazante</i>	197
5.1.4	<i>Regime de seca</i>	198
5.2	Análise dos correlogramas entre os comprimentos de onda e as propriedades óticas da água	199

5.2.1	<i>Trabalho de campo durante na enchente realizado no dia 17/03/2017.....</i>	200
5.2.2	<i>Trabalho de campo na enchente realizado no dia 06/06/2017.....</i>	201
5.2.3	<i>Trabalho de campo na vazante realizado no dia 17/09/2017</i>	202
5.2.4	<i>Trabalho de campo na seca realizado no dia 17/09/2017.</i>	203
5.3	Análise da derivada dos espectros eletromagnéticos coletados.	205
5.3.1	<i>Trabalho de campo realizado na enchente que foi feito no dia 17/03/2017.</i>	205
5.3.2	<i>Trabalho de campo durante a cheia que foi feito no dia 06/06/2017.</i>	206
5.3.3	<i>Trabalho de campo durante a vazante realizado no dia 17/09/2017.</i>	207
5.3.4	<i>Trabalho de campo durante a seca que foi feito no dia 29/11/2017.....</i>	208
5.4	Análise do correlograma das derivadas dos comprimentos de onda com as variáveis limnológicas da água.	209
5.4.1	<i>Período de enchente</i>	209
5.4.2	<i>Período de cheia</i>	211
5.4.3	<i>Período de vazante</i>	213
5.4.4	<i>Período de seca</i>	214
5.5	Análise da remoção do contínuo dos pontos de coleta do comportamento espectral realizados no período de cheia, enchente, vazante e seca no reservatório da UHE Ferreira Gomes	216
5.5.1	<i>Período de enchente.</i>	217
5.5.2	<i>Período de cheia</i>	218
5.5.3	<i>Período de vazante</i>	219
5.5.4	<i>Período de seca.....</i>	220
6	ANÁLISE HOLÍSTICA DOS DADOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL, DADOS LIMNOLÓGICOS E DE RADIOMETRIA	221
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	223
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
	APENDICE A - TABULAÇÃO DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DA UHE FERREIRA GOMES.	242
A.1	Tabulação parâmetros físicos da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes	242
A.1.1	<i>Tabela da temperatura da bacia de captação do reservatório.</i>	242
A.1.2	<i>Tabulação da condutividade elétrica da bacia de captação.....</i>	242
A.1.3	<i>Tabela do oxigênio dissolvido da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	243
A.1.4	<i>Tabela da transparência da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	244
A.1.5	<i>Tabela do pH da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	245
A.1.6	<i>Tabela do NaCl da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	245
A.1.7	<i>Tabela do Total de sólidos dissolvidos da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	246
A.2	Tabela dos parâmetros químicos da água.....	247
A.2.1	<i>Tabela do nitrogênio da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	247
A.2.2	<i>Tabela do fósforo da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	248
A.2.3	<i>Tabela da clorofila da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.</i>	250

APRESENTAÇÃO

Esta tese busca relacionar, de maneira eficiente, as temáticas da água e do sensoriamento remoto e, portanto, sua relevância apoia-se na delimitação de um trabalho que visa compreender as alterações do ambiente e o uso de geotecnologias aplicadas à qualidade da água de um reservatório no estado do Amapá. Nesse sentido, evidencia-se que, apesar de se tratar de uma área localizada na região amazônica, rica em recursos hídricos, as comunidades ribeirinhas do rio Araguari sofrem com a falta de energia e de água potável, especialmente durante o período do verão amazônico. Sendo assim, a tese é composta por duas partes. Sendo que a primeira parte com os dois primeiros capítulos apresenta o referencial teórico e metodologia que vai basear o resultado e discussão da tese. A segunda parte composta por três capítulos discutem os fatores e as variáveis ambientais que podem influenciar a qualidade da água no reservatório da UHE Ferreira Gomes, localizado no rio Araguari.

No primeiro capítulo apresenta-se a descrição dos fatores físicos que compõem a bacia de captação direta do reservatório da UHE Ferreira Gomes, desenvolvendo-a por meio de estudos bibliográficos, de compilação de dados cartográficos e de trabalho de campo.

O segundo capítulo aborda os fatores físicos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrográficos e de uso da terra, que foram referenciados no primeiro capítulo, para o desenvolvimento de um modelo de vulnerabilidade ambiental capaz de identificar as áreas de maior probabilidade de processos erosivos na bacia direta do reservatório. Para realização deste capítulo, foram utilizadas interpolações espaciais e operações aritméticas de imagem.

O terceiro capítulo avança no estudo das mudanças das paisagens que ocorrem na área da bacia hidrográfica de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes, caracterizada nos capítulos anteriores. Para tanto, o estudo também utiliza imagens de satélite anteriores à construção do reservatório.

O quarto capítulo levanta as variáveis limnológicas para o estudo da qualidade da água e analisa o enquadramento do reservatório em relação à Resolução Conama nº 357, de 2005. Além disso, avalia se as alterações na paisagem, caracterizadas no capítulo três, influenciam as alterações na qualidade da água. Para construir este capítulo realizou-se trabalho no laboratório e a coleta de água em vários pontos do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Por último, o quinto capítulo aborda o comportamento espectral dos componentes opticamente ativos da água para a avaliação da qualidade da água, utilizando os parâmetros analisados no capítulo anterior. Para a realização deste trabalho, foram coletados dados no trabalho de campo utilizando o espectro radiômetro.

INTRODUÇÃO

O meio ambiente é um tema que progressivamente vem ganhando uma posição de importância e, atualmente, é objeto de estudo das mais variadas ciências. As pesquisas sobre esse tema obtiveram um alto patamar que já o colocam como uma nova área do conhecimento científico ou, no mínimo, um espaço comum às diversas ciências que se concentram em torno do mesmo objeto: os estudos sobre a água (CHRISTOFOLETTI, 1981; ROSS, 1996; CREPANI, 1996).

A quantidade e o aprofundamento dos estudos científicos sobre a água são fruto da gravidade que o assunto assumiu para a espécie humana, pois trata-se de um recurso natural imprescindível, do qual todos os seres vivos dependem. Assim, é fundamental o tratamento holístico dado às pesquisas da água (VON SPERLING, 1996).

Em torno dessa temática, existe a abrangência do trabalho dos campos das ciências humanas, exatas e biológicas. Esta interdisciplinaridade procura entender as necessidades da humanidade, principalmente em regiões como a amazônica, que dependem da água para alimentação, transporte, geração de energia e sobrevivência (AB'SABER, 2002; BELÉM e CABRAL, 2019).

Ao estudar as condições do meio ambiente em uma perspectiva sistêmica e, portanto, pode-se caracterizar uma análise espacial que permita estabelecer correlações e modelos entre diversas variáveis ambientais, as quais possam ser estimadas na evolução e na espacialização da qualidade da água. É possível estabelecer cenários mais realistas que ensejem planejar melhores soluções a serem tomadas, visando a minimização de impactos e a sustentabilidade ambiental (CHRISTOFOLETTI, 1999; ROCHA *et.al*, 2014).

Os estudos relacionados à qualidade da água devem, portanto, ser realizados a partir de uma visão holística, por meio da análise espacial, afinal, ela é relevante para o tratamento das informações espaciais e das interações de fenômenos ambientais em um determinado estudo de interesse (CREPANI *et al.*, 1996). Dessa forma, as ciências exatas e as ciências da terra deixam de ser utilizadas separadamente e passam a agir de maneira integrada, como no caso da análise da qualidade da água sob a ótica, também, da abordagem da paisagem.

Para se obter uma pesquisa de qualidade da água relevante por meio de um tratamento interdisciplinar – com o objetivo de validar variáveis e um amplo espectro de perspectivas e, dessa maneira, representar os fatores ambientais o mais próximo possível de modelos de confiabilidade. Para tal, o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é aplicado às

variáveis espaciais, visando analisar os fenômenos e os impactos ambientais que ocorrem no meio ambiente. (CREPANI *et al.*, 1996; CRHISTOFOLETTI, 1999; PEREIRA-FILHO, 1991).

O Geoprocessamento é uma ferramenta de análise espacial considerada um excelente instrumento de apoio à tomada de decisão na avaliação de empreendimentos ambientais, principalmente aqueles que têm conexão com a água (ANDREWS; SOENYINK, 1995).

Necessária uma boa qualidade da água nos recursos hídricos, segundo Palhares (2010), existem grandes empecilhos para achar equilíbrio e conformidade quanto à temática, pois atualmente não é possível encontrar algum país ou grande empresa que tenha em seus objetivos principais a defesa da qualidade da água presente no meio ambiente.

A sociedade vem encontrando várias dificuldades típicas do período pós-industrial, entre elas a necessidade de integrar o crescimento socioeconômico à manutenção dos recursos naturais. Por isso, a apreensão em relação à deterioração da água, causada pelo desenvolvimento econômico desordenado, deu inserção ao termo “qualidade da água”, que passou a ser utilizado quando os níveis de degradação atingem patamares intensamente conexos com a queda na qualidade de vida (PALHARES, 2010).

Esta relação entre a água e o crescimento econômico virou, então, causa de preocupação universal. A exploração deste recurso, com efeito, é uma atividade que tem muito impacto no meio ambiente e na economia das regiões em que estão presentes os reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) (PALHARES; GUERRA, 2018).

Deve-se verificar este movimento acontecendo, especialmente, na região amazônica, onde existe uma ampla abundância de rios e que, portanto, torna-se uma área básica para a geração da energia elétrica para o país, por meio das construções de novas UHE. Apesar de ser menos onerosa aos cofres públicos, esta modalidade é a que atualmente causa maior impacto ambiental, visto que os reservatórios das usinas alagam as áreas de floresta primária e secundária e atingem as comunidades ribeirinhas (BECKER, 2007).

No estado do Amapá, o uso desse modelo de matriz energética não tem sido diferente, pois predomina a adoção do desenvolvimento econômico por meio da construção das usinas hidrelétricas, como a que está localizada no município de Ferreira Gomes. O reservatório da Usina Hidrelétrica Ferreira Gomes Energia, de mesmo nome da cidade em que se instalou, está localizado na bacia do rio Araguari, no extremo norte do Brasil.

A energia produzida pela Ferreira Gomes Energia S.A, que gere a usina, é distribuída por meio de linha de transmissão elétrica até a usina de Tucuruí, para a distribuição na rede nacional de energia.

De fato, a hidrelétrica UHE Ferreira Gomes teve sua construção iniciada no ano de 2012 e passou a funcionar a partir de dezembro de 2014. Com isso, tornou-se importante para a comunidade local, pois, além de estar voltada principalmente para a produção da energia elétrica, seu reservatório é utilizado para pesca e atividades turísticas da região central do Amapá. Além disso, na bacia hidrográfica direta do reservatório acontecem outras atividades econômicas, como a agricultura, atividades náuticas, exploração mineral e turismo.

Mesmo assim, sublinhe-se que, antes da construção do empreendimento hidrelétrico, a área inundada era composta por uma floresta ombrófila densa, de pequenas propriedades agrícolas, de cerrado e de afloramentos rochosos. Após a constituição do reservatório, toda a região do entorno passou a ser considerada Área de Proteção Permanente (APP), de acordo com a Resolução Conama nº 302/2002 (BRASIL, 2002).

Nesse sentido, o reservatório se caracteriza principalmente por apresentar o alagamento de uma ampla área de vegetação e por mostrar uma grande quantidade de formações lenhosas mortas, conforme mostra, mais abaixo, a Figura 1. Isso fez com que a qualidade da água fosse afetada, principalmente porque houve alteração de seus parâmetros físico-químicos. Como exemplo, nota-se que a alteração destes parâmetros da qualidade da água pode ter provocado, a jusante da barragem do reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes Energia, o morticínio de peixes em maio 2015. De acordo com o relatório do Instituto de Ordenamento Territorial do Amapá (IMAP, 2016), foi causada por uma grande concentração de oxigênio dissolvido na água, que provocou uma supersaturação de oxigênio e promoveu nos peixes alterações físicas, como bolhas e olhos esbugalhados; constatou-se, posteriormente, que a causa da morte foi embolia.

A partir das caracterizações levantadas anteriormente, sobre a situação e o contexto da qualidade da água, bem como sobre suas análises, a implantação da UHE e as consequentes alterações do meio ambiente a partir da criação do reservatório. Este trabalho parte para responder o seguinte questionamento: as alterações do ambiente lótico para o lântico e a inundação de uma grande quantidade de biomassa em que medida alteram a qualidade da água do reservatório da Ferreira Gomes? Como é possível verificar as alterações da qualidade da água do rio Araguari com a mudança de ambiente lântico para lótico?

Figura 1 – Áreas de floresta alagadas no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Acervo do autor, 2017

a) Hipóteses

A hipótese geral deste trabalho que o modelo de uso da terra e a cobertura vegetal da bacia de captação do rio Araguari, que abastece o reservatório da UHE Ferreira Gomes, influenciam a qualidade da água deste reservatório. Também se considera a influência da água a partir das características físicas em que este reservatório está inserido como a geologia, pedologia e vegetação. Também deve levantar se as áreas alagadas do reservatório alteraram a qualidade da água e como houve esta modificação da qualidade água. Avalia -se que as nascentes do rio Araguari no Parque Nacional do Tumucumaque apresentaram influência na qualidade da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Por fim, considera-se também que o reservatório possui, a seu montante, outros dois reservatórios em cascata, que são o da Usina Hidrelétrica do Paredão e o da Usina Hidrelétrica de Coroacy Nunes e, por isso, levanta-se a hipótese de que a localização geográfica irá afetar a variável limnológica presente no reservatório.

b) Objetivos

Como objetivo geral, se estabelece a realização de uma avaliação sobre o uso da terra e a mudança do ambiente lântico para lótico pode influenciar a qualidade das águas e do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Analisar os dados limnológicos do corpo hídricos e as alterações provocados pelas mudanças do ambiente lótico para lântico. Avaliar a qualidade das

águas do reservatório identificando seus principais condicionantes. A partir disso verificar o quanto propriedades ópticas do corpo hídrico podem ter alguma integração de dados limnológicos e do espectro de radiometria de campo. Desse modo, os objetivos específicos são:

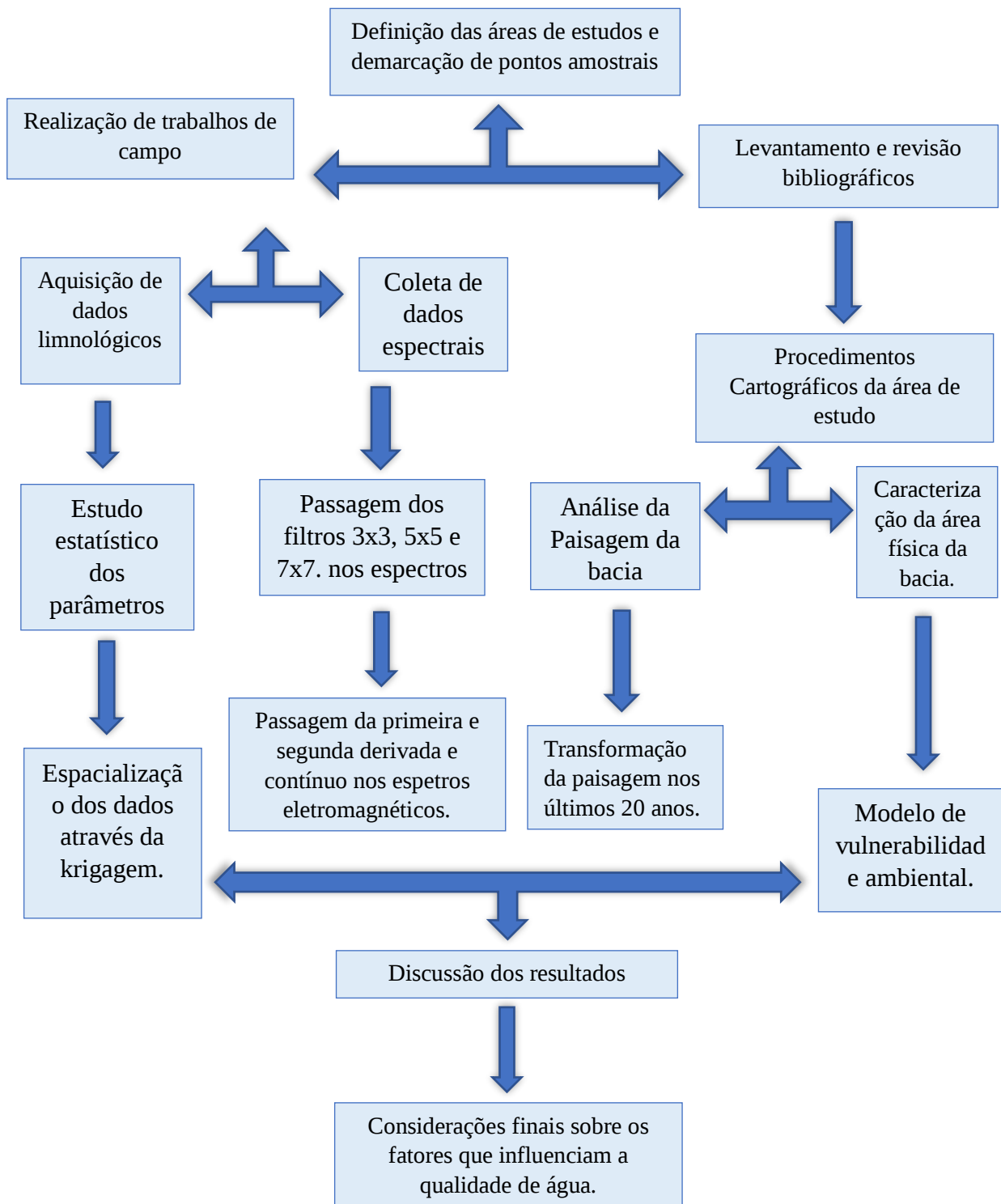
- a) realizar análise espacial das feições geográficas que compõem a bacia hidrográfica de captação direta do reservatório da UHE Ferreira Gomes e a influência destes parâmetros na qualidade da água;
- b) realizar uma análise espaço-temporal da paisagem da bacia de abastecimento direto do reservatório, para identificar quais foram as alterações ocorridas e a influência na qualidade das águas.
- c) identificar as áreas de maior vulnerabilidade ambiental, as quais são mais propícias aos processos erosivos que ocorrem na bacia hidrografia de abastecimento direto do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes;
- d) realizar o estudo do corpo hídrico e avaliar o nível de impacto ambiental causado pela alteração do ambiente lótico para o ambiente lêntico; realizar a compartimentação do reservatório em zona fluvial, zona de transição e zona lacustre.
- e) avaliar se a utilização do método de reflectância da água pode ser validado para identificar os COAs (componentes opticamente ativos) em reservatórios de águas escuras.

c) Metodologia

A aplicação metodológica adotada foi delimitada e realizada conforme fluxograma representado abaixo, no Quadro 1, que contém a apresentação dos procedimentos metodológicos utilizados para a compilação nesta tese.

Portanto, esta tese foi dividida em duas partes: a primeira consiste em uma caracterização teórico-metodológica, que subsidia os capítulos 1 e 2, tratando do referencial teórico e da descrição específica das características dos procedimentos metodológicos; a segunda parte, por sua vez, é destinada à caracterização analítica, em que apresenta-se a análise do estudo de caso na bacia de captação da UHE Ferreira Gomes.

Quadro 1 – Diagrama de aplicação metodológico – Aplicação quali-quantitativa no Estudo de Caso



PARTE I – CARACTERIZAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O rio Araguari tem suas nascentes situadas na serra da Lombarda, no Platô das Guianas, dentro do Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, localizado no município de Serra do Navio. Este parque é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, conforme Resolução Conama, e possui um total de 38.649 km², abrangendo áreas nos estados do Pará e do Amapá. Algumas características limnológicas do rio Araguari estão relacionadas às suas nascentes diretamente ligadas ao Parque, como a grande quantidade de matéria orgânica dissolvida presente no rio.

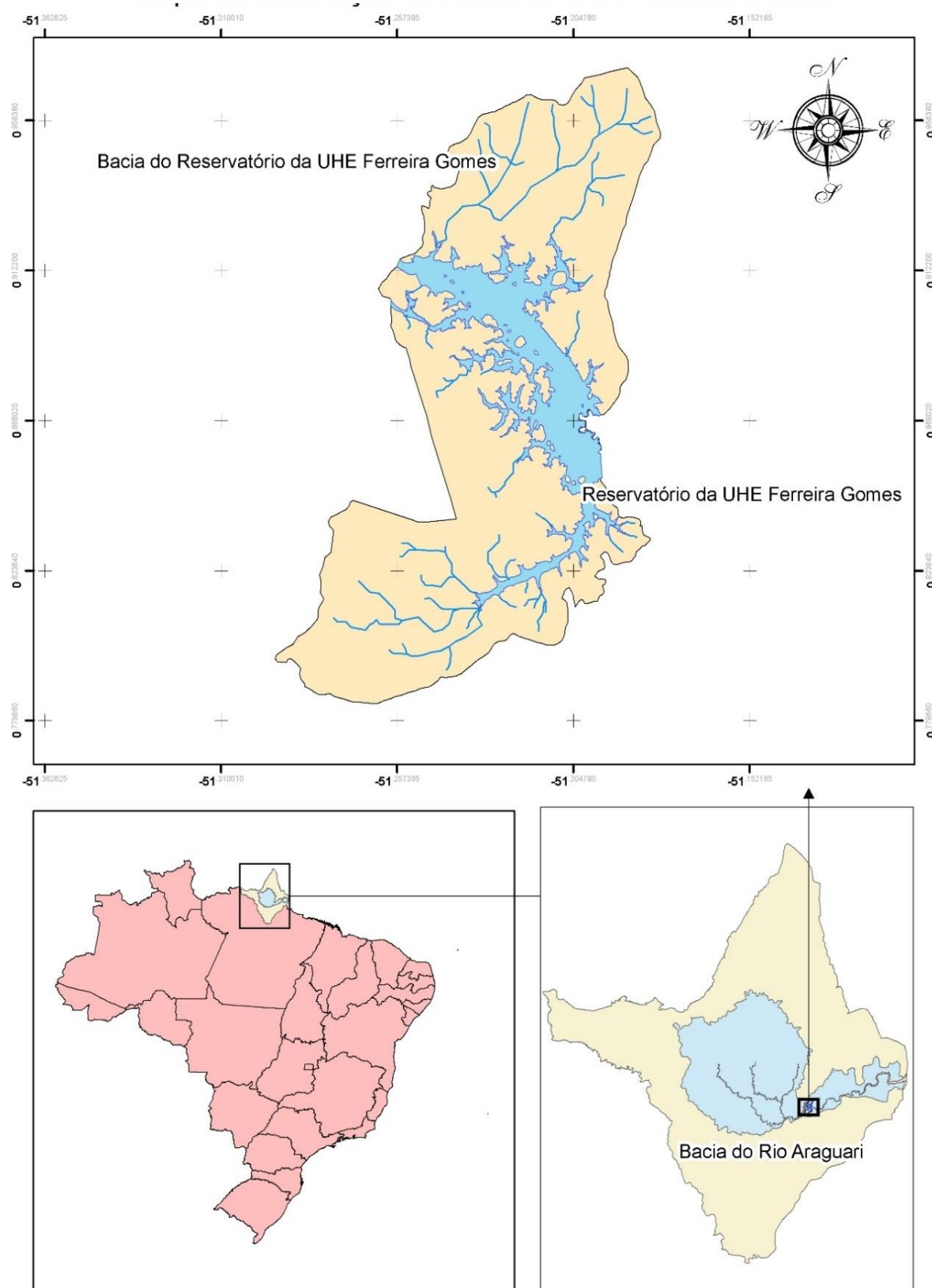
O rio Araguari apresenta uma extensão de 560 km e pode ser dividido em alto Araguari, médio Araguari e baixo Araguari. Esta divisão do rio se baseia nas cotas altimétricas: o alto rio está acima de 50-100m, o médio de 25-50m e o baixo de 0-25m.

O alto rio Araguari caracteriza-se por atravessar áreas de vegetação de floresta de terra firme e por uma geologia de embasamento cristalino que se distingue pela litologia de granito-gnáissico e migmatito (RADAMBRASIL, 1974). Nessa parte do rio, tem-se um dos seus principais afluentes, que é o rio Itajauí. As águas do alto rio Araguari caracterizam-se, principalmente, pelas águas escuras, determinadas pelo processo de lixiviação de grande quantidade de matéria orgânica presente nos solos do Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (CUNHA *et al.*, 2013).

O médio rio Araguari passa pelo município de Porto Grande e é neste trecho que ele recebe outros afluentes também importantes, que são os rios Amapari e Falsino. Esses afluentes atravessam os municípios de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari, antes de chegar ao médio Araguari. A área é muito utilizada para a exploração de seixos e areia e se caracteriza por estar localizada sobre uma região de embasamento cristalino, que compõe uma litologia de granodiorito, diorito e quartzo-diorito (RADAMBRASIL, 1974; ESPÍRITO SANTO *et al.*, 2017).

Além disso, é no médio rio Araguari que se localizam três UHE, demonstrando o grande potencial hidrelétrico da região. As UHE são as de Caldeirão, de Coroacy Nunes e a de Ferreira Gomes, sendo esta última o objeto de análise desta pesquisa, conforme o mapa de localização da bacia do reservatório da UHE Ferreira Gomes, apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Mapa localização do reservatório da UHE Ferreira Gomes em relação ao posicionamento na Bacia do Rio Araguari e a bacia de contribuição direta do reservatório.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

O baixo rio Araguari tem início quando atravessa o município de Ferreira Gomes. A região caracteriza-se pela presença da planície sedimentar do quaternário (RADAMBRASIL, 1974). Esta área é constituída por apresenta uma geologia de sedimentos não consolidados e arenitos do grupo barreiras o que fazem com que a cor do rio se altere da cor preta para barrenta (Silveira Et. al, 2006). Além disso, o baixo rio Araguari caracteriza-se por transportar uma grande quantidade de sedimentos e por haver a presença de pequenas ilhas em seu curso. O baixo rio também se distingue economicamente pelo uso extensivo das terras para a atividade primária da pecuária bufalina.

De fato, a bacia do rio Araguari é uma bacia importante do estado do Amapá, por ser a segunda maior do estado, precedida apenas pela bacia do rio Amazonas. Segundo Santos *et al.* (2009), a bacia do rio Araguari possui relevância estadual porque delimita a zona costeira amapaense. Ou seja, a foz da bacia do rio é utilizada para dividir o litoral amapaense em zona costeira e zona estuarina. Assim, a zona costeira é composta pelos rios da região norte, que deságuam diretamente no oceano Atlântico, ou seja, ela é delimitada a partir da foz da bacia do rio. Já no litoral sul, abaixo da foz da bacia, se inicia a área da zona estuarina, que abrange os rios que deságuam no estuário do rio Amazonas.

A bacia do rio Araguari apresenta uma vasta ictiofauna presente em seu ambiente, que serve para abastecimento das comunidades ribeirinhas presentes ao longo do rio, como a comunidade do Princesa, que se localiza no município de Tartarugalzinho/AP; a comunidade do Tabaco, que se localiza na área rural do município de Amapá/AP; e a comunidade do Santa Rosa, localizada no município de Cutias/AP. Além disso, a bacia também é utilizada para a sobrevivência das comunidades que se encontram na região costeira do estado, como a comunidade do Sucuriju, que se localiza no Atlântico Norte, no município de Amapá/AP (SANTOS *et. al*, 2011).

Os adventos econômicos dessa bacia se sobressaem para o estado do Amapá em decorrência da pecuária bufalina, a qual corresponde a quase 20% do PIB do estado (SEMA, 2015), mas também é a partir dos impactos causados por esta atividade ao meio ambiente que se incluem os registros de sérios danos à subsistência da população ribeirinha da região (DOMINGUES, 2004).

Outro impacto ambiental registrado no rio Araguari é a extinção do fenômeno da pororoca na foz do rio, cujo último registro foi no ano de 2010, de forma que foi oficialmente declarada não mais existente desde 2015. Com efeito, o fim da pororoca intensificou fenômenos de seca, devido ao acúmulo de sal causado pelo retorno das águas do oceano para dentro da foz. Não obstante, a seca também se manifesta em outras partes da bacia do rio Araguari, como no

conjunto de lagos que fazem parte da reserva biológica do Lago Piratuba, localizada nos municípios de Amapá, Cutias e Tartarugalzinho (SEMA, 2015). De fato, além da diminuição da ictiofauna na região, também está sendo registrado o princípio de recorrência das secas para além do regime normal na foz do rio Araguari (JORNAL DO DIA, 2014).

A queda da qualidade da água nas épocas de seca, quando ocorrem muitas queimadas, também é outro problema que afeta a bacia do rio Araguari. Nesse sentido, os resíduos das queimadas são escoados pelos afluentes para a calha principal da bacia do rio, deixando a água extremamente ácida com um pH chegando próximo a 3, impedindo o uso para consumo humano e desabastecendo a população ribeirinha que se localiza a jusante da cidade de Cutias (SANTOS *et. al*, 2014).

A bacia hidrográfica de contribuição direta ao reservatório da UHE Ferreira Gomes localiza-se às margens da BR-156. A bacia de contribuição direta é quase duzentas vezes menor do que a bacia do Rio Araguari, que tem uma área de 34.000 km².

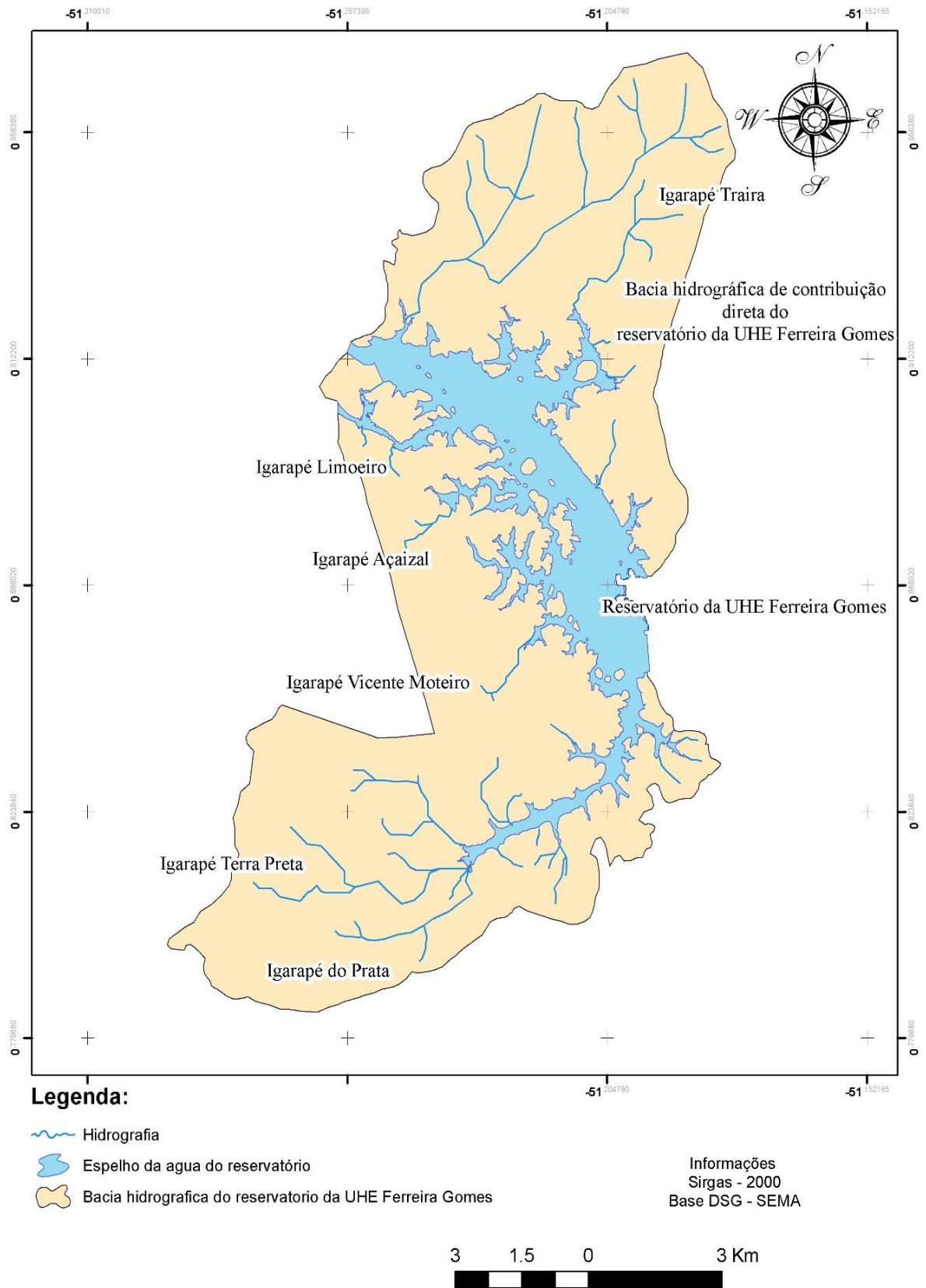
A UHE Ferreira Gomes é o terceiro reservatório do rio Araguari, já que, a montante do reservatório, localizam-se os reservatórios da UHE do Caldeirão e da UHE Coroacy Nunes. Com isso, a vazão do rio Araguari que abastece o reservatório da UHE Ferreira Gomes passa antes pelas turbinas ou pelo vertedouro da UHE Coroacy Nunes. De fato, no ano de 2017, a vazão média do reservatório da UHE Coroacy Nunes foi de 617 m³/s.

Segundo Siqueira (2011, p.54):

[...] a localização do barramento no rio Araguari está sob as coordenadas de 00°51', 15'' N e 51°11',42'' W. O regime de operação da hidrelétrica é de fio d'água que produzirá algo em torno de 252 MW/h de potência; a área do reservatório para alagamento será de 17,72 km² e os investimentos no projeto estimam o valor de R\$ 1,32 bilhões.

Na margem direita do reservatório da UHE Ferreira Gomes estão localizados os seus principais tributários, que são o Igarapé do Limoeiro, o Igarapé da Terra Preta e o Igarapé Açaizal, conforme mapa de hidrografia do reservatório apresentado na Figura 3. Esses igarapés caracterizam-se por apresentarem águas de cores escuras. Já o igarapé do Prata, mesmo que também esteja localizado na margem direita, se caracteriza por exibir a cor clara e esverdeada das águas. Já o reservatório da UHE Ferreira Gomes se caracteriza por apresentar águas escuras. Além disso, o reservatório desta bacia apresenta uma área de 17,72 km² e a bacia de contribuição direta do reservatório apresenta uma área de 136,51 km².

Figura 3 – Mapa de contribuição direta do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

1.1 Cores das Águas

Conforme apontado anteriormente, as águas dos rios na Amazônia possuem cores de três tipos distintos, classificadas em claras, negras e brancas (SIOLI, 1984). A diferença das cores é decorrente da interação distinta dos fótons de energia eletromagnética com a composição do corpo hídrico, que produz efeitos cromáticos diferentes. Além disso, a composição e, conseqüentemente, as características físico-químicas dos três tipos de água também são distintas.

Os rios de água branca apresentam uma alta turbidez e carregam grande quantidade de material particulado, principalmente de argila e silte. Esses sedimentos são originários das nascentes de regiões andinas, que sofrem processos erosivos muito altos. Assim, a alta quantidade de matéria orgânica e inorgânica tende a entrar em suspensão nas águas dos rios. Além disso, este tipo de água se caracteriza pela alta condutividade elétrica, pela alta turbidez e pela baixa transparência, cujo pH varia entre 6,2 e 7,2 (SIOLI, 1967; MUNTZ, 1978; SANTOS, 1984).

Já os rios de águas claras se caracterizam por apresentar aparência de águas cristalinas e translúcidas. Além disso, contém pouco material orgânico e inorgânico em suspensão, são pobres em sais minerais. Dessa forma, a transparência torna-se alta, apresentando baixa condutividade elétrica e pH levemente ácido, entre 5 a 6. Tal fato é explicado, principalmente, porque esses rios têm suas nascentes em áreas planas de embasamento cristalino, como o escudo cristalino das guianas em faixas carboníferas, que já sofreram processos erosivos ao longo do terciário e do quaternário e a vegetação presente ser de florestas (SMITH, 1979; MUNTZ, 1978; JUNK e MELO, 1990).

Os rios cujas águas são negras caracterizam-se pelo fato de suas nascentes encontrarem-se em regiões de solos espodosolos e porosos. De fato, as águas negras são provocadas pelo processo de biostasia que se caracteriza pela lixiviação da matéria orgânica, que percola até o recurso hidrográfico, caracterizado, principalmente, pelos ácidos húmicos e fúlvicos presentes no meio ambiente. Além disso, os rios de água negra que mostra a baixa condutividade, como o rio Araguari, conforme mostra a Figura 4. (LEENHER; SANTOS, 1980; JUNK; FURCH, 1980).

Figura 4 – Rio Araguari a montante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Acervo do autor, 2017

1.2 Modelo de vulnerabilidade ambiental

A partir das variáveis físicas do ambiente, é necessário realizar um levantamento para analisar diversos fatores de maneira sistêmica, por meio das análises das variáveis de geomorfologia, vegetação, geologia, uso e ocupação do solo, clima e pedologia. Dessa maneira, é possível identificar as áreas com maior ou menor vulnerabilidade ambiental.

A proposta de se analisar uma bacia de captação, em um primeiro momento, visa verificar se há uma modificação ocasionada pelo processo antrópico. Por isso, o estudo de vulnerabilidade ambiental torna-se uma importante ferramenta para o entendimento da dinâmica dos processos erosivos em uma determinada área e visa suprir a necessidade de gerar conhecimentos sobre estes processos em uma bacia, que podem produzir resultados diretos e impactantes para qualquer empreendimento.

Com efeito, o índice de vulnerabilidade ambiental serve como uma previsão das áreas mais ou menos suscetíveis aos impactos ambientais, considerando o uso e a ocupação do solo por uma determinada sociedade. Por isso, um princípio importante desses índices é trabalhar com uma visão multidisciplinar e holística sobre o ambiente, considerando, conforme já foi dito, diversas variáveis ambientais, como pedologia, clima, uso e ocupação do solo, geologia e geomorfologia.

De fato, o modelo de vulnerabilidade ambiental foi construído a partir do conceito de Tricart (1977), que consolidou as referências teóricas e metodológicas para a análise integrada do meio ambiente, ao associar diferentes fatores, tais como sociedade e meio ambiente. Assim, são estabelecidas três categorias morfodinâmicas: meios estáveis, meios integrados e meios fortemente instáveis (TRICART, 1977).

Os meios estáveis são áreas em que os processos de pedogênese onde a bioestasia predominam sobre os de morfogênese. Por sua vez, os meios integrados são locais em que o processo de morfogênese e pedogênese variam e não existe a predominância de um processo sobre o outro. Por fim, os meios fortemente instáveis são regiões nas quais o processo de morfogênese predomina sobre o processo de pedogênese (TRICART, 1977).

Com efeito, a partir da teoria da Ecodinâmica, Crepani *et al.* (2001) desenvolveram a metodologia de vulnerabilidade ambiental para realizar o ordenamento territorial da Amazônia, proposto pelo método de Zoneamento Ecológico Econômico para a região da Amazônia Legal (BRASIL, 2001).

A grande quantidade de variáveis e sua variação escalar distinguem os estudos de vulnerabilidade dentro de uma perspectiva preditiva, sendo, com isto, um forte instrumento no planejamento ambiental. Não obstante, estes fatores colocam as pesquisas de vulnerabilidade em uma perspectiva de predição, com o fim de avaliar e prevenir os impactos ambientais em uma determinada região (PINESE e RODRIGUES, 2012). No entanto, o modelo de vulnerabilidade apresenta algumas falhas, como as escalas dos mapas das variáveis ambientais, em nível de detalhes, em relação aos mapas que devem compor o modelo (SANTANA, 2017).

O método de vulnerabilidade baseia-se na classificação do grau de vulnerabilidade para cada variável ambiental, cuja referência de classificação são os processos de morfogênese e pedogênese, como definiu Tricart (1977). Nesse método, os valores das variáveis são colocados de 1 a 3, sendo cada valor diferente de classe considerado um tipo de paisagem distinto, que é chamado de unidade territorial básica. Assim, são alocadas as paisagens consideradas estáveis, nas quais há predomínio do processo de pedogênese, a qual consiste na estabilidade da paisagem. Por sua vez, as paisagens moderadamente estáveis são aquelas em que o processo de pedogênese é predominante, mas que também apresentam o processo de morfogênese, que são processos que a modificam (TRICART, 1977).

Portanto, as paisagens medianamente estáveis e as vulneráveis têm os processos de morfogênese e pedogênese. Nas paisagens moderadamente vulneráveis há predominância do processo de morfogênese, embora ocorra pedogênese. Finalmente, as paisagens vulneráveis são as que apresentam somente o processo de morfogênese, conforme o Quadro 2.

Dessa forma, são gerados os mapas de vulnerabilidade, fundamentados nas características físicas já levantadas e nas cores de cada classe. A partir disso, aplica-se o modelo de vulnerabilidade baseado na operação aritmética de imagens, conforme a equação apresentada a seguir. Trabalha-se, portanto, com as características que são relacionadas diretamente aos

processos erosivos que ocorrem na vertente, os quais podem estimar se há predomínio do processo de pedogênese ou de morfogênese. Segue abaixo a fórmula:

$$\text{Modelo de vulnerabilidade} = \frac{\text{solos} + \text{pluviometria} + \text{geologia} + \text{geomorfologia} + \text{uso do solo e vegetação}}{5} \quad (1)$$

Quadro 2 – Classificação dos modelos de vulnerabilidade

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0	↓		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.*, 2001

1.3 Limnologia

A ciência que estuda a ecologia dos ambientes aquáticos, como rios, reservatórios, lagos e lagoas, independentemente de sua origem (ESTEVEZ, 1988), é a limnologia.

Estes tipos de ambiente se caracterizam pela alta capacidade de solubilização de compostos orgânicos e inorgânicos (BEADLE, 1974). Assim, a distribuição das partículas nesses ambientes é caracterizada pela heterogeneidade, tanto no gradiente horizontal quanto no vertical (TUNDISI; TUNDISI, 2016), devido às diferentes incidências de luz e às diferentes geologias e batimetrias (WETZEL, 2001).

A limnologia na região amazônica teve o seu desenvolvimento por meio dos trabalhos realizados por Sioli e Junk, entre as décadas de 1960 e 1980. Sioli (1967) trabalhou com os mais variados tipos de cores existentes nos rios amazônicos – as águas pretas, claras e brancas. Junk (1980), por sua vez, realizou estudos limnológicos nas áreas de várzea do rio Amazonas,

mostrando o impacto das mudanças entre as fases aquáticas durante os períodos de chuva amazônicos e a fase terrestre durante o verão amazônico.

De fato, os lagos não são elementos permanentes das paisagens da Terra, pois são fenômenos de curta durabilidade na escala geológica; ou seja, surgem e desaparecem com o decorrer do tempo (TUNDISI; TUNDISI, 2016). O seu desaparecimento está ligado a vários fenômenos, entre os quais se destaca o seu próprio metabolismo, como o acúmulo de matéria orgânica e a deposição de sedimentos transportados por afluentes (TUNDISI, 2000).

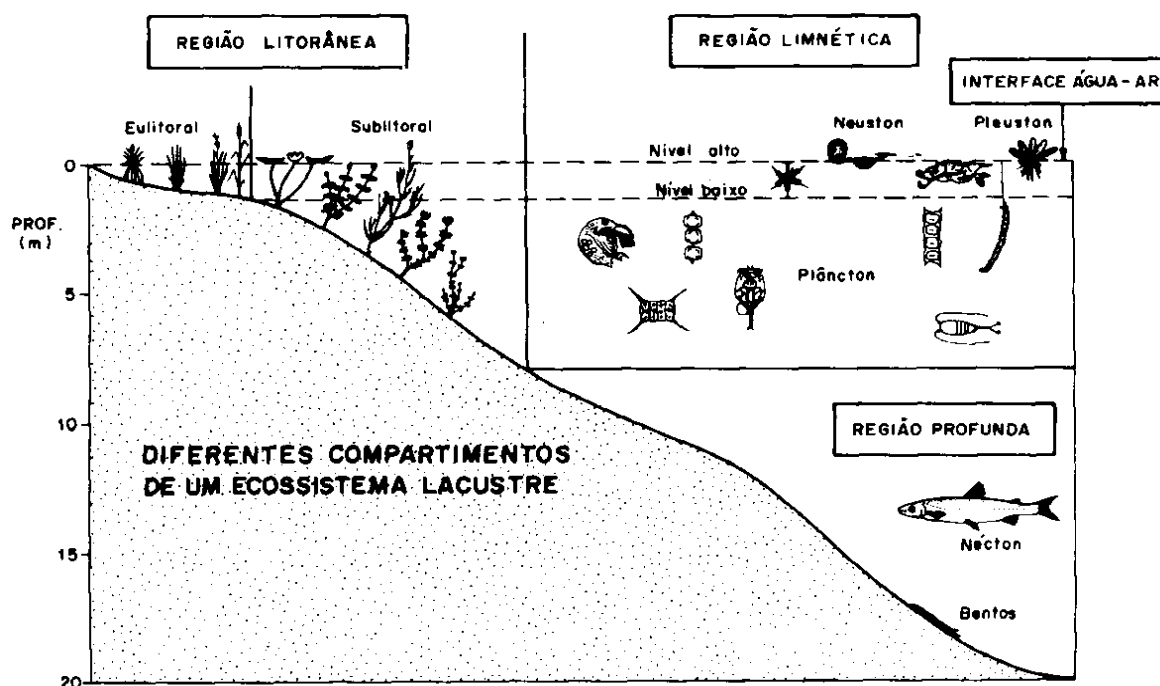
Segundo Esteves (1988), os lagos e os reservatórios podem ser compartimentados em quatro regiões: litorânea, limnética (ou pelágica), região profunda e a região interface água-ar. Assim, a região litorânea é a parte do lago que está diretamente em contato com a superfície, ou seja, é a área que apresenta a entrada de sedimentos e representa o limite entre o ambiente terrestre e o aquático. Além disso, são encontradas algas e macrófitas aquáticas.

A região limnética, ou pelágica, é a que apresenta várias comunidades de fitoplâncton e zooplâncton. Também é nessa região que se apresenta a zona eufótica da luz.

Outra região do reservatório é a região profunda, em que não há presença de luz e, conseqüentemente, não há fitoplânctons e zooplânctons.

Por fim, a região interface-água é a que tem a presença de organismos microscópios, como bactérias, fungos, algas e macrófitas aquáticas, tais como alface d'água e pequenas larvas aquáticas. Enfim, todas essas compartimentações podem ser vistas na Figura 5.

Figura 5 – Compartimentos de um ambiente lacustre aquático



Fonte: Esteves, 1988

Nesse viés, os reservatórios são ambientes lacustres que não têm comunicação direta com o mar e apresentam baixo teor de íons dissolvidos, se comparados às águas do oceano. Além disso, em escala geológica, os reservatórios apresentam baixo tempo de permanência na paisagem e seu fim está ligado, principalmente, ao grande acúmulo de sedimentos e de matéria orgânica (STRAKABRA; TUNDISI, 2013).

Não obstante, a construção de novos reservatórios produz diversas mudanças não apenas no meio aquático, mas também no meio terrestre. A transformação de um rio de ambiente lântico em um ambiente lótico causa o aumento da evaporação, o que provoca alteração do clima local, aumento do nível do lençol freático e proporciona, portanto, o surgimento de áreas alagadas, o aumento da taxa de sedimentação nos afluentes a montante do reservatório e inundações de áreas de florestas e de diversas superfícies. Dessa maneira, ocorrem alterações químicas e físicas do corpo hídrico, como no oxigênio dissolvido e no pH (STRAKABRA; TUNDISI, 2013), que modificam a fauna presente no ambiente aquático e aumentam a probabilidade de haver processos de eutrofização, principalmente em áreas submersas de florestas (OLIVEIRA, 2018).

De fato, os reservatórios podem ser divididos longitudinalmente em três zonas: a zona de rio, a zona de transição e a zona lacustre. Esta divisão longitudinal ocorre pelas diferentes vazões da água e pelas diferentes presenças de sedimento e de matéria orgânica. Segundo Strakabra e Tundisi (2013), a distribuição das compartimentações longitudinais das zonas do reservatório depende das zonas de forma individual, como pode ser visto pela presença de fósforo e de clorofila.

Sendo assim, a primeira compartimentação é a zona de rio, que se caracteriza por ser uma área estreita e rasa, a qual apresenta um maior fluxo de água e alta concentração de sólidos em suspensão (OLIVEIRA, 2018).

A zona de transição é uma área mais longa que a primeira e apresenta um fluxo de água reduzido, quando comparada à velocidade da zona de rio. Ou seja, caracteriza-se por ser uma área longa e profunda do reservatório, a qual apresenta quantidade intermediária de matéria orgânica e de concentração de nutrientes.

Por fim, a zona lacustre, que é a mais larga e profunda das três zonas de reservatório, apresenta menor quantidade de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, além de um fluxo de água menor em relação às outras zonas do reservatório. Segue abaixo, na Figura 6, a representação dessas zonas:

Figura 6 – Zonas de compartimentação de um reservatório



Fonte: Kimmel, Groejer, 1984

Em suma, as alterações a jusante no reservatório podem impactar os parâmetros físicos e químicos da água. Além disso, pode haver alterações na qualidade da água a jusante do reservatório.

1.4 O estudo da qualidade da água e sua relação com as bacias hidrográficas

A qualidade da água está sujeita a várias contaminações e, por isso, no estudo da bacia hidrográfica é necessário fazer o levantamento do uso e ocupação do solo para realizar a espacialização e a identificação de possíveis formas de poluição; o uso agrícola, por exemplo, pode alterar a qualidade da água por meio de inseticidas e fertilizantes (WRUBLACK *et al.*, 2018).

De fato, a análise do uso e ocupação da terra torna possível esclarecer os parâmetros de qualidade de água, proporcionando a inferência e a localização das interferências das diversas atividades econômicas presentes na bacia hidrográfica (SILVA *et al.*, 2018). Ou seja, a partir do mapeamento do uso e ocupação da terra, é possível espacializar e quantificar diversas ocupações do uso da terra, a fim de verificar se as atividades econômicas podem estar interferindo nos parâmetros de qualidade da água (PONS; PEREIRA, 2018).

Nesse sentido, o estudo de bacia hidrográfica auxilia o diagnóstico e o monitoramento ambiental e propicia a correlação das análises da qualidade da água com o uso e ocupação da terra (PORTO; PORTO, 2008). Sabe-se que as atividades antrópicas podem gerar os processos erosivos presentes nas vertentes do reservatório e seus afluentes, os quais são capazes de

aumentar a quantidade de nutrientes no corpo hídrico, como nitrogênio e fosfato, afetando, assim, a qualidade da água. Além disso, pode haver assoreamento dos recursos hídricos.

A presença de vegetação de entorno do espelho da água é importante para que seja possível realizar a sedimentação de substâncias advindas das vertentes (SANTIAGO *et al*, 2008). Com isso, haverá uma renovação da qualidade de água, uma recomposição no lençol freático por infiltração e, finalmente, uma diminuição da quantidade de sedimentos que são depositados no corpo hídrico, preservando, assim, o volume de água e promovendo uma manutenção da matéria orgânica para a flora (MERTEM; MINELLA, 2002).

1.4.1 *Parâmetros físico-químicos da qualidade de água*

As características físicas e químicas do corpo hídrico implicam uma série de processos que estão presentes na bacia hidrográfica do reservatório. Isso ocorre principalmente pelo escoamento superficial e subsuperficial sobre as vertentes da bacia. De fato, a qualidade da água pode ser representada por meio de diversos parâmetros físico-químicos, de modo que a análise destes parâmetros deve ser feita de maneira integrada, ou seja, sem uma separação estreita de cada parâmetro (BUFON e LANDIM; 2018; BASSON e CARVALHO, 2018).

Portanto, o monitoramento das variáveis limnológicas é importante para o conhecimento do ambiente. A partir disso, pode-se conhecer as características da água presentes no meio ambiente, mas, ainda assim, é necessário que haja o monitoramento de parâmetros fundamentais, como condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura, matéria orgânica, transparência e pH, além de outras variáveis que são obtidas em laboratório, como clorofila, nitrato, fosfato. Dessa forma, o monitoramento limnológico pode ser considerado um instrumento para o planejamento de políticas mitigadoras da poluição e de ações preventivas para garantir a qualidade da água (LIMA *et al*, 2018).

1.4.1.1 Cor

A cor da água é um dos parâmetros físicos e, por isso, sua análise deve distinguir a cor aparente da cor verdadeira. Por um lado, a cor aparente da água é resultado dos componentes opticamente ativos da água, como clorofila, matéria orgânica e sedimentos em suspensão, ou seja, existe uma relação com a turbidez do corpo hídrico. Por outro lado, a cor verdadeira é feita depois da filtragem (ABREU e CUNHA, 2018).

Em outros termos, a cor da água é o resultado da reflexão da luz nas partículas presentes no corpo hídrico, as quais podem ter duas fontes: composição de matéria orgânica de origem

animal e de origem vegetal. Nesse sentido, a cor verdadeira pode ser um indicativo da presença de matéria orgânica, enquanto a cor mais intensa está associada aos menores valores de pH no corpo hídrico (BUFON e LANDIM, 2018; LIMA *et al*, 2018).

1.4.1.2 Turbidez, sólidos suspensos e transparências

O parâmetro físico da turbidez consiste no grau de interferência que há na passagem da luz através da água, a qual pode conferir uma aparência turva ao corpo hídrico (INEICHEN, 2018). A origem dos sedimentos pode ser de maneira natural, como silte, argila, algas, fitoplâncton e zooplâncton, ou de origem antrópica, como nos processos erosivos, nos despejos domésticos e originária da presença de microrganismos.

Os diversos corpos hídricos podem ter o mesmo nível de turbidez, embora possam ser constituídos por variadas características de materiais suspensos, diferentes na forma, no tamanho e na granulometria.

De fato, a turbidez tende a ser mais alta em regiões com solos erodíveis e em regiões de alta precipitação, de modo que são carregadas partículas de argila, silte, areia e fragmentos de rocha para o corpo hídrico. Isso faz com que a turbidez tenha uma relação direta com a quantidade de sólidos suspensos nos corpos hídricos (PERROT *et al*, 2018).

Finalmente, a transparência, que também está associada à turbidez, é determinada pelas substâncias dissolvidas na água e pela presença de algas. Assim, nas regiões em que o corpo hídrico é turvo, a transparência é reduzida, da ordem de poucos centímetros até um metro, ao passo que, em espelhos d'água, a luz penetra com maior intensidade. Esta estimativa de profundidade atingida pela luz, denominada zona fótica, é importante para a comunidade fitoplanctônica, que é a região fotossintética do corpo hídrico e que pode ser o triplo da distância alcançada pelo disco de Secchi – região definida pelo alcance de luz dentro do corpo hídrico (FRANCO *et al*, 2018; POKHAREL *et al*, 2018).

1.4.1.3 Condutividade elétrica

A capacidade de condução elétrica da água se dá pela quantidade de sais dissolvidos e apresenta correlação significativa com a quantidade de sólidos totais (MAURYA *et al*, 2018). Além disso, ela depende da temperatura, por causa das atividades iônicas presentes nesses sais, de modo que a concentração de íons apresenta com precisão a natureza dos processos bioquímicos que se desenvolvem na água, como a fotossíntese. Finalmente, a condutividade

também apresenta uma relação direta com o pH, pois os dois aumentam de acordo com a maior disponibilidade de íons no corpo hídrico (MAURYA *et al*, 2018).

1.4.1.4 Temperatura da água

A temperatura também é um parâmetro físico, que serve para medir a intensidade de calor emitida sobre o corpo hídrico e é importante porque as elevações de temperatura aumentam a taxa de reações físicas, químicas e biológicas. Este aumento diminui os gases solúveis e se reflete no metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático.

A alteração da temperatura das águas naturais decorre, em especial, da insolação, a qual é influenciada significativamente pelo clima e pela latitude. Por isso, em regiões equatoriais, a temperatura é elevada e ocorre menor variação. Este é caso do reservatório da Ferreira Gomes Energia, objeto de análise da presente pesquisa.

Em termos gerais, o ambiente aquático apresenta resistência às mudanças de temperatura, devido ao calor específico de $1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$. Esta resistência simboliza uma espécie de autopreservação, pois quando há variações bruscas várias espécies aquáticas são dizimadas.

Além disso, segundo Tundisi (2008), o aquecimento estabelece a densidade da água superficial, que é inferior à densidade da camada de fundo. Dessa forma, existem camadas distintas, como o epilímnio, camada superior mais quente e com maior circulação, o termoclina, que é a camada de transição, e o hipolímnio, a camada mais fria e com menor circulação da água.

1.4.1.5 Parâmetro físico do oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é de extrema importância para a fauna e a flora do ambiente aquático e representa o parâmetro mais relevante para considerar qualidade da água, pois dá suporte para toda a fauna aquática e é importante para a respiração das algas e fitoplânctons. Além disso, as bactérias presentes utilizam-no para a estabilização da matéria orgânica no ambiente (TUNDISI, 2000).

A saturação da concentração de oxigênio dissolvido é diretamente proporcional à pressão atmosférica e inversamente proporcional à altitude e à temperatura. Também a salinidade exerce um fator limitante à concentração de oxigênio no corpo hídrico (LIBANIO, 2008).

Além disso, quanto maior for a vazão da água, maior será a quantidade de oxigênio, de modo que lagos e reservatórios podem superar a saturação da concentração de oxigênio

dissolvido – processo denominado Supersaturação de Oxigênio Dissolvido. Este processo ocorre, principalmente, por causa de intensas das atividades fotossintéticas e da alta quantidade de água nos reservatórios.

Existe, também, uma variação no oxigênio dissolvido entre os períodos diurnos e noturnos, pois, durante o dia, ocorrem os processos de fotossíntese dos fitoplâncton e de algas, além da respiração da flora e fauna do ambiente aquático. Por outro lado, no período noturno somente ocorre o processo de respiração dos organismos aquáticos. Segundo Libanio (2008), para a manutenção dos ambientes aquáticos são necessários de 2 a 5 mg/L de oxigênio, de acordo com o grau de exigência de cada organismo.

1.4.1.6 Salinidade

Os sais presentes nas águas são dissolvidos e formados por ânions (como cloreto, sulfatos, bicarbonatos e sódios) e cátions (como cálcio, magnésio, potássio e sódio). A concentração de sais tem relação direta com a concentração de sólidos dissolvidos na água e com a condutividade elétrica. Segundo Esteves (1988), os sais presentes nos corpos hídricos são originados pelos processos de precipitação e de evaporação no balanço hídrico, pelo grau de intemperismo, pela composição das rochas e solos na bacia hidrográfica, pela influência das águas subterrâneas e da água do mar no contato com lençol freático e, finalmente, pelo processo de lixiviação sobre as vertentes.

A resolução 357/2005 do Conama determina que, para águas doces, a salinidade é inferior a 0,5% (500mg/L), para águas salobras até 30 % e, para águas salinas, superior a 30%.

1.4.1.7 pH: potencial Hidrogeniônico

O pH (potencial hidrogeniônico) é um dos parâmetros químicos da água que mais influencia o meio aquático, pois impacta a solubilidade de diversas substâncias e, conseqüentemente, altera a cor da água. Assim, o pH apresenta interferência na dissolução de rochas presentes no ambiente aquático, na absorção de gases na fotossíntese, na oxidação da matéria orgânica e na fotossíntese da clorofila (COLUSSI, 2018). Ou seja, ele influencia diretamente os ecossistemas aquáticos e impacta a execução das fisiologias das mais diversas espécies. Além disso, o pH também interfere de maneira direta nos processos bioquímicos, especialmente nas trocas iônicas com o meio extracelular desta forma e, por isso, os processos de absorção e excreção de substâncias orgânicas e iônicas são diretamente afetados (KALAI, 2017).

A acidez das águas é ocasionada, principalmente, pela concentração de gases dissolvidos, como CO_2 , H_2S ou de ácidos húmicos, fúlvicos e himatomelânicos, de modo que se originam pela absorção de gases atmosféricos, pela decomposição da matéria orgânica e pela lixiviação dos solos. Assim, nas águas com pH inferior a 4,5, a acidez decorre de ácidos minerais e os orgânicos; nas que têm pH entre 4,5 e 8,2, há a acidez devido ao CO_2 ; e, por fim, nas que têm pH maior que 8,2, há ausência de CO_2 livre no meio ambiente (KALAI, 2017)

1.4.1.8 Fósforo e ortofosfato para estudo da qualidade da água

O fósforo nos recursos hídricos apresenta-se, na natureza, nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforos orgânico e inorgânico. Sendo assim, o fósforo orgânico está presente na matéria orgânica dos organismos. O ortofosfato e o polifosfato estão disponíveis para o metabolismo biológico e as formas pelas quais se apresentam na água são: PO_4^{3-} , $H_2PO_4^-$, H_3PO_4 . Nesse sentido, a presença de compostos de fósforo depende do pH dos recursos hídricos. Além disso, os fósforos estão disponíveis nos sólidos em suspensão e nos sólidos dissolvidos.

Por sua vez, os fósforos inorgânicos se encontram, em maiores quantidades, nas rochas fosfáticas que são liberadas no meio ambiente por meio dos processos de erosão, mas também são encontrados na forma de fertilizantes e detergentes, além de estarem presentes no ciclo das cadeias alimentares, ou seja, podem ter origem nos restos mortais e nos excrementos dos seres vivos (SENER *et al*, 2017).

De fato, os fosfatos não apresentam toxicidade; são excelentes nutrientes para as macrófitas e, por isso, impulsionam um excessivo crescimento de algas, que podem causar o fenômeno da eutrofização. No entanto, isso altera a troca de matéria orgânica no corpo hídrico e provoca a degradação da qualidade da água, de modo que ocorre o aumento da população de algas, pois a luz solar fica impedida de penetrar no corpo d'água, diminuindo o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, a concentração de O_2 .

Com efeito, a concentração de oxigênio muito baixa faz com que as bactérias presentes no solo iniciem o processo de decomposição das matérias orgânicas e, assim, são gerados compostos contendo enxofre, como ácidos sulfídricos (H_2S), os quais se caracterizam pelo mau cheiro.

1.4.1.9 Nitrogênio, nitrato e nitrito para estudo da qualidade da água.

O nitrogênio, assim como o fósforo, é importante para o estudo dos ecossistemas aquáticos e tem um comportamento químico complexo, pois apresenta várias formas químicas, tendo em vista que o nitrogênio pode sofrer o processo de oxidação. Sendo assim, o nitrogênio pode ser encontrado nas formas de nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, amônio (NH_4^+), amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). O amônio, o nitrito e o nitrato são as formas químicas mais comuns de nitrogênio inorgânico dissolvido presente nos corpos hídricos (LOGAN, 2017).

O nitrogênio e os íons de nitrogênio podem ter várias origens, ou seja, podem ser resultado da deposição atmosférica, do escoamento superficial e subterrâneo, da dissolução de rochas ricas em nitrogênio, da fixação de N_2 feita por cianobactérias, da degradação da matéria orgânica – já que o nitrogênio é constituinte de proteínas e de vários outros compostos biológicos – e, finalmente, da composição celular de microrganismos (LOGAN, 2017). Já a origem antropogênica do nitrogênio são os despejos domésticos, os excrementos de animais e os fertilizantes.

Sendo assim, o nitrogênio constitui, junto com o fósforo, um nutriente essencial ao crescimento de algas, de cianobactérias e de plantas aquáticas, que absorvem as formas de amônio e nitrato. De fato, algumas espécies de algas, em reservatórios de acumulação, apresentam capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, o qual é convertido em nitrato. Não obstante, a alta concentração do íon amônio gera uma redução do oxigênio dissolvido e a nitrificação. Além disso, em águas com a presença de pH elevado, ocorre a conversão em gás amônia, que é nocivo à fauna aquática (LIBANIO, 2018). Segundo a resolução Conama 357/2005, para as águas de classe 3, existe uma variação da quantidade de nitrogênio presente pelo pH da água. Por exemplo: as taxas de concentração máximas de amônia para $pH > 8,5$ é de 1mg/L e 13,3mg/L para $pH < 7,5$.

O nitrato é criado pelas bactérias que atuam sobre a amônio, por relâmpagos que ocorrem no meio ambiente e por processos artificiais, que incluem calor e pressão extremos. Além disso, o amônio é convertido para formas de nitrito e nitrato pelas bactérias nitrificantes, as quais adicionam o oxigênio ao íon amônio e o convertem em nitrato (LOGAN, 2017).

O nitrato é encontrado na forma solúvel em águas superficiais e subterrâneas e, na quantidade adequada, é um excelente nutriente para as algas. No entanto, a água com concentração excessiva de nitrato pode causar problemas para a saúde humana se for consumida, a exemplo da doença Meta-hemoglobina, ou “Síndrome do Bebê Azul” – quando

grandes quantidades de nitratos são consumidas e transformadas em nitritos pelos ácidos do recém-nascido, eles vão para a corrente sanguínea e se unem à hemoglobina, causando falta de oxigenação (LOGAN, 2017).

Por fim, o nitrito é encontrado em forma solúvel na água e representa uma forma intermediária, criada pela ação bacteriana sobre a amônia (NH_3) ou sobre o nitrato (NO_3^-). A grande quantidade de nitritos na água é tóxica aos seres humanos e à ictiofauna presente no corpo hídrico, pois podem causar a “doença do sangue marrom” nos peixes, a qual consiste na dificuldade do sistema circulatório dos peixes em transportar o oxigênio (LOGAN, 2017).

1.4.1.10 Estudo de clorofila para a qualidade da água

As clorofilas são os pigmentos naturais presentes nas folhas e nos tecidos vegetais, de modo que a clorofila *a* está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese. Trata-se de um pigmento clorofilado que predomina nas algas e que também aparece nos fitoplânctons. Além disso, estes organismos são a base da cadeia alimentar dos ambientes aquáticos (CANTER, 2018).

Nesse sentido, as quantidades de fitoplâncton e de algas são mensuradas a partir da clorofila *a*, em laboratório, por meio da análise da biomassa. Estes fitoplanctons conseguem realizar a fotossíntese somente na zona eufótica, ou seja, em que há a presença de luz. Além disso, ele contribui para a presença de matéria orgânica, pois, quando morre, o fitoplâncton afunda e vai em direção às áreas mais escuras do corpo hídrico (TUNDISI, 2008). Finalmente, ele também depende da quantidade de macrófitas, pois, quanto maior a quantidade de macrófitas, menor é a turbidez presente no espelho d'água.

1.4.2 Avaliação da qualidade de água em reservatório

As características de qualidade da água derivam dos ambientes naturais e antrópicos em que as águas destas bacias se originam, percolam ou ficam estocadas (ZHANG *et al*, 2017). A avaliação dessa qualidade é necessária para o uso da água tanto para o consumo humano quanto para as atividades econômicas na área da bacia hidrográfica

De fato, em um reservatório, a qualidade da água é resultado da interação entre fatores físicos bióticos e abióticos, de modo que a alteração do ambiente lótico para o lântico pode provocar mudanças da qualidade da água. Na região amazônica, por exemplo, em que há temperaturas mais elevadas, alta umidade e maior quantidade de matéria orgânica, ocorre o

processo intenso de decomposição da matéria orgânica morta, principalmente na biota aquática (JUNK e MELLO, 1990; PRADO, 2018).

Além disso, a qualidade da água de um reservatório apresenta características que são relacionadas ao processo de formação do lago, como o aumento de nutrientes. Tais características, principalmente dos parâmetros físico-químicos, podem facilitar a previsão dos próximos estados de qualidade de água ao longo do tempo (ZHANG *et al*, 2017). Sendo assim, para a realização da modelagem e do monitoramento da qualidade, com o intuito de preservar do sistema aquático, é importante que haja uma análise holística (BESSA, 1998).

Os médios e grandes reservatórios têm especificidades que exigem o conhecimento da qualidade da água, principalmente porque estes tipos de reservatórios apresentam atividades econômicas para a população local, como atividades de pesca, controle de cheias e navegação. Portanto, se faz necessário o monitoramento de água em uma resolução sazonal, para garantir sua qualidade.

Além disso, nesses estudos de qualidade, deve-se considerar o tempo que a água fica retida nos reservatórios, pois a alteração do nível do reservatório altera sua qualidade, devido à diminuição do espelho d'água, o que provoca a retirada de sedimentos da zona de depleção (LI *et al*, 2017).

1.4.3 Resolução Conama número 357/2005

Para a mensuração e a quantificação da água, estabeleceu-se a resolução Conama nº 357, de 2005, a qual prevê a normalização dos padrões de água e é usada em todo o território nacional. Com efeito, essa resolução diminuiu as carências de informações representativas da dinâmica da qualidade da água, pois tem como objetivo a análise de diversos corpos hídricos e da evolução temporal de sua qualidade no país (BRASIL, 2005).

Atualmente, o enquadramento das águas visa relacionar sua qualidade aos seus diferentes usos, como o doméstico, o agrário e o industrial, conforme mostra a Tabela 1. Isso viabiliza a utilização da água pura para as atividades humanas e para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos.

Em termos gerais, a resolução 357 do Conama apontou metas de parâmetros de qualidade, tanto para os corpos hídricos quanto para o que é despejado neles. Com isso, a resolução é usada para garantir a sustentabilidade do ambiente e fazer com que os corpos hídricos sejam protegidos para o uso atual e para o de futuras gerações, por meio de um equilíbrio, baseado no uso racional. Além disso, a resolução não se limita a usar os valores fixados para diversas

variáveis limnológicas, como apontado na Tabela 2, mas garante que seja feito o monitoramento da qualidade da água de determinado corpo hídrico.

Tabela 1 – Classe de água, segundo a Resolução Conama 357/2005

Classe especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
- Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; - A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e proteção integral.	- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - A proteção das comunidades aquáticas; - A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático, e mergulho. - A irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo que seja ingerida cruas sem remoção de película	- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; - A proteção das comunidades aquáticas; - A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; - A irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques jardins, com os quais o público possa vir ter contato direto; - A aquicultura e atividade de pesca.	- Ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado. - A irrigação de culturas arbóreas, ceralífeas e forrageiras. - Pesca amadora - A recreação de contato secundário - A dessedentação de animais	- A navegação e - A harmonia paisagística

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005, adaptada pelo autor

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos, segundo resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros físico-químicos / Classes	classes 1	classes 2	classes 3	classes 4
Clorofila a	até 10 µg	até 30 µg	até 60 µg	----
Turbidez	até 40 NTU	até 100 NTU	até 100 NTU	----
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	----
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Fosforo Total (Ambientes lênticos)	até 0,020 mg/L	até 0,030 mg/L	até 0,05 mg/L	----
Fosforo Total (Ambientes intermediários com tempo de residência de 2 a 40 dias e tributários de ambiente lêntico)	até 0,025 mg/L	até 0,050 mg/L	até 0,075 mg/L	----
Fosforo Total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L	----	até 0,15 mg/L	----
Nitrato	até 10 mg/L	----	até 10 mg/L	----
Nitrito	1,0 mg/l	----	1,0mg/L	----

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005, adaptada pelo autor.

1.5 Geotecnologias aplicadas aos estudos dos ambientes aquáticos.

O sensoriamento remoto é usado em grande parte na região amazônica para os estudos de água e vegetação. Mesmo assim, trabalhar com sensoriamento remoto nessa região representa várias dificuldades, por causa da grande quantidade de nuvens, principalmente na região central do estado do Amapá (VIEIRA, 2018).

Para sanar este problema, nos estudos de monitoramento podem ser utilizados sensores como radares, que são passivos e apresentam resolução temporal diária. No entanto, para estudos de águas continentais, os problemas são mais complexos, pois não existe um sensor específico para estudo de águas interiores. Assim, na região amazônica, os satélites que apresentam resolução temporal diária podem solucionar os problemas de nebulosidade na imagem, como o MODIS, devido à sua resolução espacial restringir suas áreas de estudo a grandes reservatórios.

Com efeito, as pesquisas de sensoriamento remoto aplicadas aos ambientes aquáticos estudam as variações espacial, sazonal e temporal da composição da água, que possibilitam várias análises, como a origem e o transporte de matérias em suspensão ou dissolvidas nas águas dos rios (JENSEN, 2009).

Em termos gerais, o sensoriamento remoto tem como objetivo estudar e realizar o entendimento sobre como a água pura absorve e reflete a energia solar incidente sobre o corpo hídrico e a coluna de água. A partir disso, é possível entender a interação da energia com os materiais orgânicos, inorgânicos e com os fitoplânctons presentes (KAMPEL e NOVO, 2005).

No entanto, como já foi dito, esses trabalhos de sensoriamento remoto apresentam sérios problemas, como interferências atmosféricas e falta de sensores específicos para estudo de águas continentais. Segundo Cabral e Pereira Filho (2018), é difícil mensurar a quantidade dos constituintes orgânicos e inorgânicos presentes no corpo hídrico por causa das interferências atmosféricas e das mudanças no ambiente, de modo que é necessária a realização de trabalhos de campo para a coleta e a conferência dos dados.

Nesse viés, para os estudos na floresta amazônica, destacam-se o PRODES e o DETER, que são realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). O PRODES avalia o índice de desmatamento a partir da imagem Landsat, permitindo a detecção de pequenas áreas desmatadas (SHIMABUKURO *et al*, 2000). Já o DETER detecta o desmatamento em áreas maiores que 25 hectares, pois é realizado por meio de imagens do MODIS, que apresentam uma resolução espacial de 250 metros (SHIMABUKURO *et al*, 2012).

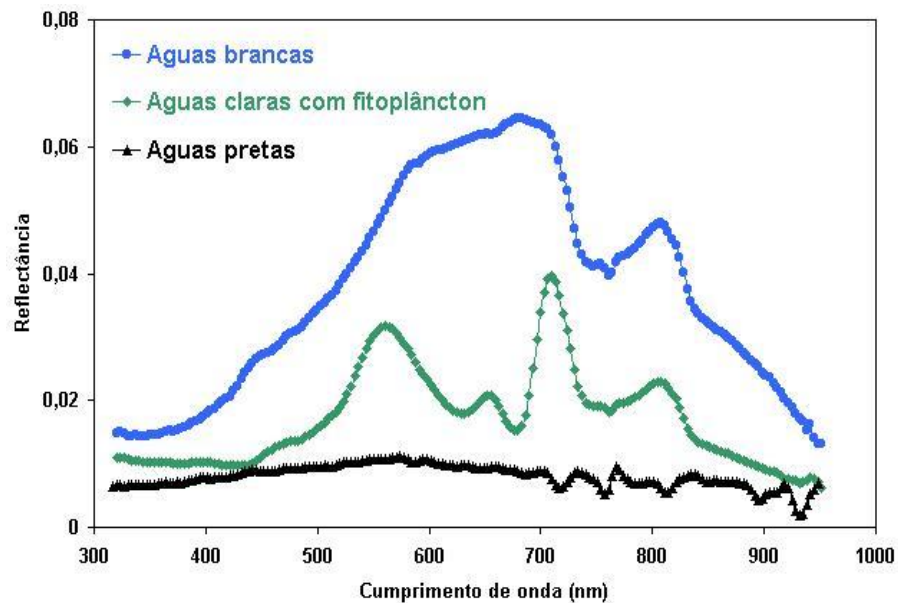
De fato, os estudos nessa região se pautam principalmente na análise da qualidade da água. Pereira Filho (2000), por exemplo, realizou um importante trabalho ao estudar o reservatório de Tucuruí, na região amazônica, no qual evidenciou que as áreas que apresentavam maior desmatamento tinham uma maior influência na qualidade da água. Além disso, as áreas dessas margens, de maior desmatamento, desenvolviam, também, uma maior quantidade de macrófitas na água.

Barbosa (2005) também realizou um importante trabalho na região, que se concentrou na planície de Curuai, ao longo do rio Amazonas, no estado do Pará. Este estudo pesquisou a qualidade da água em diversas épocas do ano, como nas épocas de enchente, cheia, vazante e seca. Desse modo, notou-se que, de acordo com a época do ano, a qualidade da água se modificava, principalmente nas épocas de cheia e vazante. Além disso, nas áreas alagadas, percebeu-se que a modificação da cor da água e das composições do corpo hídrico depende diretamente das estações de chuva amazônicas.

Outros trabalhos importantes são o de Espinoza *et al.* (2013) e Montanher *et al.* (2014), que estimaram a quantidade de sedimentos que são transportados pelo rio Amazonas. Esta estimativa foi realizada por meio de estações fluviométricas em toda a bacia do rio, usando imagens do MODIS, e concluiu-se que em torno de 1832 mg/L de sedimentos são transportados pelo Amazonas, sendo que grande parte deles advêm do rio Madeira.

Portanto, os estudos do ambiente aquático se baseiam no estudo do comportamento espectral dos diferentes tipos de água, conforme mostra a Figura 7, em que são evidenciadas as diferentes refletâncias ocasionadas pelas águas pretas, brancas e claras.

Figura 7 – Estudo do comportamento espectral das diversas cores de água



Fonte: Villar, 2013

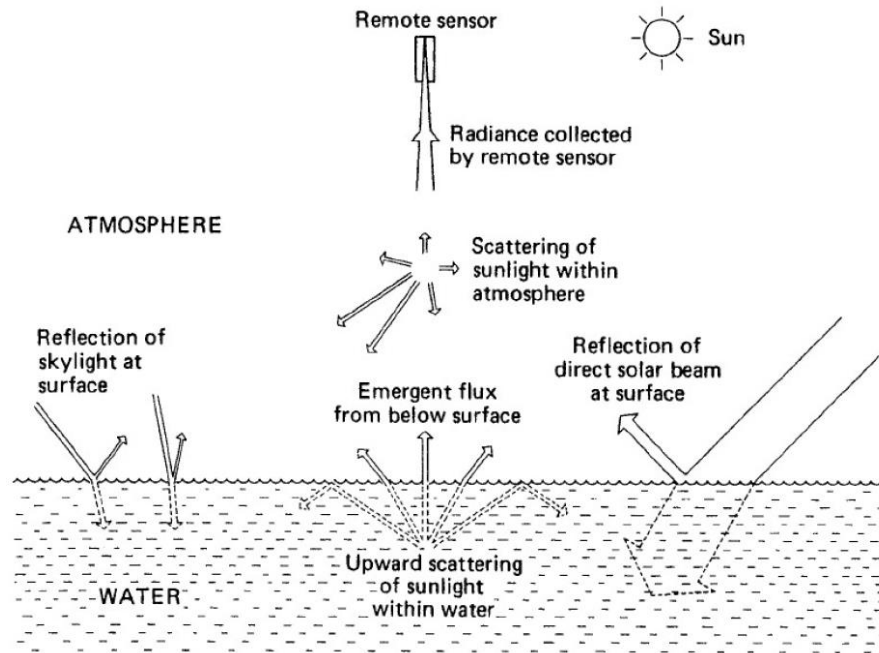
1.5.1 A interação da luz com a água

A radiação da energia eletromagnética, proveniente do sol, sobre o corpo da água se dá de maneiras diferentes. Em um primeiro momento, a energia que sai do sol não passa, pois é refletida pela atmosfera, de modo que apenas a janela atmosférica permite passagem do fluxo. A partir disso, grande parte desta energia sofre a interferência dos gases presentes na atmosfera, conforme apresentado na Figura 8.

Assim, a energia eletromagnética incide sobre o espelho do corpo hídrico. No entanto, uma parte dela sofre a reflexão, enquanto a outra sofre a refração – que, segundo a Lei de Snell-Descartes, é a mudança de energia do meio menos denso que está sobre a atmosfera para o mais denso, que está sobre a água.

A partir disso, grande parte da energia sofre o espalhamento, principalmente pelo espalhamento de Rayleigh, que ocorre quando o comprimento de onda é bem menor do que as partículas que estão sobre as superfícies aquáticas (JANSEN, 2009).

Figura 8 – Interação da energia eletromagnética da água



Fonte: Kirk, 1994

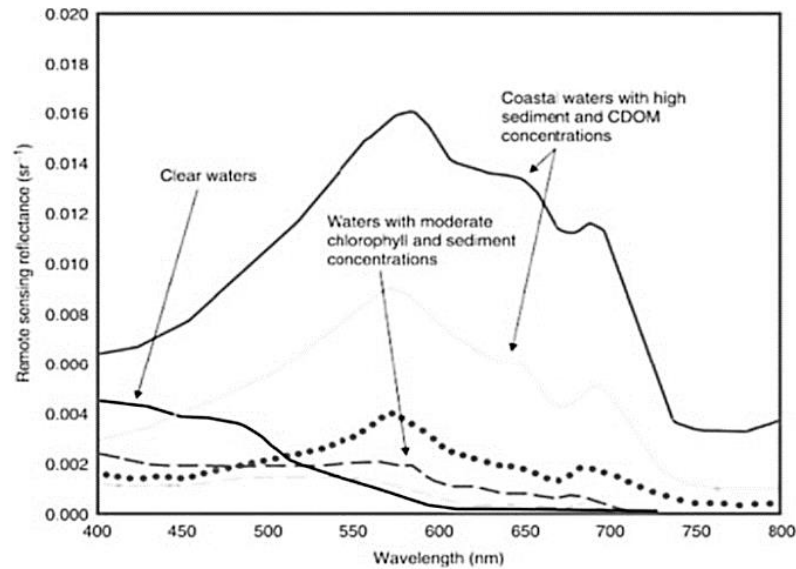
Portanto, parte da energia que é refletida sobre o espelho d'água fica sobre a subsuperfície do corpo hídrico, enquanto a outra parte, que sofreu o processo de refração, interage com o corpo hídrico, ou seja, a luz interage com a coluna de água e gera a zona eufótica (Novo, 2019). Esta interação entre a energia eletromagnética e a água é medida pelo sensor e pode ser calculada da seguinte maneira:

$$I_{Inc} = I_{sup} + I_{abs} + I_{ref} \quad (2)$$

Assim, I_{Inc} consiste na intensidade de luz que incide na superfície da água. O I_{sup} representa a intensidade da luz que é refletida diretamente pela superfície. O I_{abs} consiste na luz absorvida pela água. Finalmente, o I_{ref} consiste na intensidade de luz que penetra na água, chega ao fundo e se reflete para fora (KIRK, 1994).

A partir desta entrada da energia solar na coluna de água, existe uma interação diferente dos comprimentos de onda com o corpo hídrico. Se esta água for pura, ocorre a refletância de maneira decrescente ao aumento dos comprimentos de onda. Isso faz com que haja maiores refletâncias nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e ao verde, decrescendo em região ao infravermelho, para as águas limpas, conforme mostra a Figura 9.

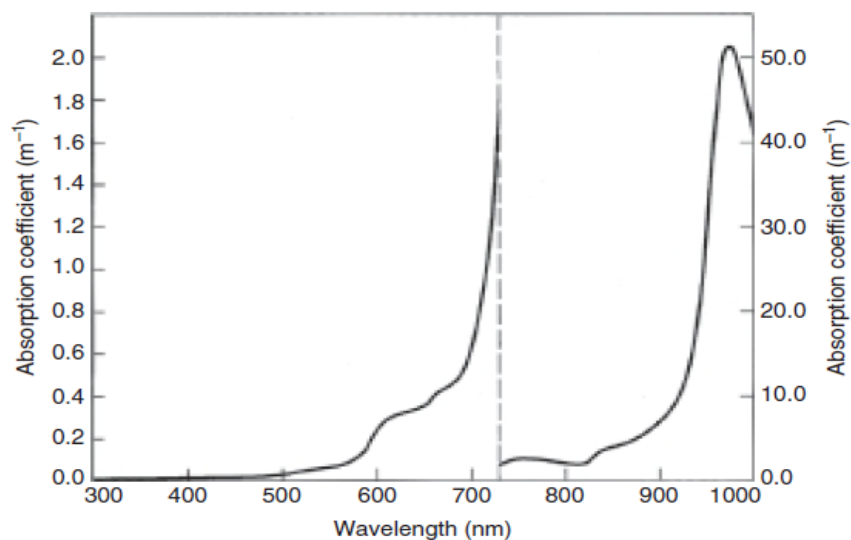
Figura 9 – Gráfico de refletância dos diversos tipos de água



Fonte: Khorran *et al.*, 2016

A quantidade mínima de absorção e de luz incidente sobre o corpo hídrico ocorre no comprimento de onda que corresponde ao azul, o qual tem aproximadamente 450 nanômetros, faixa espectral que tem maior penetração de luz. Já as bandas de comprimento de onda de 970 nanômetros e 980 nanômetros correspondem às faixas de onda do infravermelho, apresentam boa absorção no corpo hídrico e baixo espalhamento na coluna de água. A partir de 740 nanômetros a água é absorvida e seu espalhamento é desprezível, conforme mostra a Figura 10 (JENSEN, 2009).

Figura 10 – Espectro de absorção da água pura. Absorção entre os comprimentos de onda entre 310 nm - 790 nm e entre 790 nm – 1000 nm



Fonte Kirk (1994)

1.5.2 Propriedades óticas da água

As interações entre os corpos hídricos e a energia solar exigem a análise de duas propriedades óticas: as propriedades aparentes e as inerentes da água (BUKATA *et al.*, 2018).

As propriedades óticas aparentes estão relacionadas à medição da luz incidente sobre os recursos hídricos. Assim, a partir da entrada de energia, existe o coeficiente de atenuação, que é a diminuição da energia quando ela passa pelo corpo hídrico. A irradiância sobre a superfície da água pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$R = \frac{Eu}{Ed} \quad (3)$$

Nesse caso, R corresponde à irradiância que é resultado da razão entre a irradiância superior (Eu), originária da fonte de luz do sol, e a irradiância inferior (Ed), emitida pela água (KIRK, 1994).

Ao entrar no corpo hídrico, a energia eletromagnética desencadeia um processo de atenuação vertical da luz, o qual também pode ser calculado. Assim, quanto maior for a profundidade da energia eletromagnética, mais esta energia tende a diminuir. Segundo Wetzel *et al.* (1991), esta diminuição pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$I_z = I_o e^{n/2} \quad (4)$$

Nesse caso, I_z é a irradiância em uma determinada profundidade no corpo da água. Já o I_o consiste na irradiância que está sob a superfície e o n consiste no coeficiente de profundidade (KIRK, 1994).

Por fim, a última propriedade ótica aparente é a refletância que ocorre sobre o corpo de água, a qual consiste na medição do sensor após o contato com a superfície aquática. Esta energia de refletância, portanto, é a que chega ao sensor e pode ser dividida em duas dimensões: uma que incide sobre a superfície da água e outra que penetra na água. A intensidade de luz refletida após chegar ao corpo hídrico pode ser estimada da seguinte maneira:

$$I_{ref} = L_{inc} (E)^{-kx} \quad (5)$$

Nesse caso, I_{ref} consiste na intensidade de luz que penetra na água e se reflete para fora da superfície da água, registrada pelo sensor do satélite. O L_{inc} consiste na intensidade de luz incidente para fora da superfície da água, o K consiste no coeficiente de extinção e o X representa a distância que a luz atravessa (CAMPBELL e WAYNNE, 2011).

As propriedades óticas inerentes da água consistem na dependência somente dos componentes que estão presentes no corpo hídrico, fazendo com que a energia eletromagnética se disperse em um determinado comprimento de onda. Segundo Novo (2001), os coeficientes de absorção da energia eletromagnética e espalhamento desta energia sobre o corpo hídrico fazem parte das propriedades óticas inerentes. Que são as propriedades que dependem do meio aquático, como por exemplo, as concentrações de sedimentos suspensos, da clorofila e da matéria orgânica.

Em termos gerais, estas substâncias são conhecidas como componentes opticamente ativos da água (COA's); estão presentes no espelho d'água e alteram a refletância do corpo hídrico. Portanto, a propriedade ótica inerente é independente da variação da distribuição solar (KIRK, 1994).

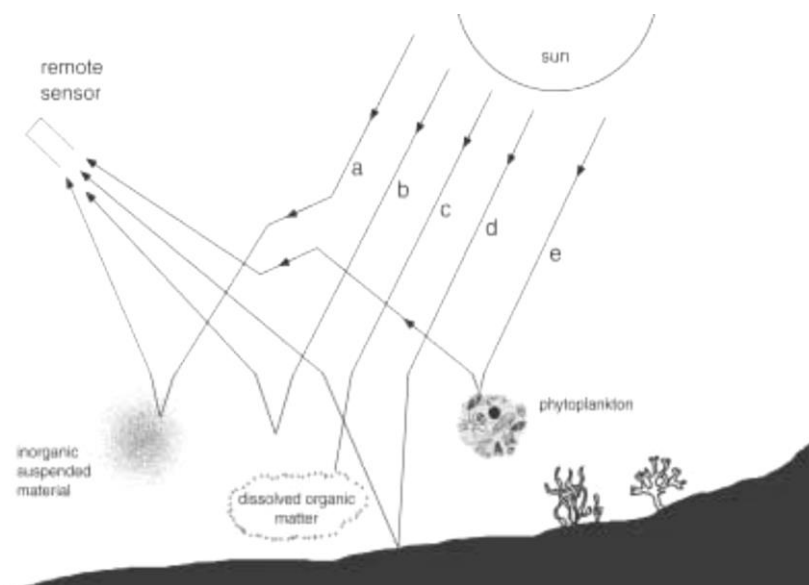
Além disso, o material presente no corpo hídrico interage com a energia eletromagnética e pode absorvê-la. Cada material tem o coeficiente de absorção distinto (VILLAR, 2013), que poderá interferir de variadas maneiras na penetração da energia magnética na coluna de água. Esta variação é calculada pelo coeficiente de atenuação, de espalhamento de luz, o qual dependerá do material particulado.

Em suma, os efeitos dos componentes opticamente ativos das águas presentes na coluna de água fazem com que as propriedades óticas inerentes tenham diferentes coeficientes de espalhamento e de absorção da radiação eletromagnética. Isto mostra comportamentos espectrais diferentes dos diversos tipos de água a partir dos diferentes comprimentos de onda.

1.5.3 Componentes Opticamente Ativos da Água - COAs

A radiação visível presente em um corpo hídrico é determinada pelas propriedades óticas inerentes, originárias dos componentes opticamente ativos da água (COAs) (MATHER e KOCH, 2011). O comportamento espectral do corpo hídrico é resultado da presença e concentração dos COAs. Os principais COAs são os sedimentos suspensos, a clorofila e a matéria orgânica dissolvida, conforme mostra a Figura 11. Além disso, alguns parâmetros presentes na água têm relação direta com o comportamento espectral da água, como por exemplo, a turbidez.

Figura 11 – Interação da luz com os componentes opticamente ativos



Fonte: Green et al, 2000

Para a pesquisa em ambientes aquáticos, é necessário o entendimento da distribuição espacial dos componentes opticamente ativos. Este estudo se dá a partir da análise das radiações incidentes e refletidas nas águas.

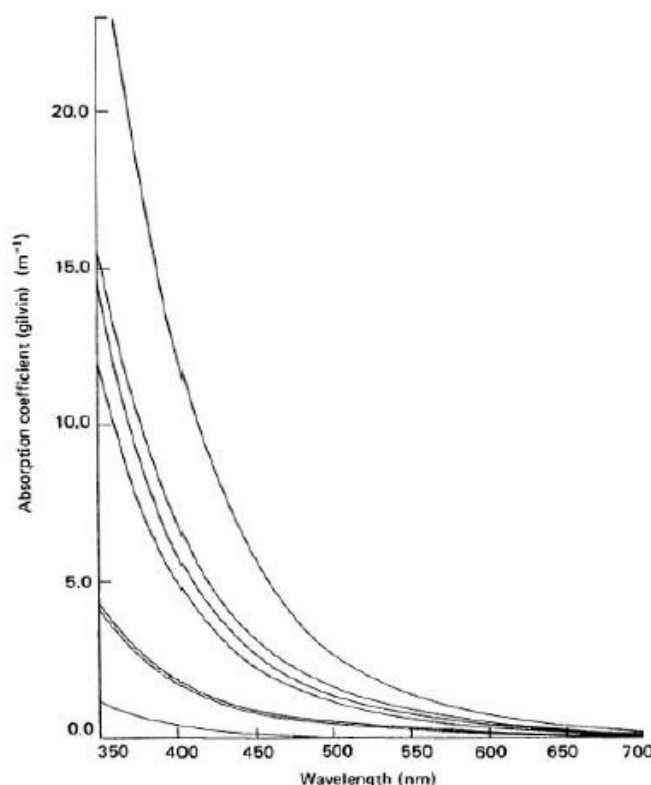
Sendo assim, como já foi dito, o monitoramento da qualidade da água, que é realizado pelo sensoriamento remoto, ocorre por meio da análise dos componentes opticamente ativos. Mesmo assim, também são utilizados outros parâmetros de qualidade, como turbidez, clorofila e temperatura (KIRK, 1994). Segundo Rocha (2018), o grau de influência das variáveis limnológicas, com relação às substâncias dos COAs, modifica-se, principalmente, nos ambientes aquáticos.

Um dos componentes óticos ativos são as matérias orgânicas dissolvidas, que têm uma importante função nas atividades biológicas dos corpos aquáticos (BREZONIK *et al.*, 2005). Tais substâncias são conhecidas como CDOM (*Color Dissolved Organic Matter*) ou substâncias amarelas (*Yellow Substance*).

Segundo Gholizadeh *et al.* (2016), as águas em que predominam CDOM se caracterizam por serem de cores mais escuras, causadas pelos ácidos húmicos e fúlvicos que, por sua vez, são produtos intermediários da degradação da vegetação. Segundo Villar (2013) as altas concentrações de matéria orgânica dissolvida é um dos COA's responsáveis pelo aumento do coeficiente de absorção da energia eletromagnética do corpo hídrico. Além disso, segundo Kirk (1994), o coeficiente de absorção da água é alterado de uma maior quantidade de comprimentos de onda curtos para comprimentos de onda maiores, diretamente relacionados à presença de

matéria orgânica dissolvida. Isto é, na medida em que há maior quantidade de matéria orgânica dissolvida, a absorção da luz se dá em comprimentos de onda maiores.

Figura 12 – Comportamento espectral de absorção da Matéria Orgânica Dissolvida



Fonte: Adaptado de Kirk, 1994

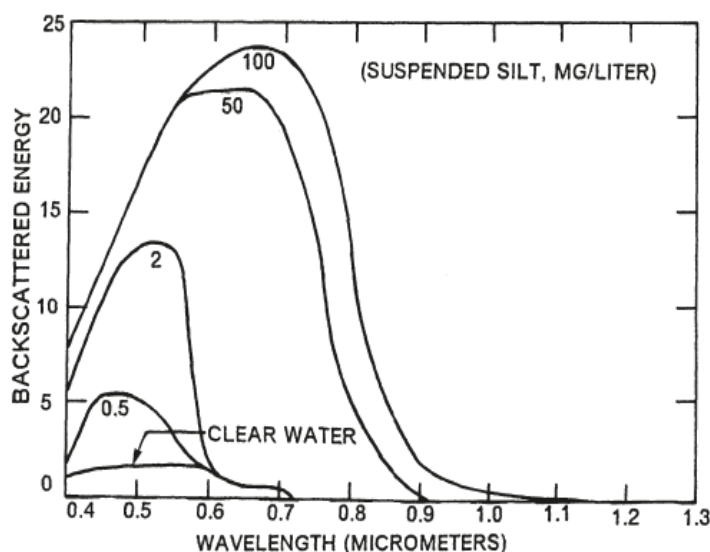
Os sólidos suspensos fazem parte dos componentes opticamente ativos da água e são compostos, na maioria das vezes, por silte e argila, que ficam sob o espelho da água. Estes sedimentos são originários de várias fontes, como de áreas agrícolas, da pecuária, de áreas de ações antrópicas e de áreas de processos naturais também. Além disso, uma grande quantidade de sedimentos presentes no corpo hídrico provoca a variação do comportamento espectral da água. Assim, ocorre maior refletância nas bandas correspondentes ao infravermelho próximo.

De fato, nos estudos de sedimentos suspensos é importante a identificação da cor, da forma e da textura, pois causam mudança na resposta do sensor. Segundo Suterland (2000), as partículas mais escuras absorvem mais energia do que as mais claras. Além disso, as partículas que têm maior granulometria e as áreas de maior turbulência de vazão apresentam maior refletância espectral.

Segundo Novo (2008), o comportamento espectral, quando tem uma grande quantidade de silte e argila, apresenta uma alta refletância – entre 550 a 800 nanômetros. Por isso, esta

grande quantidade de sedimentos suspensos causa aumento na refletância da água, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Variação de refletância pela concentração de sedimentos



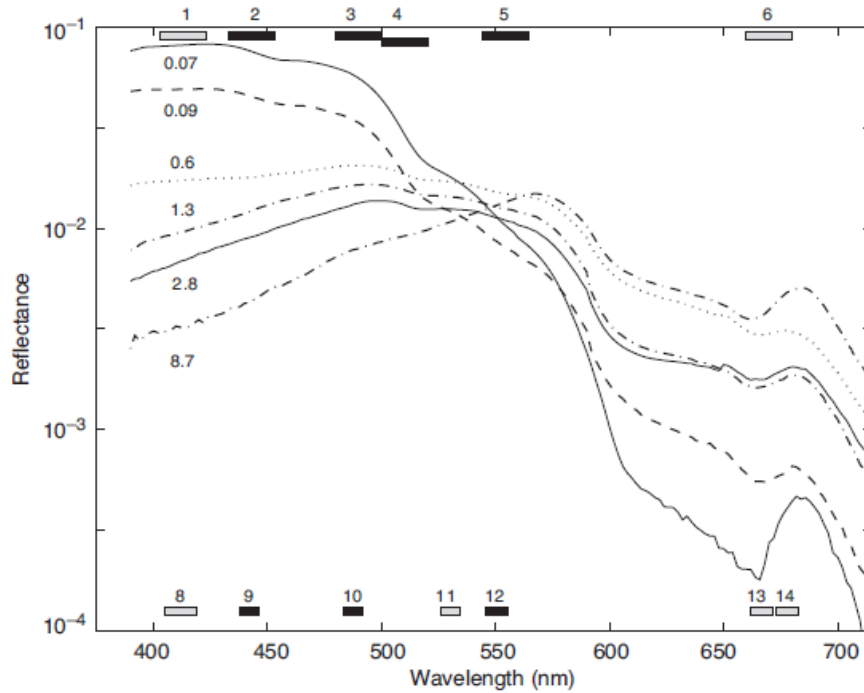
Fonte: Moore, 1978

O outro componente opticamente ativo importante no estudo espectral é a clorofila que, nos corpos hídricos, é o pigmento fotossinteticamente ativo. Esse componente absorve a radiação eletromagnética nas bandas do azul e do vermelho, possibilitando a produção de oxigênio, por meio da fotossíntese. Mesmo assim, para haver grande presença de fitoplâncton, é necessária uma grande quantidade de fosfatos e de nitrogênio.

Em termos gerais, determinados tipos de fitoplâncton possuem diferentes concentrações de clorofila, que fazem com que eles tenham diferentes tonalidades nas imagens de satélite (TONIOLO, 2016), conforme mostra a Figura 14. Isto faz com que a cor do espelho d'água seja usada para estimar a quantidade, os diferentes tipos de fitoplâncton presentes na coluna de água e, também, podem fornecer informações sobre a qualidade da água.

Além disso, o pigmento de clorofila apresenta uma maior refletância – na banda do infravermelho em torno de 700 nanômetros – e sua absorbância na faixa do vermelho ocorre em torno de 665 nanômetros, conforme mostra a Figura 14. Assim, ao realizar os estudos de clorofila na água, Jansen (2009) apresentou uma relação entre as regiões da radiação eletromagnética do vermelho e do infravermelho próxima.

Figura 14 – Diferentes quantidades de clorofila e suas diferenças na refletância



Fonte: Katsaros, 2015

1.5.4 Técnicas de análises dos componentes opticamente ativos da água.

O tratamento das análises dos componentes opticamente ativos da água é o trabalho que deve ser estabelecido sobre as curvas de refletância, visando o realce das feições geográficas presentes no comportamento espectral. Estes processamentos nos espectros eletromagnéticos são feitos para a retirada das interferências atmosféricas na coleta de dados.

Uma das técnicas de tratamento dos dados se baseia na remoção das feições contínuas dos espectros eletromagnéticos, sendo este contínuo uma função matemática usada com o objetivo de separar as bandas particulares dos espectros de refletância, conforme esclarece a fórmula número 6. Essa técnica, portanto, visa remover os ruídos presentes no comportamento espectral dos alvos. A partir disso, se consegue realizar as análises espectrais qualitativa e quantitativa (CLARK; ROUSH 1984).

$$\partial cr\lambda = \frac{\rho_{original}\lambda}{\rho_{contínuo}\lambda} \quad (6)$$

Nesse caso, $\partial cr\lambda$ é o fator de refletância direcional cônico, com o contínuo removido. O $\rho_{original}\lambda$ é o fator de refletância direcional original e o $\rho_{contínuo}\lambda$ é o espectro do contínuo (CLARK; ROUSH 1984). O λ representa o comprimento de onda. Assim, a

identificação do contínuo espectral é feita a partir da ligação dos pontos de máxima refletância espectral (NÓBREGA, 2002).

Outro procedimento de tratamento sobre os espectros eletromagnéticos é técnica derivada, a qual consiste no realce das feições geográficas que aparecem nos picos de refletância e no pico de absorção presentes no espectro eletromagnético. Desse modo, as derivadas consistem na remoção da refletância da superfície de água, o que facilita a detecção de sedimentos em suspensão. Além disso, esta técnica pode ser utilizada na remoção do efeito espectral das partículas inorgânicas em suspensão, mantendo apenas a presença de clorofila (ARRAUT *et al.*, 2005). A técnica de derivada pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$\frac{ds}{d\lambda} \left| \frac{S(\lambda f) - S(\lambda i)}{\Delta \lambda} \right| \quad (7)$$

Nesse caso, ds consiste na derivada espectral. O S representa o sinal verdadeiro de refletância, em que λf é maior comprimento de onda e λi é o menor. Além disso, o $\Delta \lambda$ significa a separação entre as bandas adjacentes constantes ($\Delta \lambda = \lambda f - \lambda i$). Portanto, a derivada evidencia locais que, na curva original, não eram visíveis (ARRAUT *et al.*, 2005).

1.6 Qualidade da água e sensoriamento remoto

A água apresenta diferentes constituintes e possui várias características espectrais. Dessa maneira, a refletância espectral do corpo de água, no espectro do visível, apresenta informações quantitativas sobre os corpos hídricos. Nesse viés, têm sido desenvolvidas várias pesquisas, como as de Prado *et al.* (2007) e de Mouw *et al.* (2015).

Segundo Jansen (2009), os estudos de sensoriamento remoto usando dados de água têm interesse na refletância volumétrica de subsuperfície, conforme mostra, mais abaixo, a Figura 15. Esta refletância é originária da radiação solar direta e atmosférica descendente, que entra na interface ar-água, interage com a água e com o material ali presente, como material orgânico e inorgânico, saindo da coluna de água e indo em direção ao sensor, sem, no entanto, ter contato com o fundo da água.

Nesse sentido, tal refletância é uma interação da energia com a água pura, com sedimentos suspensos, com clorofila e com matéria inorgânica, além da quantidade total de atenuação que existe na coluna de água (JANSEN, 2009). Todo este processo é calculado por meio da seguinte função matemática:

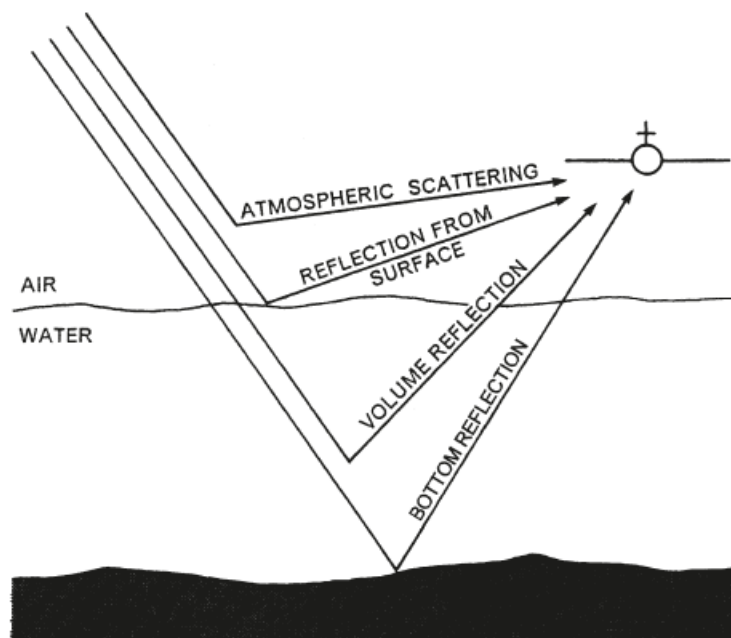
$$Lv = f[W_{c(\lambda)}, SM_{c(\lambda)}, Chl_{c(\lambda)}, Dom_{c(\lambda)}] \quad (8)$$

Nesse caso, Lv é a concentração do fluxo de energia radiométrica, $W_{c(\lambda)}$ é a água pura, $SM_{c(\lambda)}$ é o sedimento suspenso, $Chl_{c(\lambda)}$ é a clorofila e o $Dom_{c(\lambda)}$ é a matéria orgânica (JANSEN, 2009).

Sendo assim, para os estudos de qualidade da água realizados por meio de sensoriamento remoto, leva-se em conta a região do espectro eletromagnético do visível, que se dá entre 450 e 700 nanômetros, aproximadamente. No entanto, em águas que apresentam grande quantidade de sedimentos e de fitoplânctons também se considera a região do espectro, que equivale ao infravermelho próximo, entre 750 e 800 nanômetros. Isto ocorre devido à refletância de grande quantidade de pigmentos.

De fato, o estudo de água pode ser usado para a pesquisa da composição dos corpos hídricos e para o monitoramento de alguns parâmetros da qualidade. Assim, alguns parâmetros físicos que podem ser analisados são turbidez, pigmentos clorofilados, sedimentos suspensos e carbono orgânico dissolvido (NOVO, 2001). Mesmo assim, o parâmetro mais utilizado é o monitoramento da cor da água, devido à matéria orgânica dissolvida, à clorofila e aos sedimentos em suspensão, já que a variação dos COAs no corpo hídrico pode causar mudança da cor e da qualidade da água. (NASCIMENTO *et al.*, 2011; LOPES *et al.*, 2014).

Figura 15 – Reflexões que ocorrem no corpo hídrico



Fonte: Campbell e Wayne, 2011

1.6.1 Comportamento espectral dos alvos naturais para confeccionar o uso e ocupação do solo.

O estudo de bacia hidrográfica é necessário para confecção do mapa de uso e ocupação do solo. Para isto, é necessário o conhecimento do comportamento espectral das feições geográficas que compõem a bacia hidrográfica.

A vegetação apresenta, como comportamento no espectro eletromagnético, picos de absorção de energia na parte visível do espectro entre 0,45 μm e 0,67 μm (azul e vermelho), os quais são provocados por pigmentos de clorofila e carotenóide presentes nas folhas. Assim, eles ocorrem no infravermelho próximo e na faixa verde, causados pela estrutura das folhas de plantas, que é responsável por cerca de 50% da refletância.

Além disso, o comportamento da vegetação no espectro eletromagnético varia com sua umidade. Esta variação ocorre nos comprimentos de onda entre 1,3 e 2,5 μm . Quando a vegetação apresenta grande quantidade de umidade, suas faixas de refletância ficam perto do 1,3 μm e, quando essa já está em processo de seca, ocorre variação da refletância de energia. A vegetação sob estresse hídrico (escassez de água) pode comportar-se de maneiras variadas, de modo que esta variação dependerá do fator causador da seca (GOMES; MAILLARD, 1992).

Para análise de agricultura e pecuária, utilizou-se, na identificação destas feições geográficas, a forma dos plantios e pastos. Na agricultura foram encontradas plantações de açaí, macaxeira e pupunha. Na identificação de pecuária, foram encontrados pastos de pecuária extensiva e leiteira.

Com efeito, o estudo de solo exposto e de minas teve a interpretação radiométrica, geológica e visual da imagem. Para solo exposto, os elementos mais importantes que determinam os espectros eletromagnéticos (0,4 a 2,5 μm) são os íons ferroso e férrico, a água e a hidroxila. Já as rochas magmáticas básicas, como granitos e migmatitos, apresentam elevada porcentagem de minerais félsicos, como mica e anfibólio, o que provoca uma baixa refletância. Por sua vez, as rochas magmáticas e metamórficas apresentam pouca refletância, provocada pela presença dos minerais magnetita, mica e biotita (CHUVIECO, 1996). Finalmente, as minas têm um comportamento espectral de alta refletância, devido à presença de rochas que se localizam em superfície, como o granito e gnaiss, principalmente para a exploração de britas.

Na verdade, o estudo da água em seu estado líquido é bastante simples. Ela apresenta uma baixa refletância, entre os comprimentos de onda 0,38 μm e 0,70 μm , e absorve toda a refletância acima de 0,7 μm . Além disso, a refletância diminui com o aumento dos comprimentos de onda, ou seja, na faixa mais utilizada em sensoriamento remoto verificaram-

se as maiores refletâncias na região do visível – mais especificamente, nos comprimentos do azul, com decréscimo gradual na direção do infravermelho (CHUVIECO, 1996).

Para a identificação de centros urbanos na imagem, são utilizados diversos critérios, tais como tom, cor e textura. A partir das cores, pode-se identificar e deduzir a densidade de edificações presentes no centro urbano. Assim, o tom da imagem de um centro urbano indica a existência de vegetação; já a textura indica o grau de densidade urbana de uma determinada área.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho iniciou-se com a montagem do banco de dados cartográficos do material disponível sobre a área da pesquisa e buscou-se levantar as características dos fatores físicos que podem influenciar a qualidade da água. Para isto, utilizou-se o Projeto Radambrasil (1974), o Macrodiagnóstico do estado do Amapá (2008) e o Mapa de Geodiversidade do Estado do Amapá (2016). A base cartográfica desta tese utilizou os dados disponíveis nas mais diversas de escalas, como por exemplo, o Geobank da CPRM (Conselho Pesquisa e Recursos Minerais) que disponibiliza os dados de 1:500.000 e o Macrodiagnóstico do estado do Amapá está na escala de 1:100.000. Além disso, realizou-se o estudo dos relatórios de impacto ambiental da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes, feitos pela fundação Ecotumucumaque. Finalmente, foram analisados os relatórios climatológicos da área do reservatório da Usina Hidrelétrica e houve consulta a artigos e teses sobre uso da terra, qualidade da água e sensoriamento remoto aplicados aos ambientes aquáticos sobre o rio Araguari.

Assim, o modelo de vulnerabilidade ambiental foi realizado por meio da compilação e sobreposição de registros cartográficos de hidrografia, geomorfologia, geologia, vegetação, pedologia, declividade e altimetria.

A rede hidrográfica presente nesta tese foi feita baseada no modelo digital de elevação, o qual faz parte do mapeamento contínuo do estado do Amapá, realizado pelo Departamento de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), com a resolução de dois metros de *pixel* gerando uma escala de 1:50.000. A geração da hidrografia por modelos digitais de terreno já é comumente usada na literatura, como fizeram Oliveira *et al.* (2013). Também se utilizou o software *Spring*® nas análises.

A partir dos dados de hidrografia, foram realizados trabalhos de campo de maneira a caracterizar as principais drenagens geradas. Além disso, consultou-se a carta topográfica de Ferreira Gomes de 1990, produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990). Também houve uma consulta ao estudo de impacto ambiental da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes Energia, pois algumas regiões da bacia de captação não são acessíveis, por estarem em áreas de proteção ambiental.

O mapa geológico da área foi feito a partir dos dados, na escala de 1:500.000, do banco de dados geográficos, disponibilizados pelo Conselho de Prospeção e Recursos Minerais (Rosa-Costa, 2014). A partir disso, houve um refinamento do mapa geológico baseado, principalmente, no trabalho do Radambrasil, de 1978, sobretudo nos córregos, que se localizam no sul do reservatório.

O mapa geomorfológico também foi confeccionado utilizando os dados na escala de 1:500.000, que foram postos no banco de dados georreferenciados (GEOBANK, 2016). Depois disso, confeccionou-se o mapa temático de geomorfologia no programa *Spring*® para a representação geomorfológica da área.

O mapa pedológico da área de estudo foi baseado nos dados levantados em escala de 1:100.000, do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Amapá (2015). Este zoneamento foi realizado pelo Centro de Ordenamento Territorial (COT) do Instituto Estadual de Pesquisa do Amapá (IEPA). Também foram utilizados mapas de solos do Radambrasil (1974) e imagens de satélite Landsat-8, para refinar o mapa de solos da bacia do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Além disso, usou-se o programa *QGIS*®.

Por sua vez, o mapa de declividade foi realizado baseado no modelo digital de elevação realizado pelo DSG e SEMA. Para a realização do mapa, usou-se o software *Spring*®. De fato, a metodologia de declividade é baseada nas contribuições de Valeriano (2003) e Valeriano e Albuquerque (2010), com a criação de modelo triangular de terreno (TIN), para a posterior criação do mapa de declividade, dividido em classes de porcentagens. Com isso, as classes foram separadas de acordo com Crepani *et al.* (2001): declividade muito baixa (menor que 2%); declividade baixa (de 2 a 6%); declividade média (de 6 a 20%); e declividade muito alta (acima de 50%).

2.1 Uso da terra

O mapeamento do uso da terra e da cobertura vegetal foi realizado a partir de imagens de satélite num mapeamento preliminar e em trabalhos de campo na bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes, para a identificação das feições geográficas.

Nos trabalhos de campo para reconhecimento da área, notou-se que a montante do reservatório se localizam as áreas de vegetação. Na margem direita do reservatório, há diversos usos da terra, como pecuária, mineração e áreas urbanas, e foi identificada a presença de vegetação de áreas de cerrado e floresta ombrófila. Na margem esquerda do reservatório, também se observou grande presença de vegetação de cerrado e floresta ombrófila, além de pequenas áreas agrícolas.

Assim, realizou-se uma legenda com as feições encontradas no trabalho de campo, no comportamento do espectro eletromagnético e no manual de uso da terra do IBGE (SOKOLONSKI, 2007). Também se levou em consideração as classes de acordo com o modelo de vulnerabilidade ambiental (CREPANI, 2001). Então, foram utilizadas as seguintes feições

geográficas encontradas no trabalho de campo para fazer a legenda: solo exposto, vegetação, área urbana, pecuária, agricultura, água e mineração.

A imagem de satélite utilizada neste trabalho, datada de 12/08/2017, é a imagem Landsat-8 sensor OLI, cuja identificação é LC08_L1TP_226059_20170812_20170824_01_T1. Ela foi selecionada por ser da região de estudo e por ser uma imagem que já vem com a correção geométrica pronta. Além disso, a imagem que apresenta menor nebulosidade área de estudo desta tese e, portanto, sua utilização nesta estação ocorreu porque não existe tanta nebulosidade, de modo que é mais fácil identificar as feições geográficas importantes ao mapeamento de uso e ocupação do solo.

Sendo assim, utilizou-se a composição colorida RGB-234¹ para a identificação das áreas urbanas. Já para a identificação de vegetação, usou-se a composição colorida falsa cor RGB-567².

O próximo passo no processamento de imagens foi o contraste e, para tanto, utilizou-se o software *Spring*®. O contraste consiste na mudança radiométrica de cada *pixel* e tem como objetivo melhorar a visualização para identificar as feições geográficas. Esta técnica é realizada sobre histogramas, ou seja, diagramas que mostram a quantidade de *pixel* por nível de cinza presente na imagem. Com efeito, para se fazer o contraste sobre as imagens, foram utilizadas funções matemáticas, denominadas transformações radiométricas.

O contraste utilizado foi o de equalização, que consiste na divisão da imagem em intervalos iguais de nível de cinza. Este procedimento, portanto, gera o realce entre as feições mais claras e as mais escuras.

Não obstante, o procedimento de segmentação da imagem necessita acontecer antes do processo de classificação, para deixá-la mais eficiente. Por isso, esse processo deve ser compreendido como uma classificação estatística que constitui um método de análise de *pixels* de maneira individual.

Para tanto, o software *Spring*® apresenta dois tipos de segmentadores: o de detecção de bacias e o de crescimento de regiões. A detecção de bacias é um procedimento de segmentação

¹ Composição colorida RGB-234 – A composição colorida é a formação de imagens utilizando três canhões de cores. Estas são as cores básicas: vermelho, verde e azul do espectro visível. Cada banda remete a uma cor e pode ser identificada por seus números que, neste caso, são do satélite LANDSAT sensor OLI. Este procedimento de composição colorida é importante para poder realçar alguns objetos que não são possíveis de serem analisados em uma imagem na qual ocorre somente a variação dos níveis de cinza.

² Composição colorida RGB-567 – Difere-se da composição colorida RGB-123 pelas bandas utilizadas. Nessa composição são utilizadas as bandas do infravermelho médio, próximo e distante. Útil para conseguir uma melhor identificação da vegetação seca quando se enfatiza o canhão vermelho na banda do infravermelho médio.

da imagem a partir da alteração dos níveis de cinza e é realizado das bordas para a região interna. Já o segundo segmentador usa a união de dados, em que as regiões próximas devem ser juntadas a partir de um teste de similaridade, o qual é usado com base em dados estatísticos (média entre regiões). O segmentador que se apresentou mais eficiente às imagens de satélite da região de estudo, após vários testes, foi o de crescimento de região.

Por fim, o processamento digital realizado foi a classificação de imagem, que pode ser entendida como o método de extração de informação para distinguir padrões e feições homogêneos. Assim, a informação espacial está representada na informação espectral de cada *pixel*, que tem coordenadas espaciais (x, y) e uma espectral (L), a qual concebe a refletância do alvo em todas as bandas espectrais, ou seja, para uma imagem de n bandas, ocorrem n níveis espectrais relacionados a cada *pixel*, sendo um para cada banda espectral.

De fato, a grande maioria dos algoritmos de classificação usa as informações espectrais das bandas para fazer a classificação. Os classificadores são divididos em diversos critérios, de acordo com seu processo de classificação. Com efeito, o primeiro critério de classificação é o de *pixel a pixel* ou o de regiões. O classificador de *pixel a pixel* baseia-se nas informações espectrais isolando cada *pixel* ou região. Já o outro classificador utiliza as regiões geradas no processo de segmentação para poder identificar as classes geográficas.

Neste trabalho foram utilizados os dois tipos de classificadores. No entanto, os algoritmos de maior sucesso foram utilizados junto com a imagem segmentada, pois feições geográficas como centro urbano e mineração apresentam níveis de cinza muito próximos e, consequentemente, o menor erro na escolha das amostras pode gerar problemas no processo de classificação.

Nesse viés, os algoritmos de classificação utilizam amostras espectrais das classes geográficas, que serão mapeadas para possuírem a capacidade de associar os *pixels* às feições geográficas que representam. Este processo de reconhecimento do algoritmo ocorre no nível espectral de cada classe geográfica e denomina-se treinamento, o qual pode ocorrer de dois modos: o supervisionado e o não supervisionado.

No treinamento supervisionado, os algoritmos dispõem de informações por meio das amostras de cada classe geográfica e identificam as classes presentes na imagem sem a necessidade de amostras. Devido às necessidades deste projeto, mapeamentos de grande precisão foram realizados como testes empíricos, por meio de treinamentos supervisionados e não supervisionados. Nesses testes, apurou-se que, nos treinamentos supervisionados, os níveis de aceitação do algoritmo em que as amostras poderiam ser identificadas pela feição geográfica representante aconteciam em torno de 99% e 100% do total de amostras na matriz, ou seja, não

havia problemas nas amostras deste tipo. Sendo assim, este resultado mostrou que o treinamento supervisionado é muito eficiente e, assim, o trabalho concentrou-se apenas nele.

Não obstante, o algoritmo utilizado para o processamento foi o de distância euclidiana. Sua escolha ocorreu porque este algoritmo foi o que apresentou maior capacidade de identificação e separação de feições geográficas na imagem Landsat-8. Para tanto, ele utiliza-se da distância para relacionar o *pixel* a alguma feição geográfica existente. Assim, no treinamento desse algoritmo, cada *pixel* da imagem é anexado a uma classe geográfica, por meio da análise de similaridade de distância euclidiana, que é dada pela seguinte equação:

$$d(x, m) = \frac{(x^2 - m^2)}{2} \quad (9)$$

x = pixel que está sendo testado

m = média de um grupamento

A partir deste método, o classificador compara o resultado da distância euclidiana à média de distância de cada classe e, por isso, o *pixel* da imagem será anexado à classe que apresentar menor distância euclidiana. Gerou-se, assim, a classificação de imagem, de modo que o índice de Kappa (mensurador da qualidade do mapa) foi de 98%.

Todo estudo que necessita de mapas exige que este mapeamento seja verificado em trabalhos de campo, os quais foram realizados três vezes: 12/09/2017, 15/11/2017 e 20/12/2017).

Para a confecção do mapa fitogeográfico, foram analisados os dados disponíveis pelo Zoneamento Ecológico Econômico do estado do Amapá, de 2015, na escala de 1:100.000. Também foi usado o relatório de impacto ambiental da construção do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Além disso, levou-se em consideração os trabalhos do Radambrasil e foram utilizadas imagens de satélite Landsat-8 sensor OLI para retificar os dados presentes no banco de dados.

Por fim, para realizar o estudo pluviométrico da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes, foram utilizados dados do centro de monitoramento da ANA, acerca das seguintes estações automáticas: estação UHE Coroacy Nunes Barragem, estação UHE Ferreira Gomes Reservatório e estação UHE Ferreira Gomes Barramento. Com os dados das estações climatológicas, se realizou uma triangulação dos dados e, assim, gerou-se o mapa pluviométrico da área de estudo.

2.2 Modelo de vulnerabilidade

Para os mapas do modelo de vulnerabilidade ambiental, adotou-se a referência das propostas de Crepani *et al.* (2001). Assim, para o modelo de vulnerabilidade de geologia, adotado com o objetivo de mensurar quais são as rochas mais resistentes ao processo erosivo, foram consideradas estáveis da formação de granulitos e estipulado o valor de referência de vulnerabilidade 1,0. Para o complexo guianense, que é composto por granodioritos, foi alocado o valor de 1,2. Já para as formações geológicas, que são menos resistentes aos processos erosivos, foram consideradas as áreas mais vulneráveis das rochas do Grupo Barreiras, com valor de 2,7, e os depósitos aluvionares, com o valor de 3,0.

O mapa de geomorfologia, ainda segundo Crepani *et al.* (2001), é o resultado da média aritmética dos mapas de amplitude altimétrica, declividade e amplitude interfluvial. Além disso, o modelo de vulnerabilidade de amplitude altimétrica foi separado em classes. As classes foram divididas em intervalos de 9,5 metros, de modo que as altitudes menores foram consideradas estáveis e as mais altas, moderadamente estáveis. Tais parâmetros foram adotados em virtude da baixa topografia da bacia da UHE Ferreira Gomes.

O modelo de declividade foi dividido em cinco classes, sendo a primeira classe a com uma declividade menor de 2%, para a qual foi alocado o valor de 1, considerada estável, porque a menor inclinação da vertente, consequente do escoamento superficial, irá apresentar menor energia cinética para os processos erosivos. A segunda classe, de 2% a 6%, apresenta uma inclinação maior que a primeira e foi considerada moderadamente estável, por causa do aumento da inclinação que amplia a energia dos processos erosivos, cujo valor alocado foi de 1,5. A terceira classe corresponde à declividade de 6% a 20%, cujo aumento elevou o valor alocado para o modelo de classe 2, sendo considerada medianamente estável. Por sua vez, a quarta classe representa as declividades entre 20% e 50% e, por isso, foi alocado o valor de 2,5, sendo considerada moderadamente vulnerável. Por fim, a quinta classe foi considerada área com declividade acima de 50% e, assim, foi alocado o valor de 3,0.

Não obstante, para consolidar o modelo de geomorfologia, foi criado o modelo de amplitude interfluvial, que consiste no estudo das incisões sobre a verticais dos interflúvios. Para a construção deste modelo houve a separação de classes considerando a distância entre os divisores de água, pois, quanto maior for a divisão entre os interflúvios, menor será o processo erosivo entre as vertentes. A partir disso, foi formulada a Tabela 3, com o valor e a distância de interflúvio, segundo a metodologia de Crepani *et al.* (2001).

Tabela 3 – Medidas de distância interfluvial, de peso e de cada classe de amplitude interfluvial

Distância entre interflúvios	valor	classe
3500 - 3750 metros	1,6	moderadamente estável
3250 - 3500 metros	1,7	moderadamente estável
3000 - 3250 metros	1,8	medianamente estável/vulnerável
2750 - 3000 metros	1,9	medianamente estável/vulnerável
2500 - 2750 metros	2,0	medianamente estável/vulnerável
2250 - 2500 metros	2,1	medianamente estável/vulnerável
2000 - 2250 metros	2,2	medianamente estável/vulnerável
1750 - 2000 metros	2,3	moderadamente vulnerável
1500 - 1750 metros	2,4	moderadamente vulnerável
1250 - 1500 metros	2,5	moderadamente vulnerável
1000 - 1250 metros	2,6	moderadamente vulnerável
750 - 1000 metros	2,7	vulnerável
500 - 750 metros	2,8	vulnerável
250 - 500 metros	2,9	vulnerável
0 - 250 metros	3,0	vulnerável

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.*, 2001

Para fazer o modelo de geomorfologia, foi realizada a aritmética das imagens com a soma dos modelos de amplitude altimétrica, de amplitude interfluvial e de declividade. Em seguida, realizou-se a média e foi gerado o mapa de vulnerabilidade de geomorfologia.

Já para o modelo de pedologia, considerou-se como solos mais estáveis aqueles que apresentam maior porosidade, tem menor escoamento superficial e menor processo erosivo. Assim, os solos que apresentam menor processo erosivo são o Latossolo Vermelho-amarelo e o Latossolo Amarelo Hiperdistrófico, já que os latossolos são solos porosos nos quais o escoamento superficial é menor. Por isso, estas classes foram consideradas estáveis, com peso 1,0. Já os Latossolos Amarelos Hiperdistróficos Concrecionários, por apresentarem algumas lateritas, têm escoamento superficial maior e, por isso, sua classe foi considerada moderadamente estável, com o valor de 1,4.

Para o modelo de vulnerabilidade de índice pluviométrico, considerou-se a média anual, que é de 3297,4 mm. A partir dos dados da média de precipitação, evidenciou-se que se trata de uma classe moderadamente vulnerável, segundo Crepani *et al.* (2001). Mesmo assim, sublinhe-se que não foi considerada a média do ano de 2017, de 1108 mm, por ter ocorrido uma anomalia climática. Evitou-se, com isso, a construção de um modelo equivocado, restrito a anomalias climatológicas.

Finalmente, o modelo de vulnerabilidade de uso e ocupação de solo utilizou a mensuração de classes feita por Crepani *et al.* (2001). Para isto, o autor separou as classes de acordo com os processos de morfogênese e pedogênese, de modo que as classes de uso do solo que facilitam o processo de morfogênese foram mensuradas nos valores mais altos, enquanto os usos que mantêm o processo de pedogênese foram alocadas com os valores mais baixos.

Sendo assim, a classe de uso do solo com os valores mais baixos enquadra a hidrografia e a floresta ombrófila densa, considerada uma classe estável e cujo valor alocado foi de 1,0. A classe urbana foi colocada com o valor de 2,0, considerada uma classe medianamente estável e que apresenta o processo de morfogênese intenso no desmate da vegetação natural e na terraplanagem da área natural. Além disso, depois de consolidado o centro urbano, o processo de pedogênese predomina na área.

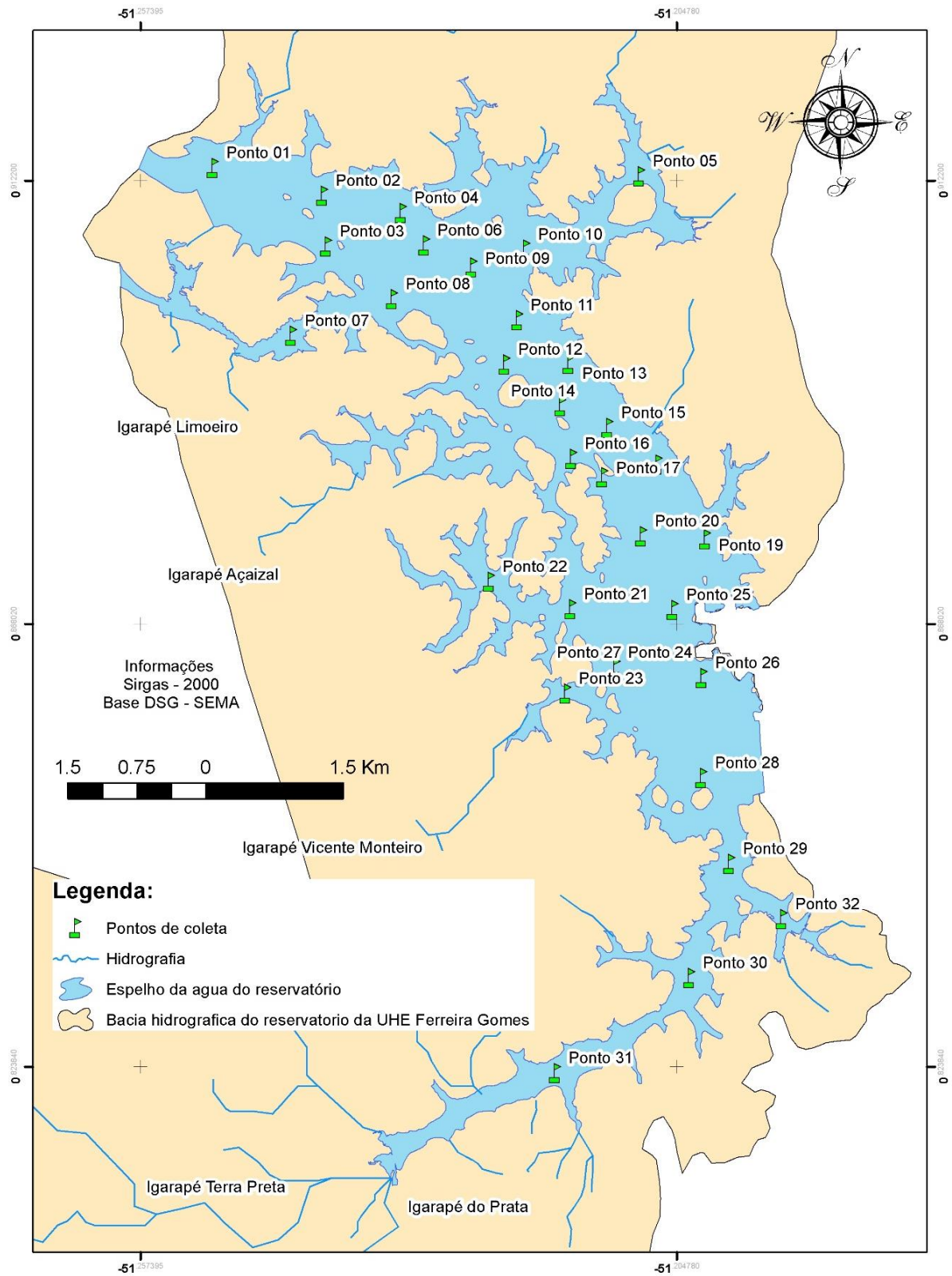
Não obstante, as classes de cerrado, mata galeria e campo inundável, de vegetação mais aberta, em que o solo está exposto, são áreas nas quais o processo de morfogênese predomina sobre o processo de pedogênese. Assim, essas classes têm o peso de 2,7 e foram consideradas vulneráveis. Por fim, nas classes de solo exposto, agricultura, mineração e pecuária predomina a morfogênese e, por isso, são consideradas vulneráveis, com peso 3,0.

2.3 Método para análise da qualidade das águas

Para realizar a análise da qualidade da água no reservatório da UHE Ferreira Gomes, foram coletadas amostras em 32 pontos do espelho d'água, espalhados por todo o reservatório, de acordo com a Figura 16. Os pontos foram coletados em subsuperfície numa profundidade de 50 cm (BRANDÃO e et. al, 2012). Os pontos foram alocados segundo Wachholz (2007), buscando representar as características das reentrâncias, das mudanças do ambiente lântico para o lótico e da geometria do reservatório.

Foram realizadas quatro coletas durante o ano de 2017, nas datas 17/03/2017, 06/06/2017, 11/09/2017 e 27/11/2017, que foram escolhidas por serem representativas dos períodos de chuva amazônicos da região, conforme analisado no Quadro 3. Além disso, considerou-se as épocas dos períodos de vazão dos rios amazônicos da enchente, cheia, vazante e seca (RAMALHO, 2009). Assim, durante os trabalhos de campo, foi realizado registro fotográfico para a identificação da cor da água, como mostra a Figura 17.

Figura 16 – Pontos de coleta sobre o reservatório da Ferreira Gomes Energia



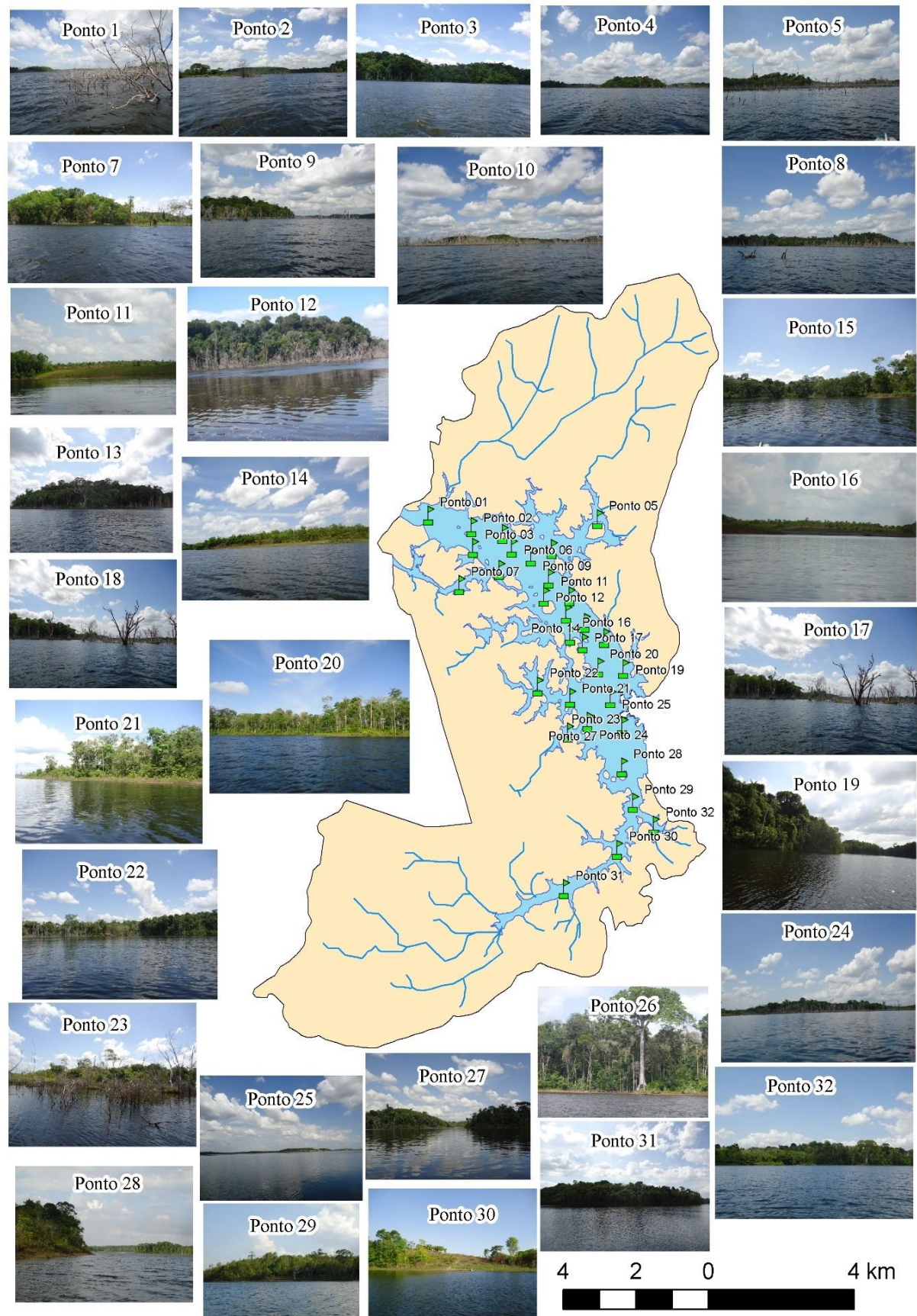
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Quadro 3 – Dados dos pontos de coleta, data e horário de coleta dos pontos amostrados

Pontos	Coordenadas X	Coordenadas Y	Data de coleta na enchente	Horario	Data de coleta na cheia	Horario	Data de coleta na vazante	Horario	Data de coleta na seca	Horario
ponto de coleta 1	475888.9998	90993.00061	17/03/2017	08:20	06/06/2017	08:19	11/09/2017	08:15	27/11/2017	08:10
ponto de coleta 2	477355.9998	92042.00062	17/03/2017	08:35	06/06/2017	08:28	11/09/2017	08:29	27/11/2017	08:21
ponto de coleta 3	477792.9999	93299.00063	17/03/2017	08:57	06/06/2017	08:39	11/09/2017	08:44	27/11/2017	08:44
ponto de coleta 4	477487.9998	94246.00064	17/03/2017	09:13	06/06/2017	08:48	11/09/2017	08:59	27/11/2017	08:57
ponto de coleta 5	476539.9998	95461.00064	17/03/2017	09:24	06/06/2017	09:00	11/09/2017	09:16	27/11/2017	09:17
ponto de coleta 6	477491.9998	95350.00064	17/03/2017	09:37	06/06/2017	09:13	11/09/2017	09:33	27/11/2017	09:34
ponto de coleta 7	476539.9998	95461.00064	17/03/2017	09:57	06/06/2017	09:27	11/09/2017	09:48	27/11/2017	09:50
ponto de coleta 8	476001.9998	95175.00064	17/03/2017	10:16	06/06/2017	09:38	11/09/2017	09:59	27/11/2017	10:02
ponto de coleta 9	477172.9998	96098.00065	17/03/2017	10:30	06/06/2017	10:00	11/09/2017	10:16	27/11/2017	10:18
ponto de coleta 10	476058.9998	96106.00065	17/03/2017	10:42	06/06/2017	10:14	11/09/2017	10:27	27/11/2017	10:29
ponto de coleta 11	475169.9998	96412.00065	17/03/2017	11:00	06/06/2017	10:28	11/09/2017	10:39	27/11/2017	10:42
ponto de coleta 12	477529.9998	96878.00065	17/03/2017	11:09	06/06/2017	10:45	11/09/2017	10:56	27/11/2017	10:59
ponto de coleta 13	476831.9998	96910.00065	17/03/2017	11:22	06/06/2017	11:00	11/09/2017	11:01	27/11/2017	11:02
ponto de coleta 14	477000.9998	97704.00066	17/03/2017	11:41	06/06/2017	11:23	11/09/2017	11:22	27/11/2017	11:21
ponto de coleta 15	476405.9998	97563.00066	17/03/2017	12:00	06/06/2017	11:39	11/09/2017	11:36	27/11/2017	11:37
ponto de coleta 16	476460.9998	98106.00066	17/03/2017	13:15	06/06/2017	12:00	11/09/2017	11:54	27/11/2017	11:59
ponto de coleta 17	475949.9998	98345.00066	17/03/2017	13:33	06/06/2017	13:20	11/09/2017	13:01	27/11/2017	13:30
ponto de coleta 18	476066.9998	97764.00066	17/03/2017	13:45	06/06/2017	13:34	11/09/2017	13:15	27/11/2017	13:45
ponto de coleta 19	476037.9998	98815.00067	17/03/2017	14:02	06/06/2017	13:48	11/09/2017	13:29	27/11/2017	13:59
ponto de coleta 20	475339.9998	98804.00067	17/03/2017	14:16	06/06/2017	14:00	11/09/2017	13:47	27/11/2017	14:16
ponto de coleta 21	475476.9998	99291.00067	17/03/2017	14:30	06/06/2017	14:15	11/09/2017	13:59	27/11/2017	14:31
ponto de coleta 22	474111.9998	99524.00067	17/03/2017	14:45	06/06/2017	14:29	11/09/2017	14:19	27/11/2017	14:47
ponto de coleta 23	473009.9998	99120.00067	17/03/2017	14:53	06/06/2017	14:49	11/09/2017	14:35	27/11/2017	15:00
ponto de coleta 24	474979.9998	99873.00067	17/03/2017	15:00	06/06/2017	14:59	11/09/2017	14:47	27/11/2017	15:16
ponto de coleta 25	475554.9998	100072.0007	17/03/2017	15:10	06/06/2017	15:11	11/09/2017	15:02	27/11/2017	15:31
ponto de coleta 26	474460.9998	100117.0007	17/03/2017	15:25	06/06/2017	15:26	11/09/2017	15:21	27/11/2017	15:46
ponto de coleta 27	476810.9998	100879.0007	17/03/2017	15:43	06/06/2017	15:44	11/09/2017	15:39	27/11/2017	15:59
ponto de coleta 28	474206.9998	100476.0007	17/03/2017	15:56	06/06/2017	15:57	11/09/2017	15:55	27/11/2017	16:12
ponto de coleta 29	473391.9998	100106.0007	17/03/2017	16:04	06/06/2017	15:59	11/09/2017	16:02	27/11/2017	16:27
ponto de coleta 30	473349.9998	100667.0007	17/03/2017	16:15	06/06/2017	16:22	11/09/2017	16:21	27/11/2017	16:39
ponto de coleta 31	472153.9998	100974.0007	17/03/2017	16:21	06/06/2017	16:29	11/09/2017	16:35	27/11/2017	16:51
ponto de coleta 32	478363.9999	92691.00063	17/03/2017	16:40	06/06/2017	16:43	11/09/2017	16:51	27/11/2017	17:05

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

Figura 17 – Mapas com as fotos de pontos de coleta no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Para realização das coletas de água utilizou-se como instrumento o GPS – Garmin Gpsmap® 78, que possui erro de precisão aproximado de dois metros. Para avaliação dos parâmetros físicos, utilizou-se a sonda de multiparâmetro AK-87, para a coleta de pH, oxigênio dissolvido, turbidez, NaCl, condutividade elétrica e total de sólidos dissolvidos.

As análises de fósforo, fosfato, ortofosfato, nitrato, nitrito e clorofila foram realizadas no laboratório de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Amapá. Trabalhos como este já foram feitos nesse laboratório, como o de Sá-Oliveira *et al.* (2011) e Sá-Oliveira (2013).

Para a análise de transparência foi realizada a observação de profundidade por meio dos discos de Secchi. Além disso, usou-se a metodologia proposta por McCoy (2005), que consiste em realizar a visualização da amostragem duas vezes e utilizar o dado da média, sendo que o dado de transparência é útil para medir a penetração da luz na água.

2.4 Realização do estudo de análise da paisagem

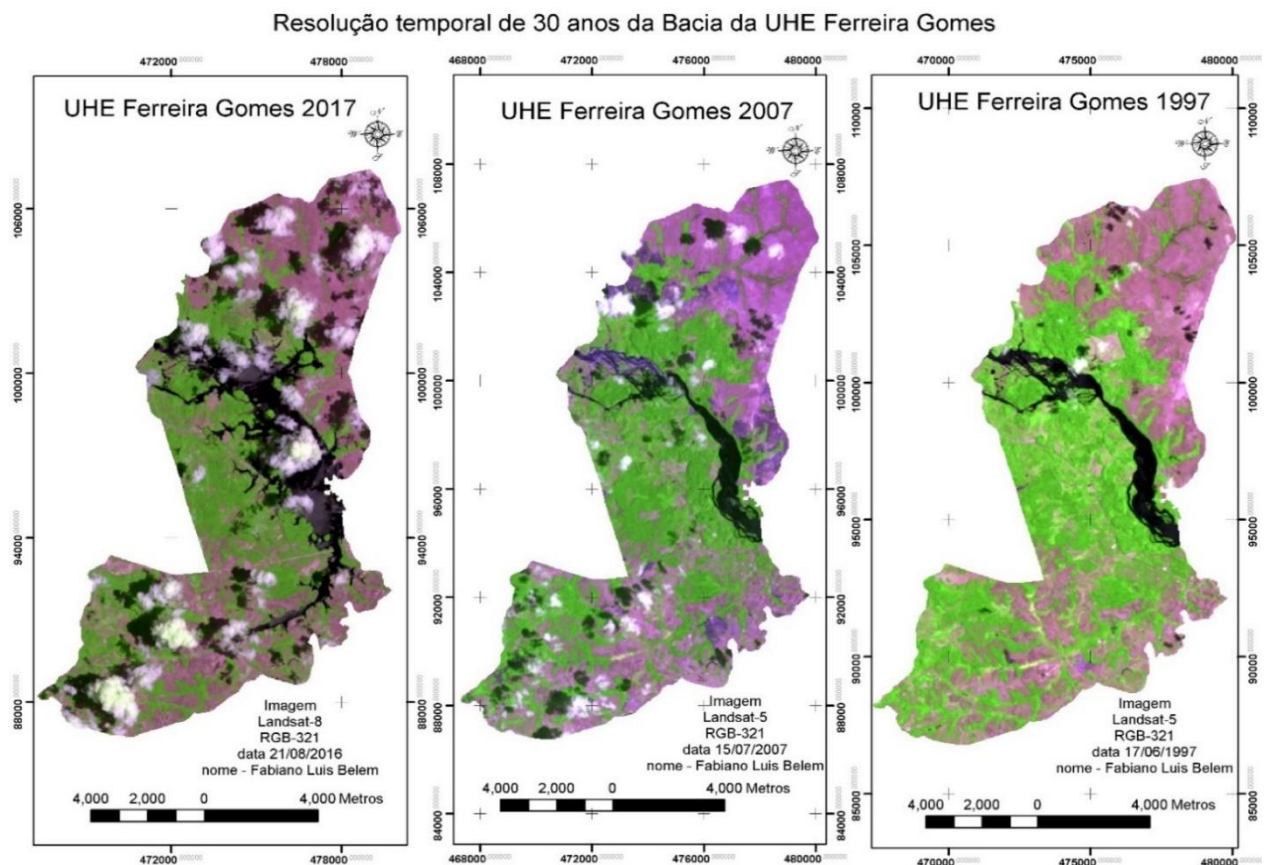
Para a reconstituição das paisagens mais antigas desta região na bacia hidrográfica do reservatório, mais precisamente, na década 1990, foram usadas imagens de satélite. Para tanto, foram escolhidas as imagens Landsat-5 com cobertura de nuvens menor do que 10%, devido à alta nebulosidade que existe na região central do estado.

Assim, a primeira imagem utilizada da bacia é datada de 1997, conforme mostra, mais abaixo, a Figura 18. Esta imagem foi escolhida porque foi tirada após a formação do estado do Amapá, ocorrida em 1989. Em seguida, selecionou-se a imagem de 2007, igualmente na Figura 18, devido à pouca quantidade de imagens disponíveis que não apresentam cobertura de nuvens e, também, para alcançar uma resolução de 10 anos nesta área. As imagens de 1997 e 2007 utilizadas para a realização deste mapeamento são de novembro, pois esta época apresenta baixa quantidade de nebulosidade durante o verão amazônico. Já a imagem de 2017 foi de agosto por apresentar menor taxa de nebulosidade.

Após a aquisição das imagens Landsat-5, realizou-se a composição RGB-456, para realçar feições geográficas, como solo exposto, vegetação e água. Com efeito, essas imagens foram georreferenciadas utilizando como base as imagens Landsat-8, já utilizadas no mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2017. A partir disso, foi possível obter um erro menor que quinze metros no georreferenciamento. Também se realizou o contraste e a segmentação da imagem para poder obter a maior quantidade de feições geográficas possíveis.

Por fim, realizou-se a classificação digital de imagens. Para isto, usou-se como base a legenda do mapa de uso e ocupação do solo, com o fim de obter comparações entre as cartas de imagens de uso e ocupação do solo entre as paisagens de 1997, 2007 e 2017. A partir disso gerou-se o processamento de imagens e a classificação, com índice de Kappa próximo a 98% em cada mapa.

Figura 18 – Imagens Landsat da Bacia do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

2.5 Levantamento dos parâmetros limnológicos para estudo da qualidade da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Para realização da análise da água, amostras foram coletadas nos pontos devidamente planejados conforme os pontos de coleta sobre o reservatório da Ferreira Gomes Energia (Figura 16).

Assim, em relação aos sedimentos suspensos, foram coletadas águas superficiais de até 50 centímetros (Brandão *et al.*, 2012), as quais foram guardadas em garrafas escuras de polietileno e armazenadas em caixas de isopor refrigeradas com gelo. Em seguida, elas foram

entregues ao Laboratório de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Amapá, onde foram filtrados e mensurados os sólidos em suspensão, clorofila, fosforo, ortofosfato, nitrito e nitrato. Assim, para a realização das análises da clorofila, o laboratório utilizou a metodologia proposta por Wetzel e Likens (1991), que se baseia na extração de clorofila por metanol.

Para a realização do trabalho e das coletas em campo, utilizou-se a sonda multiparâmetros OAKTON PCD-650, apresentada na Figura 19. Esta sonda, que já foi utilizada por Cordeiro (2013), Rocha (2018) e Batista *et al.* (2017), mede os seguintes parâmetros de qualidade: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS).

Figura 19 – Sonda multiparâmetros OAKTON PCD-650



Fonte: Acervo do autor, 2016

Após a coleta de dados, realizou-se a tabulação dos dados no Arcgis[®], versão 10.1, e, a partir disso, criou-se um banco de dados georreferenciados para a realização dos estudos espaciais, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Exemplo de tratamento do banco de dados georreferenciados e coletados em SQL

ID	Shape	M	Identifica	pH	temperatura	mV	Condutiv	TDS	NaCl	amC	Res	oxigenio	sulfonitro	disocresch	humes	Ph	C2	Temperatura	mV	Cond	C2	TDS	C2	Res	C2	Res	C2	Difusos	C2	Dens	C2	Is
1	Ponto	C	Ponto 01	6.71	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
2	Ponto	C	Ponto 02	6.73	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
3	Ponto	C	Ponto 03	6.75	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
4	Ponto	C	Ponto 04	6.77	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
5	Ponto	C	Ponto 05	6.79	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
6	Ponto	C	Ponto 06	6.81	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
7	Ponto	C	Ponto 07	6.83	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
8	Ponto	C	Ponto 08	6.85	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
9	Ponto	C	Ponto 09	6.87	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
10	Ponto	C	Ponto 10	6.89	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
11	Ponto	C	Ponto 11	6.91	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
12	Ponto	C	Ponto 12	6.93	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
13	Ponto	C	Ponto 13	6.95	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
14	Ponto	C	Ponto 14	6.97	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
15	Ponto	C	Ponto 15	6.99	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
16	Ponto	C	Ponto 16	7.01	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
17	Ponto	C	Ponto 17	7.03	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
18	Ponto	C	Ponto 18	7.05	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
19	Ponto	C	Ponto 19	7.07	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
20	Ponto	C	Ponto 20	7.09	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	
21	Ponto	C	Ponto 21	7.11	25.2	12.5	20.4	16.19	17.15	43.17	16.02	9.75	1.5	0.27	27.7	54.4	21.84	16.54	15.34	47.36	163.1	14.2	12.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2016

2.5.1 Metodologia para interpolação espacial das variáveis limnológicas.

Para a realização da interpolação espacial, utilizou-se o método de geoestatística, que se fundamenta em uma série de conceitos e teorias para análise dos dados. Um conceito importante trata da estacionaridade dos dados amostrados em campo, supondo-se um comportamento homogêneo da estrutura de correlação espacial da área de estudo (MEIRELLES *et al.*, 2007). Assim, o processo pode ser considerado estacionário caso os dados apresentem o valor esperado e exista covariância entre as superfícies das imagens estimadas (CAMARA, 2000). Nesse viés, uma teoria importante para este trabalho é a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que apresenta a mudança de uma variável expressa por três componentes conjuntos, sendo eles: a componente estrutural, que consiste em valor médio constante; uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e o ruído, aleatório ou erro residual (CAMARGOS; FELGUEIRAS, 2006).

A escolha por esses processos na presente tese, ao invés de utilizar métodos de interpolação espacial, se deu pela existência de fatores que demonstraram existir uma maior confiabilidade nos métodos geoestatísticos (BELÉM; BASTOS, 2013). Como exemplo, deve-se mencionar que, na estimativa geoestatística, os pesos são verificados a partir de uma análise de correlação baseada no semivariograma, enquanto nos outros métodos de interpolação espacial os pesos são postos meramente a partir da distância.

Outro fator proeminente é que, no método geoestatístico, a área de influência das amostras na interpolação é apresentada pelo alcance dos semivariogramas. Já nos métodos de inferência espacial é comum que a extensão de influência das amostras seja colocada de modo arbitrário (CAMARGO e FELGUEIRAS, 2006).

Cabe advertir, também, que existe uma diferença em relação ao tratamento de modelo anisotrópico (BELÉM; BASTOS, 2013). Nos métodos geoestatísticos a anisotropia é detectada nas direções que apresentam menos ou mais continuidade espacial do fenômeno, mas nos métodos de interpolação convencionais a anisotropia é ignorada (CAMARGO; FELGUEIRAS, 2006). Além disso, os métodos geoestatísticos tratam da redundância (*Clusters*), isto é, colocam pesos adequados para uma aglomeração de amostras, enquanto nos métodos estatísticos convencionais as redundâncias de dados são ignoradas, o que pode acarretar uma superestimação ou subestimação de dados.

Sendo assim, por meio dos métodos geoestatísticos, utilizou-se o estimador por Krigagem, que consiste em uma interpolação de um atributo, em uma região X não amostrada, a partir de uma quantidade de amostras vizinhas. A Krigagem compreende um conjunto de técnicas de estimativa e de predição de superfície, baseadas na estrutura de correlação espacial (BELEM; BASTOS, 2013). Além disso, tal método permite uma análise estatística exploratória dos dados, um exame estrutural da modelagem de correlação espacial e a estimativa estática da superfície do fenômeno estudado (MEIRELLES *et al.*, 2007).

2.5.2 Estudo estatístico da variáveis limnológicas.

A partir dos dados coletados, realizou-se o estudo estatístico para a verificação de correlações, sendo significativas a partir de 0,7 (quando positiva) e – 0,7 (quando negativa), como mostra a Tabela 04. Isto dependerá da quantidade de amostras coletadas. Assim, para a realização deste trabalho, utilizou-se o software *Excel®*, do pacote do Microsoft Office University, que já foi utilizado em diversos trabalhos de qualidade da água, como o de Bortoli *et al.* (2017), que estudaram os parâmetros físico-químicos da água no Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul. Além disso, Braga *et al.* (2017) fizeram uma avaliação da qualidade das águas subterrâneas no estado do Ceará e deflagraram alta salinidade.

Além disso, o teste de ANOVA foi feito para analisar se houve diferença entre as estações pluviométricas amazônicas – enchente, cheia, vazante e seca. Esse teste estatístico foi realizado por ter havido uma anomalia climatológica que fez com que a pluviometria fosse bem abaixo do normal nesta área.

Tabela 4 – Coeficientes de correlação linear

Coeficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,7 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,4 \leq r < 0,7$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,4$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,4 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,7 < r \leq -0,4$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,7$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Adaptado de Martins, 2001

2.6 Metodologia para o estudo do comportamento espectral da água

2.6.1 Análise de precipitação na área de estudo

Para o estudo do comportamento espectral, foram catalogadas as precipitações acumuladas que ocorreram uma semana antes dos trabalhos de campo, com o intuito de verificar se a precipitação poderia interferir no espectro eletromagnético da água. Assim, para a realização do estudo de precipitação de chuvas da área, utilizou-se a estação pluviométrica automática da Agência Nacional da Águas, localizada na barragem da Ferreira Gomes Energia. Esta estação foi usada por ser a mais próxima da área de estudo e pelos dados estarem disponibilizados no site gestor PCD, já que nesta área não existe estação INMET. A partir disso, levantou-se a precipitação uma semana antes dos quatro trabalhos de campo. Com isso, a enchente de precipitação acumulada foi de 7,5mm³ e, durante a cheia, houve a precipitação acumulada de 10,25 mm³. Já na vazante a precipitação foi de 0,25m³ e durante a seca não houve a precipitação acumulada antes do trabalho de campo.

2.6.2 Procedimento para coletas do comportamento espectro eletromagnético e processamento dos dados coletados.

Para a realização das coletas do comportamento espectral, utilizou-se o espectroradiômetro, equipamento que mede, na forma de gráficos, a intensidade da energia refletida por comprimento de onda (CAMPBELL, WAYNNE, 2011). Isso faz com que o comportamento espectral seja mensurado pela grandeza radiométrica da reflectância, que é

medida pelo fluxo radiante que interage com um objeto na superfície terrestre, de modo que parte desta energia seja refletida para a atmosfera, conforme a fórmula de Novo (2008):

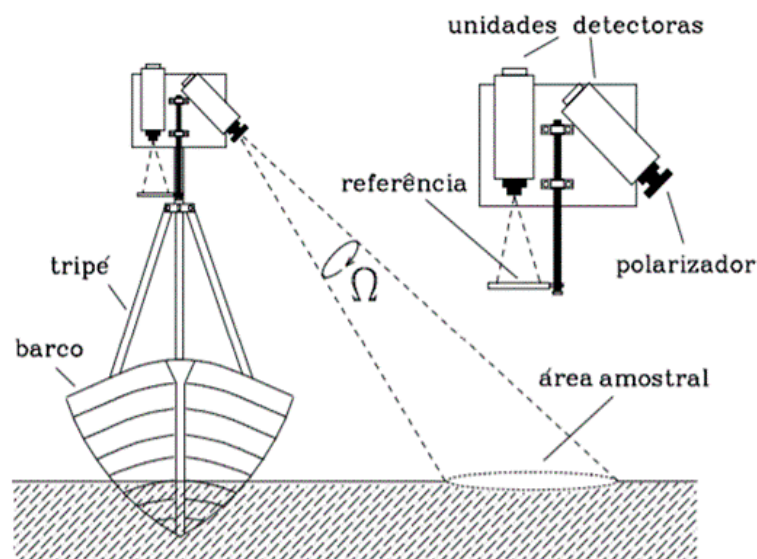
$$\Phi = \sigma_{-}(f.r.i)/(\sigma f.r.r) \quad (10)$$

Nesse caso, Φ consiste no valor mensurado da refletância, $\sigma(f.r.i)$ consiste no fluxo radiante incidente, que é irradiado pela fonte, a qual muitas vezes é solar. Já o $\sigma(f.r.r)$ é o fluxo radiante refletido, que interage com a feição geográfica.

A partir disso, o sistema de coleta de dados ficou embarcado, de acordo com a Figura 21. Para realizar a coleta sobre o espelho d'água, o aparelho foi apontado para a placa de calibração e depois para o alvo, com ângulo de visada para o espelho da água.

Para a coleta dos dados, utilizou-se o espectroradiômetro *fieldspec® handheld*, o qual corresponde a um dos modelos mais avançados, capaz de coletar dados de 325 a 1075 nanômetros. A partir disso, realizou-se a calibração do aparelho no Spectron, que consiste em uma superfície plana mais próxima possível de uma lambertiana, ou seja, totalmente branca. Além disso, o aparelho foi posto em um no ângulo de 45°, conforme a Figura 22.

Figura 21 – Processo de calibração do aparelho e depois a coleta do dado de comportamento espectral.



Fonte: Steffen *et al.*, 1996

Figura 22 – Metodologia de coleta de dados do comportamento espectral da água dentro de um barco



Fonte: Acervo do autor, 2017

Após a coleta de dados do espectrorradiômetro, durante os trabalhos de campo no reservatório da UHE Ferreira Gomes, eles foram processados no software *ViewSpecPro®* e, em seguida, pelo programa *Excel®*. Neste software, foram aplicados os filtros de 3x3, 7x7 e 9x9, além das derivadas do comportamento espectral.

Finalmente, utilizou-se o software *Envi®* para verificar o comportamento do espectro eletromagnético, depois de fazer a retirada do contínuo dos dados. Para isto, utilizou-se a ferramenta da biblioteca espectral (*Library Spectral*).

PARTE II – CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA

1. ANÁLISE DOS FATORES FÍSICOS DA BACIA DE CAPTAÇÃO

1.1 Análise espacial da vegetação

A base utilizada para este trabalho foi a de 1:100.000, do Zoneamento Ecológico Econômico do sul do Amapá, realizado pelo Instituto Estadual de Pesquisa do Amapá (AMAPA, 2015). A vegetação dessa região é caracterizada, predominantemente, por duas fisionomias: nas áreas mais a montante do reservatório, predominam as savanas amazônicas e, nas áreas mais próximas ao lago do reservatório, há presença de floresta ombrófila, como indicado no mapa de vegetação, da Figura 25, mais à frente.

A savana amazônica, também conhecida como cerrado, apresenta uma flora lenhosa e baixa (SILVEIRA *et al.*, 2008; COSTA NETO *et al.*, 2006). Além disso, segundo Rodrigues (2012), o cerrado amapaense apresenta plantas xeromórficas, tortuosas e uma variação florística causada pela variação topográfica do relevo e pela alta pluviosidade.

O cerrado desta área é similar ao cerrado encontrado no planalto central brasileiro, também composto por um mosaico de diferentes tipos fisionômicos. Assim, há uma relação de espécies com o planalto das guianas, como as plantas da família Milacea, entre outras. Além disso, essa área é composta por dois tipos de cerrado: a mata ciliar e o de campo aberto.

Segundo Crepani (2001), o cerrado em mata galeria e o cerrado em campo aberto sofrem processos erosivos. Não obstante, o cerrado em mata galeria localiza-se nos entornos dos recursos hídricos e o cerrado em campo aberto, que tem vegetação esparsa e de porte gramíneo, está representado na Figura 23, logo abaixo.

Figura 23 – Vegetação de cerrado na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Acervo do autor, 2017

Na área da bacia hidrográfica de captação do reservatório, o cerrado sofre com a ação antrópica, principalmente por causa da expansão das áreas agrícolas e a expansão do plantio de soja, como pode ser analisado na Figura 24.

Figura 24 – Área de mata ciliar queimada para plantio agrícola e retirada de madeira.



Fonte: Acervo do autor, 2017

Por sua vez, a floresta ombrófila apresenta o extrato arbóreo alto e se caracteriza por predominar um alto adensamento. Além disso, devido à pouca quantidade de luz sobre o solo, não há presença de vegetação de porte arbustivo. A vegetação tem como característica ser perenifólia e latifoliadas, por causa da grande quantidade de umidade.

A vegetação desta área apresenta três tipos de vegetação, que são a floresta ombrófila, o cerrado e os campos inundados. As florestas ombrófilas densas apresentam grande quantidade de matéria orgânica sobre o solo. Além disso, este tipo de vegetação apresenta raízes profundas, o que mobiliza o solo e aumenta o processo de intemperismo na área.

Também há presença de campo inundável, ou seja, áreas de cerrado compostas por gramíneas, que temporariamente sofrem inundação nas épocas de muita chuva (AB'SABER, 2002). No entanto, com a construção da usina, essas áreas ficam constantemente inundadas, de modo que, somente quando se abrem as comportas da UHE Ferreira Gomes, as gramíneas aparecem.

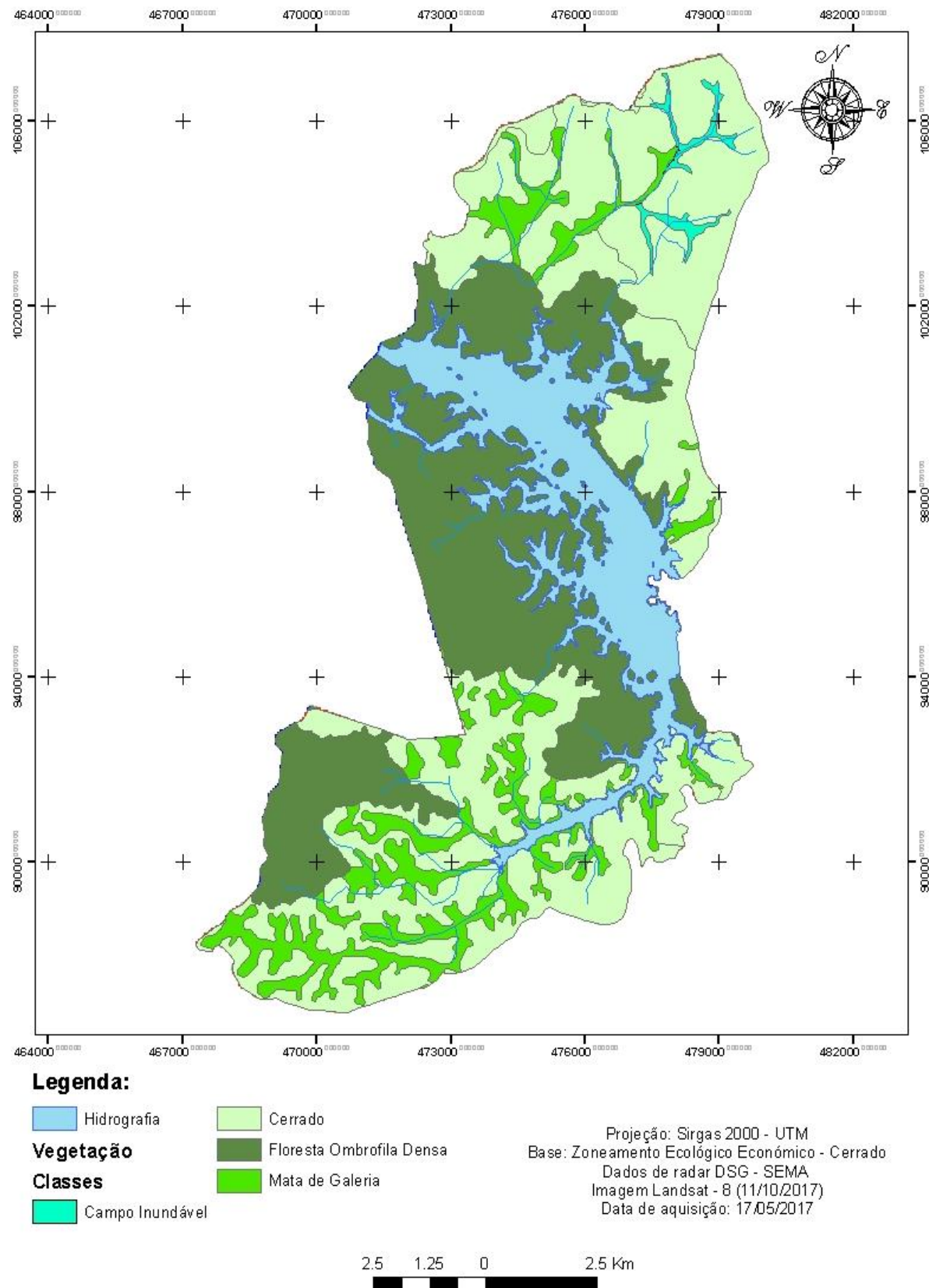
A partir do mapa de vegetação realizou-se a Tabela 5, que é uma síntese das áreas ocupadas por cada tipo de vegetação, mostrando quantitativamente a representação de cada classe. De fato, verifica-se que a maior área é composta pelo cerrado, fitofisionomia que ocupa quase 50% da área da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 5 – Área de classes de vegetação da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes.

Classe	Área	%
Mata Galeria	16,37 km ²	13,75%
Floresta Ombrófila Densa	44,30 km ²	37,25%
Cerrado	57,28 km ²	49%
Campo Inundável	1,15 km ²	1%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Figura 25 – Mapas de vegetação da bacia de captação do reservatório da UHE



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

1.2 Análise do esboço geológico

A base para estudo geológico, que gerou o mapa apresentado na Figura 26, mais abaixo, foi realizada a partir do Mapeamento Geológico da Escala do Amapá, com base de 1:500.000 e nos trabalhos de campo realizado na área de estudo.

A estrutura geológica desta área está sobre o craton das guianas e a litologia da bacia de captação da UHE Ferreira Gomes é composta por rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares. Dessa forma, as unidades geológicas que compõem a bacia de captação do reservatório são o complexo guianense, Formação Barreiras, granulitos e depósitos aluvionares, que serão detalhadas a seguir.

A litologia do complexo guianense é constituída por rochas granulíticas, gnáissicas de composição graníticas e granodioríticas, leptinitos e os migmatitos, cortados por granodiorito (SPIERS; FERREIRA FILHO 2017). Segundo Radambrasil (1974), as rochas que apresentam afloramento no reservatório e no leito do rio Araguari são granulitos, gnaiss, migmatitos e epiabásicos. Estas rochas são magmáticas intrusivas e metamórficas termais (RADAMBRASIL, 1974).

A litologia dos granulitos desta área é de granulitos félsicos, rochas que datam do Arqueano e sofreram metamorfismo (BRASIL, 2004). Também se apresentam nessa área, bem próximos à lâmina de água, no norte do reservatório, os depósitos aluvionares, que são áreas de material superficial composto por areia, cascalho e silte.

A Formação do Grupo Barreiras também está presente nesta bacia de captação e apresenta rochas sedimentares, cujas litologias são arenito, conglomerado, argilito e siltito.

Portanto, como já foi dito, todas estas unidades geológicas compõem a bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes e, por meio destas informações e do mapa geológico, gerou-se a Tabela 6, que segue abaixo.

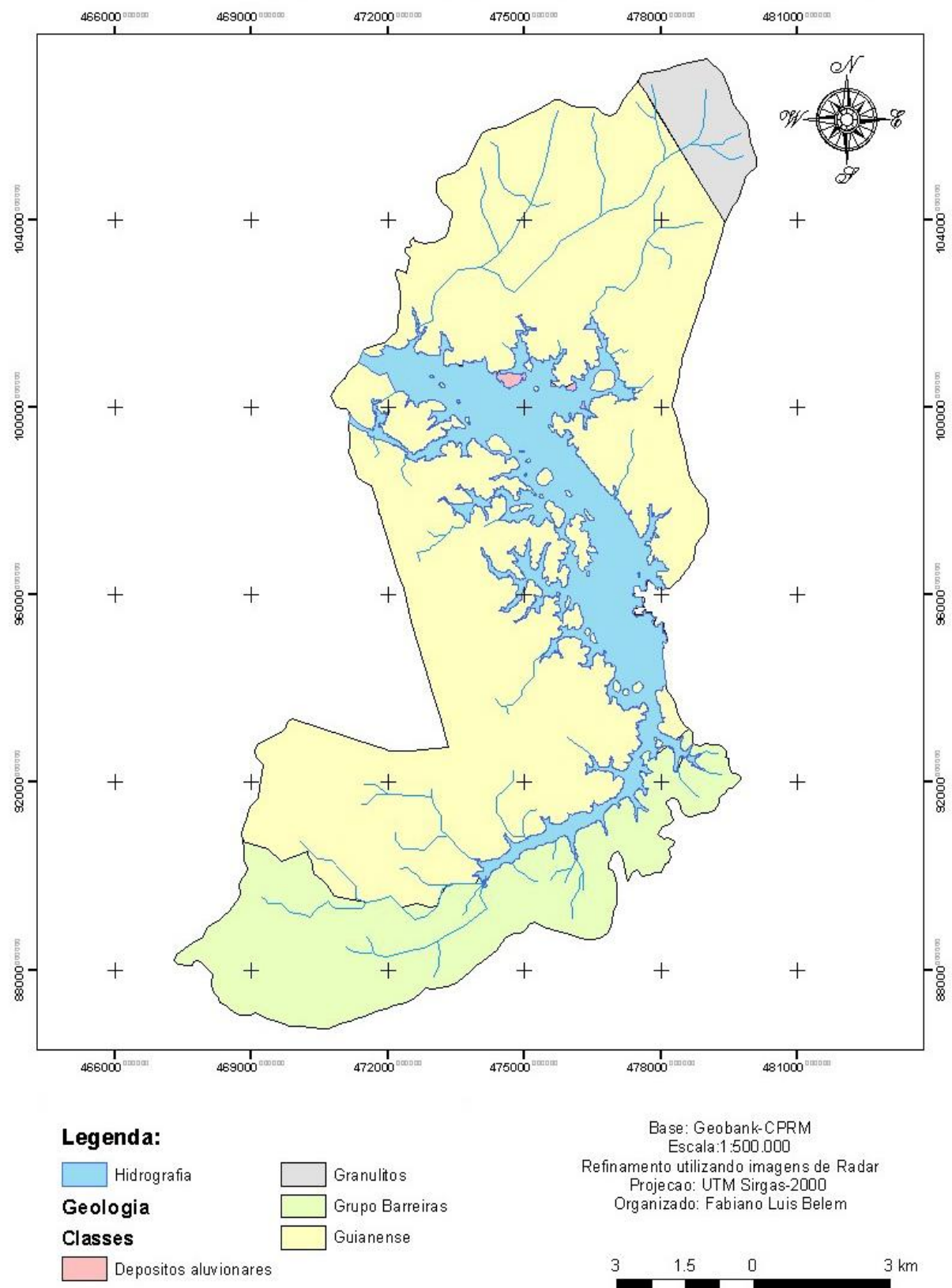
Tabela 6 – Área de classes de geologia da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes

Classe	Área	%
Grupo Barreiras	29,64 km ²	22,83%
Depósitos Aluvionares	1,13 km ²	0,9%
Granulitos	4,57 km ²	3,52%
Guianenses	94,45 km ²	72,77%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Verifica-se, na Tabela 6, portanto, que grande parte da bacia de captação é composta pelo complexo guianense, que são rochas magmáticas e metamórficas.

Figura 26 – Mapa de Geologia da bacia de captação do reservatório da UHE



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

1.3 Análise geomorfológica

A bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes está localizada sobre o planalto residual amazônico (ROSS, 1996). A base utilizada para sua caracterização foi de 1:500.000. Assim, a geomorfologia desta área apresenta colinas suaves e dissecadas, superfícies aplainadas e tabuleiros dissecados, conforme o mapa que consta na Figura 27, mais abaixo.

As colinas suaves consistem em formas de relevo côncavas e se caracterizam por apresentarem uma grande quantidade de intemperismo. Conforme Radambrasil (1974), os vales desta área são considerados profundos, por causa da drenagem da área.

As colinas dissecadas e os morros baixos são áreas erodidas por canais intermitentes, causados pela grande quantidade de pluviometria. Além disso, são áreas que se caracterizam pela presença de ravinas e voçorocas.

Os tabuleiros dissecados desta área se caracterizam pela ação de processos erosivos. Geralmente, estes tabuleiros estão sobre as estruturas pré-cambrianas dobradas e falhadas, além de apresentarem concreções ferruginosas (RADAMBRASIL, 1974).

Por fim, as superfícies de pediplanos são áreas aplainadas, com baixa declividade. Ainda segundo Radambrasil (1974), elas se caracterizam por serem recobertas de crostas ferruginosas e têm retomado o processo erosivo pela presença de ravinas.

A partir do mapa geomorfológico, foi gerada a Tabela 7, com a área das classes de geomorfologia e a área de ocupação de cada compartimento geomorfológico.

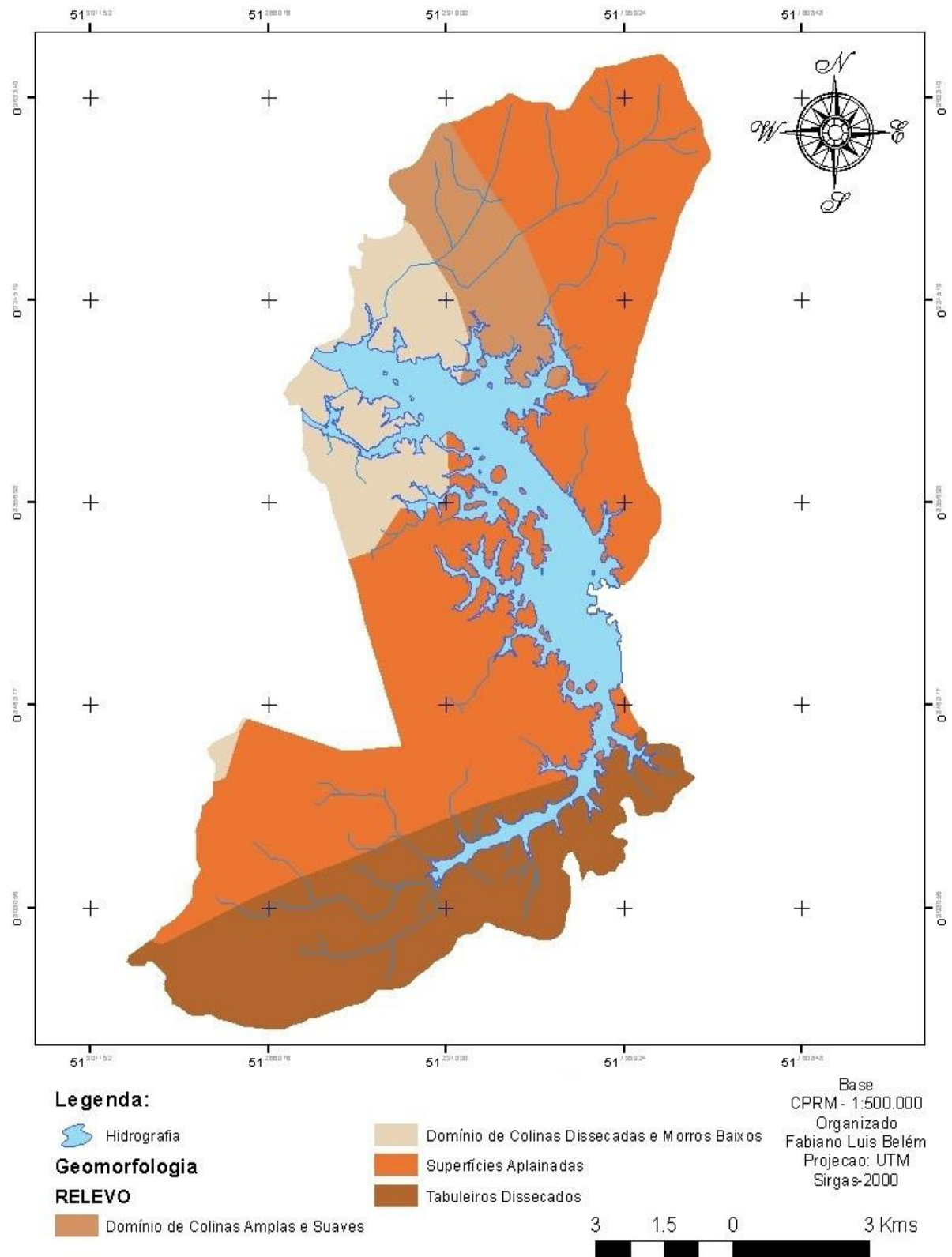
Tabela 7 – Área das classes de geomorfologia da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes.

Classe	Área	%
Domínios de colinas amplas e suaves	11,28 km ²	10%
Domínios de colinas dissecadas e morros baixos	14,70 km ²	11%
Superfícies aplainadas	73,04 km ²	56%
Tabuleiros dissecados	29,64 km ²	23%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Sendo assim, de acordo com a Tabela 7, o relevo que predomina na área são as superfícies aplainadas. Além disso, essa área não tem uma tendência a sofrer com processos erosivos elevados, como mostra a Figura 28, mais à frente.

Figura 27 – Mapa geomorfológico da bacia de captação do reservatório da UHE.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

**Figura 28 – Relevo de colinas suavemente ondulado na Bacia do Reservatório da UHE
Ferreira Gomes**



Fonte: Acervo do autor, 2016

1.4 Análise da declividade

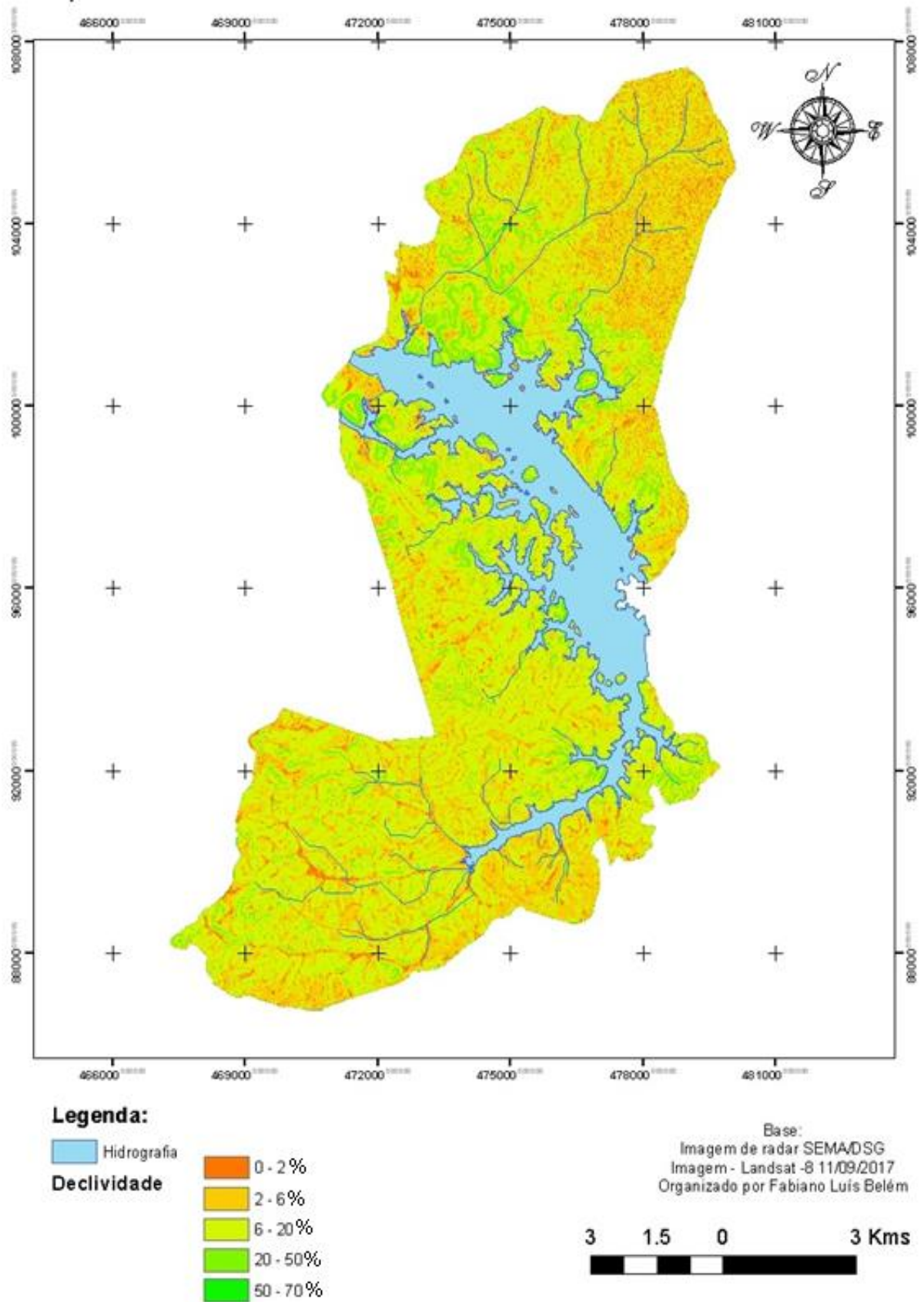
Para estudar a declividade desta área, foram utilizados os dados de radar, obtidos por meio da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. As imagens foram mapeadas na banda X do radar, com a resolução de 2 metros e uma escala de 1:5000. Utilizou-se a declividade de acordo com as classes de Crepani (2001) para gerar o mapa de declividade que consta na Figura 29. A partir do mapa, gerou-se a Tabela 8, que mostrou a predominância da classe entre 6 e 20%. Portanto, segundo a classificação de declividade da Embrapa (1979), a área pode ser considerada suavemente ondulada.

**Tabela 8 – Área das classes de declividade da bacia do reservatório de captação da UHE
Ferreira Gomes**

Classe	Área	%
<2%	19,69 Km ²	14,42%
2% - 6%	33,49 km ²	24,05%
6% - 20%	69,37 km ²	50,82%
20% - 50%	13,28 km ²	9,73%
>50%	0,65 km ²	0,47%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 29 – Mapa de declividade em % da bacia de contribuição direta



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

1.5 Análise do índice pluviométrico

A partir dos dados das estações climatológicas, gerou-se o mapa de índice pluviométrico apresentado na Figura 30, mais abaixo. O índice pluviométrico anual desta área foi de 1300 mm, conforme relatório climatológico da empresa Ferreira Gomes Energia.

No ano de 2017, houve uma anomalia climatológica que fez com que o índice pluviométrico fosse 1400 mm, menor do que a normal climatológica, que é de 2700 mm anuais. Sendo assim, as Figuras 30 e Figura 32 apresentam as médias mensais e as normais das climatológicas para verificação das diferenças mensais das pluviometrias entre o ano de 2017 e a normal climatológica.

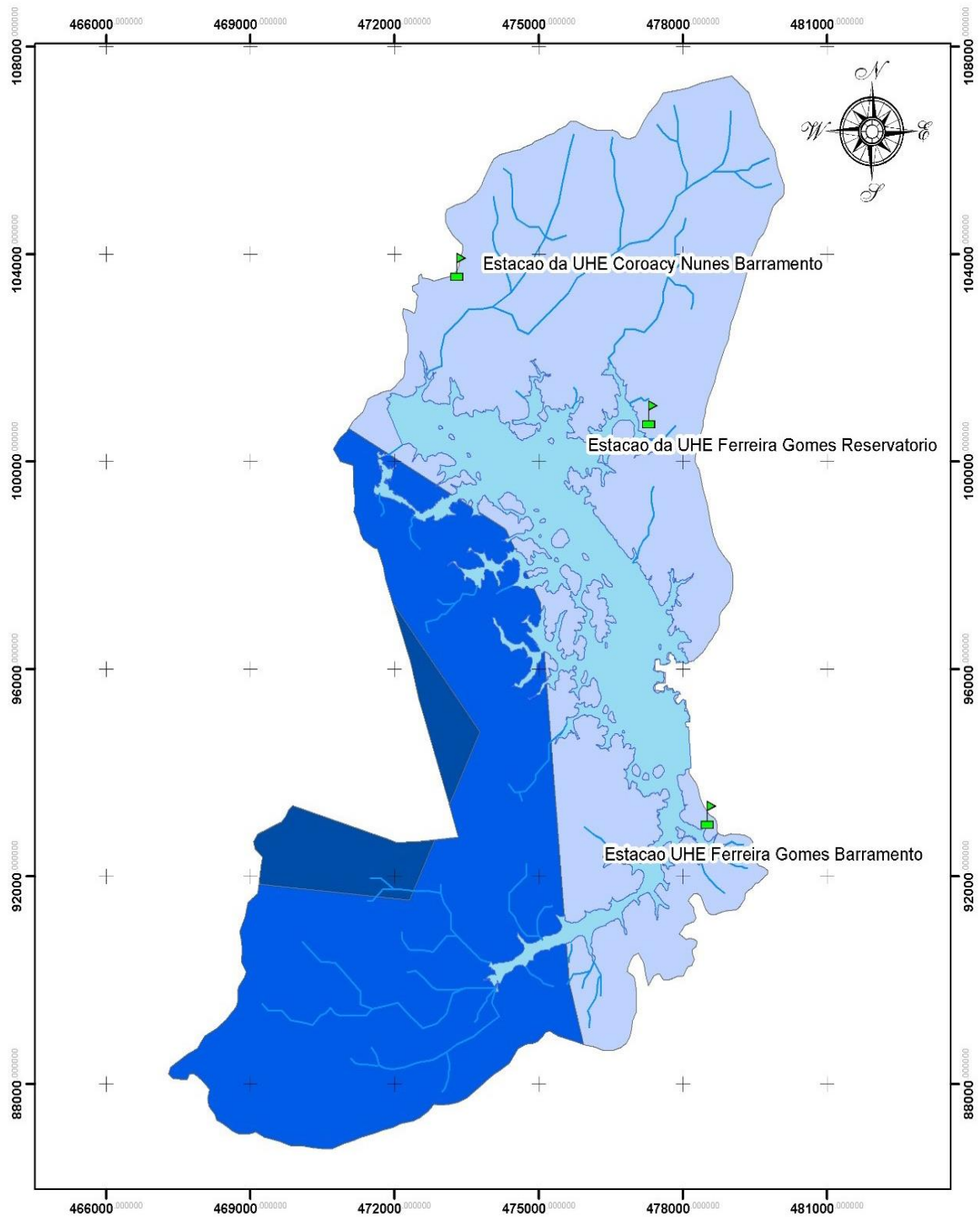
Esta anomalia climatológica pode ser explicada, segundo Souza (2017), pelo fato de os climas do norte e nordeste terem uma relação direta, na época da seca, com o clima da costa paraense e sul-amapaense. Por isso, a seca que ocorreu em toda a região nordeste, no ano de 2017, pode ter influenciado a baixa pluviosidade no estado do Amapá. Segundo Souza e Cunha (2010), os anos que apresentam chuva abaixo da média no estado estão associados diretamente à formação incompleta da nebulosidade na ZCIT (Zona Convergência Intertropical) sobre a Amazônia Oriental, devido à ocorrência do fenômeno *El niño*, do Oceano Pacífico Tropical. Esse fenômeno ocorre simultaneamente ao aumento da temperatura de superfície do mar, que se torna mais quente na bacia norte do Oceano Atlântico e mais frio na bacia sul do Oceano Atlântico intertropical (SOUZA; CUNHA, 2010).

Tabela 9 – Médias pluviométricas mensais do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média mensal 2017	31,8	194,8	393,3	319	25,4	140,64	181	125	76	55	81	109
Média mensal normal climatológica 1961-2000	245	269	350	120,2	324	210	97,2	0,8	21,8	30	7,4	170,06
Diferença entre as normais	-213	-74	43,3	-199	-299	-69	-84	-125	-54	-25	-73	61

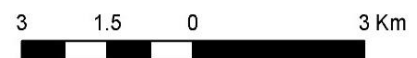
Fonte: Adaptado de pelo autor de Estação da Agência Nacional de Águas barragem Ferreira Gomes e Inmet, 2018.

Figura 30 – Índice pluviométrico da bacia de captação da UHE Ferreira Gomes



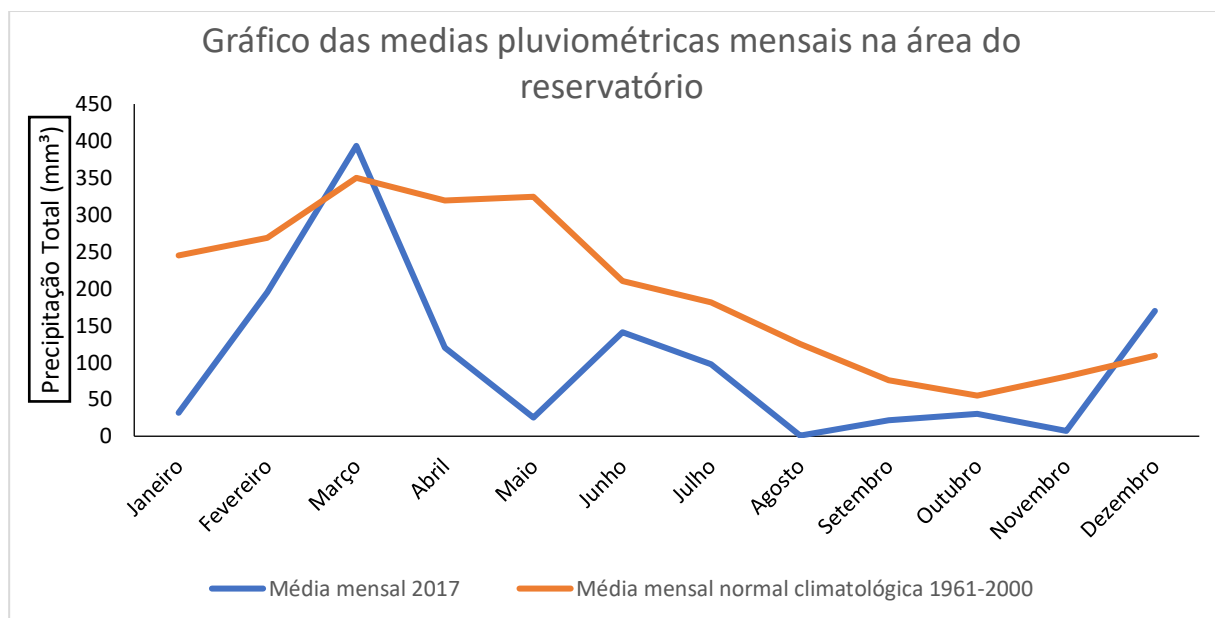
Legenda:

- Estacao Pluviometrica
- Pluviometria 2017**
- | Índice Pluviométrico | |
|----------------------|-----------------|
| | 1258 - 1284 mm³ |
| | 1284 - 1310 mm³ |
| | 1310 - 1387 mm³ |
| | Reservatório |



Fonte:
CPD - ANA
Organizador:
Fabiano Luis Belem
Projeção
Sistema UTM SIRGAS 2000 zona 22

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 31 – Medias pluviométricas mensais do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Fonte: Adaptado pelo autor de Estação da Agência Nacional de Águas barragem Ferreira Gomes e Inmet, 2018.

1.6 Análise pedológica

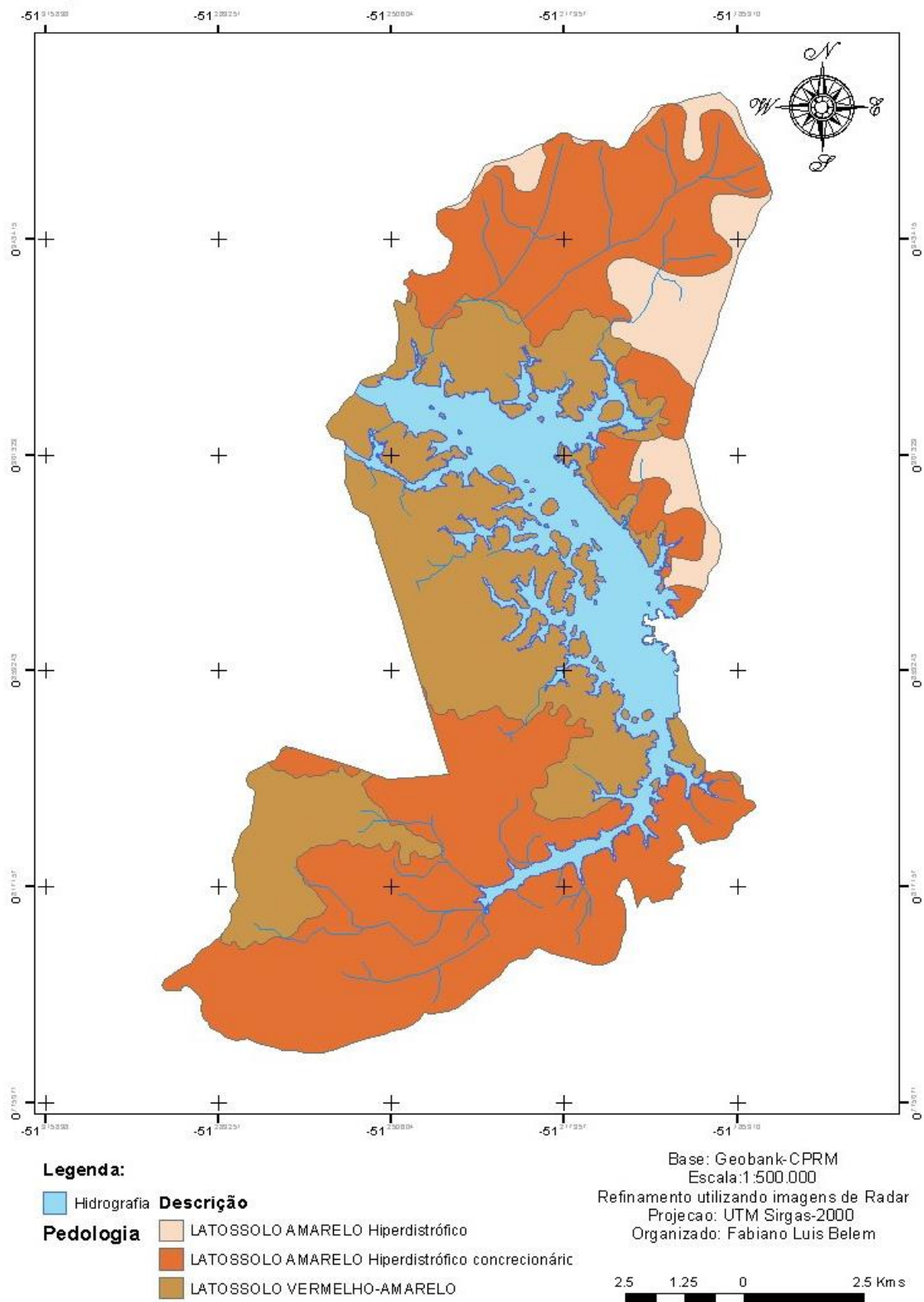
O solo da área de estudo, segundo Rodrigues (2000), é formado pelo Latossolo Amarelo, Latossolo Amarelo Concrecionário e Latossolo Vermelho-amarelo, como mostrado no mapa de solos da bacia de captação do Reservatório da UHE Ferreira Gomes, na Figura 32. Assim, o Latossolo Amarelo desta área se caracteriza por ser distrófico, constituído por textura média. Já o Latossolo Amarelo Concrecionário é caracterizado pela maior quantidade de escoamento superficial. Por fim, o Latossolo Vermelho-amarelo se caracteriza por ser álico, por ter um alto teor de alumínio e uma textura argilosa. Com efeito, a partir do mapa pedológico, foi realizada a Tabela 10 e identificou-se que grande parte desta área é composta pelo Latossolo Amarelo Concrecionário.

Tabela 10 – Área das classes de solos da bacia do reservatório de captação da UHE Ferreira Gomes

Classe	Área	%
Latossolo Amarelo	9,50 km ²	7,84%
Latossolo Amarelo Concrecionário	65,32 km ²	53,91%
Latossolo Vermelho-Amarelo	46,34 km ²	38,24 %

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 32 – Mapa de solos da bacia de captação da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

1.7 Análise do uso e ocupação do solo e sua influência na bacia hidrográfica.

A outra variável que influencia a qualidade da água no ambiente é o uso e ocupação da terra. Desse modo, as atividades econômicas que ocorrem na região podem influenciar a quantidade de sedimentos que será depositada na bacia. Foram encontrados diversos tipos de uso da terra na bacia de captação do reservatório, como agricultura, vegetação, pecuária, área urbana, solo exposto e mineração. Este uso e ocupação do solo está espacializado no mapa apresentado na Figura 34, mais abaixo.

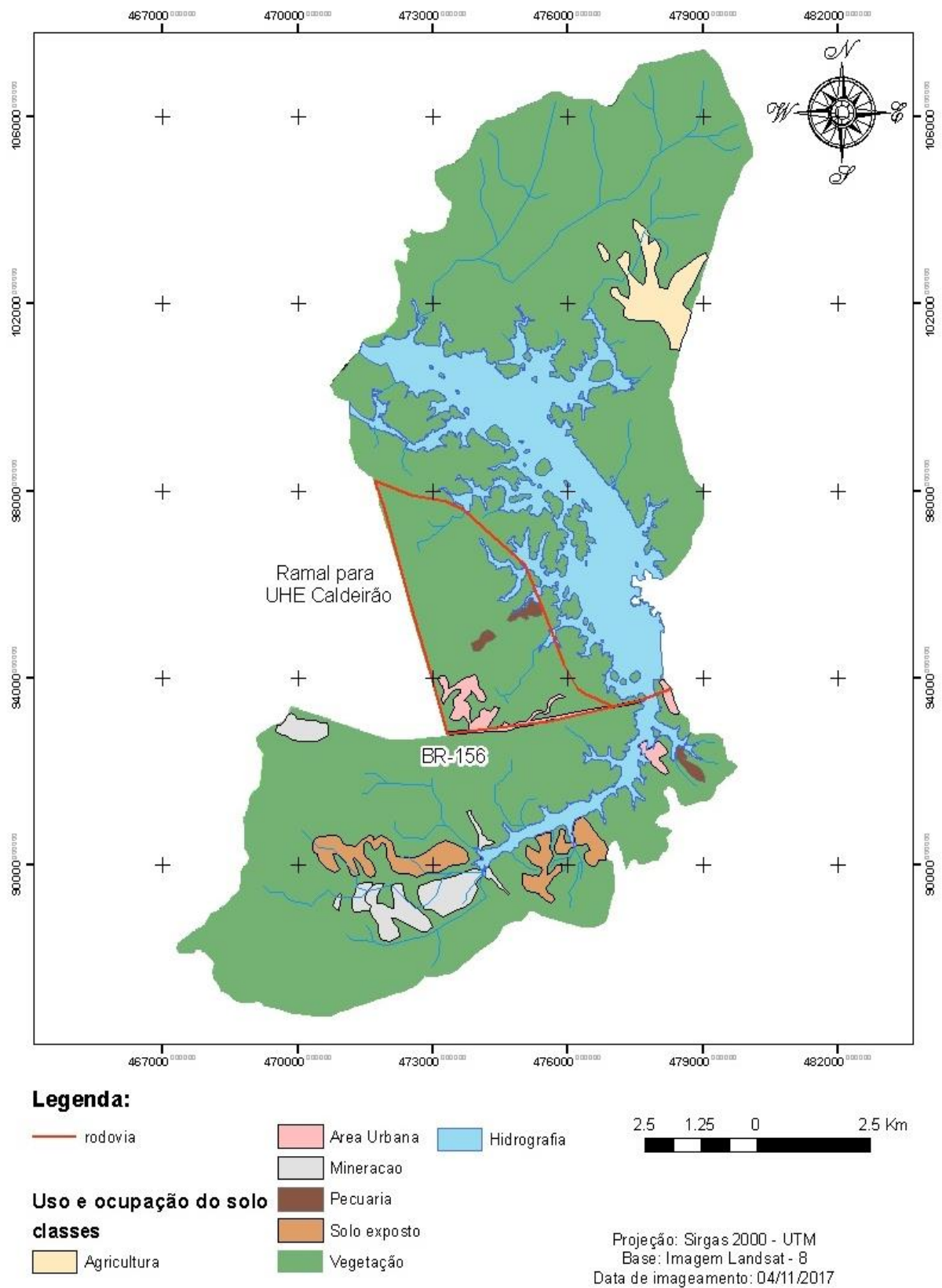
A agricultura nesta área é de subsistência e serve para o abastecimento da população do município de Ferreira Gomes, como a plantação de açaí e de macaxeira, típicas da área, como se pode notar nas figuras 33, logo abaixo, e 35, mais à frente.

Figura 33 – Plantação de açaí na área na bacia do reservatório



Fonte: Acervo do autor, 2017

Figura 34 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 35 – Plantação de macaxeira na área na bacia do reservatório



Fonte: Acervo do autor, 2017

Além disso, as áreas de mineração, em que são explodidos granitos para geração e exploração de britas impactam o solo e liberam sedimentos, que vão para o espelho da água, conforme pode ser analisado na Figura 36, logo abaixo.

Figura 36 – Mineração de brita no reservatório do UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Acervo do autor, 2017

Nessa área também se detectou a presença de solo exposto, o qual sofre impacto dos processos erosivos. Considera-se solo exposto as áreas que sofreram queimadas, principalmente para o uso agrícola, áreas de canteiros de obras que foram abandonadas e as áreas limpas para a instalação de linhas de transmissão, conforme as Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Área que foi limpa para a passagem de linha de transmissão



Fonte: Acervo do autor, 2017

Figura 38 – Solo exposto de área abandonada do canteiro de obras



Fonte: Acervo do autor, 2018

Não obstante, essas áreas de cerrado também são utilizadas para a pecuária, de forma que as gramíneas são utilizadas de pasto para a alimentação do gado. Esta atividade econômica influencia na perda de sedimentos, porque o gado pisoteia o solo e, com isso, causa sua compactação, diminuindo a infiltração da água e aumentando o escoamento superficial.

Na área urbana da bacia hidrográfica do reservatório da Ferreira Gomes, identificou-se o Distrito do Paredão e o Distrito do Caldeirão, que se localizam próximos ao reservatório da Usina. Estes dois distritos não apresentam nenhuma atividade econômica que influenciará os processos de qualidade da água. Na verdade, grande parte da população é composta de pequenos agricultores e pescadores e, por isso, somente houve o processo de desmatamento quando o distrito se formou.

Por fim, a partir do mapa de uso na terra, foi realizada a Tabela 11, com cada classe mapeada. Dessa forma, detectou-se que essa área apresenta grande conservação, com presença de vegetação.

Tabela 11 – Área das classes de uso da terra da bacia do reservatório.

Classes de uso da terra	Área	%
Solo exposto	2,75 km ²	2,26%
mineração	2,72 km ²	2,24%
área urbana	1,45 km ²	1,19%
pecuária	0,46 km ²	0,37%
agricultura	2,20 km ²	1,81%
hidrografia	23,30 km ²	19,23%
vegetação	89,34 km ²	74,31%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

2. MODELO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

2.1 Análise de vulnerabilidade geológica da bacia de contribuição direta do reservatório

No estudo dos fatores físicos que compõem a bacia de contribuição direta do reservatório, utilizou-se o modelo de vulnerabilidade ambiental para análise espacial dos processos erosivos sobre a área. Assim, realizou-se a análise de cada fator físico e sua vulnerabilidade ambiental.

Sobre a geologia, a característica mais importante para o estudo da vulnerabilidade é a coesão das rochas, pois quanto maior for a coesão menor é o processo erosivo presente no ambiente. No estudo da bacia hidrográfica do reservatório de contribuição direta, os grupos geológicos que compõem esta área são o Grupo Barreiras, as unidades geológicas granulitos, complexo guianense e, por fim, depósitos aluvionares.

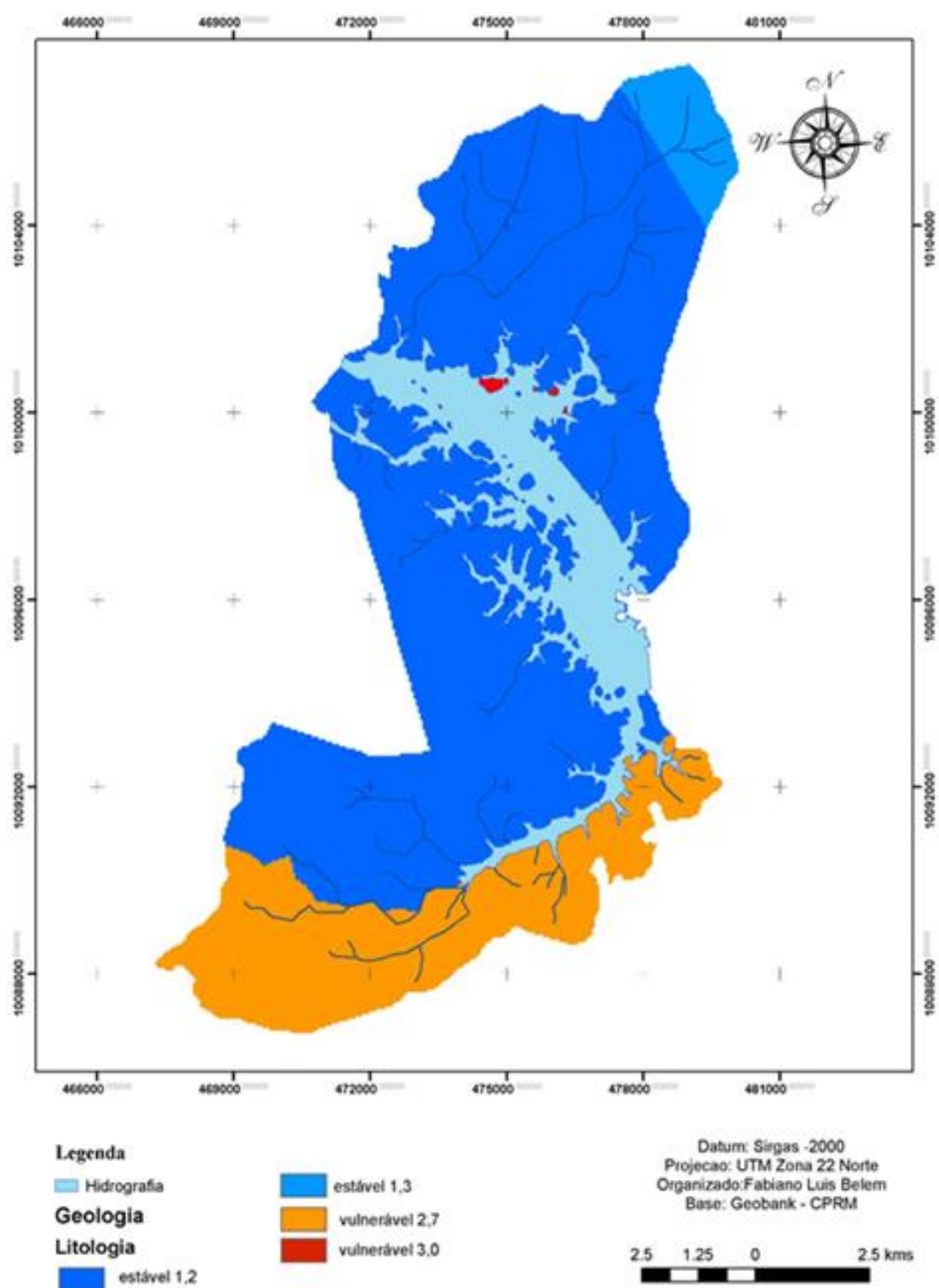
Para tanto, os valores mensurados neste trabalho seguiram a metodologia de Crepani (2001). Desse modo, a mensuração mais alta foi colocada com valor 3, que são os depósitos aluvionares, compostos por areia, os quais não têm nenhuma compactação e, por estarem próximos aos reservatórios, são carregados mais facilmente.

O Grupo Barreiras foi mensurado com o valor de 2,7 na escala até 3, pois ele é formado por rochas compostas de arenito conglomerático e argilitos arenosos, que são rochas sedimentares erodidas mais facilmente.

A mensuração também foi realizada no complexo de granulitos, ou seja, rochas metamórficas que compõem a bacia hidrográfica do reservatório e são mais coesas. Além disso, esse complexo é composto por rochas granulitas félsicas, que são difíceis de serem erodidas, de modo que foram mensuradas com valor de 1,3.

Por fim, o complexo guianense teve o valor de mensuração mais baixo, de 1,2, e é composto por rochas magmáticas intrusivas, com menor processo erosivo, como gnaisse, granitoide, granulito, migmatito, ortognaisse, tonalito, granodiorito e ortoanfibolito. As mensurações foram representadas conforme o mapa geológico da área de vulnerabilidade ambiental, na Figura 39. A partir disso, a Tabela 12 mostrou que as unidades territoriais básicas consideradas estáveis apresentam maior área na bacia hidrográfica da UHE Ferreira Gomes.

Figura 39 – Mapa geológico de vulnerabilidade da bacia de captação do reservatório



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Tabela 12 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de geologia da UHE Ferreira Gomes

Modelo de Vulnerabilidade Geológica				
Classes	Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%
Complexo Guianense	Estável	1,2	86,05 Km ²	22,89%
Granulitos	Estável	1,3	15,13 Km ²	1,59%
Grupo Barreiras	Vulnerável	2,7	30,64 Km ²	3,73%
Depósitos Aluvionares	Vulnerável	3,0	2,13 Km ²	71,77%

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

2.2 Estudo de vulnerabilidade ambiental da geomorfologia da bacia de contribuição direta do reservatório.

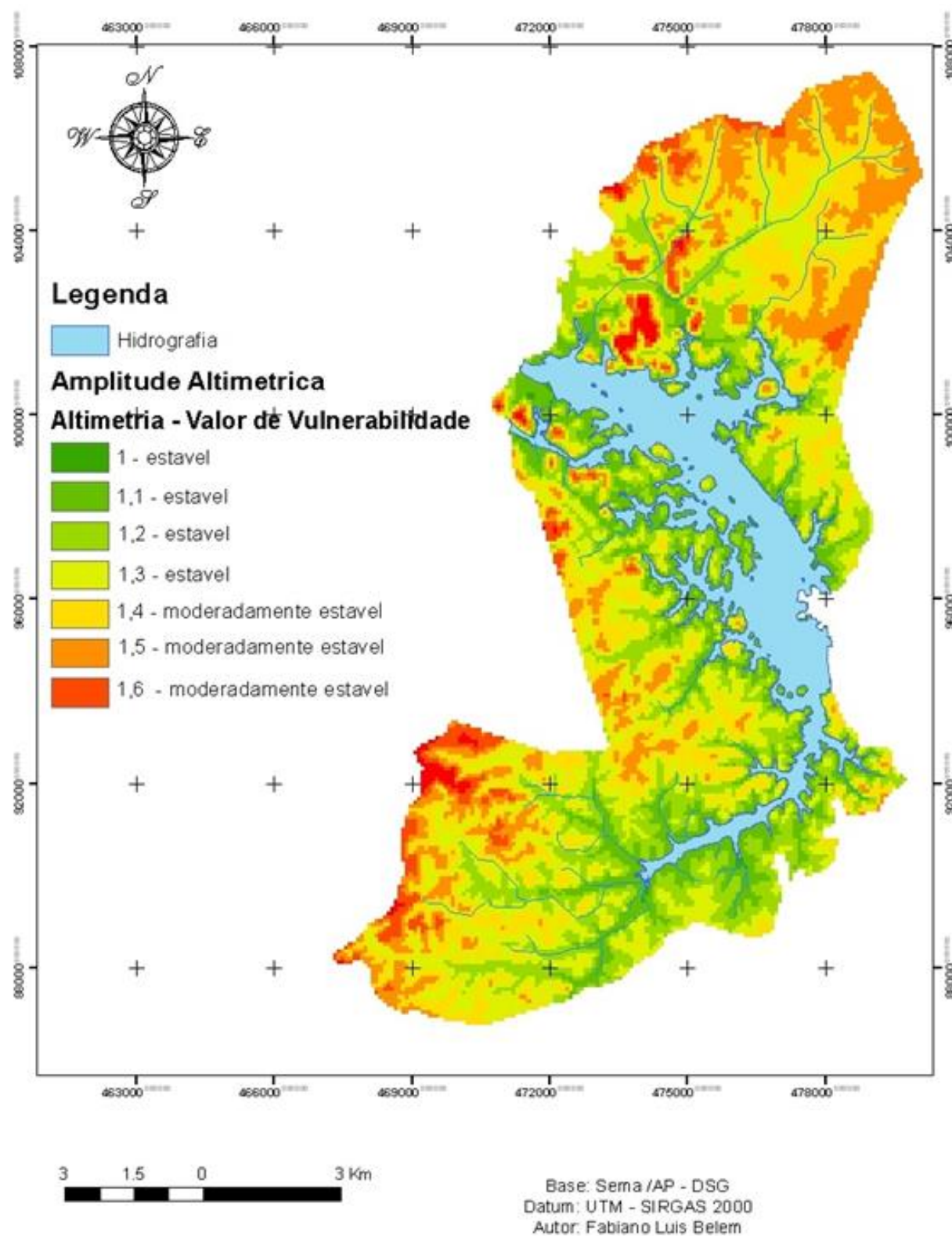
A outra variável ambiental que deve ser considerada no modelo de vulnerabilidade é a geomorfologia, a qual considera as características que aumentam a energia do escoamento superficial sobre a superfície. Esta energia do escoamento superficial provoca a dissecação do relevo, de modo que, quanto maior for a energia de escoamento superficial, maior será a probabilidade de haver processos erosivos sobre a vertente e, por isso, o relevo estará dissecado. Assim, foram mapeados fatores ambientais como a amplitude altimétrica, a declividade e a intensidade de dissecação.

2.2.1 Amplitude altimétrica da bacia de captação

A amplitude altimétrica consiste na diferença que existe entre a maior e a menor hipsometria do relevo presente em uma determinada região (CASTRO; CARVALHO 2009). Com isso, quanto maior for a diferença altimétrica do relevo, maior será a dissecação presente. Com efeito, a diferença altimétrica na bacia de captação do reservatório é de 68 metros, como mostra o mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da amplitude altimétrica, na Figura 40, mais à frente.

Realizou-se, a partir disso, a divisão de classes de amplitude altimétrica baseada nas classes de Crepani (2001), de modo que foram definidas sete classes, cujo valor mensurado foi crescente de 1 até 1,6. A unidade territorial básica que apresentou maior área foi a classe estável, como mostra a Tabela 13.

Figura 40 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da amplitude altimétrica



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Tabela 13 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de Amplitude Altimétrica

Modelo de Vulnerabilidade de Amplitude Altimétrica				
Classes	Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%
16 - 35 metros	Estável	1,0	17,80 km ²	13,30%
35 - 44,5 metros	Estável	1,1	18,79 km ²	14,04%
44,5 - 55 metros	Estável	1,2	23,00 km ²	17,18%
55 - 64,5 metros	Estável	1,3	28,81 km ²	21,52%
64,5 - 73 metros	Moderadamente estável	1,4	23,67 km ²	17,68%
73 - 82,5 metros	Moderadamente estável	1,5	16,47 km ²	12,30%
82,5 - 84 metros	Moderadamente estável	1,6	5,28 km ²	3,92%

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

2.2.2 Declividade da bacia de contribuição direta

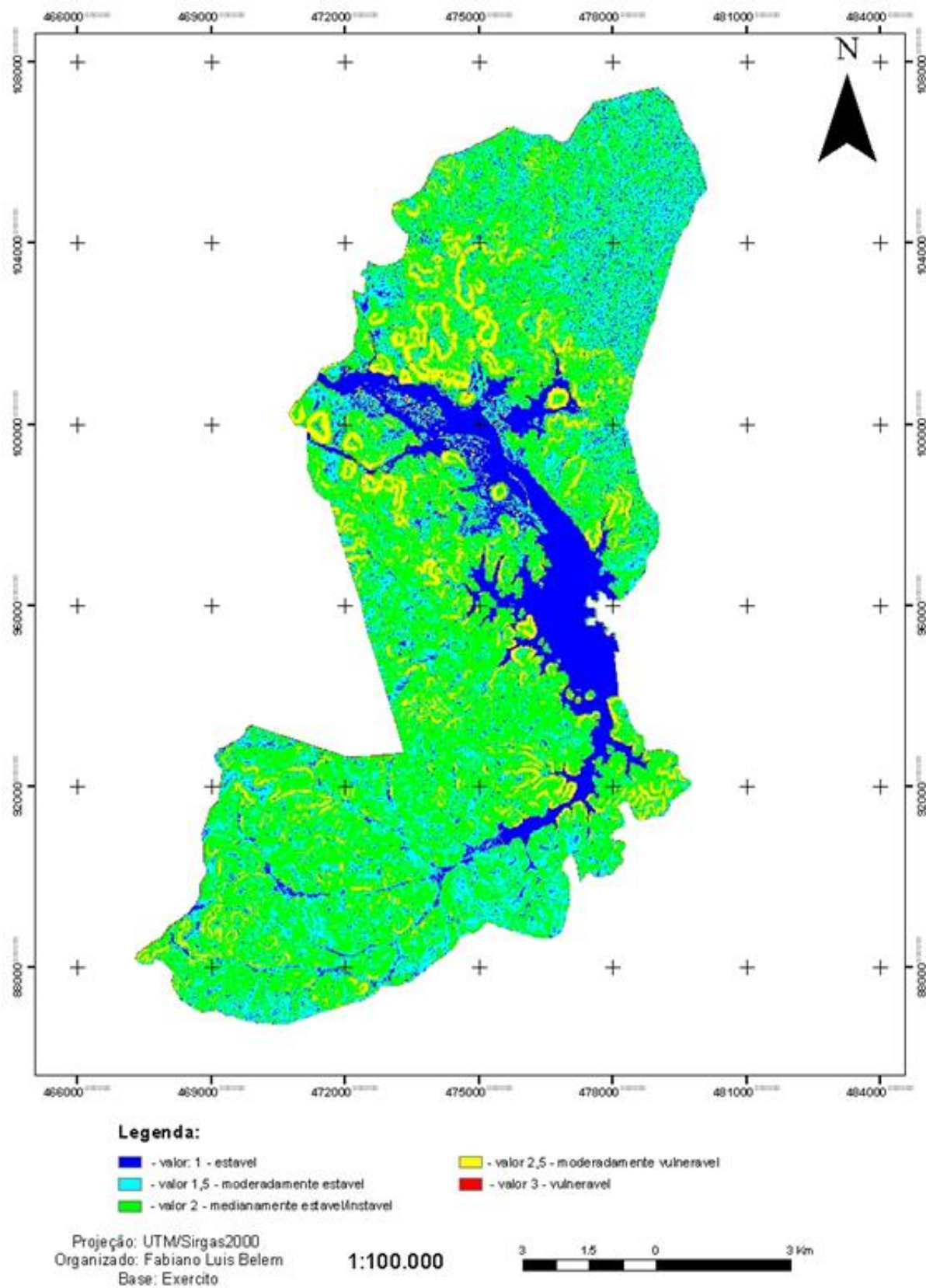
A outra variável ambiental estudada foi a de declividade, que consiste na inclinação de um ponto sobre a superfície de um plano. A maior ou menor declividade de uma posição determina um aumento ou uma diminuição da energia cinética do escoamento superficial, fazendo com que os processos erosivos sobre as vertentes sejam maiores ou menores. Segundo Crepani (2001), a declividade no modelo de vulnerabilidade é dividida em muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, cujos valores de mensuração são 1; 1,5; 2; 2,5 e 3, como mostra a Tabela 14, a qual mostrou que a unidade territorial básica predominante é a medianamente estável / vulnerável, de 6 a 20%.

Tabela 14 – Dados de área do modelo de vulnerabilidade de declividade

Modelo de Vulnerabilidade de Declividade				
Classes	Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%
<2%	Estável	1,0	19,69 km ²	14,71%
2% a 6%	Moderadamente estável	1,5	32, 16 km ²	24,03%
6% a 20%	Medianamente estável / vulnerável	2,0	68,04 km ²	50,84%
20% a 50%	Moderadamente vulnerável	2,5	13,28 km ²	9,92%
>50%	Vulnerável	3,0	0,65 km ²	0,48%

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 41 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da declividade da bacia



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

2.2.3 *Amplitude interfluvial da bacia de captação do reservatório*

A intensidade de dissecação de um relevo, segundo Crepani (2001), pode ser obtida por meio de dois índices: a densidade de drenagem e a amplitude interfluvial. Assim, a densidade de drenagem consiste no número de canais pela unidade de área. Já a amplitude interfluvial consiste na distância presente entre os canais de drenagem. Os dois parâmetros são opostos.

Para tanto, gerou-se a imagem de densidade de drenagem e, em seguida, se multiplicou por menos um (-1), para que se pudesse obter a amplitude interfluvial, conforme a metodologia de Crepani (2001). Sendo assim, o valor absoluto da densidade de drenagem obtido, considerando o reservatório que foi utilizado no cálculo, foi de 1,16 km².

A densidade de drenagem indica a aptidão de infiltração da água na bacia hidrográfica. O valor de 1,16, por ser baixo, indica que na bacia de contribuição direta do reservatório há maior infiltração da água e que o escoamento superficial é baixo. De fato, a densidade de drenagem se relaciona diretamente ao processo climático que existe na região, como a evapotranspiração e a pluviosidade. Além disso, como o valor de 1,16 é baixo, nota-se que os solos e as rochas presentes nesta bacia são mais permeáveis, diminuindo, portanto, o escoamento superficial e a densidade de drenagem.

Por sua vez, a amplitude interfluvial é um índice que apresenta o grau de dissecação de relevo e, por isso, valores elevados indicam um modelo da superfície mais plano, que sugere um processo erosivo mais estável. No entanto, quando a amplitude interfluvial apresenta valores pequenos, o relevo tem maior energia para ser dissecado, ou seja, os processos erosivos ocorrem de maneira elevada e os sedimentos são mais facilmente carregados (GOMES, 2005). Na Figura 42, mais à frente, apresenta-se o mapa de amplitude interfluvial da bacia de captação, o qual mostra o predomínio de áreas em que o processo erosivo é mais efetivo.

A partir deste modelo, foi possível detectar que as unidades territoriais básicas que apresentam maior área na bacia hidrográfica são de áreas vulneráveis. Além disso, a maior parte do modelo de vulnerabilidade apresenta interflúvios com áreas menores de 250 metros de distância entre si, como mostra a Tabela 15, logo abaixo.

Tabela 15 – Dados das áreas de amplitude interfluvial

Modelo de Vulnerabilidade de Amplitude Interfluvial				
Distância de interflúvios	Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%
3500 - 3750 metros	Moderadamente estável	1,6	0,02 km ²	0,014%
3250 - 3500 metros	Moderadamente estável	1,7	0,06 km ²	0,04%
3000 - 3250 metros	Medianamente estável / vulnerável	1,8	0,14 km ²	0,10%
2750 - 3000 metros	Medianamente estável / vulnerável	1,9	0,20 km ²	0,14%
2500 - 2750 metros	Medianamente estável / vulnerável	2,0	0,29 km ²	0,21%
2250 - 2500 metros	Medianamente estável / vulnerável	2,1	0,67 km ²	0,50%
2000 - 2250 metros	Medianamente estável / vulnerável	2,2	1,82 km ²	1,36%
1750 - 2000 metros	Moderadamente vulnerável	2,3	3,68 km ²	2,74%
1500 - 1750 metros	Moderadamente vulnerável	2,4	6,29 km ²	4,70%
1250 - 1500 metros	Moderadamente vulnerável	2,5	12,41 km ²	9,27%
1000 - 1250 metros	Moderadamente vulnerável	2,6	15,72 km ²	11,74%
750 - 1000 metros	Vulnerável	2,7	17,35 km ²	12,96%
500 - 750 metros	Vulnerável	2,8	20,39 km ²	15,23%
250 - 500 metros	Vulnerável	2,9	18,62 km ²	13,91%
< 250 metros	Vulnerável	3,0	36,16 km ²	27,02%

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017,

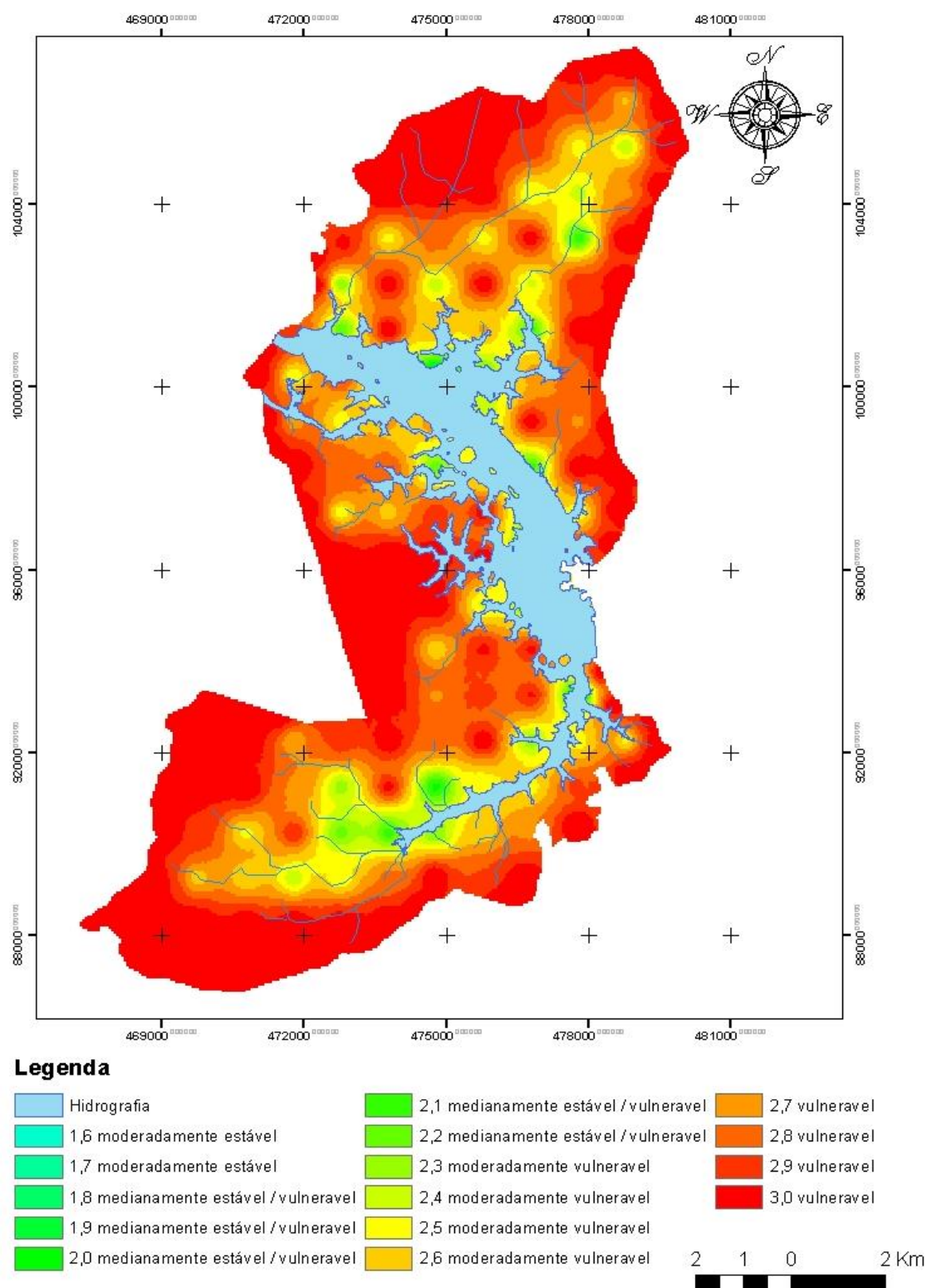
Após o estudo das três vulneráveis ambientais geomorfológicas, foi realizada a operação aritmética de imagens, somando as de amplitude interfluvial, declividade e amplitude altimétrica. Em seguida, dividiu-se por três, realizou-se nova média aritmética, para fazer a espacialização da vulnerabilidade geomorfológica, e concluiu-se que as áreas estáveis foram consideradas escassas e são mínimas, conforme sinaliza a Figura 43, mais à frente. Por isso, conforme a Tabela 16, a classe que tem maior área é a medianamente estável/vulnerável.

Tabela 16 – Áreas do modelo de vulnerabilidade de geomorfologia

Modelo de Vulnerabilidade de Geomorfologia				
Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%	
Estável	1,3	0,02 Km ²	0,014%	
Moderadamente estável	1,4	2,60 Km ²	1,94%	
Moderadamente estável	1,5	5,70 Km ²	4,25%	
Moderadamente estável	1,6	0,06 Km ²	0,04%	
Moderadamente estável	1,7	0,55 Km ²	0,41%	
Medianamente estável / vulnerável	1,8	0,39 Km ²	0,29%	
Medianamente estável / vulnerável	1,9	32,70 Km ²	24,43%	
Medianamente estável / vulnerável	2,0	34,73 Km ²	25,95%	
Medianamente estável / vulnerável	2,1	26,41 Km ²	19,73%	
Medianamente estável / vulnerável	2,2	14,86 Km ²	11,10%	
Moderadamente vulnerável	2,3	8,23 Km ²	6,15%	
Moderadamente vulnerável	2,4	7,44 Km ²	5,55%	
Moderadamente vulnerável	2,5	0,13 Km ²	0,09%	

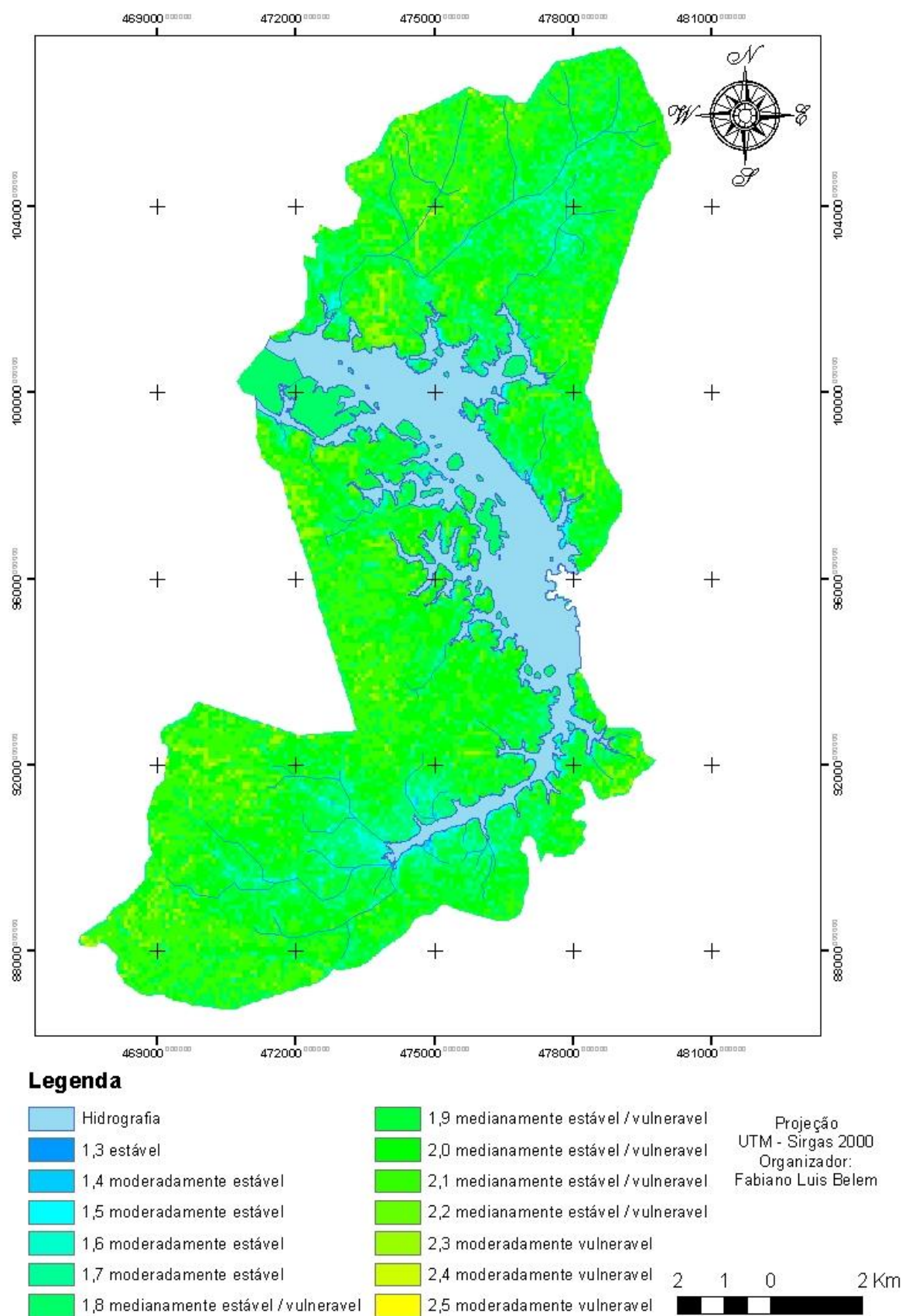
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 42 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da variável da amplitude interfluvial da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 43 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da geomorfologia da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

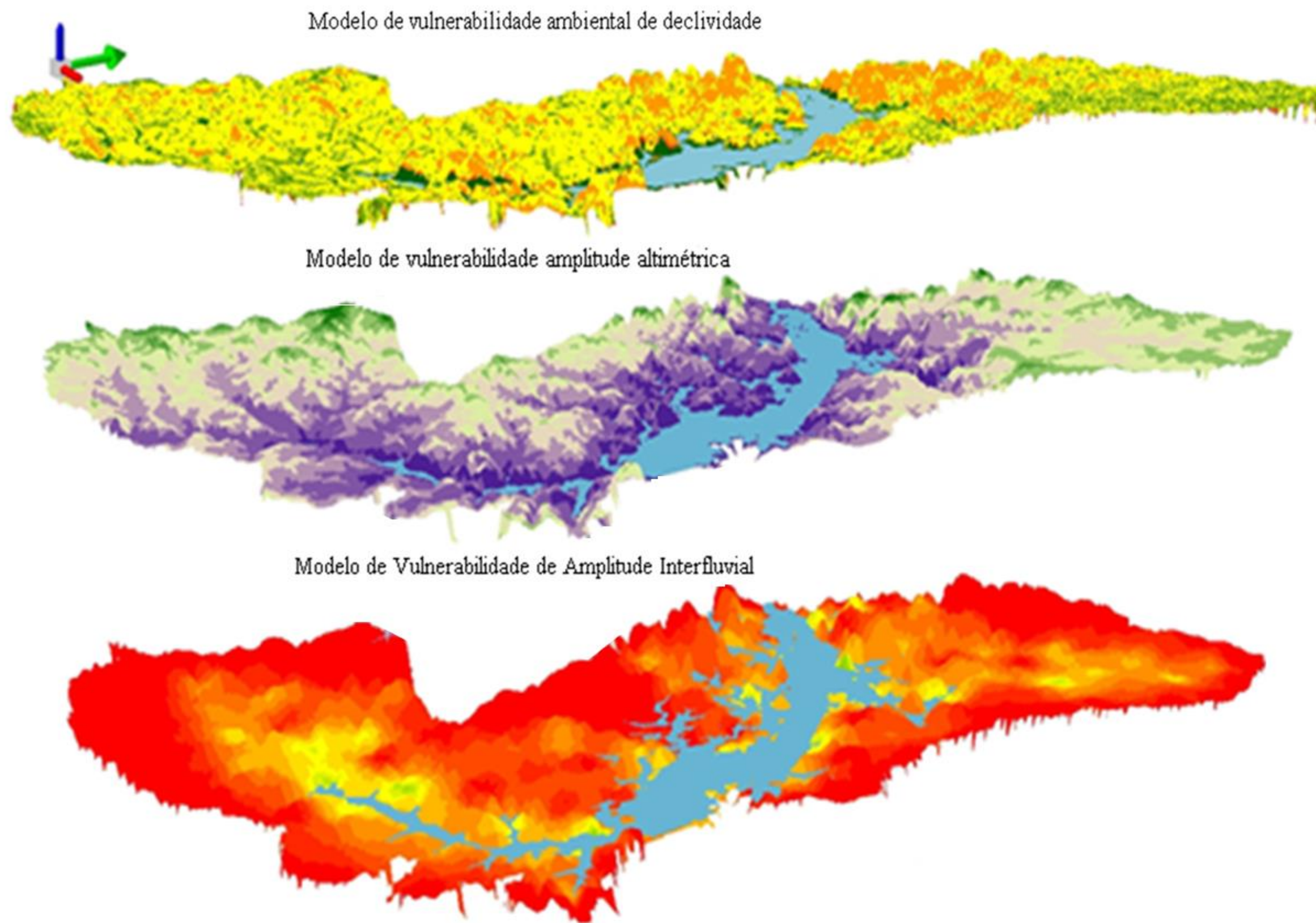
Nesse sentido, a vulnerabilidade ambiental da geomorfologia mostra que ampla parte da bacia hidrográfica de contribuição direta está medianamente estável e vulnerável, por causa, principalmente, do declive, que se caracteriza por ser suave a suavemente ondulado, como se pode notar no modelo digital de terreno (MDT), na Figura 44. Além disso, o perfil topográfico mostrou que a bacia apresenta algumas áreas de dissecação que ficaram evidentes na variável de declividade e de deposição, pela baixa cota altimétrica, como mostra a Figura 45. Por fim, as áreas mais estáveis, de acordo com o modelo de vulnerabilidade de geomorfologia, estão no entorno do reservatório

2.3 Análise espacial da vulnerabilidade ambiental do solo da bacia de contribuição direta do reservatório

A outra variável que deve ser levada em conta é a pedologia, a qual é a característica mais importante para estudo do modelo de vulnerabilidade, de maturidade do solo e, conseqüentemente, da capacidade de infiltração da água. De fato, a bacia hidrográfica do reservatório é composta por três tipos de latossolo: Latossolo Amarelos, Latossolo Amarelos Concrecionário e Latossolo Vermelho-amarelo. Eles se caracterizam por serem solos estáveis, que apresentam grande profundidade, porosidade e alta tempo de desenvolvimento ou maturidade (SOUZA, 2005).

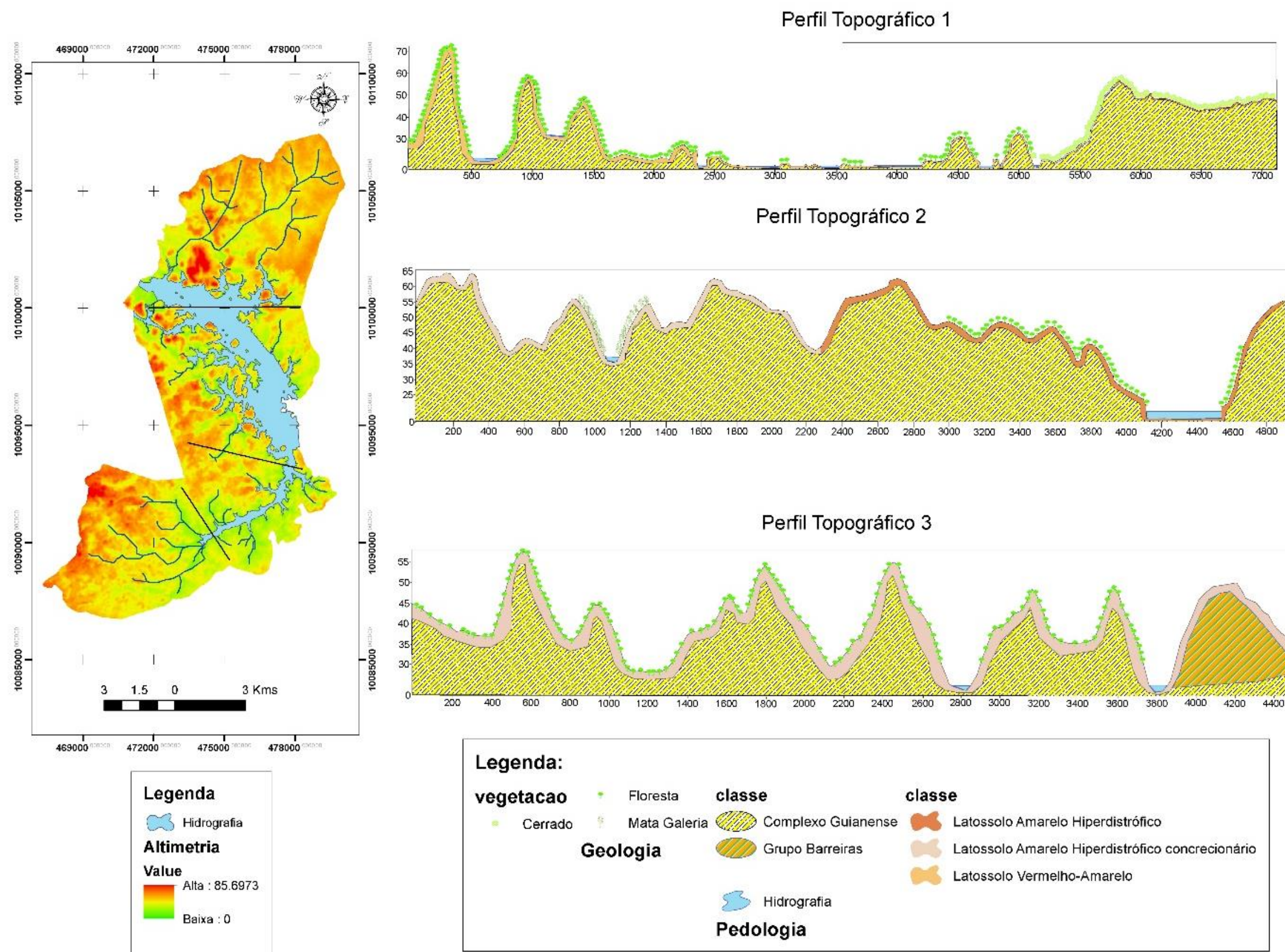
Sendo assim, os Latossolos Amarelos da região se caracterizam por serem distróficos e terem uma textura média, apresentando, portanto, um alta absorção e porosidade (RODRIGUES, 2005), cujo valor é 1. Já os Latossolos Amarelos Concrecionários são caracterizados pela presença de grandes crostas de solos compactados, que permitem a absorção da água e fazem com que o escoamento superficial seja maior, com valor mensurado em 1,4. Por fim, o Latossolo Vermelho-amarelo é álico, com grande tendência a alumínio e apresenta textura argilosa. Além disso, a absorção da água não é tão alta como a do Latossolo Amarelo, mas é semelhante e, por isso, mensurou-se o valor de 1,0.

Figura 44 –Modelo Digital de Terreno da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 45 – Mapa hipsométrico e perfil topográfico



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Dessa forma, distinguiu-se as áreas, conforme a Tabela 17, e, a partir disso, foi possível verificar que as classes moderadamente estáveis predominam na região do reservatório. Por fim, gerou-se a espacialização dos dados de vulnerabilidade ambiental de pedologia, na Figura 46.

Tabela 17 – Áreas do modelo de vulnerabilidade do solo

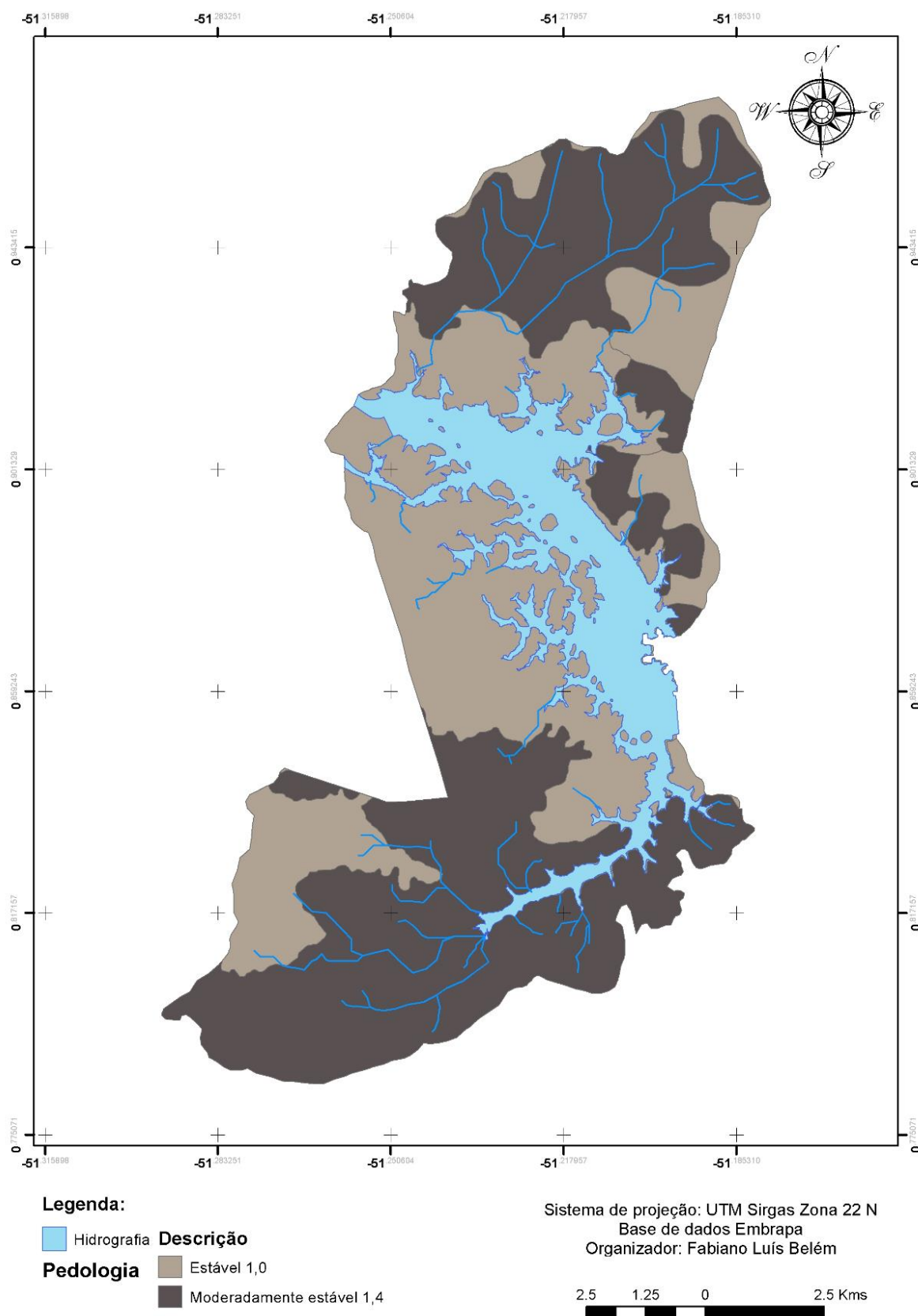
Modelo de Vulnerabilidade de Solo					
Classes	Unidades Territoriais Básicas	valor	Área	%	
Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo Hiperdistrofico	Estável	1,0	62,17 km ²	46,45%	
Latossolo Amarelo Hiperdistrofico Concrecionario	Moderadamente estável	1,4	71,65 km ²	53,54%	

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

2.4 Análise da vulnerabilidade ambiental do uso e ocupação da terra da bacia de contribuição direta do reservatório.

A outra variável ambiental relevante no modelo de vulnerabilidade, segundo Crepani (2001), é a vegetação e o uso da terra. Sendo assim, foram separados os usos da terra de maneira a diferenciar as que apresentam maior instabilidade e morfogênese, como as áreas de mineração, de produção agrícola e pecuária. Estes usos foram mensurados com valor 3, principalmente, por serem mais propícios aos processos erosivos que ocorrem sobre as vertentes. Além disso, nas áreas em que predomina a pedogênese, como a floresta ombrófila, definiu-se o valor de 1, como mostra a Tabela 18, mais à frente. Assim, a partir da análise de vulnerabilidade, confeccionou-se o mapa de vulnerabilidade de uso e ocupação da terra, na Figura 47.

Figura 46 – Mapa de vulnerabilidade ambiental dos solos da bacia de captação do reservatório



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Tabela 18 – Modelo de Vulnerabilidade de Uso e Ocupação do Solo

Modelo de vulnerabilidade de uso e ocupação do solo					
Classes	Unidades Territoriais Básicas	Valor	Área	%	
Hidrografia, Floresta Ombrófila Densa	Estável	1,0	51,76 km ²	38,67%	
Áreas Urbanas	Medianamente estável / vulnerável	2,0	6,66 km ²	4,97%	
Campo Inundável, Cerrado, Mata Galeria	Vulnerável	2,7	62,06 km ²	46,37%	
Pecuária, Mineração, Solo Exposto, Áreas Agrícolas	Vulnerável	3,0	13,34 km ²	9,96%	

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

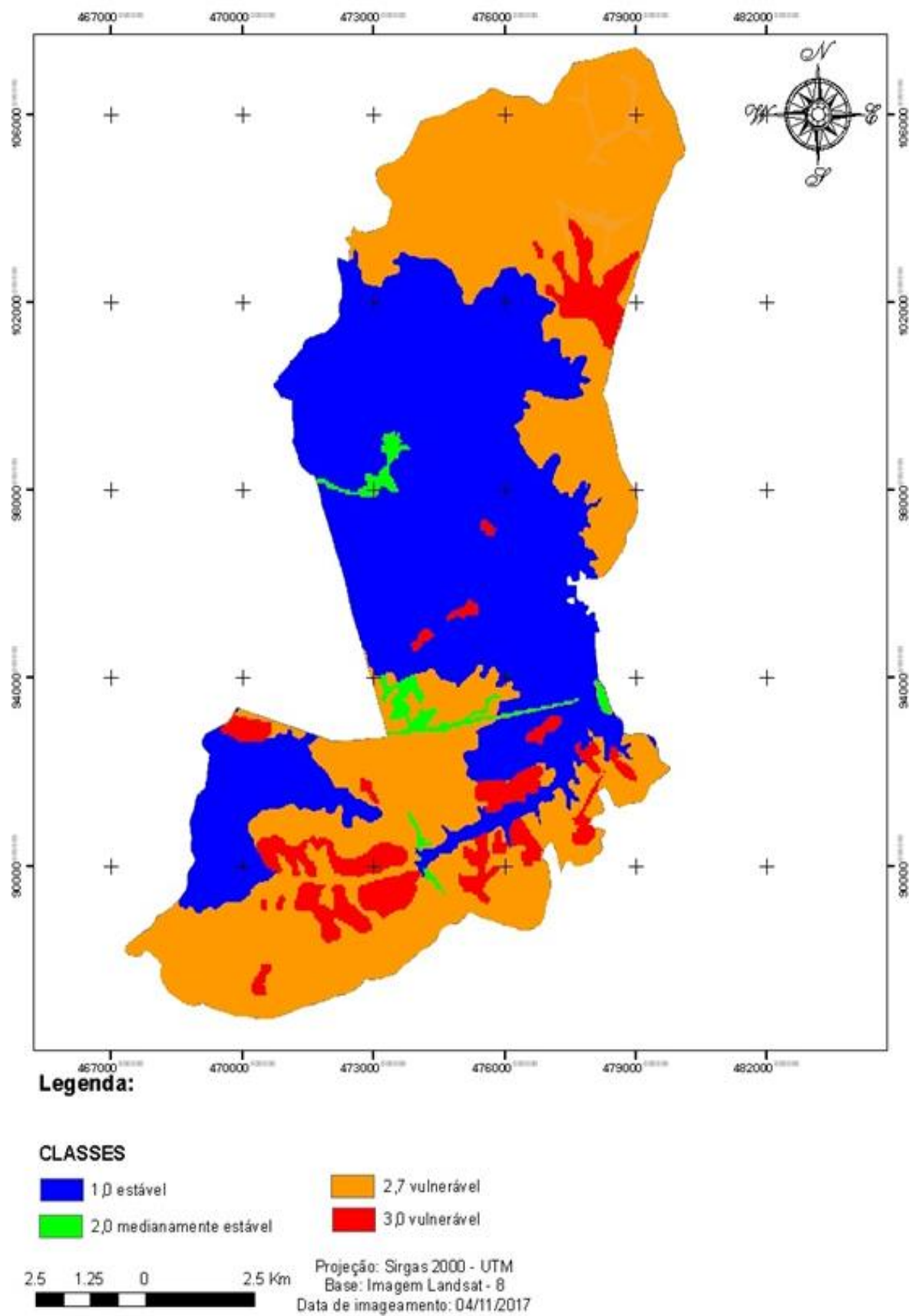
2.5 Análise de vulnerabilidade da pluviometria da bacia de contribuição direta do reservatório

Como a variação de pluviometria na área de estudo apresentou uma normalidade climática, seguiu-se o método de Crepani *et al.* (2001), o qual considera o índice pluviométrico anual de 3297 mm, de forma que é considerada uma classe vulnerável de peso 2,7. Mesmo assim, saliente-se que a pluviometria desta área foi muito mais baixa no ano de 2017, com um valor de 1300 mm. De qualquer forma, foi espacializado o mapa de vulnerabilidade ambiental de pluviometria, presente na Figura 48, mais à frente.

2.6 Análise de vulnerabilidade ambiental da bacia de contribuição direta do reservatório.

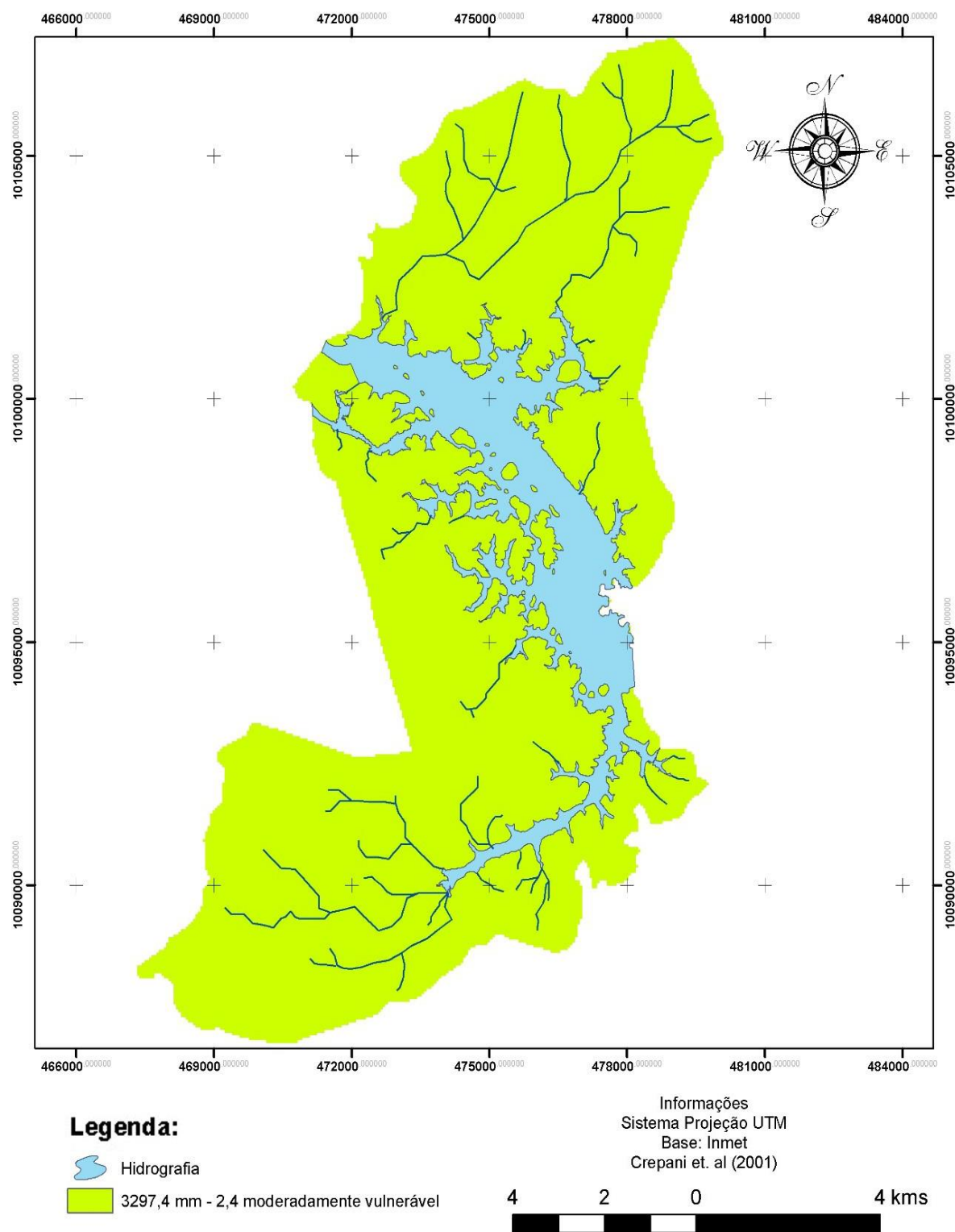
Realizou-se a soma dos cinco mapas por meio da aritmética de imagens e estabeleceu-se a razão, para fazer a média de vulnerabilidade. Dessa forma, o mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo mostrou que a construção da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes alterou a paisagem que havia na área antes da formação do reservatório.

Figura 47 – Mapa de vulnerabilidade ambiental do uso do solo da bacia de captação



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 48 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da pluviometria da bacia de captação



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

De acordo com o estudo realizado, as áreas mais propícias à vulnerabilidade ambiental são as que apresentam a representação geológica do Grupo Barreiras, mas também há influência do uso da terra, principalmente nas áreas de mineração e áreas urbanas, as quais estão localizadas a jusante da barragem e correspondem a aproximadamente 34 km² (25% da área do reservatório).

As áreas com menor probabilidade de haver vulnerabilidade estão localizadas a montante do reservatório, onde é mais comum a presença de florestas ombrófilas densas, que correspondem a 45 km² (35% da área da bacia hidrográfica). Isto mostra que o uso e a ocupação do solo têm uma alta influencia na vulnerabilidade ambiental na bacia do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Assim, as Unidades Territoriais Básicas apresentam em todas as classes de modelos de vulnerabilidade e as que mais predominam são a moderadamente estável, mediamente estável/vulnerável e a vulnerável, como mostra a Tabela 19.

Não obstante, como já foi dito, o modelo de vulnerabilidade mostrou que a construção do reservatório da Usina Hidrelétrica Ferreira Gomes alterou a paisagem que havia na área antes de sua formação.

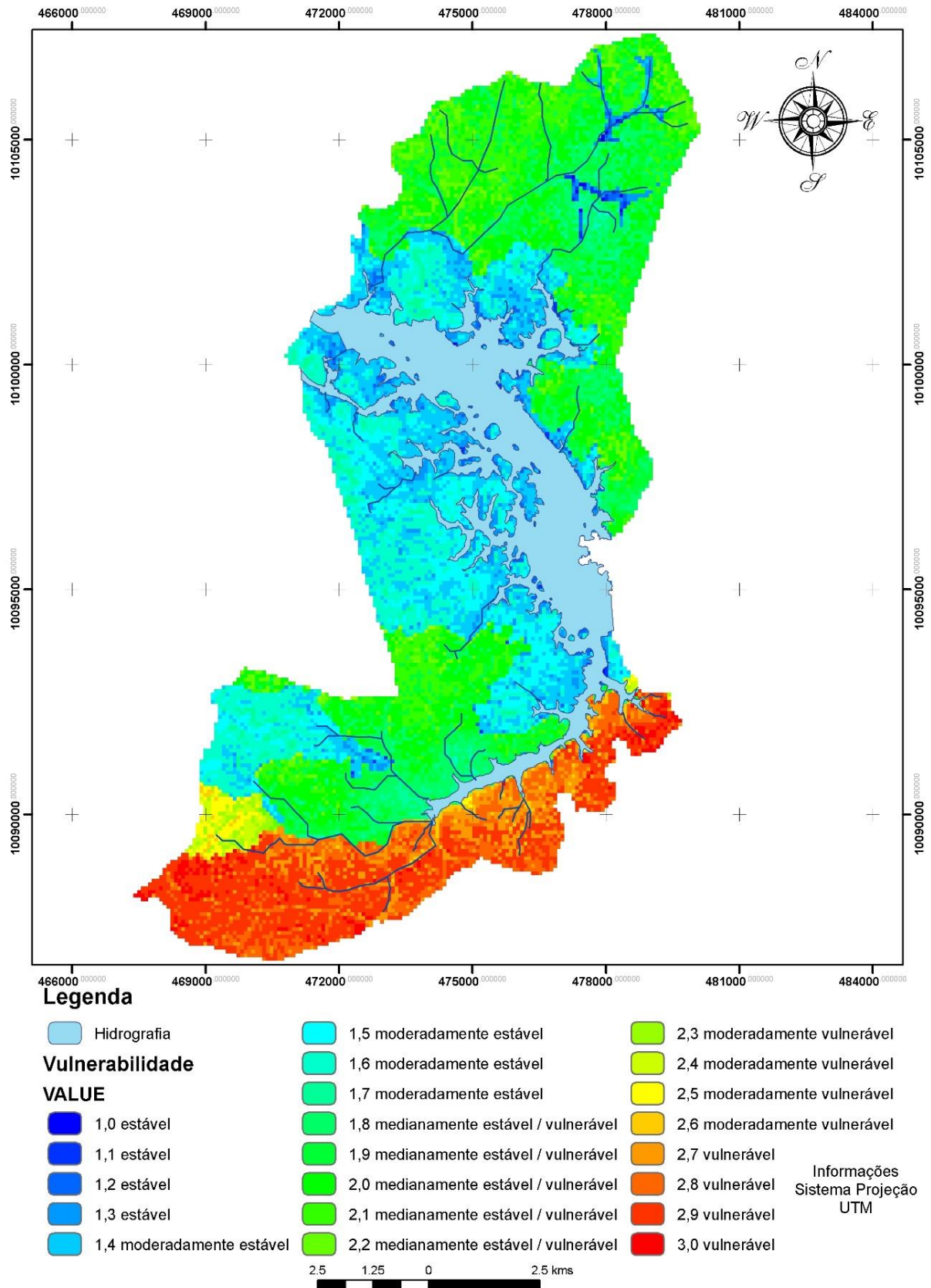
Sabe-se que a análise da paisagem é um ramo que também adiciona as pesquisas ambientais, conceito formado inicialmente por Carl Troll, em 1939 (TROLL, 1950). O estudo da paisagem cresceu juntamente com as pesquisas nas áreas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com o desígnio de arquitetar modelos espaciais que apresentassem a realidade espacial do meio ambiente.

Desse modo, a análise da paisagem, por meio da utilização dos sistemas de informações geográficas (SIGs), trabalha com as mais diversas variáveis espaciais para gerar os padrões de processos ecológicos. A partir disso, obtêm-se as causas dos efeitos das atividades antrópicas (JENSEN, 2009).

Além disso, segundo Lang e Blaschke (2009), a análise da dinâmica da paisagem usa dados quantitativos para diferenciar as paisagens, dando-se foco aos fluxos das variáveis espaciais que fazem parte do meio ambiente, como a inter-relação entre a pedologia, a geomorfologia, a climatologia e a hidrografia.

A análise da paisagem, portanto, tenta integrar a ciência espacial das ciências geográficas com os diversos conhecimentos interdisciplinares sobre o meio físico, das mais diversas áreas de estudo. Assim, o estudo integrado da análise da paisagem é utilizado para uma grande quantidade de pesquisas ambientais, desenvolvidos por Nepstad *et al.* (2009), Merry (2009), Stickler *et al* (2009), Araújo *et al* (2010), Watanabe *et al* (2018).

Figura 49 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia do reservatório da UHE.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Tabela 19 – Áreas das unidades territoriais básicas do modelo de vulnerabilidade da Bacia da UHE Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes

Modelo de Vulnerabilidade			
Unidades Territoriais Básicas	Valor	Área	%
Estável	1,0	1,06 km ²	0,79%
Estável	1,1	12,42 km ²	9,28%
Estável	1,2	6,95 km ²	5,19%
Estável	1,3	16,04 km ²	11,98%
Moderadamente estável	1,4	19,43 km ²	14,51%
Moderadamente estável	1,5	8,82 km ²	6,59%
Moderadamente estável	1,6	7,43 km ²	5,55%
Moderadamente estável	1,7	1,07 km ²	0,80%
Medianamente estável / vulnerável	1,8	2,48 km ²	1,85%
Medianamente estável / vulnerável	1,9	9,57 km ²	7,15%
Medianamente estável / vulnerável	2,0	12,91 km ²	9,64%
Medianamente estável / vulnerável	2,1	10, 71 km ²	13,38%
Medianamente estável / vulnerável	2,2	0,20 km ²	0,14%
Moderadamente vulnerável	2,3	0,22 km ²	0,15%
Moderadamente vulnerável	2,4	0,31 km ²	0,23%
Moderadamente vulnerável	2,5	0,70 km ²	0,52%
Moderadamente vulnerável	2,6	1,10 km ²	0,82%
Vulnerável	2,7	1,76 km ²	1,31%
Vulnerável	2,8	3,95 km ²	2,91%
Vulnerável	2,9	11,09 km ²	8,28%
Vulnerável	3,0	6,30 km ²	4,70%

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Com efeito, a análise da dinâmica da paisagem tem como objetivo observar mudanças em grandes escalas e as consequências que ocorrem no uso da terra. Ou seja, a análise da paisagem pesquisa o desenvolvimento e o dinamismo da heterogeneidade espacial.

Com efeito, a abundância de fatores espaciais no sistema provoca o intercâmbio de matéria e fluxos entre as diferentes paisagens, que são influenciados pelas ações antrópicas e estão ligados aos usos e ocupação da terra presentes naquele meio ambiente. Assim, os fatores físicos que ali existem são clima, solo e relevo. (SOARES FILHO, 1998; 2007; 2014; RIBEIRO *et al.*, 2014).

O estudo dos fatores espaciais e dos relacionamentos espaciais entre as variáveis ambientais constitui um elemento principal na pesquisa da análise da paisagem, a qual é relacionada à distribuição das feições geográficas resultantes dos diversos processos físicos e

antrópicos presentes no meio ambiente. Nesse sentido, a análise da paisagem é compreendida a partir das características que são comuns a todas, como estrutura, função e mudanças (LANG e BLASCHKE, 2009).

A estrutura é a consequência da relação entre diferentes ecossistemas, pois a paisagem permite todas as variáveis que a compõem, alocadas de acordo a sua forma, tamanho e quantidade no arranjo espacial (SOARES FILHO 2007).

A função da paisagem é como se estabelecem a entrada e a saída de fluxos de energia e de seres vivos (LANG e BLASCHKE, 2009). A partir disso, admite-se que o grau de conectividade de uma paisagem não apenas mostra como ela está estruturada, mas também determina as constantes dos métodos de permuta de fluxos de energia e seres vivos (MORAIS; CARVALHO, 2013).

Finalmente, a transformação da paisagem é uma característica que depende da resolução temporal que está sendo analisada a partir de um determinado tempo. Assim, a mudança dessa paisagem causa alterações em suas propriedades estruturais e funcionais (WATANABE *et al*, 2018), as quais podem ser causadas tanto por processos naturais quanto antrópicos. Como exemplo, tem-se a construção de reservatório de usinas hidrelétricas em rios, que fez com que ambientes lóticos fossem transformados em ambientes lênticos.

3. ANÁLISE DA ALTERAÇÃO DA PAISAGEM DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA DO RESERVATÓRIO

3.1 Análise da paisagem do reservatório da bacia de captação nos anos de 1997, 2007 e 2017

Primeiramente, sublinhe-se que o município de Ferreira Gomes foi residido por cabanos no século 19. Já na década de 1940, no século seguinte, a área do município foi habitada pela população de nordestinos imigrantes, os quais trabalhavam nos seringais para a retirada da borracha. Além disso, nessa mesma década houve a abertura da BR-156, o que favoreceu a habitação na região (ECOTUMUCUMAQUE, 2010).

O município de Ferreira Gomes foi emancipado em 1987, a partir da separação do município de Macapá. Em seguida, a construção da Usina Hidrelétrica de Coroacy Nunes, em 1975, aumentou o crescimento da região central amapaense e, conseqüentemente, novos municípios surgiram no estado, entre eles o de Ferreira Gomes, que, como já foi dito, foi desagregado de Macapá (ECOTUMUCUMAQUE, 2012).

No censo de 1991, o município tinha uma população total de 2.386 habitantes, sendo que grande maioria habitava a área urbana, ou seja, aproximadamente 1.264 habitantes; os outros 1.122 habitantes residiam na área rural do município (IBGE,1991). Já no censo de 2000, o município de Ferreira Gomes tinha uma população total de 3.582 habitantes; assim, 2.523 cidadãos moravam na área urbana e 1.039 na área rural (IBGE,2000). Posteriormente, no censo de 2010, o município tinha uma população de 5.802 habitantes: 2.623 habitavam a área urbana e 1.039 residiam na área rural. Portanto, em um período de 20 anos, a população aumentou quase 143%. Além disso, nos dias atuais, segundo o (IBGE), a população já é de 7.087 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 1,29 km², cujo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,656 (IBGE,2018).

Com efeito, o desenvolvimento econômico se iniciou com a plantação de silvicultura de pinus e eucaliptos para a produção de celulose e cavacos, na Amcel (Amapá Celulose). Isto fez com que durante as décadas de 1970 e 1980 houvesse grande comprometimento do cerrado. Além disso, a partir de 1991 ocorreu o asfaltamento da BR-156 para o escoamento da produção de eucaliptos e, nesse mesmo ano, se iniciou a construção da ponte Tancredo Neves, sobre o rio Araguari, que liga o município de Ferreira Gomes ao interior do estado. Por isso, houve um aumento da população amapaense em torno da BR-156, onde se localizam várias cidades, entre elas a de Ferreira Gomes.

Segundo Pantoja e Andrade (2012), o aumento da população do município de Ferreira Gomes se deu pela expectativa da edificação das usinas hidrelétricas no rio Araguari. Isso aconteceu, principalmente, após a aprovação do projeto da usina, que ocorreu em 2007. Assim, dos anos 2000 até o ano de 2010, o processo de urbanização no município de Ferreira Gomes ocorreu de maneira rápida, promovendo um aumento populacional de 65,5% e uma expansão de 110% da área urbana (SANTOS FERREIRA e SANTOS, 2017).

3.2 Análise da métrica da mudança da paisagem do reservatório da bacia de contribuição direta do reservatório durante os anos de 1997, 2007 e 2017

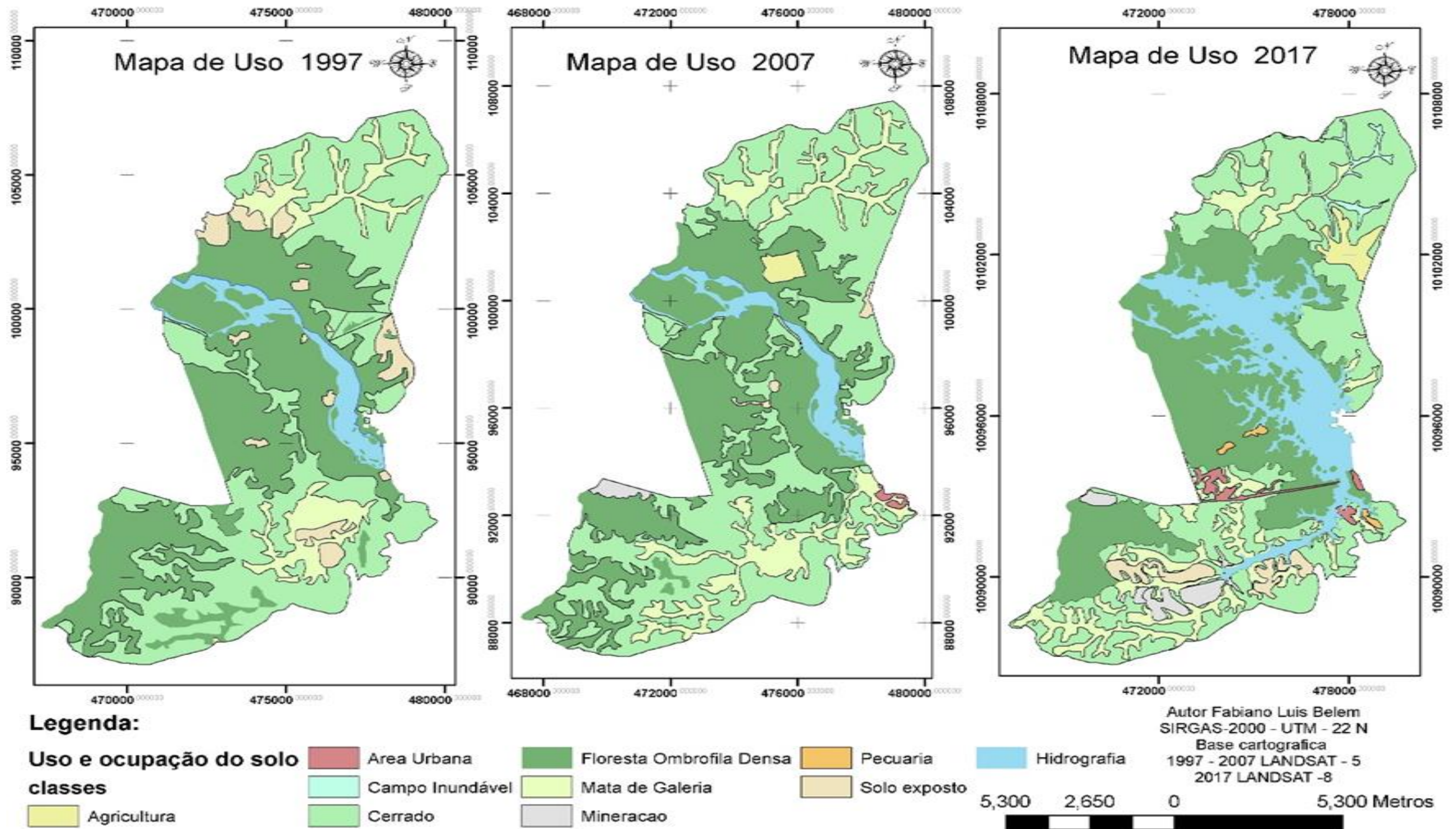
O processo de mudança da paisagem na bacia de contribuição direta da UHE Ferreira Gomes ocorreu, sobretudo, no ano de 1997, com o início do solo exposto para as plantações agrícolas, como mostra, mais à frente, a Figura 50. No ano de 2007, se acentuou o crescimento da área urbana e a dinâmica da paisagem foi mais significativa com o aparecimento de grandes áreas alagadas. De fato, a partir dos mapas de uso e ocupação do solo, gerou-se a Tabela 20, que mediu as áreas de cada classe mapeada nos anos de 1997, 2007 e 2017 e mostrou a representatividade de cada classe.

Tabela 20 – Área das classes de uso da terra da bacia do reservatório

Classes	1997		2007		2017	
	Área	%	Área	%	Área	%
Agricultura			1,19 Km ²	0,8%	2,20 km ²	2,20%
Área Urbana			0,36 Km ²	0,25%	1,45 km ²	0,85%
Cerrado - Campo Inundável					1,15 km ²	0,67%
Cerrado - Campo Limpo	65,98 km ²	44%	69,99 km ²	48,29%	57,28 km ²	33,81%
Cerrado - Mata Galeria	13,13 km ²	8,8%	15,46 Km ²	22,08%	16,37 km ²	36,42%
Floresta Ombrofila	52 km ²	34,97%	45,44 Km ²	31,35%	61,70 km ²	13,75%
Hidrografia	10,65 km ²	7,1%	10,69 Km ²	7,37%	23,30 km ²	9,66%
Mineração			0,78 Km ²	0,53%	2,72 km ²	1,60%
Pecuária					0,46 km ²	0,27%
Solo Exposto	6,92 Km ²	4,65%			2,75 km ²	1,62%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Figura 50 – Mapa de uso e ocupação da bacia do reservatório o nos anos 1997, 2007, 2017.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Sendo assim, a partir dos mapas e da Tabela 20, anteriormente apresentados, notou-se que ocorreram modificações na paisagem no período de 1997 a 2017, por meio do surgimento de novas feições geográficas, como a pecuária e a agricultura. No entanto, a alteração mais significativa na paisagem foi o aumento da área de alagamento, que ocorreu em 2013, com a construção do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Por isso, houve a necessidade de evidenciar quais foram as áreas alagadas, as quais estão representadas na Figura 50. Assim, com base nesse mapa, realizou-se a Tabela 21, que apresenta as regiões das classes que foram alagadas. Além disso, posteriormente, elas foram especializadas, conforme mostra a Figura 52.

Tabela 21 – Área das classes alagadas pelo espelho de água do reservatório

Classes	Área	%
Agricultura	0,36 km ²	1,46%
Área Urbana	0,02 km ²	0,08%
Cerrado - Campo Limpo	3,76 km ²	15,29%
Cerrado - Mata Galeria	1,42 km ²	5,77%
Floresta Ombrófila	8,57 km ²	34,86%
Solo Exposto	0,06 Km ²	0,24%
Hidrografia	10,39 km ²	42,27%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

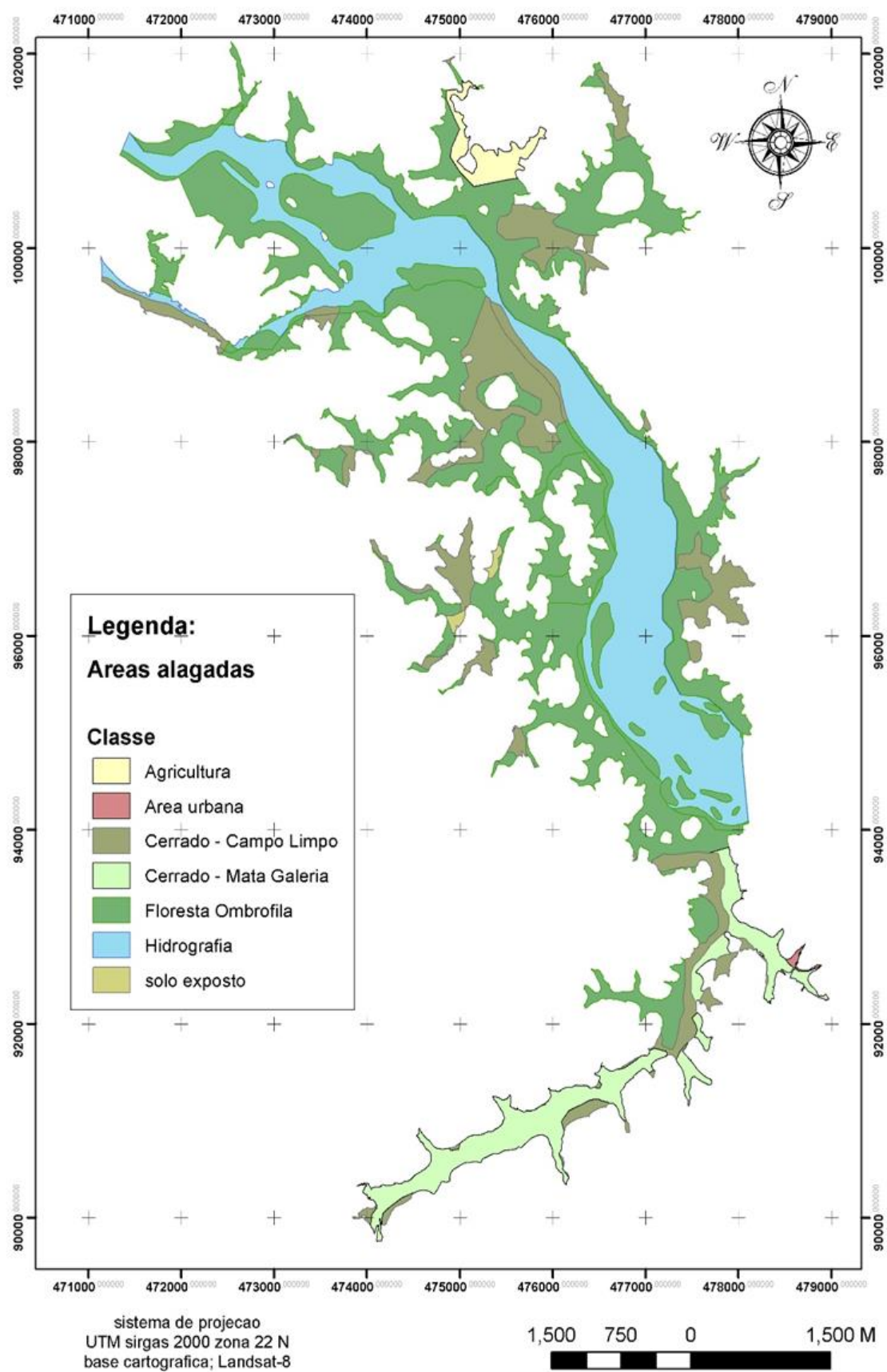
Sendo assim, detectou-se que as maiores feições geográficas de superfície terrestre alagadas foram áreas de floresta ombrófila e de cerrado de campo limpo, apresentando grande quantidade de árvores mortas na área do reservatório, como evidencia a Figura 51, que podem afetar ou influenciar a qualidade da água.

Figura 51 – Área de floresta alagada no reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Acervo do autor, 2016

Figura 52 – Área alagada com a construção do reservatório no ano de 2013



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADA NAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

A construção do reservatório da UHE Ferreira Gomes ficou pronta somente em 2014, mostrando que é ainda muito recente e, por isso, é possível realizar o monitoramento e a modelagem da qualidade da água por um longo tempo.

Mesmo assim, nos quatro trabalhos de campo realizados no reservatório, as comportas tinham sido abertas um dia antes, o que provocou uma baixa do nível de água. Além disso, sublinhe-se que, nos três primeiros trabalhos de campo, houve chuva nas semanas antes das coletas. Já no quarto trabalho, não houve nenhuma precipitação antes da coleta.

De fato, sabe-se que o estudo da qualidade serve como planejamento para se estabelecer a classe da água e, nesse trabalho, a do reservatório da UHE Ferreira Gomes foi enquadrada nos parâmetros da resolução Conama 357/2005. Dessa forma, pode-se delimitar a classe em razão do uso da água, levando em conta suas propriedades. Assim, foram analisadas as características da água a partir de cada parâmetro durante o trabalho de campo.

4.1 Análise dos parâmetros físicos da água

4.1.1 Análise da temperatura da água do reservatório.

Em termos gerais, a temperatura do reservatório é o resultado da irradiação solar sobre o corpo hídrico. Assim, como o reservatório da UHE Ferreira Gomes está localizado em uma região de clima tropical chuvoso, segundo a classificação de Koppen-Geiger, sua temperatura é coerente a esse clima, que, segundo Souza e Cunha (2010), se caracteriza por precipitação dos meses mais secos – que são os de setembro, outubro e novembro – inferior a 60 mm. Por isso, devido à falta de umidade na atmosfera, esses meses também são os mais quentes do ano. Isso pode ser verificado na Figura 56, mais à frente, a qual mostra um gráfico com as maiores temperaturas registradas.

Nesse sentido, verificou-se que os pontos que apresentaram maior temperatura foram os mais internos do espelho da água do reservatório, enquanto os pontos mais externos apresentaram temperaturas menores, o que pode ser associado à presença de vegetação na área externa (HAMILTON; SCHLADOW, 1997), já que a vegetação localizada às margens e, portanto, mais próxima a esses pontos, apresenta um alto porte arbóreo, como mostra a Figura 53, logo abaixo.

Figura 53 – Vegetação a margem do reservatório da UHE Ferreira Gomes

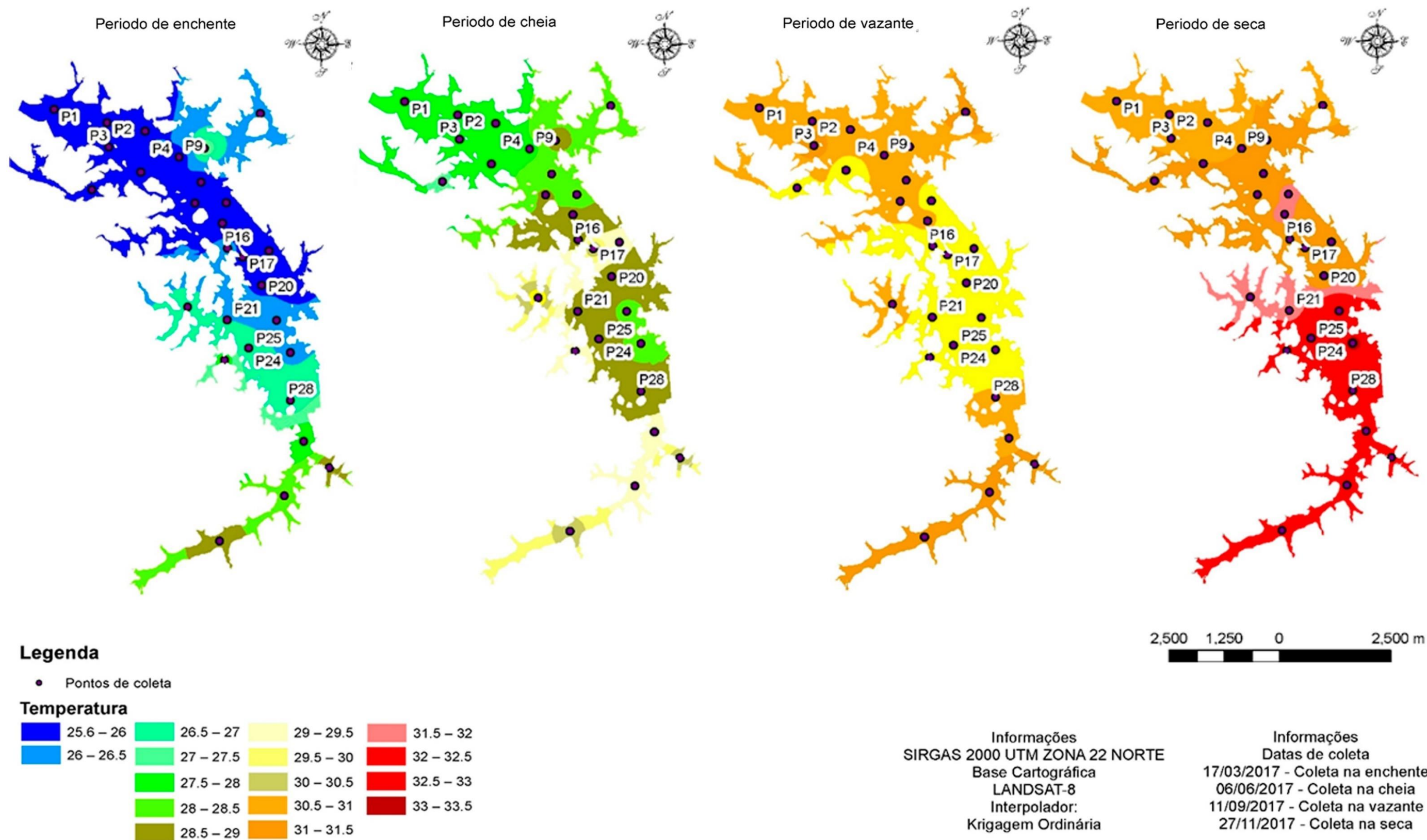


Fonte: Autor, 26/07/2017

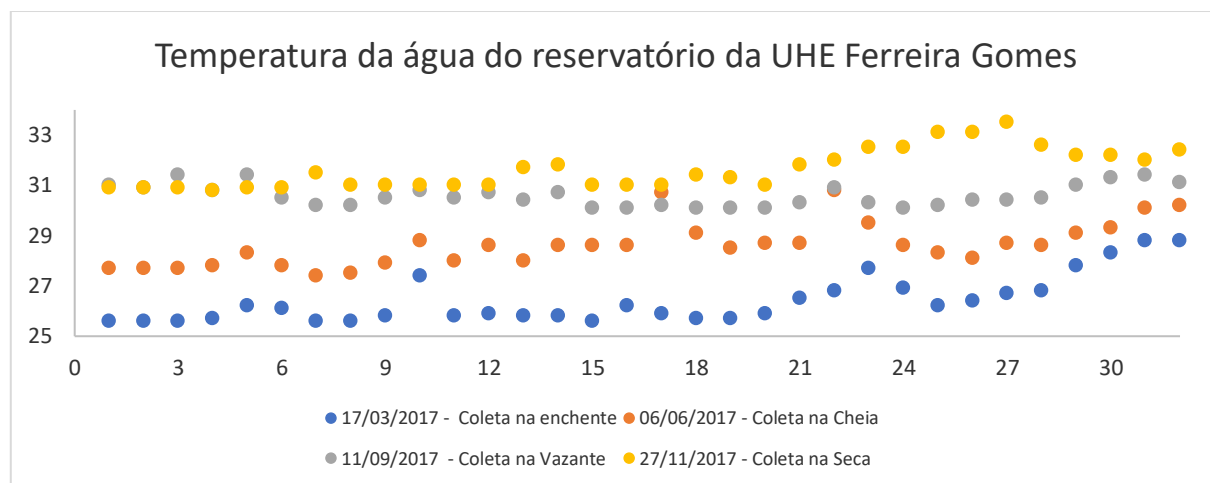
Com efeito, a partir da análise da espacialização dos dados, verificou-se que as temperaturas mais quentes ocorreram nas épocas de vazante e de seca, pois há menor nebulosidade e uma maior radiação solar sobre a água. A montante, porém, existem águas de temperatura mais frias, por causa da influência direta do reservatório UHE de Coroacy Nunes, tendo em vista que o rio Araguari, que abastece o reservatório da UHE Ferreira Gomes, tem origem no hypolímnio do reservatório a montante, o qual passa pelas turbinas da Coroacy Nunes. Além disso, a jusante do reservatório estão as águas mais quentes, enquanto as que se encontram mais a montante no reservatório, principalmente nas épocas de enchente, cheia e seca, apresentam temperaturas mais frias, como pode ser percebido na Figura 55, mais adiante.

De fato, a temperatura mais alta foi verificada no ponto 27, com a temperatura de 33.5°C, durante o período da seca, como mostra a Figura 54, logo adiante. Além disso, os pontos 25 e 26 também apresentaram as outras duas temperaturas mais altas (33.1°C), por causa da grande quantidade de irradiação no período de seca, causada pela pouca nebulosidade. Por sua vez, as temperaturas mais baixas foram registradas na época de enchente, como evidencia a Figura 55, que foram causadas, principalmente, pelas chuvas que ocorreram nos dias antes do trabalho de campo.

Figura 54 – Espacialização dos dados de temperatura do ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca, vazante

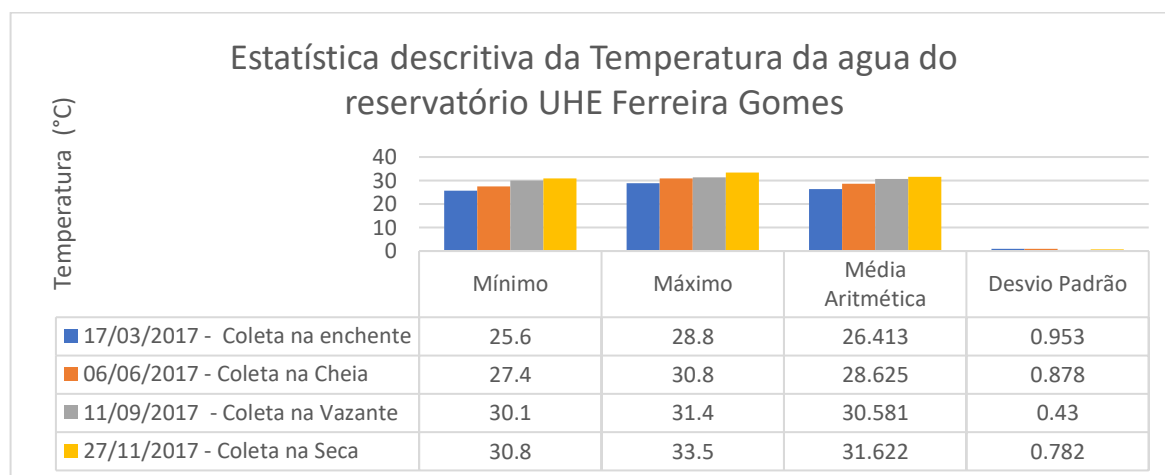


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 55 – Gráfico de temperatura do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A temperatura média do primeiro trabalho de campo, realizado em março de 2017, foi de 26,41°C e, portanto, inferior à de março de 2016 (27,41°C), segundo relatório da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes, como esclarece a Figura 56. Já o segundo trabalho de campo teve uma temperatura de 28,62°C, que foi superior à média de temperatura de 2016 (27,75 °C), segundo o relatório da usina. Já a média de temperatura do terceiro trabalho de campo, ocorrido em setembro de 2017 foi de 30,58 °C, inferior à de setembro de 2015 (31,08°C). Segundo Cota (2013), antes da construção do reservatório, esta área do rio Araguari tinha uma temperatura que variava entre 26,01°C e 28,6 °C. Estes resultados de temperatura endossam os estudos que já foram realizados no rio antes da construção da barragem, como Barbara *et al.* (2010), Brito (2009), Santos *et al.* (2014) e Cunha (2010).

Figura 56 – Estatística descritiva da temperatura da UHE Ferreira Gomes

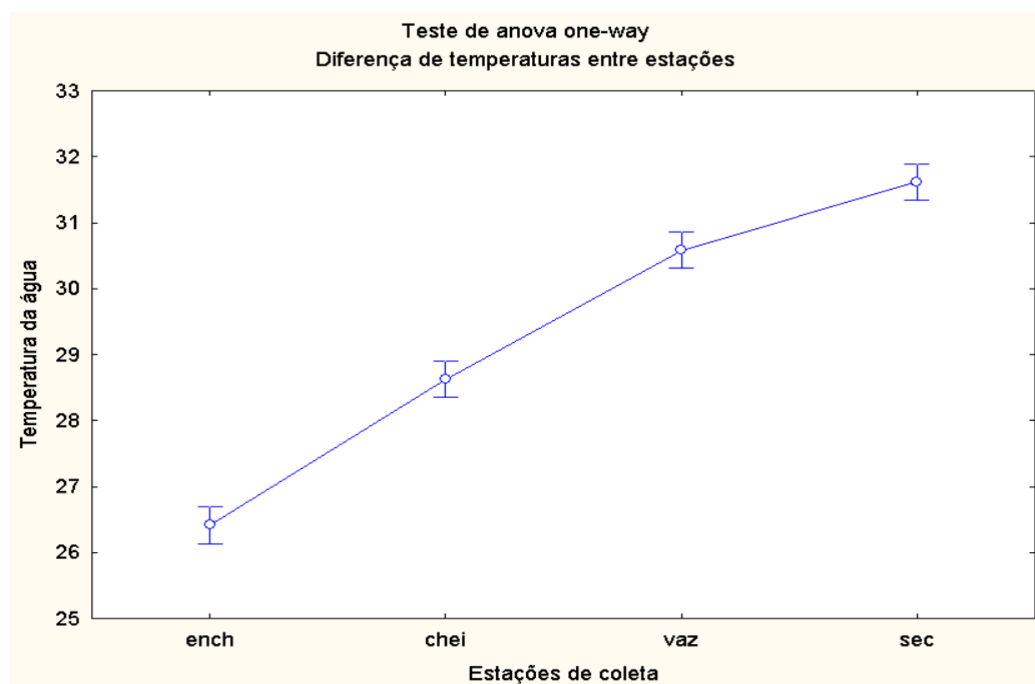
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Com efeito, as temperaturas mais baixas do corpo hídrico foram coletadas durante o primeiro trabalho de campo, devido à baixa temperatura no mês de março, que foi o mais chuvoso do ano de 2017. Já as temperaturas mais quentes da água foram coletadas no mês de novembro. Este resultado converge com Cunha (2014), que aponta que a temperatura da água é mais baixa na época chuvosa e mais quente na de seca.

Devido ao fato de 2017 ter sido um ano de anomalia climática, verificou-se que existe diferença entre as quatro estações climáticas em relação à temperatura. Por isso, realizou-se o estudo estatístico com o teste de Anova, para verificar se houve diferença das variáveis coletadas apesar das diferenças climáticas que ocorreram entre a precipitação.

A partir dessa análise estatística, evidenciou-se que a variância entre as coletas de chuvas apresenta diferenças, como mostra a figura 57. Além disso, o teste de *Fischer* foi de 0,009, que é menor que o valor da significância de 0,05, mostrando que houve diferenças de temperatura e que estas informações não são redundantes entre cada estação de coleta, apesar da pluviometria entre as estações de vazante, seca e cheia ter apresentado a mesma precipitação na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Figura 57 – Teste de anova one-way utilizando a variável temperatura



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.1.2 *Análise da condutividade elétrica do reservatório da UHE Ferreira Gomes.*

A condutividade elétrica é a capacidade que a água tem de transmitir a corrente elétrica e, para que isto seja possível, é necessária a presença de substâncias dissolvidas, pois elas liberam íons no corpo hídrico (QUEIROZ *et al.* 2016). Em suma, a condutividade elétrica é uma variável ambiental que depende da quantidade de sais dissolvidos.

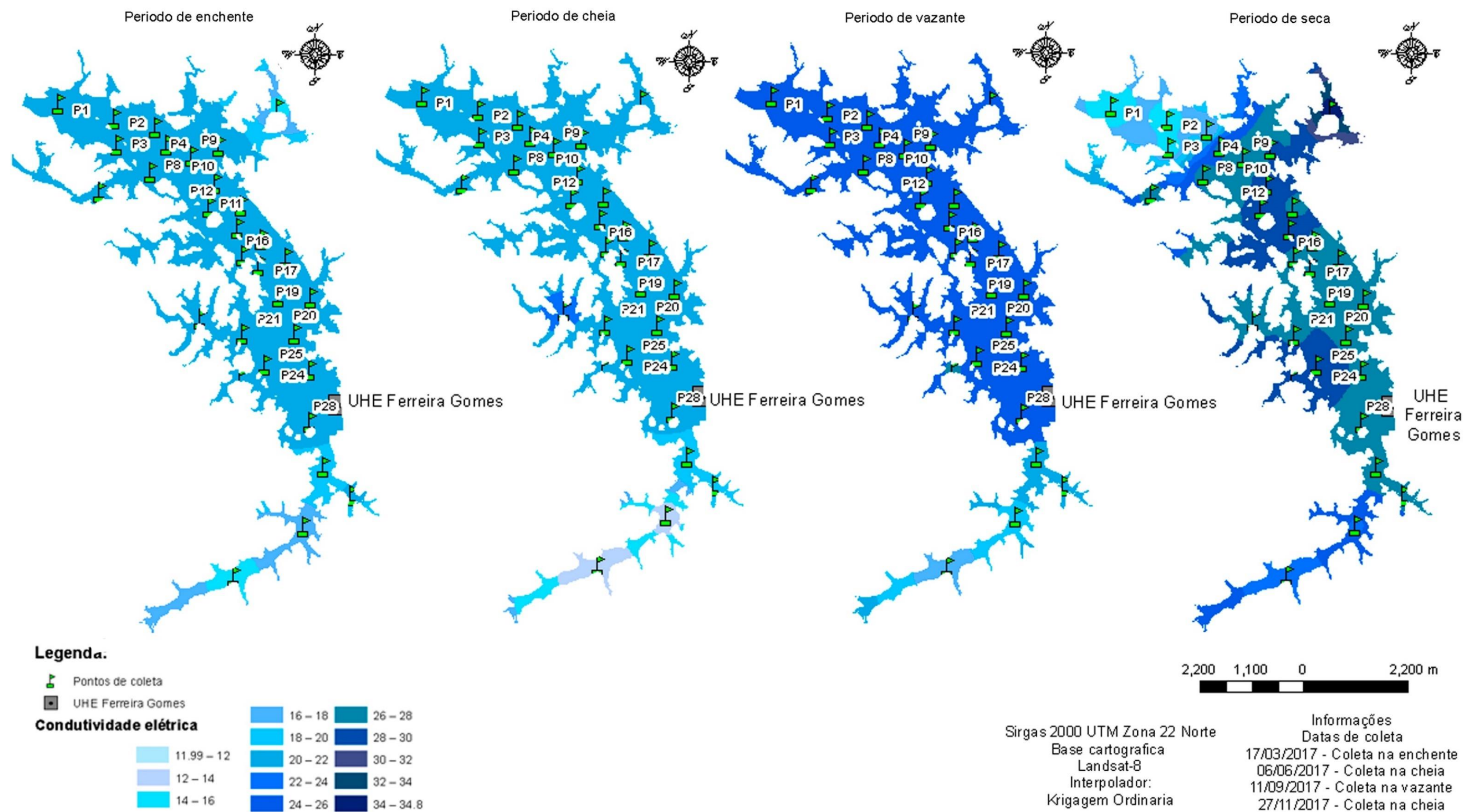
De fato, essa variável indica as condições do metabolismo aquático sobre a produção primária que causam uma redução nos valores da condutividade elétrica, já que as algas e os fitoplânctons consomem os sais dissolvidos. Assim, o aumento dos valores de condutividade elétrica pode ser ocasionado por uma decomposição de matéria orgânica presente no corpo hídrico. Outros fatores que podem alterar a condutividade elétrica são o intemperismo das rochas e a lixiviação dos solos presentes na bacia (QUEIROZ *et al.*, 2016).

As áreas com menores valores de concentração de condutividade elétrica são as áreas a jusante do reservatório da UHE Ferreira Gomes, conforme Figura 58. Nesse sentido, a maior concentração de condutividade elétrica na área foi de 26 a 27 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Isso ocorre porque esta área, influenciada pelo Igarapé do Prata, que apresenta águas claras, oferece menor condutividade elétrica na água. Não obstante, a maior concentração de condutividade elétrica foi registrada às margens do leito do rio Araguari, antes do alagamento dessas áreas. Isto mostra que, apesar dos dois anos da construção do reservatório, o processo de decomposição das áreas de vegetação continua existindo no corpo hídrico.

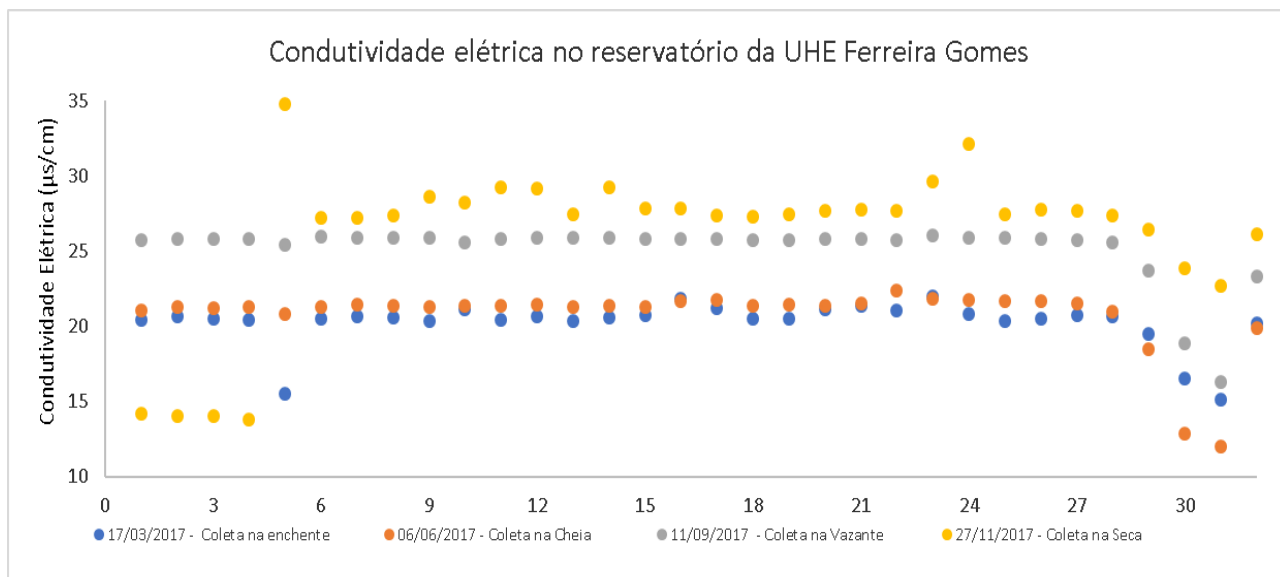
O período que apresentou a maior concentração de condutividade elétrica foi o de seca, como pode ser verificado na Figura 59, mais à frente. Além disso, o ponto 5 apresentou a maior concentração de condutividade elétrica, com 34,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por causa da proximidade das áreas alagadas e devido à estação seca ter uma maior temperatura, de modo que o processo de decomposição da matéria orgânica é maior. Já os pontos 1, 2, 3 e 4 apresentaram menor valor de condutividade elétrica, devido, principalmente, à época de seca, em que o reservatório tem menor volume de água.

Finalmente, as menores concentrações de condutividade elétrica foram encontradas no campo da enchente e no campo da cheia, conforme a Figura 60. Isso ocorreu porque são as duas estações com maior volume de água no reservatório e, conseqüentemente, uma menor concentração de íons no corpo hídrico.

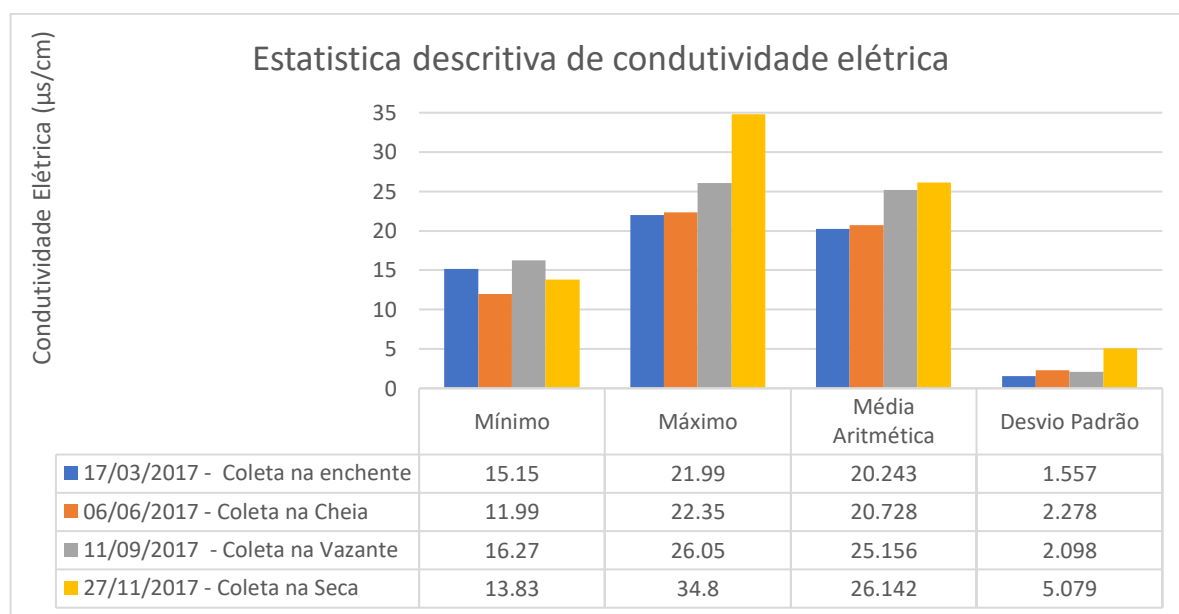
Figura 58 – Espacialização dos dados da condutividade elétrica no reservatório da UHE Ferreira Gomes no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 59 – Gráfico de concentração da condutividade elétrica na UHE Ferreira Gomes

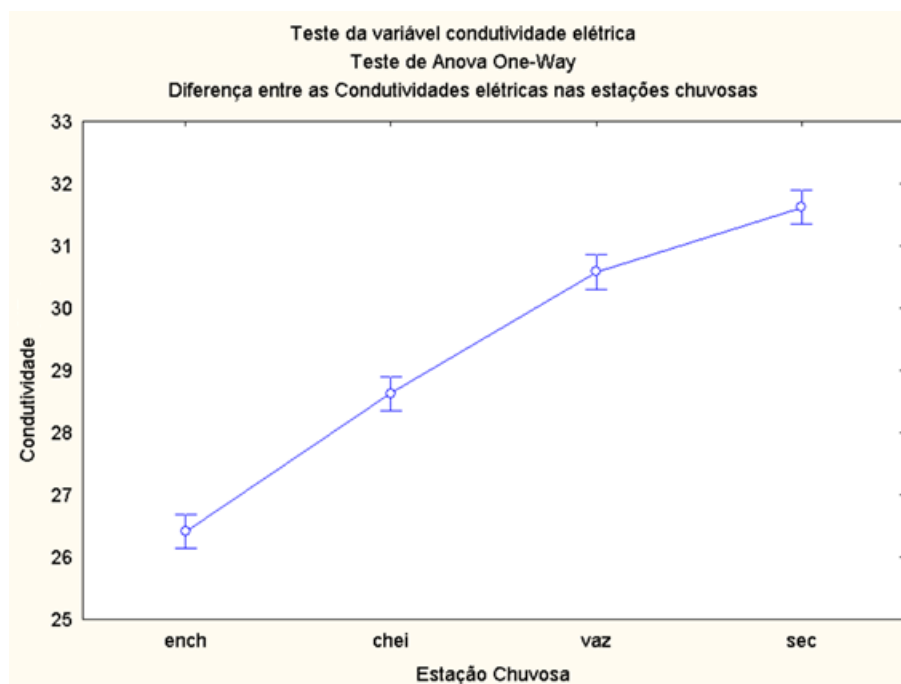
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 60 – Estatística descritiva do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Com efeito, para verificar se alteração da anomalia climatológica interferiu nos dados realizados, realizou-se o teste de Anova *one-way*, registrado na Figura 61. Assim verificou-se que houve diferenças entre as estações de precipitação em todas as estações chuvosas. Para respaldar os dados, foi realizado o Teste de *Fisher* e obteve-se o valor de 0,005, que foi menor que a significância 0,05. Isto mostra que, mesmo havendo anomalias climáticas na área do reservatório, os dados ainda apresentaram diferenças.

Figura 61 – Teste Anova one-way do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.1.3 *Análise do oxigênio dissolvido do reservatório da UHE Ferreira Gomes.*

As análises da concentração de oxigênio dissolvido mostram as condições aeróbicas dos corpos hídricos que são importantes para a biota aquática e para a manutenção dos processos naturais de autodepuração. Além disso, a concentração de oxigênio dissolvido serve para detectar impactos ambientais e poluição orgânica. Nesse sentido, baixas concentrações indicam a presença de material orgânico, porque as bactérias decompositoras fazem o uso do oxigênio para realizar a decomposição desse material. Por isso, se as bactérias consumirem de maneira rápida e intensa o oxigênio durante a decomposição dos poluentes orgânicos, pode haver a morte de diversos seres aquáticos (SILVA e ARAÚJO, 2017).

As principais fontes de oxigênio no corpo hídrico são por meio do processo de reaeração, que consiste na troca de oxigênio da atmosfera com a movimentação da água. Além disso, outro gerador de oxigênio no ambiente aquático é a produção das algas e dos fitoplanctons, por meio de fotossíntese. Isto faz com que haja uma variação da concentração de oxigênio dissolvido na água, do dia para a noite, já que durante os processos noturnos não ocorre a fotossíntese no meio ambiente, devido à falta de luz (SILVA e ARAÚJO, 2017).

Segundo a resolução CONAMA 357, de 2005, os padrões de qualidade de água de classe 1 devem ter no mínimo 6mg/L. Na segunda classe, o mínimo estabelecido é de 5 mg/L. Já na terceira classe, o mínimo é de 4 mg/L e, finalmente, na quarta classe, é de 2 mg/L.

Não obstante, a concentração de oxigênio dissolvido pode variar a partir da salinidade do corpo hídrico, da temperatura do reservatório e de sua altitude. Quanto maiores forem estas variáveis ambientais, menor será a concentração de oxigênio dissolvido, como acontece na Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes (SILVA e ARAÚJO, 2017).

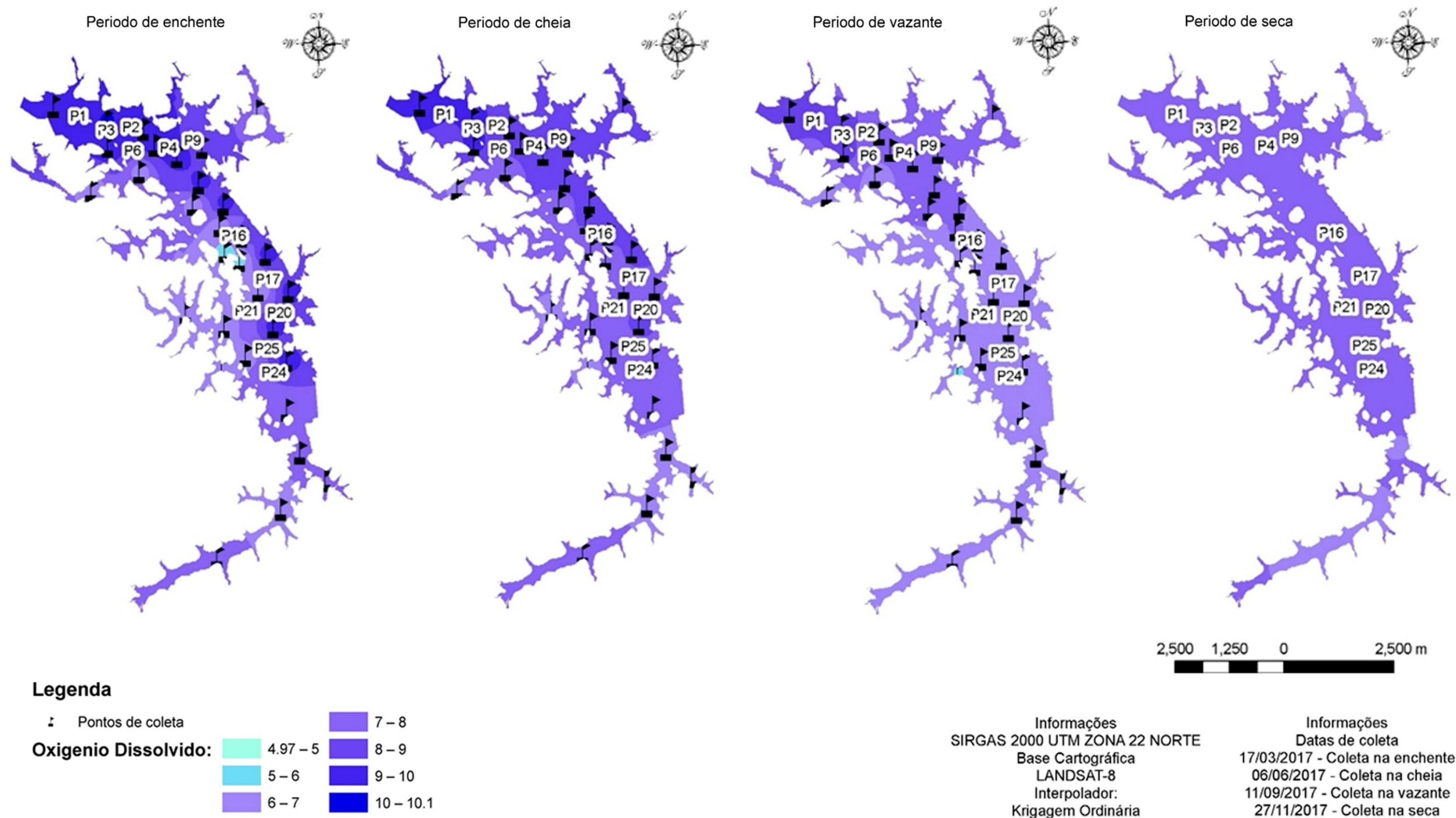
Nas coletas dos períodos de enchente e cheia, as maiores concentrações de oxigênio dissolvido ocorreram nas áreas mais próximas ao vertedouro da barragem do reservatório de Coroacy Nunes, como pode ser visto na Figura 62. Isto ocorre porque nas áreas do vertedouro ocorre o processo de reaeração, que faz com que haja oxigenação da água.

Nos trabalhos de campo realizados durante o ano, o menor valor foi classificado como de classe 3, porque foram notadas concentrações de oxigênio dissolvido menores do que 5 mg/L (Figura 63). Esta pequena quantidade ocorreu no ponto 16, durante o período de enchente, que apresentou um valor de concentração de oxigênio de 4,97 mg/L, devido ao fato de este ponto estar localizado próximo à matéria orgânica alagada da floresta ombrófila que havia na área, a qual estava sendo decomposta por bactérias aeróbicas (TUNDISI; TUNDISI, 2016).

Já no trabalho de campo durante a vazante o reservatório, o menor valor foi classificado como sendo da classe 2, porque o ponto 23 apresentou uma concentração menor do que 5,93 mg/L, já que este ponto está localizado entre duas pequenas ilhas, fazendo com que a água nesta área fique mais parada do que em outros pontos. Por isso, a biota da região consome o oxigênio e as trocas de água são menores.

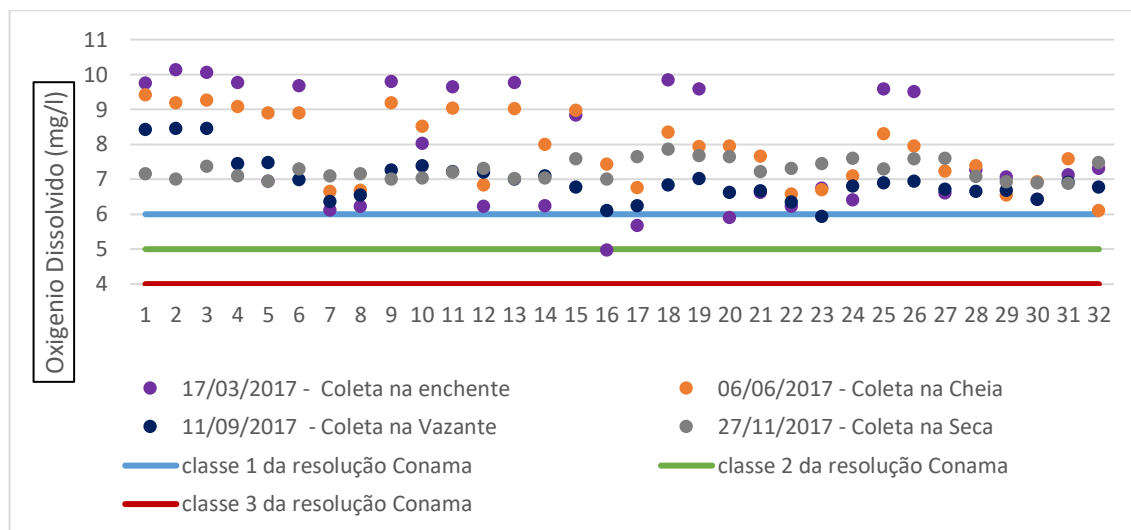
Finalmente, os pontos com maiores concentrações de oxigênio dissolvido são os pontos 1, 2, 3 e 4, mais próximos do vertedouro da UHE Coroacy Nunes, que, nas estações de cheia e seca, caracterizam o reservatório como classe 1, pois em nenhuma das amostras ocorreram concentrações de oxigênio dissolvido menores do que 6 mg/L, conforme esclarece a Figura 6

Figura 62 – Espacialização de dados de oxigênio dissolvido nas estações de enchente, cheia, vazante e seca do reservatório da Ferreira Gomes Energia



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

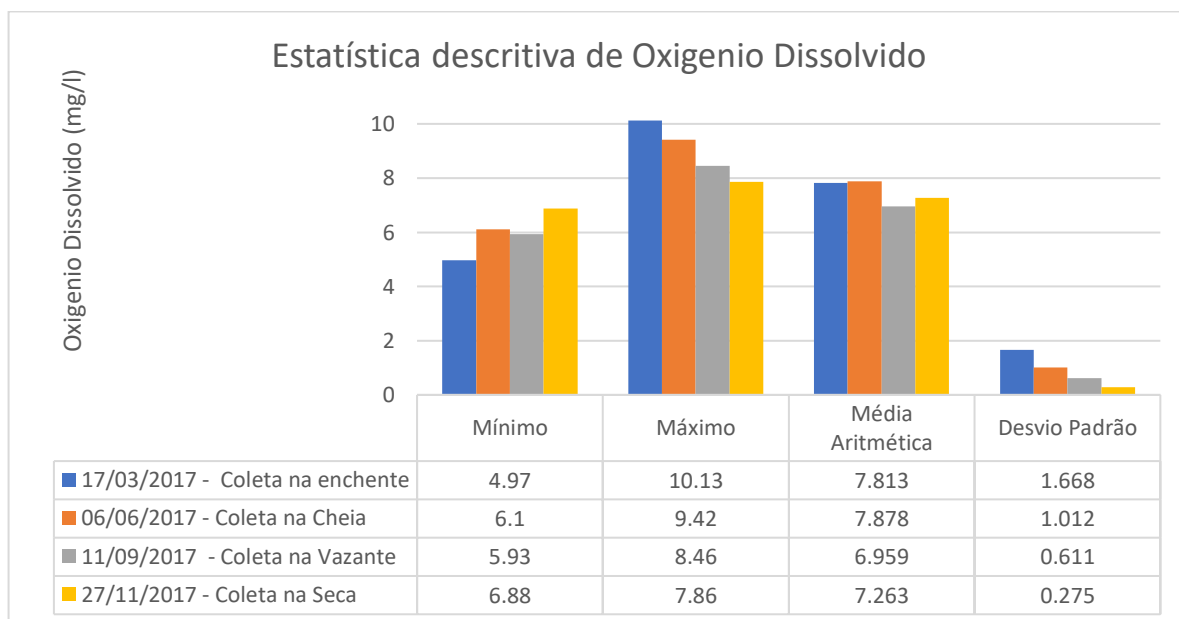
Figura 63 – Gráfico de concentração de oxigênio dissolvido no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A partir dos estudos de estatística descritiva, identificou-se que, durante o trabalho de campo no período da seca, ocorreu menor variação de oxigênio dissolvido no corpo hídrico. Por outro lado, o maior valor obtido foi durante o campo de enchente, com o valor de 10,13 mg/L no ponto 2, como mostra a Figura 63.

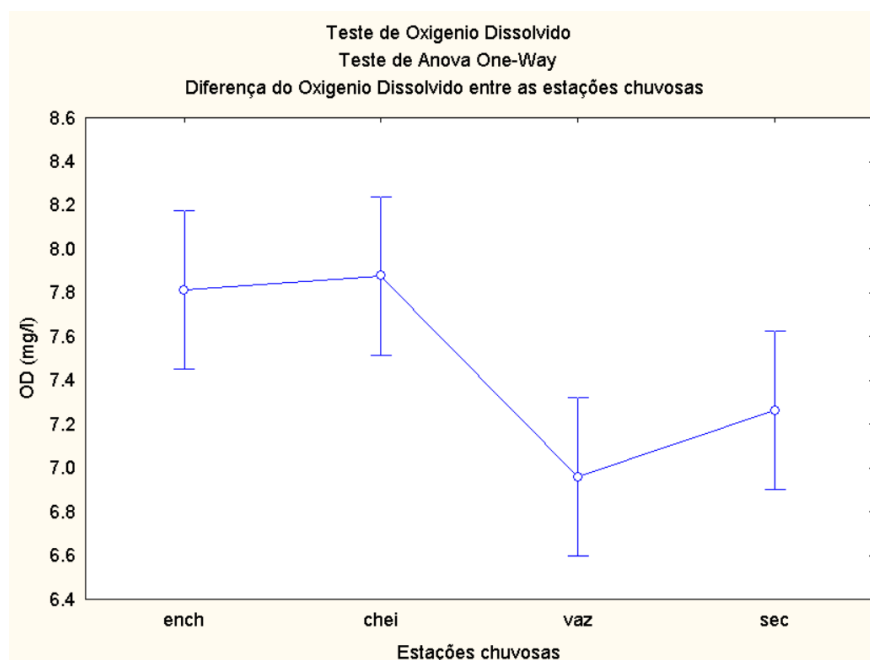
Figura 64 – Estatística descritiva de concentração de Oxigênio Dissolvido



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Com efeito, a partir dos dados de anomalia climatológica que ocorreu no ano de 2017, verificou-se que houve alguma interferência da estação de seca, como pode ser percebido na Figura 65. De fato, notou-se que os dados de enchente e cheia são similares, mas apresentam grande diferença dos dados de vazante e seca. Isso foi verificado por meio do teste de *Fisher*, que apresentou um valor de 0,02, com a significância de 0,05, valor que mostra a diferença entre os dados coletados.

Figura 65 – Teste de Anova one-way nas concentrações de Oxigênio Dissolvido



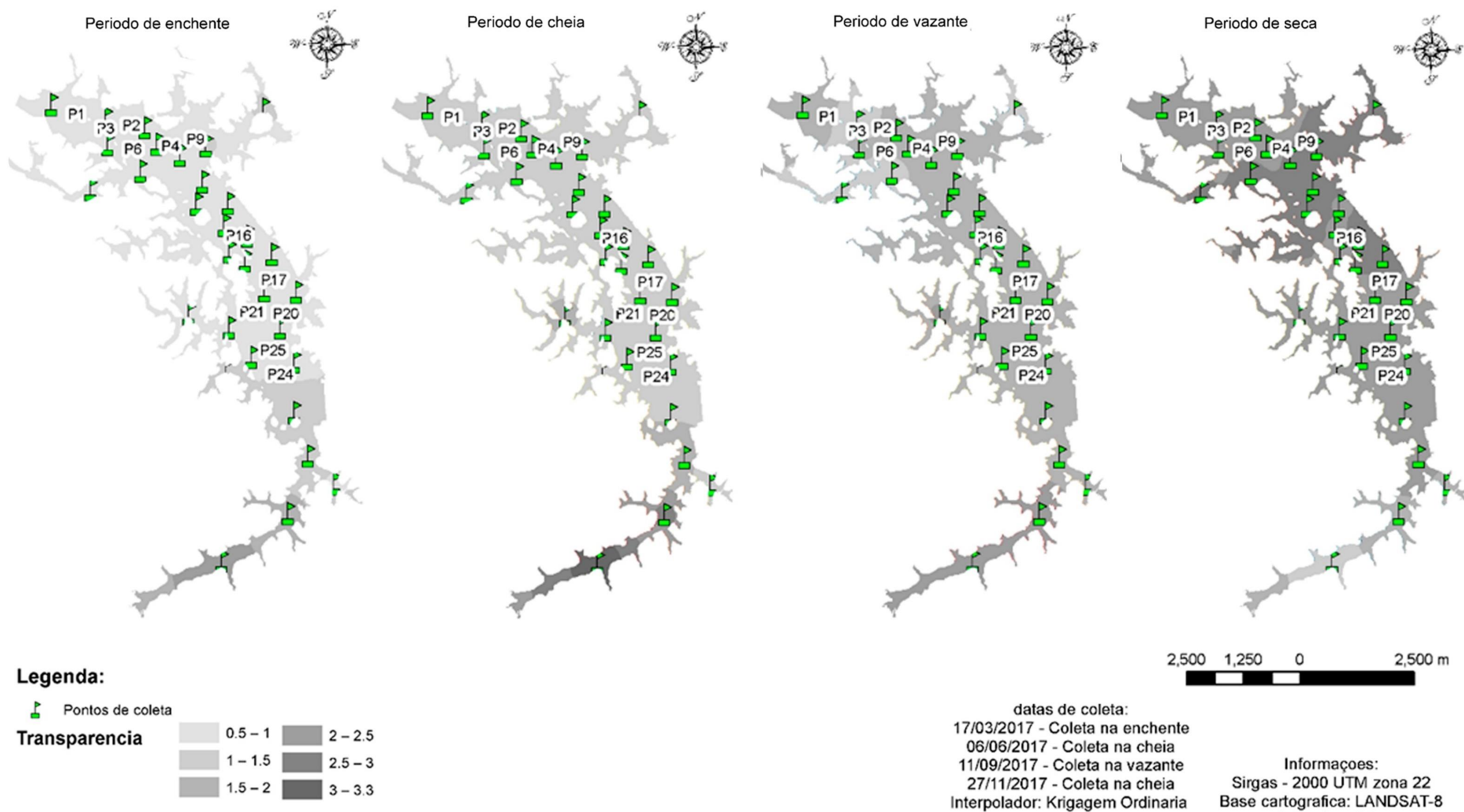
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.1.4 Análise da transparência da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

A transparência da água é importante porque serve para a mensuração da zona eufótica, que são as regiões onde ocorre o processo de fotossíntese no ambiente aquático (CANFIELD *et al.*, 1985).

Sendo assim, identificou-se que os maiores valores de transparência foram detectados durante a coleta de campo na cheia, enquanto os menores valores foram encontrados durante a enchente, que foi a única época chuvosa do ano. Além disso, na estação chuvosa os pontos 30 e 31 foram os que apresentaram maior profundidade, por fazerem parte de uma área de maior influência do Igarapé do Prata, localizado na região sudoeste do reservatório e que se caracterizava por ser de águas claras, a jusante do reservatório, conforme a Figura 66.

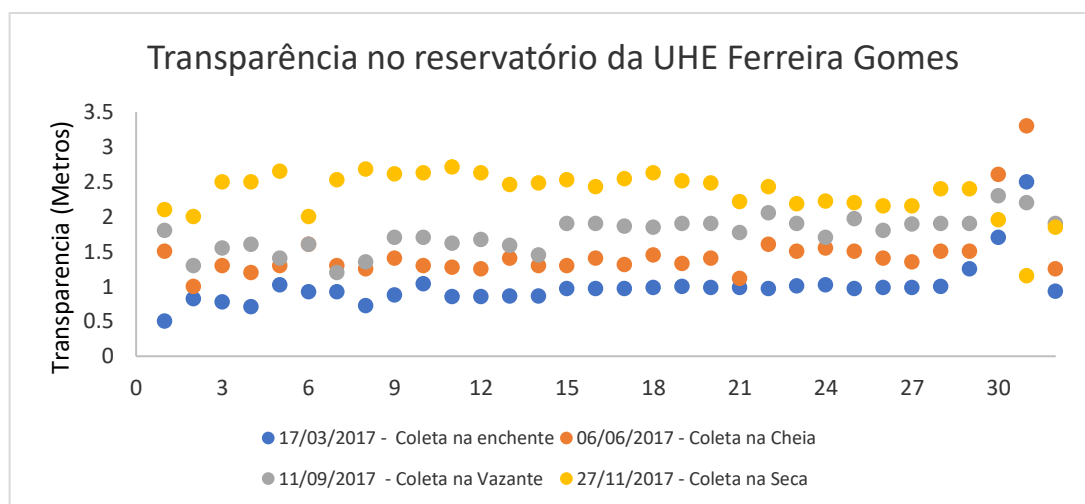
Figura 66 – Espacialização dos dados coletados de transparência no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Os valores na época de enchente foram de 1 a 2 metros e corroboram os resultados encontrados por Rios-VillaMizar *et al.* (2011), na bacia do rio Purus, que se caracteriza por ser de águas escuras. Assim, os menores valores de transparência ocorreram durante o período de enchentes, como pode ser visto na Figura 67.

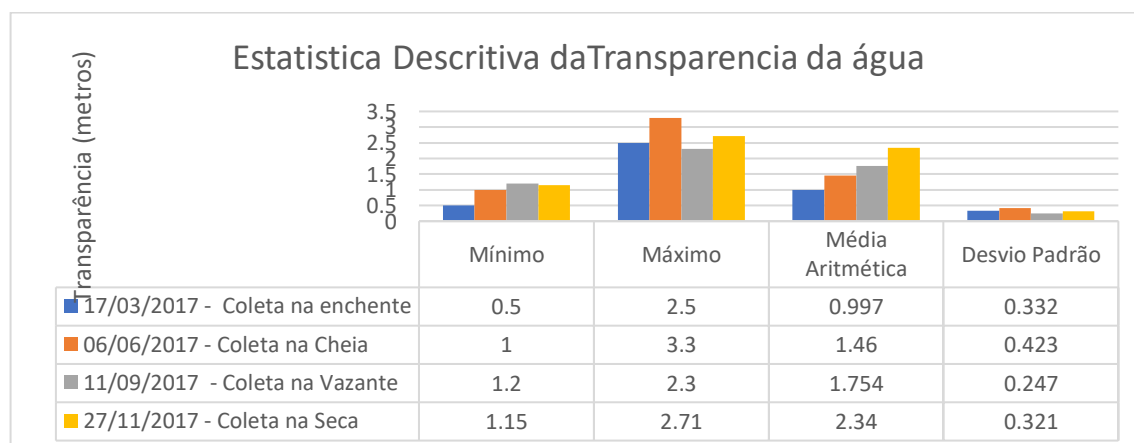
Figura 67 – Gráfico de transparência no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

De fato, o reservatório da UHE Ferreira Gomes é caracterizado pelas águas escuras, com baixíssima carga sedimentar, principalmente nos períodos mais secos, o que faz com que ela apresente uma alta transparência, como mostra a Figura 68. Assim, a maior média de transparência ocorreu durante o campo de seca, com 2,71 metros. Por outro lado, nas épocas de maior quantidade de chuvas, há uma menor transparência.

Figura 68 – Estatística descritiva da transparência do reservatório da UHE Ferreira Gomes



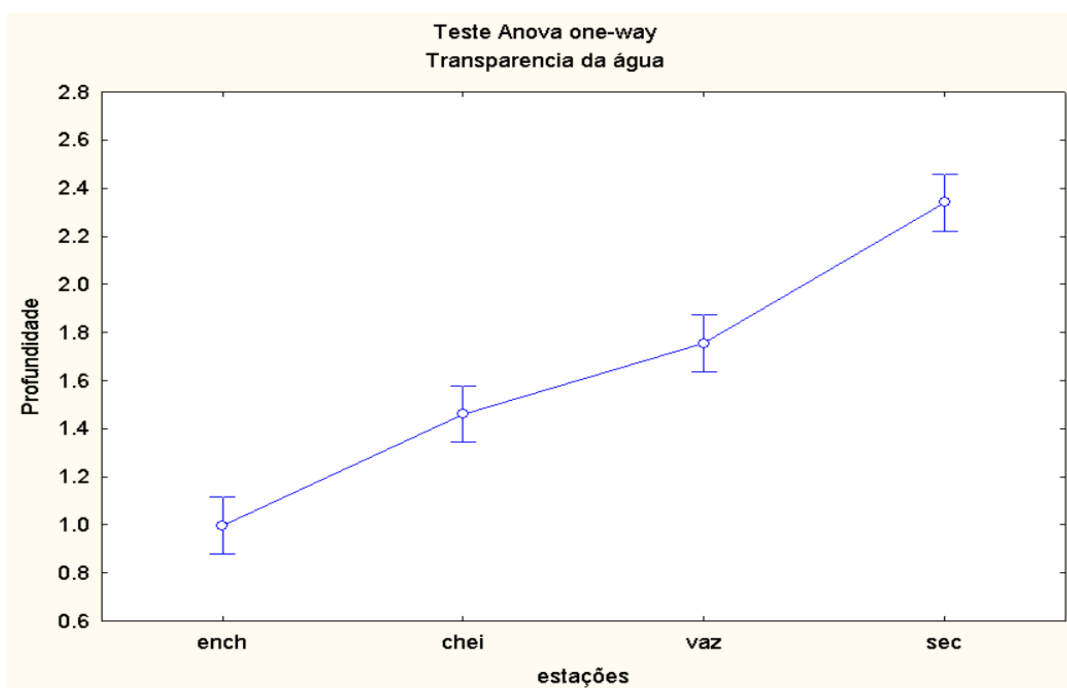
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Verificou-se, nas coletas anteriores, que o reservatório da UHE Ferreira Gomes apresentou, em julho de 2015, uma média de 1,25 metros de profundidade, mas em janeiro de 2016 a mensuração foi de 1,70 metros e, no mês de maio, o valor foi de 0,87 metros (COTA e VITORINO, 2017). Isto mostra que nos períodos de chuva a transparência é menor e, nos períodos de seca, maior.

Dessa forma, verificou-se que existe diferença entre os dados coletados, mesmo sendo a pluviosidade muito baixa e, assim, foi possível discernir a diferença entre as estações, por meio dos dados coletados, como evidencia a Figura 69. Além disso, o teste de Fisher apresentou o valor de 0,0002, que é menor que o valor significativo de 0,05, mostrando a diferença dos dados entre as coletas de transparências nas quatro épocas do ano.

Figura 69 – Teste de Anova one-way de transparência da água do reservatório UHE

Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.1.5 Análise do pH da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

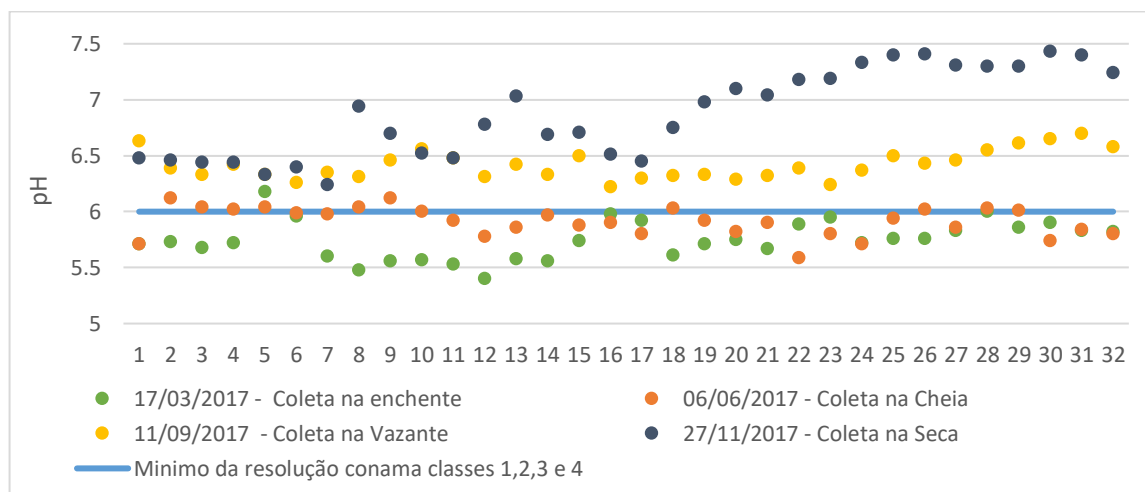
O pH é importante para o meio ambiente porque controla as reações químicas que ocorrem no meio aquático. Assim, nos estudos de novos reservatórios, ele é vital para o estudo dos ambientes aquáticos que foram instalados, principalmente porque houve a alteração do ambiente lótico para o lântico o que causou alagamento de grande parte da floresta. Ou seja, a

decomposição de grande parte da floresta e da matéria orgânica altera a qualidade da água e do pH da biota aquática (ROCHA *et al.*, 2014; PINHO *et al.*, 2018).

Os menores valores de pH ocorrem nas épocas de vazante e de seca, que apresentam menor precipitação e, conseqüentemente, menor processo de lixiviação de ácidos húmicos e fúlvicos para o espelho d'água. Segundo Sioli (1975), as águas escuras da Amazônia podem apresentar um pH entre 4,0 e 5,5 nas águas do rio Negro. Já no reservatório da UHE Ferreira Gomes, o pH não foi tão baixo em algumas regiões, pois o rio Araguari apresentava afluentes de águas claras, cujo pH é mais alto. No entanto, estes afluentes foram alagados com a construção do reservatório. Além disso, a influência do Igarapé Água da Prata, de águas claras, fez com que o pH dos pontos 29 e 30 fosse mais neutro durante a coleta de seca, como aponta a Figura 71, mais à frente.

Como efeito, no levantamento realizado para o cálculo do pH nas águas do reservatório da UHE Ferreira Gomes nas épocas de enchente e cheia, os valores variavam entre 5,79 e 5,91, mas nas épocas de seca e vazante, houve um aumento: os valores foram entre 6,47 e 6,87, conforme poder ser verificado na Figura 70. Assim, de acordo com a resolução Conama 357/2005, para os padrões de uso, nas épocas de seca não deve haver consumo e uso de água.

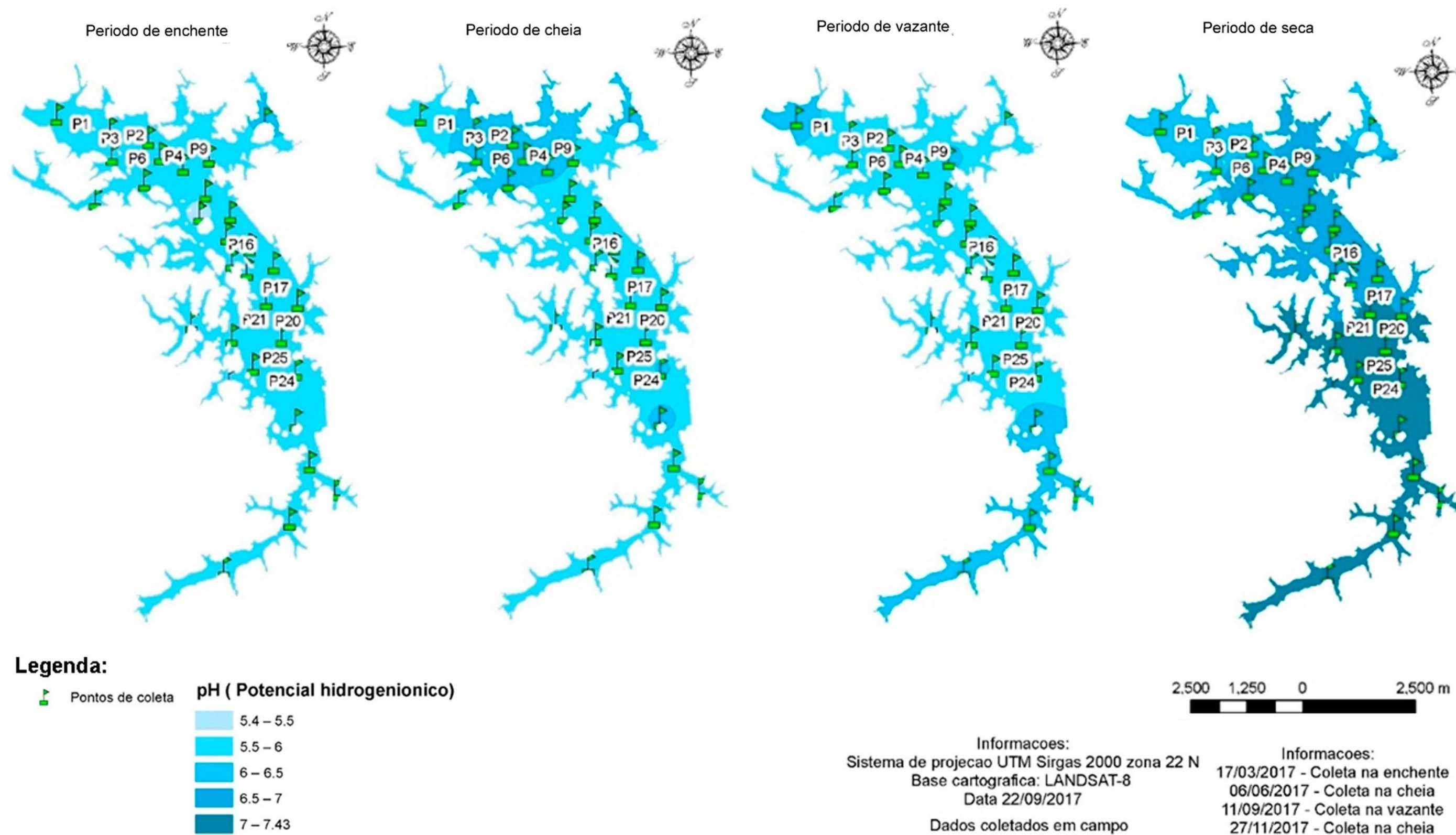
Figura 70 – Gráfico de pH no reservatório na UHE Ferreira Gomes



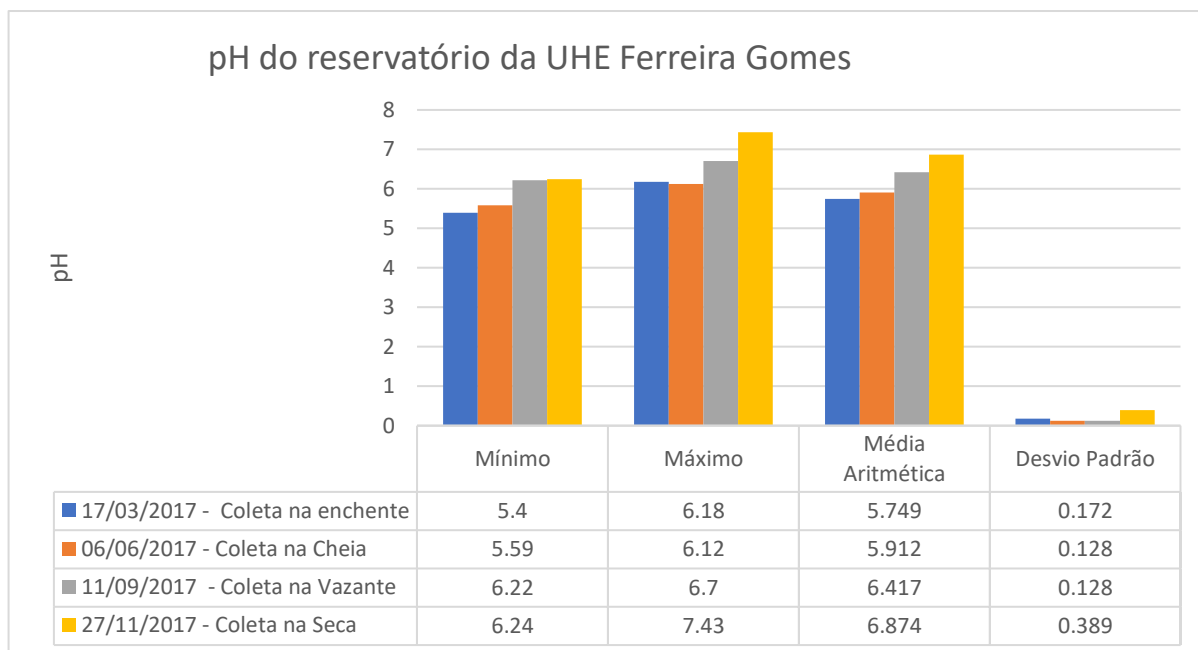
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Sendo assim, realizou-se a estatística descritiva dos dados coletados em campo durante a enchente, cuja média mais ácida foi no valor de 5,74, enquanto o pH mais alto, tendendo ao neutro, ocorreu durante a época de seca, como mostra a Figura 72. Isto ocorreu porque a vazão do reservatório da UHE Ferreira Gomes é menor na época de seca.

Figura 71 – Espacialização dos dados de pH no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 72 – Estatística descritiva de pH nos trabalhos de campo

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

De fato, apesar de em 2017 ter havido uma anomalia climática, os valores de pH dos anos anteriores, 2015 e 2016, decresceram, como evidencia a Tabela 22. Assim, segundo a resolução Conama 357/2005, somente em junho de 2015 a água apresentou condições de uso.

Tabela 22 – pH na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Épocas de coleta	Valor médio
junho de 2015	6,25
setembro de 2015	5,75
dezembro de 2015	5,60
março de 2016	5,20
junho de 2016	4,97
outubro de 2016	5,97

Fonte: Adaptado de Cota *et al.*, 2017

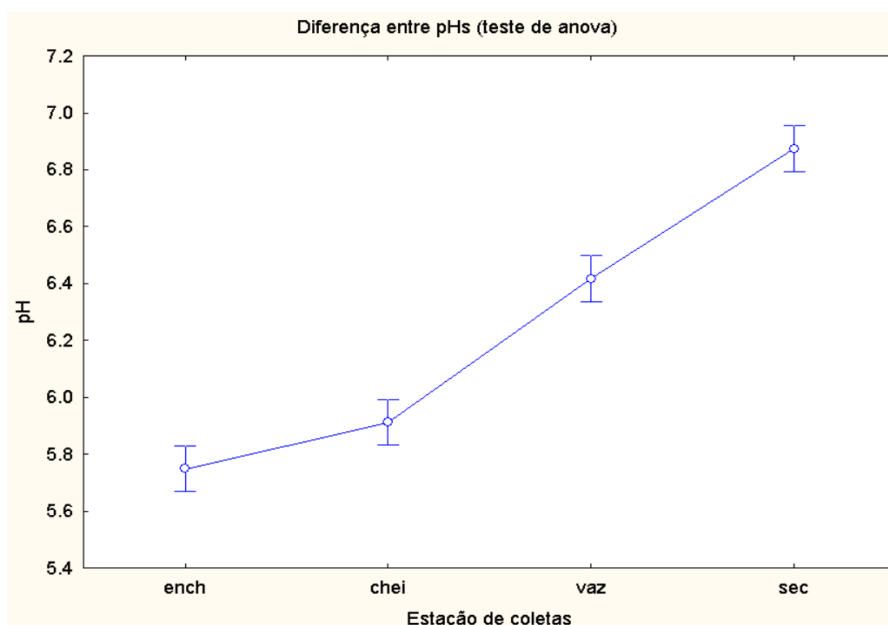
De qualquer forma, nas épocas de construção do reservatório os valores de pH não apresentaram valores diferentes dos coletados nos anos de 2015, 2016 e 2017. Além disso, segundo Cota (2015), os valores de pH em anos anteriores também variavam. Em 2013, no mês de maio o valor era de 5,72; em julho, o valor era de 5,25; e em agosto era de 5,92. Já no ano

de 2011, antes da construção do reservatório, o pH, em janeiro, era de 5,20 e, em junho, era de 6,10.

Segundo Brito (2009), na área do reservatório da UHE Ferreira Gomes a variação de pH (Tabela 22) era pequena e só chegaria a 6,31 devido à interferência da barragem. Ou seja, isso ocorreria pela reaeração da água causada pela construção da barragem. No entanto, o modelo de Barbara (2006), sobre a qualidade da água, mostra que a influência de pH para se ter maior acidificação nas épocas de seca se dá pela diminuição da vazão, como pode ser verificado no modelo espacial de seca, no qual o nível de acidez é maior. Mesmo assim, deve-se considerar a influência da grande quantidade de biomassa alagada na área do reservatório, já que espacialmente nas áreas onde havia floresta ombrófila o pH era mais ácido, devido à decomposição de matéria orgânica e à liberação de gás sulfídrico no ambiente aquático.

A partir disso, realizou-se a análise da diferença que existe entre as coletas, mesmo com uma anomalia de chuvas. Para tanto, foi realizado o teste de Anova *one-way*, com o objetivo de verificar a diferença entre as estações do ano, conforme Figura 73. Além disso, para a validação, foi feito o teste de *Fisher*, com valor de 0,01, que obteve o menor valor do que a significância de 0,05. Isto mostra a necessidade de se monitorar a coleta nas estações de chuva, de vazante, de seca, de enchente e de cheia.

Figura 73 – Teste Anova one -way de pH nos reservatórios da UHE Ferreira Gomes.



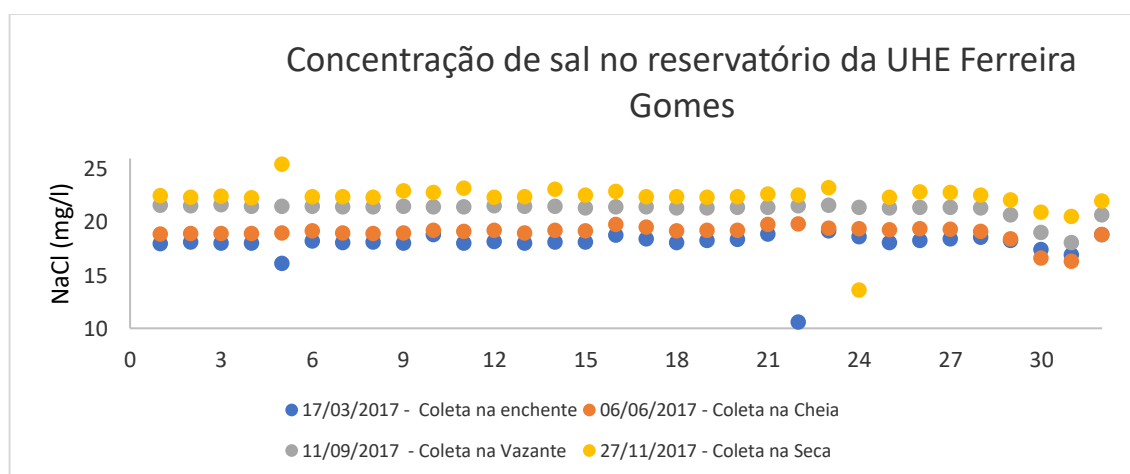
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

4.1.6 Análise da salinidade da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

A salinidade também é importante para a fauna e a flora do meio aquático, pois a quantidade de sais presentes no corpo hídrico influencia a densidade da água (Silva Brito *et al.*, 2016). Assim, no reservatório observado, os menores valores de salinidade verificados ocorreram no período de enchente e os maiores no período de seca, como mostra a Figura 74.

A maior concentração ocorreu no ponto 5, durante período de seca, e uma das menores concentrações ocorreu durante a enchente, de acordo com a Figura 74. Isto ocorreu porque durante o período de seca o fluxo de corpo da água é menor e, portanto, há maior concentração de sais.

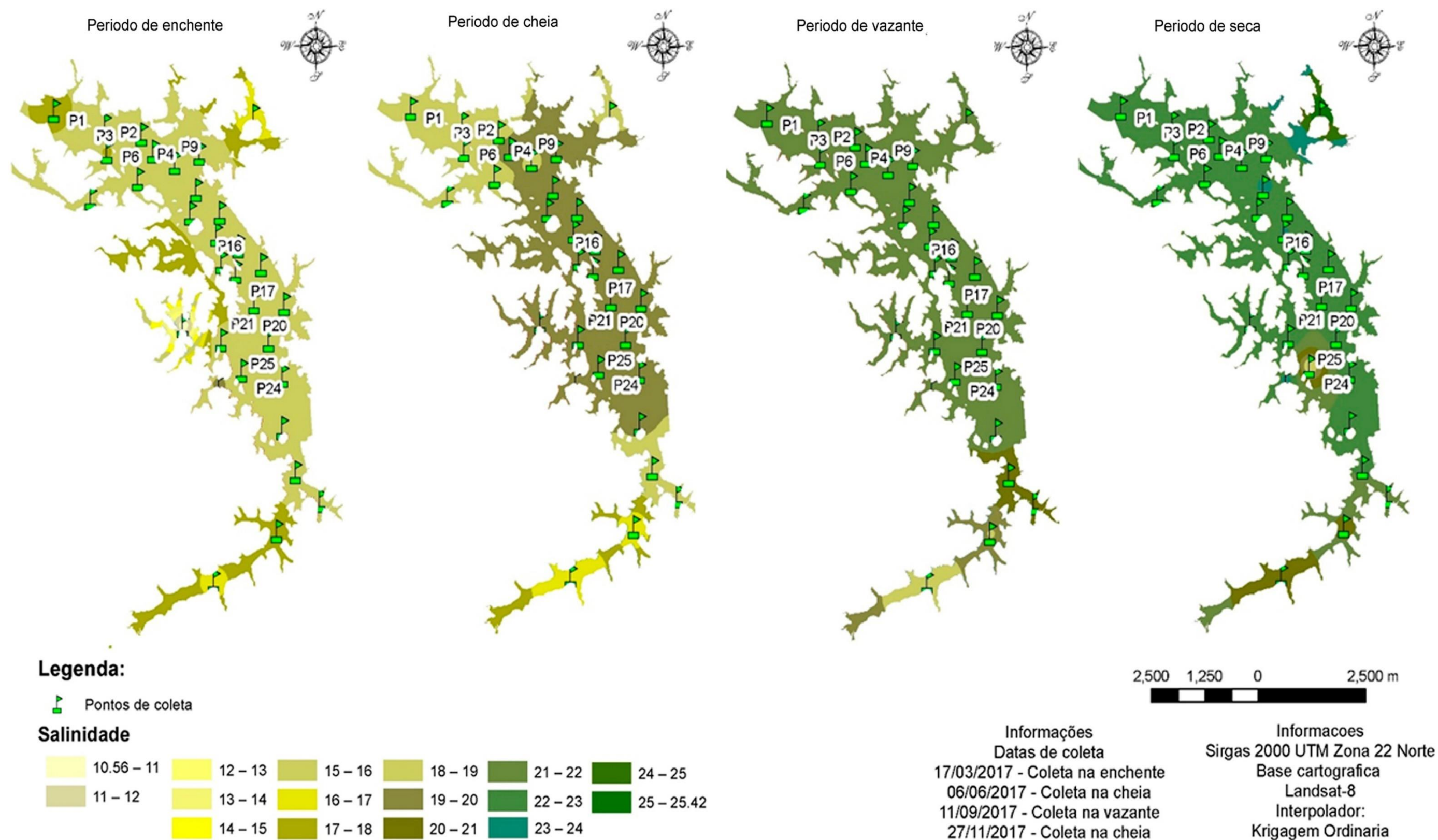
Figura 74 – Gráfico de salinidade no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

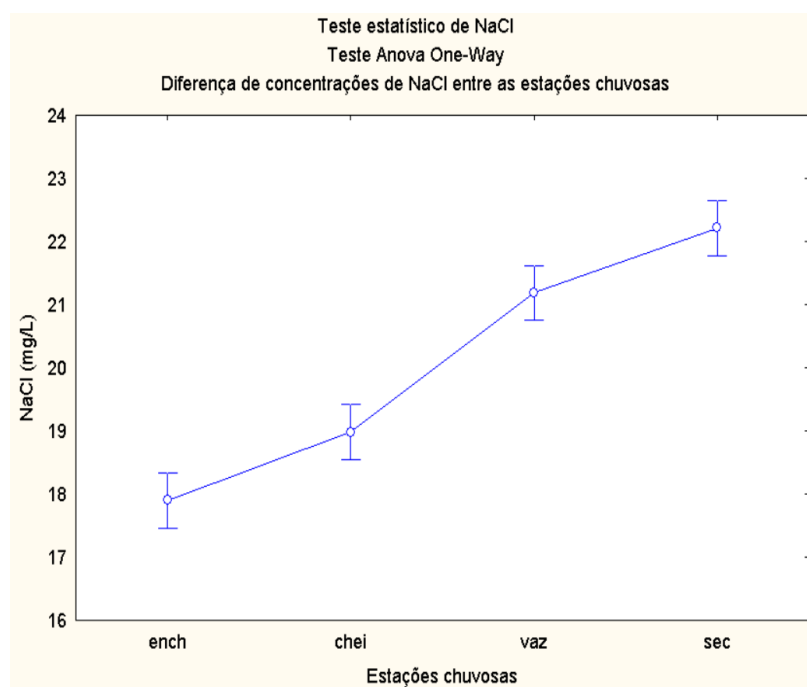
Também foi verificada uma diferença entre as estações de precipitação em relação à salinidade. Por isso, realizou-se o teste de Anova *one-way*, como mostra a Figura 75. Assim, detectou-se, através de *Fisher*, um valor de 0,002, que é menor do que o valor de significância de 0,05, mostrando que existe uma grande diferença de dados entre as estações de precipitação. De qualquer forma, apesar da diferença, os valores entre a vazante e a seca ficaram muito próximos.

Figura 75 – Espacialização da salinidade no ano de 2017 nos períodos de cheia, enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 76 – Teste de Anova One-Way de salinidade .no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

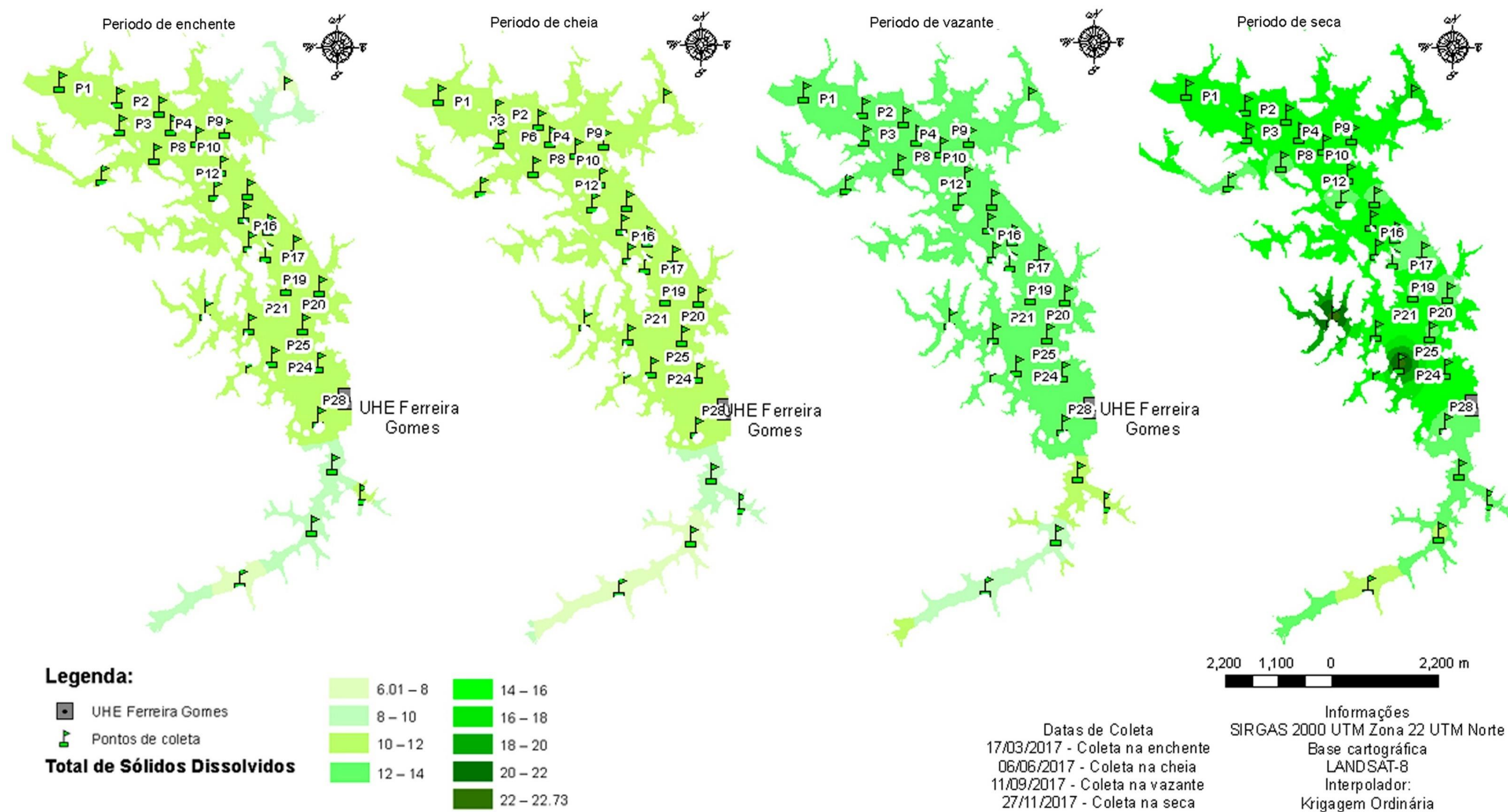
4.1.7 Análise do Total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes.

O total de sólidos dissolvidos na água é a quantidade de material orgânico e inorgânico presente no corpo hídrico. No reservatório da UHE Ferreira Gomes predominam águas escuras e, por isso, há mais carbono orgânico dissolvido, originário da decomposição de plantas e de animais, além dos produtos de excreção. Os principais componentes do carbono orgânico dissolvido são proteínas, carboidratos, lipídios e compostos húmicos (Sampaio *et al.*, 2018). Além disso, as substâncias húmicas dissolvidas são constituídas, em grande parte, por ácidos fúlvicos, devido à alta solubilidade em água.

A resolução Conama 357/2005 estabelece que o máximo de sólidos totais dissolvidos deve ser de 500 mg/L. Diante dessa variável ambiental, o total de sólidos dissolvidos no reservatório atingiu o valor máximo 23 mg/L, que ocorreu no ponto 25, durante a seca. Ou seja, o valor é muito mais baixo do que o máximo estabelecido pela resolução Conama 357/2005.

Além disso, as áreas com menor quantidade de sólidos dissolvidos estão a jusante do reservatório, onde havia o Igarapé do Prata, caracterizado por suas águas claras. De fato, os pontos 30 e 31 foram os que apresentaram a menor quantidade do total de sólidos dissolvidos, como se pode perceber na Figura 77.

Figura 77 – Mapa de distribuição do Total de Sólidos Dissolvidos no ano de 2017 nos períodos de cheia enchente, seca e vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Não obstante, dos pontos 21 a 24 houve maiores valores de total de sólidos dissolvidos, pois são os mais próximos das florestas ombrófilas que foram inundadas com a construção do reservatório.

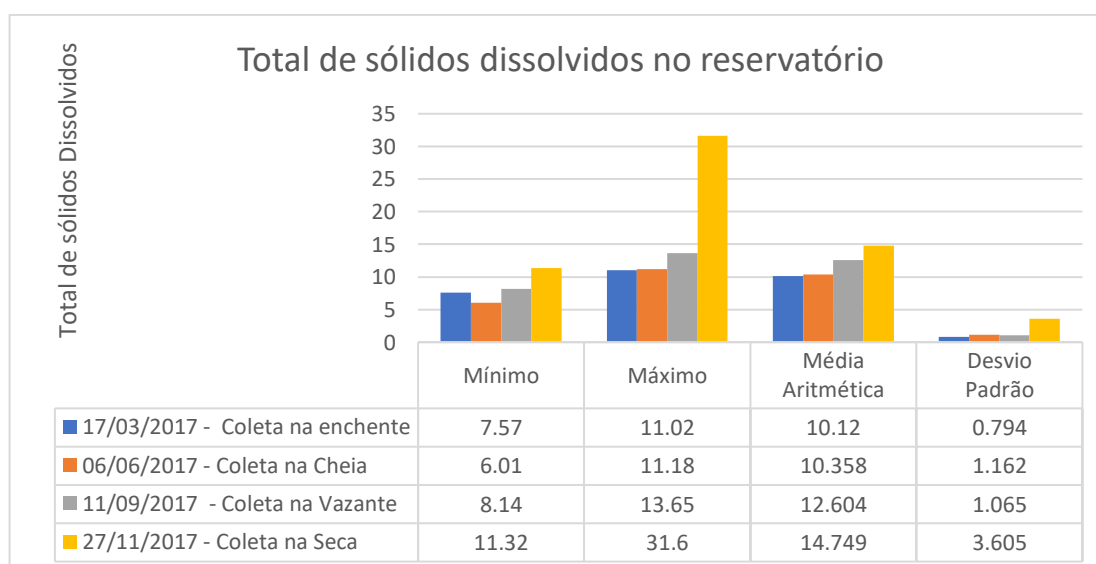
Verificou-se, também, que os maiores valores de sólidos dissolvidos ocorreram no período de seca, assim como a maior variabilidade de dados, como mostra a Figura 78. Este aumento da concentração de sólidos totais dissolvidos se deu por causa da diminuição de vazão de água no reservatório. Além disso, a época de enchente também apresentou menores valores, por causa do aumento da vazão de água, como se pode notar na Figura 79.

Figura 78 – Valores da concentração de Total de Sólidos Dissolvidos no reservatório



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

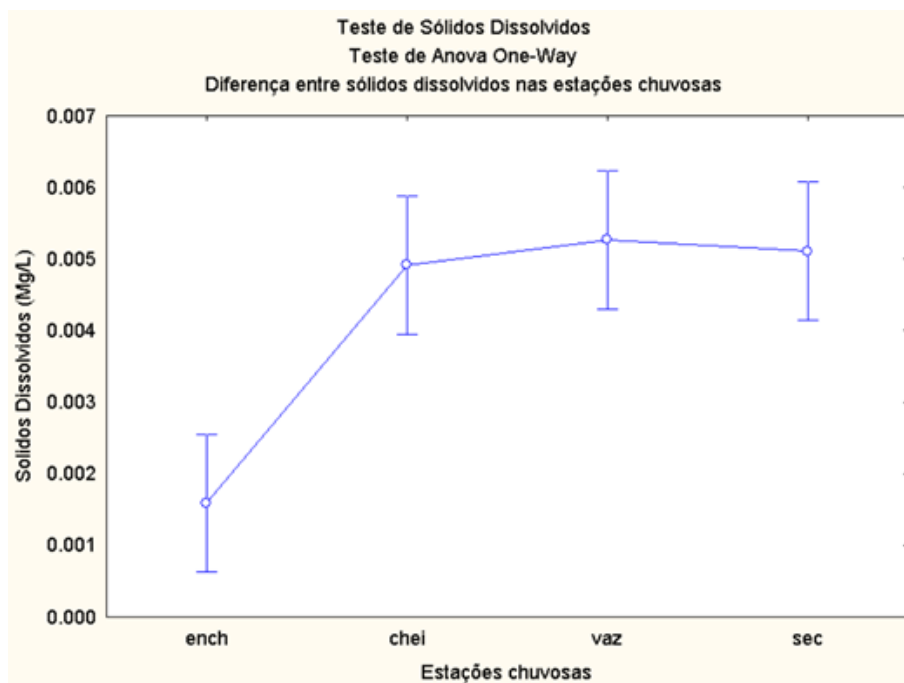
Figura 79 – Estatística descritiva dos valores de total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A partir disso, realizou-se o teste de Anova *one-way*, para verificar se houve diferenças entre os períodos de chuva, apesar de ter havido uma estação de seca prolongada no ano 2017. Assim, no teste de *Fisher*, o valor foi de 0,08, que é maior do que a significante de 0,05. Isto mostra que os valores de concentração dos sólidos dissolvidos na vazante, na seca e na cheia são muito próximos, como se pode notar na Figura 80.

Figura 80 – Teste anova one way de Total de Sólidos Dissolvidos



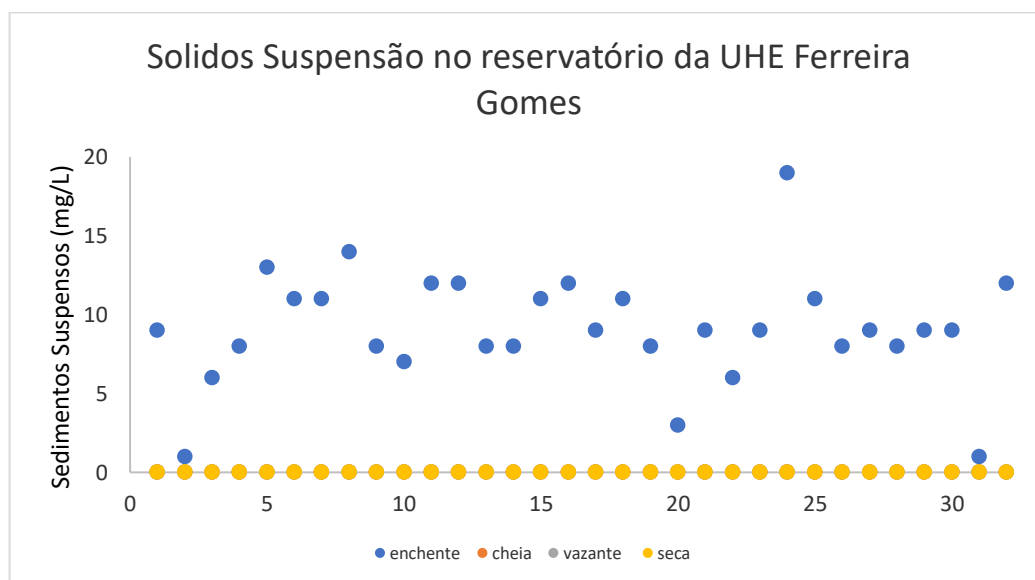
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Segundo Cota e Vitorino (2017), o valor de total de sólidos dissolvidos em 2010 apresentava uma média de 19,9 mg/L. Porém, em janeiro de 2011 houve uma média de 30,83 mg/L e, em junho de 2011, valor médio foi de 23,08 mg/L. Além disso, no ano de 2016, segundo Cota (2017), as medias de coleta foram menores do que 20 mg/L. Estes trabalhos mostraram resultados maiores do que os encontrados durante esta pesquisa, por causa dos efeitos da construção dos dois reservatórios, UHE Caldeirão e UHE Coroacy Nunes, a montante do Reservatório da UHE Ferreira Gomes.

4.1.8 Análise do Total de sólidos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes

O total de sólidos suspensos consiste na presença de sedimentos que ficam sobre o espelho d'água (CARVALHO, 2008; SILVA, 2003). Assim, no reservatório da UHE Ferreira Gomes, a maior concentração de sedimentos suspensos foi encontrada no ponto 24, durante a estação de enchente. Uma das razões que explicam isso é o fato de esta ser uma área em que predominam as ilhas, cuja geologia é de sedimentos inconsolidados, conforme a figura 81.

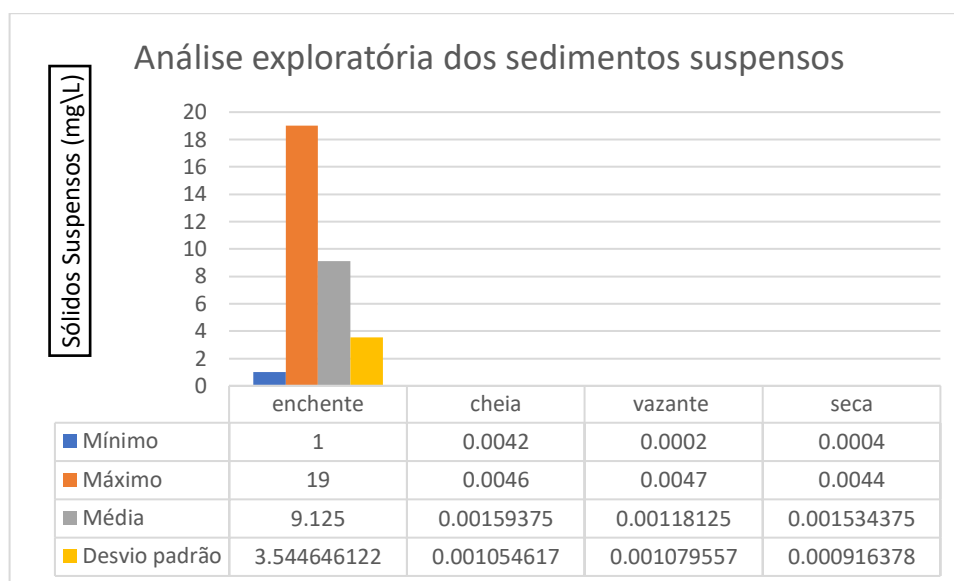
Figura 81 – Concentração de sólidos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Outro motivo que explica a maior presença de sedimento em suspensão no período de enchente é o maior índice de precipitação que ocorre na época de enchente. Por isso, quando a precipitação foi baixa, a concentração de sedimentos suspensos ficou próxima de zero (Figura 82). Isto mostra que grande parte dos sedimentos suspensos, advindos da nascente do rio Araguari, ficam retidos nos reservatórios de Coroacy Nunes e do Caldeirão.

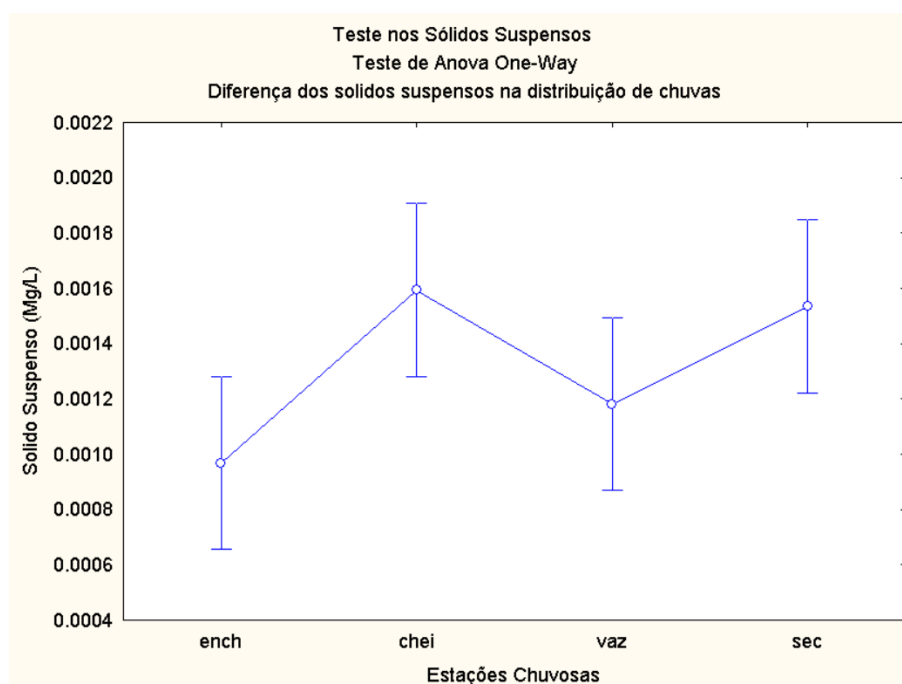
Figura 82 – Análise exploratória dos sólidos suspensos do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

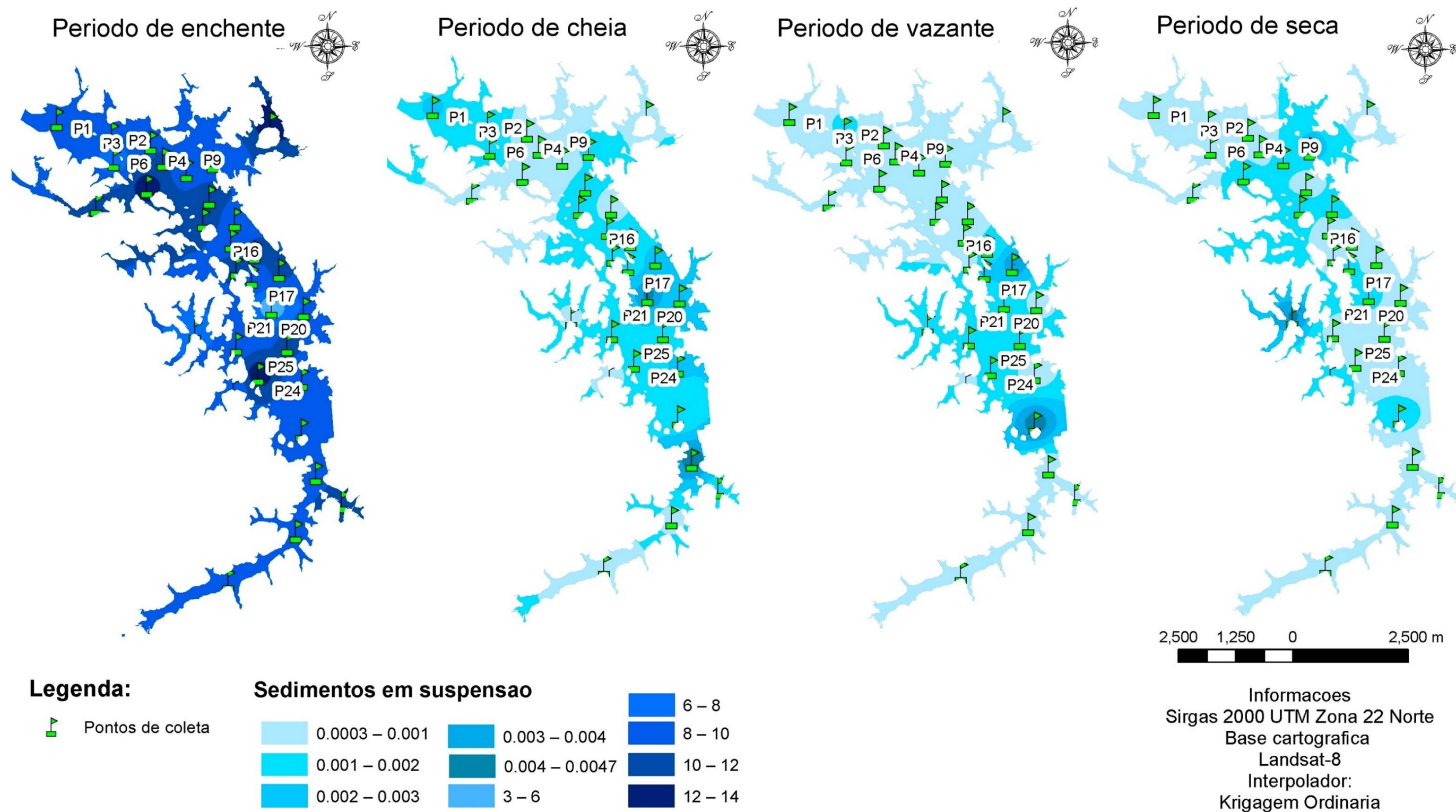
Não obstante, devido à anomalia climática de 2017, a fim de verificar se houve alguma diferença entre os dados, realizou-se o teste Anova *one-way*, o qual obteve um coeficiente de *Fisher* de 0,04 e confirmou essa diferença, como mostra a figura 83.

Figura 83 – Teste Anova de sólidos suspensos da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 84 – Mapa de sedimentos suspensos no reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2 Análise dos parâmetros químicos da água.

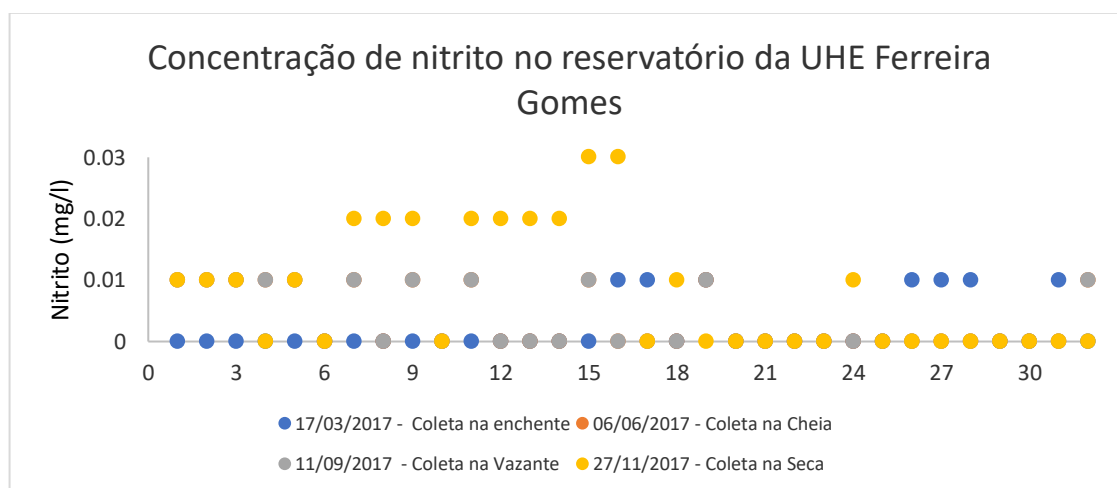
4.2.1 Análise do nitrito do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Os nitritos são uma forma de nitrogênio intermediária entre a amônia, que é a forma de maior oxidação, e o nitrato, que é mais oxidada. Em corpos hídricos com baixas concentrações de oxigênio ocorre a redução do nitrato, causando, com isso, o processo desnitrificação e, consequentemente, o aumento de nitrito (SANTOS *et al.*, 2016). Assim, presença de grandes concentrações de nitrito indica que o ambiente apresenta grande atividade bacteriana e pouco oxigênio dissolvido no corpo hídrico.

De fato, ao espacializar a concentração do nitrito do reservatório da UHE Ferreira Gomes, verificou-se que, na época de enchente, os maiores valores apareceram a jusante do reservatório, próximos a áreas de solo exposto, como evidencia a Figura 85. Já nas coletas de cheia e vazante, as maiores concentrações de nitrito ocorreram próximas à barragem da UHE Coroacy Nunes. Finalmente, a maior concentração encontrada neste estudo ocorreu no período de seca, devido à menor vazão de água.

Com efeito, o reservatório da UHE Ferreira Gomes, em relação à variável ambiental nitrito, pode ser enquadrado pela resolução Conama 357/2005 como classe 1, pois a maior concentração encontrada no reservatório foi de 0,03 mg/L, ficando muito abaixo do limite estabelecido, que é de 1mg/L. De fato, os maiores valores ocorreram nos pontos 15 e 16 (Figura 86), devido à alta concentração de matéria orgânica que foi lixiviada da ilha próxima ao reservatório.

Figura 85 – Gráfico de concentração de nitrito do reservatório da UHE Ferreira Gomes

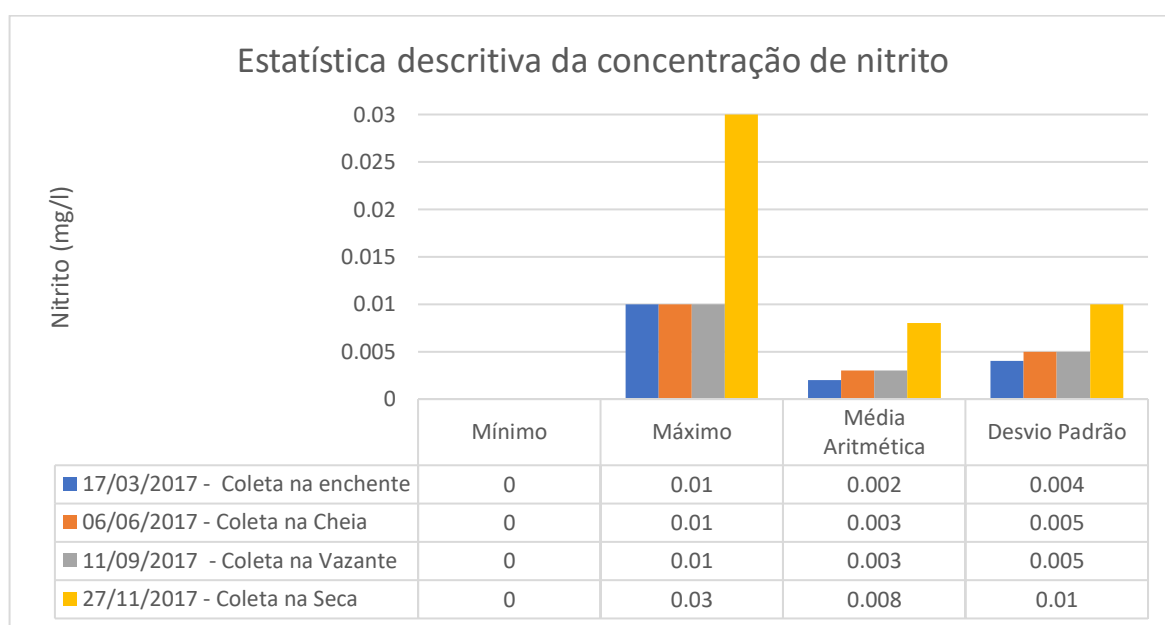


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A partir da estatística descritiva, identificou-se que em todas as estações houve pontos em que não foram detectadas concentrações de nitrito no reservatório da UHE Coroacy Nunes, como mostra a Figura 86. Além disso, identificou-se que a maior variação de concentração de nitrito ocorreu durante a estação de seca, conforme a Figura 87, mais à frente.

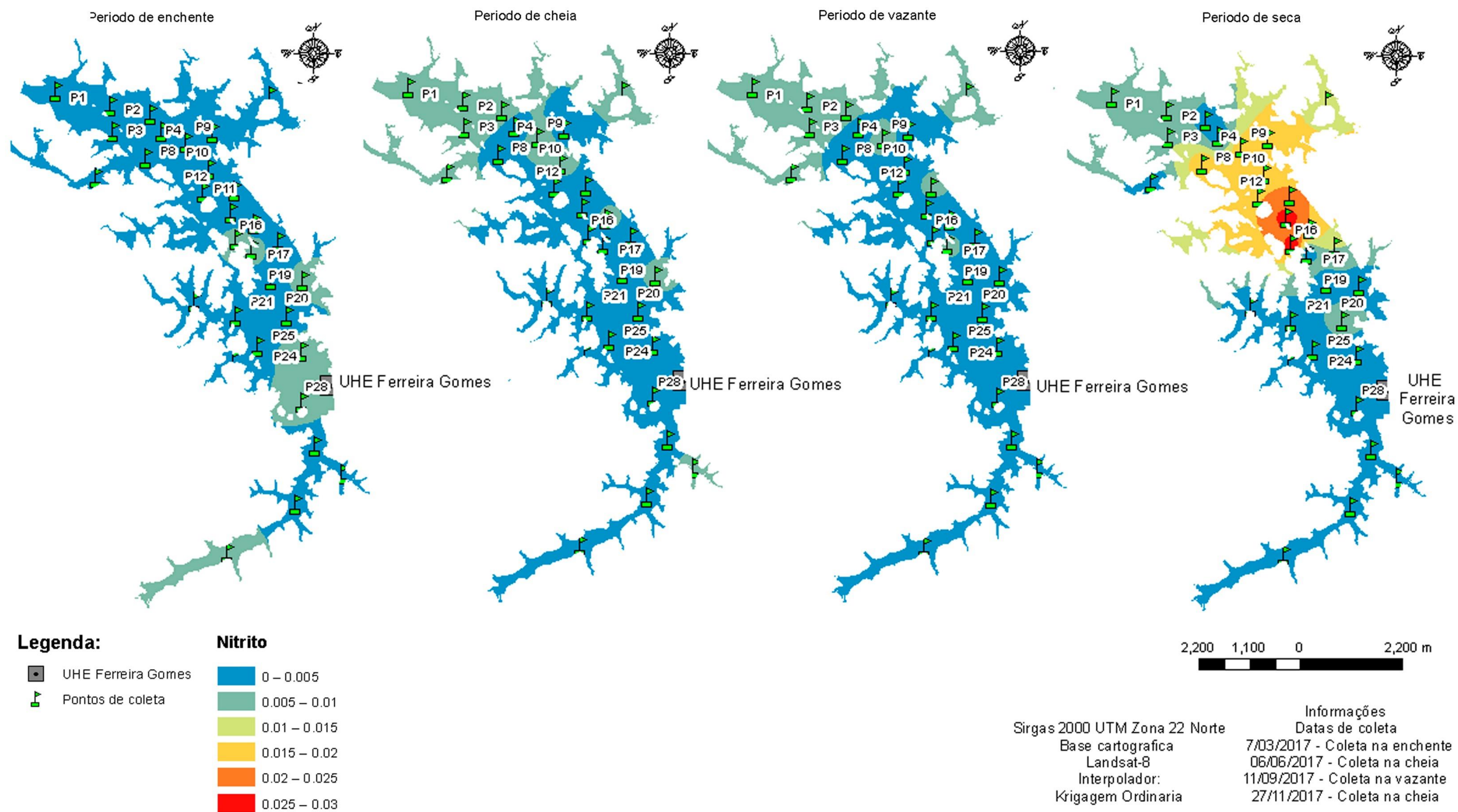
Segundo Cota (2017), em janeiro de 2011, antes da construção do reservatório, não se detectou nitrito no rio Araguari, mas em junho desse mesmo ano detectou-se uma máxima de 0,016mg/L e uma mínima de 0,004 mg/L, ou seja, a média foi de 0,005 mg/L.

Figura 86 – Estatística descritiva da concentração de nitrito



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

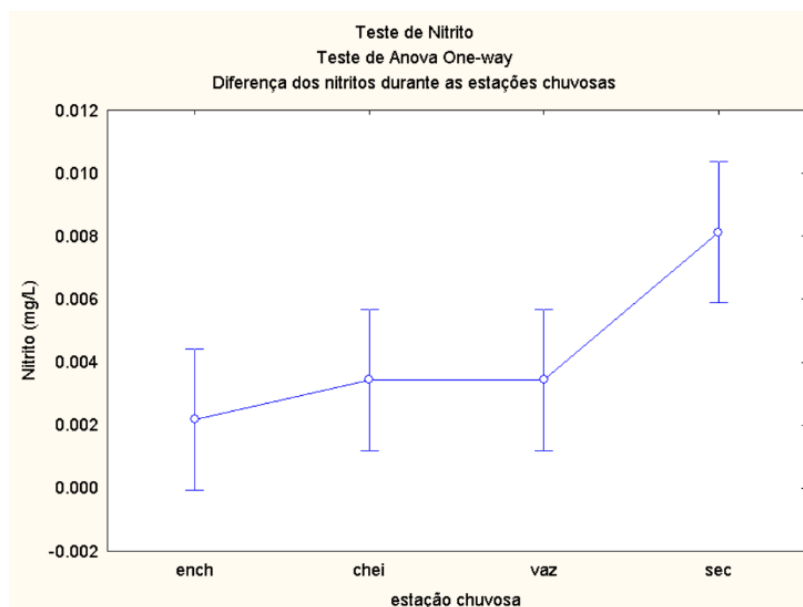
Figura 87 – Espacialização dos dados nitritos do ano de 2017



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Não obstante, para verificar se havia alguma diferença dos dados coletados, causados pela anomalia climática, realizou-se o teste Anova *one-way*, o qual mostrou que as informações durante os períodos de enchente, de cheia e de vazante são muito próximas, havendo diferença somente na estação de seca, como indica a Figura 88. Isso foi verificado no teste de *Fisher*, que obteve um valor de 0,09, com uma significância de 0,05, mostrando que os valores são semelhantes aos das concentrações de nitrito.

Figura 88 – Teste Anova One Way para diferenciação entre as estações climáticas



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.2 Análise do nitrato na água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

O nitrogênio é um dos elementos químicos mais importantes para a biota aquática, pois muitas reações necessitam dele. Além disso, ele faz parte dos constituintes dos seres vivos, a exemplo da formação de proteínas, e ainda serve como um dos limitantes da produção primária nos ambientes aquáticos. Assim, as principais formas de nitrogênio encontradas no meio ambiente são nitrogênio orgânico, como as proteínas e os aminoácidos, e nitrogênio amoniacal, como a ureia, o nitrito e o nitrato (MORETI; BIANCHESSI, 2013).

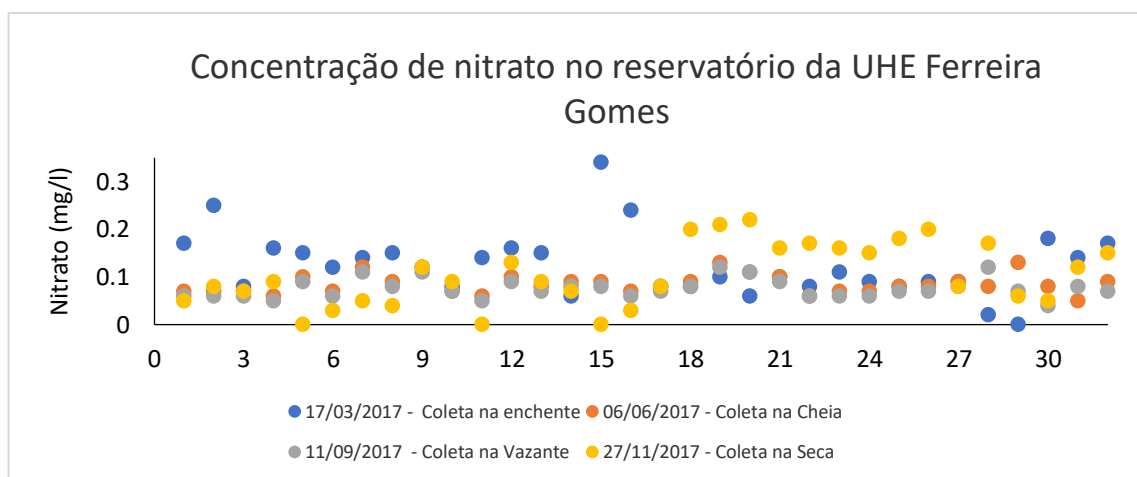
O nitrato é o elemento químico mais estável do nitrogênio e um dos principais nutrientes para a fauna. Esse elemento se origina, principalmente, da decomposição de matéria orgânica, mas também pode originário de fontes antrópicas, como os fertilizantes cuja base é nitrato inorgânico (MORETI; BIANCHESSI, 2013).

No entanto, altas concentrações de nitrato no corpo hídrico provocam o aumento das plantas aquáticas e do fitoplâncton. Além disso, o nitrato está associado à metahemoglobina e gera alguns tipos de câncer no intestino e no estômago (LEAL; VARGAS,2017).

No reservatório da UHE Ferreira Gomes, as áreas que apresentaram maior concentração de nitrato, durante o período de enchente, foram as mais a montante, como evidencia a Figura 89. Por sua vez, os períodos de cheia e vazante não apresentam nenhum ponto de alta concentração de nitrogênio e, no período de seca, as maiores concentrações ocorreram a jusante do reservatório, próximo à barragem.

Portanto, as maiores concentrações de nitrato foram verificadas durante o campo de enchente, pois, antes do estudo de campo realizado, houve precipitação, o que provocou o carreamento de matéria orgânica para o corpo hídrico. Assim, o ponto 15 foi o que apresentou a maior concentração (Figura 90), pois esse ponto está próximo a áreas de vegetação e matéria orgânica, de modo que, durante a precipitação, a matéria orgânica é carregada e lixiviada para o reservatório.

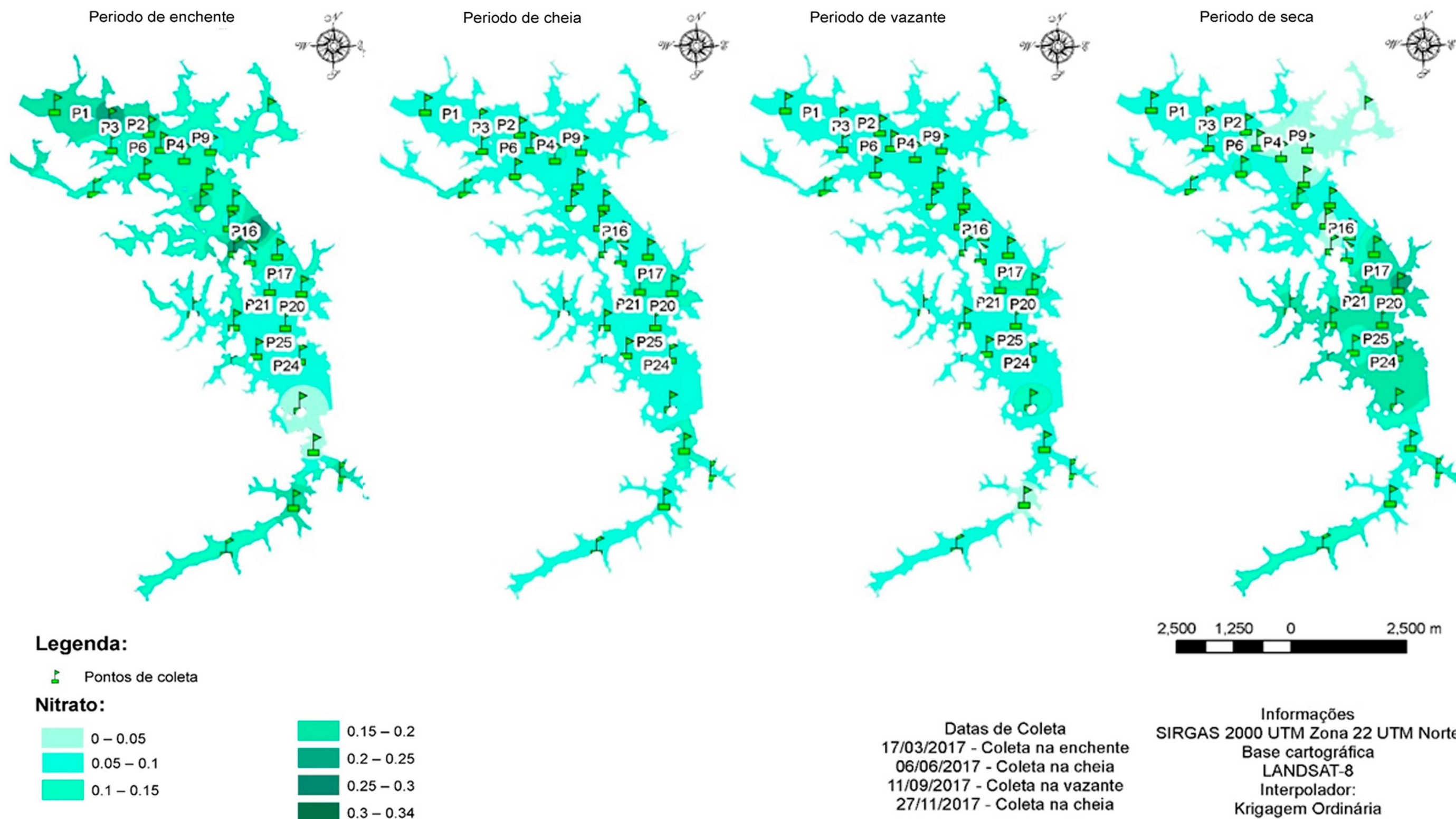
Figura 89 – Gráfico de concentração de nitrato na UHE Ferreira Gomes



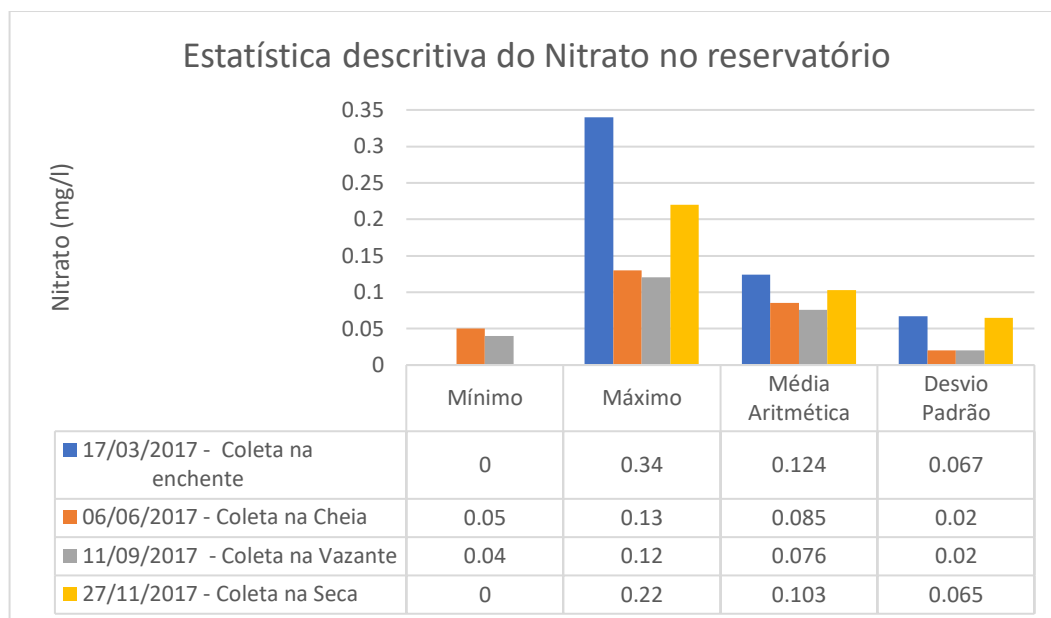
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A resolução Conama 357/2005 enquadra na classe 1 os corpos hídricos que apresentam concentração menor do que 10 mg/L de Nitrato. Como se percebe na Figura 91, mais à frente, as médias são muito menores no período de cheia, que apresentou uma média de 0,085 mg/L, enquanto na vazante o valor foi de 0,076mg/L e na seca 0,103mg/L. Assim, a maior média ocorreu durante a enchente: 0,124 mg/L. Em suma, os valores de máxima concentração de nitrato foram obtidos durante a enchente e os menores durante a cheia e a vazante.

Figura 90 – Espacialização da concentração dos nitratos no reservatório da UHE Ferreira Gomes

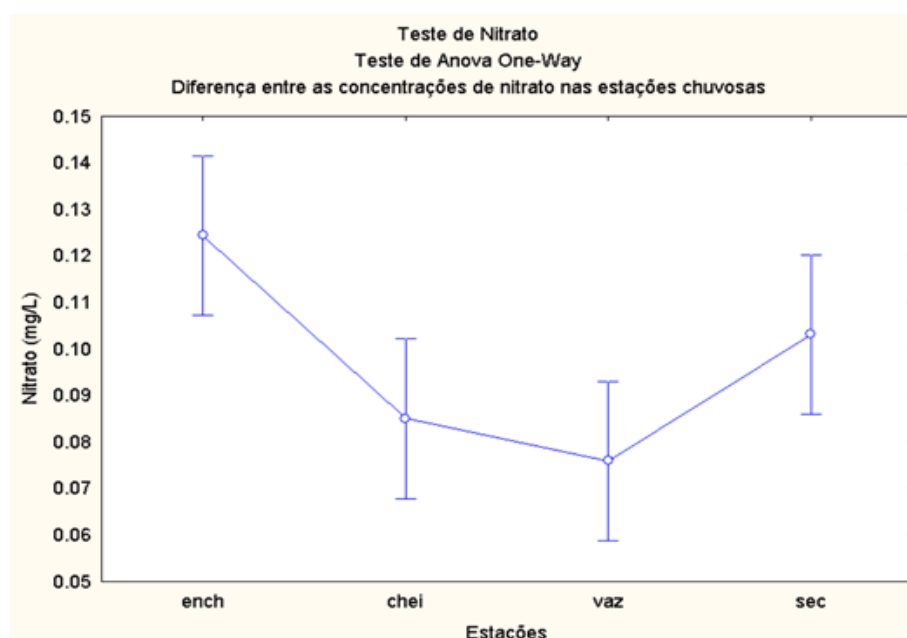


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 91 – Estatística descritiva da concentração de nitrato do reservatório da UHE.

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

De fato, notou-se que existia diferença entre os dados coletados em relação à variável de nitrato e, por isso, realizou-se o teste de Anova *one-way*, para verificar se as informações coletadas não eram redundantes. Com efeito, as diferenças se acentuaram entre os dados de seca e enchente, como mostra a Figura 92. A partir disso, realizou-se o teste de *Fisher*, cujo resultado foi o valor de 0,04, com significância de 0,05, confirmando a diferença entre os dados coletados.

Figura 92 – Teste de Anova one-way variável nitrato

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.3 Análise do fósforo total da água no reservatório da UHE Ferreira Gomes.

O fósforo total é um elemento químico importante para a biota aquática porque é utilizado para o armazenamento de energia dos seres vivos e faz parte das membranas celulares. Além disso, esse elemento é um dos fatores limitantes para a produtividade de algas (DECKER *et al.*, 2018) e apresenta relação com os sedimentos, por causa da oxirredução. Dessa forma, o fósforo também está ligado às atividades antrópicas, por causa dos processos erosivos que ocorrem no meio ambiente (JUNIOR *et al.*, 2018).

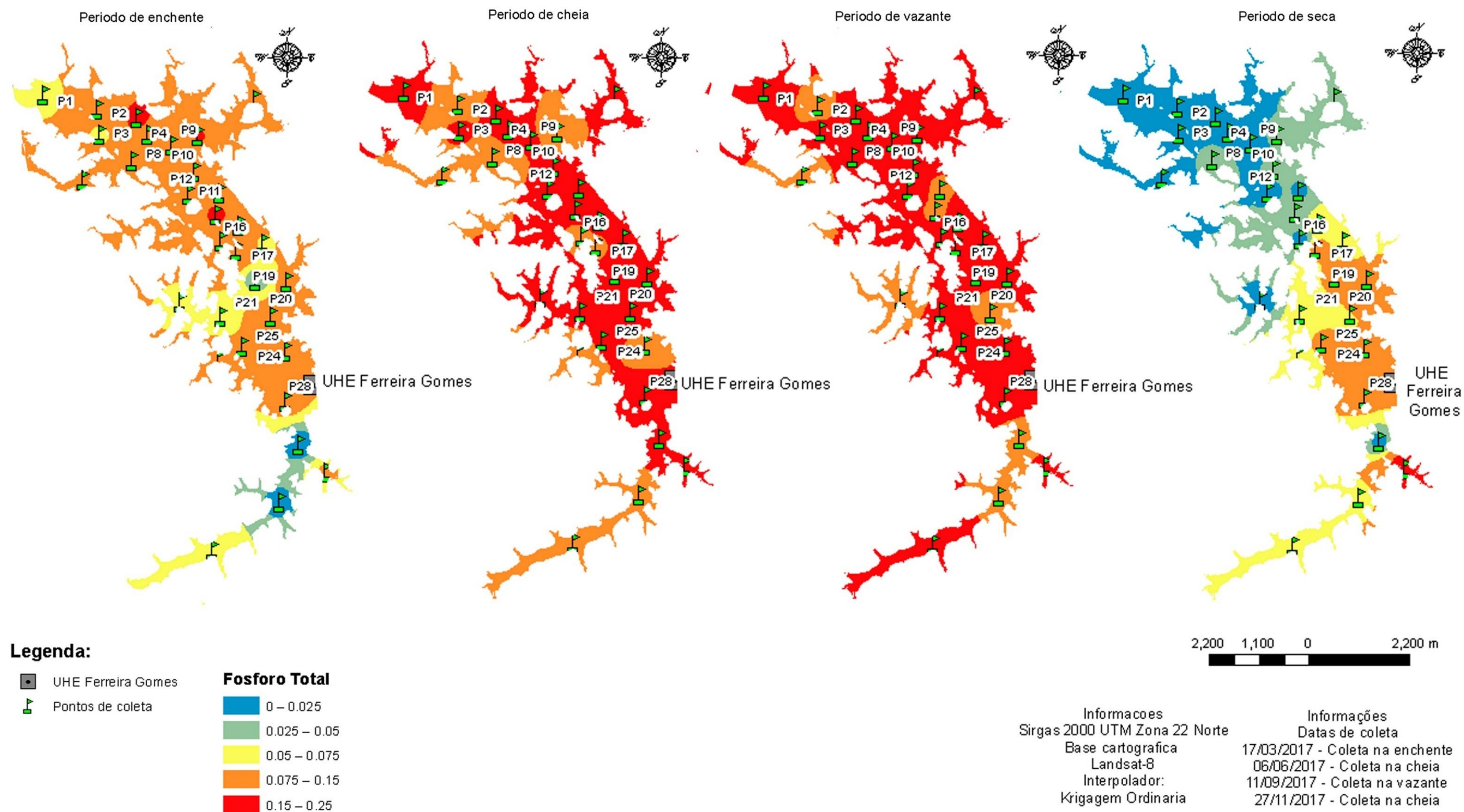
A montante do rio Araguari ocorre uma grande quantidade de fontes fornecedoras de fósforo. Como exemplo, pode-se citar a presença da área urbana de Porto Grande, que despeja o esgoto no rio Araguari e localiza-se a montante do reservatório. Também a montante ocorre o cultivo de abacaxis, que utiliza inseticidas com fósforo e nitrogênio (VALENTE *et al.*, 2018).

Não obstante, a resolução Conama 357/2005 estabelece que a concentração total de fósforo para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 a 40 dias – ou seja, os reservatórios fio d'água – deve ser menor do que 0,025 mg/L para a classe 1. Já para a classe 2, a resolução estabelece o valor de 0,050mg/L e, para a classe 3, de 0,075mg/L.

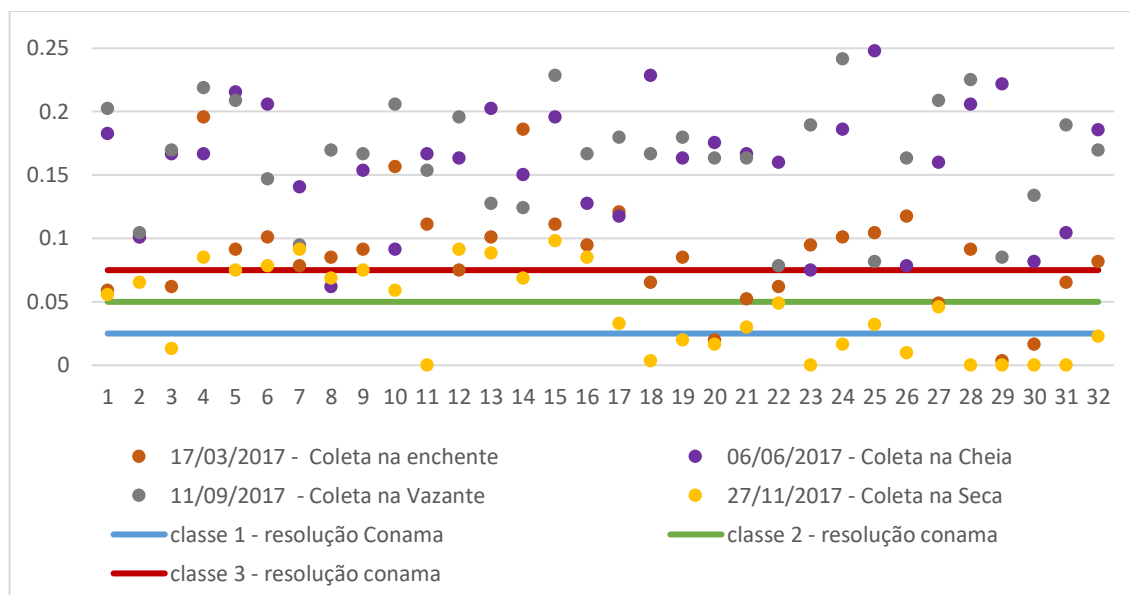
Nesse viés, identificou-se que, somente no período de seca, e a montante do reservatório, a coleta foi enquadrada como classe 1. Por outro lado, os locais que apresentaram maiores concentrações de fósforo foram a jusante do reservatório, nos períodos de cheia e vazante. Também nessa mesma época a quantidade de fósforo teve grandes concentrações próximas ao reservatório da UHE Coroacy Nunes, como indica a Figura 93.

Além disso, de acordo com os dados apresentados na Figura 94, mais à frente, as maiores concentrações de fósforo ocorreram nas estações de cheia e vazante. Isso ocorreu porque, entre maio e setembro, a região a montante da bacia hidrelétrica do reservatório apresenta plantios de abacaxi, que necessitam de fertilizantes nitrogenados e fosfatados. Além disso, as rochas vulcânicas que estão no reservatório, como migmatitos, granodioritos, granitoides e gnaisse, são rochas que apresentam fósforo em sua constituição e, por isso, nos processos de intemperismo, ocorre a liberação deste elemento químico.

Figura 93 – Espacialização da concentração de fosforo total da UHE Ferreira Gomes.



Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 94 – Gráfico de concentração de Fosforo Total no reservatório da UHE

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

De fato, as maiores concentrações de fósforo foram verificadas nos pontos 24 e 25, nas épocas de cheia e de vazante, pois, durante a precipitação, a erosão pluvial leva os sedimentos desta área, que é próxima a pastos, para o reservatório. Além disso, os pontos 8, 12, 18 e 19 também apresentaram uma alta concentração de fósforo, pois são próximos a áreas de florestas alagadas do reservatório da UHE Coroaçy Nunes. Nesse sentido, segundo Brito (2009), o aumento da concentração de fosforo se dá pela morte da fauna e da flora com a mudança de ambiente lântico para lótico.

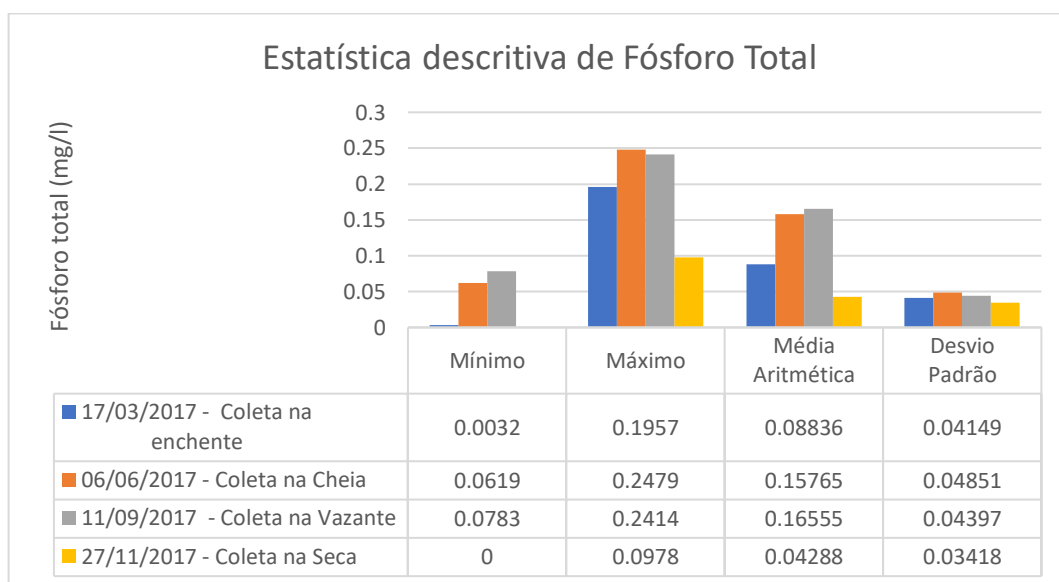
Não obstante, também houve altas concentrações do fósforo nos pontos 1, 3, 4, 5, 9 e 10, por serem áreas que estão próximas às quedas d'água sobre os afloramentos rochosos das rochas vulcânicas, como gnaiss, migmatito, granitoide, que são ricas em fósforo (ROLIM NETO *et al.*, 2004).

Sendo assim, a partir da análise da figura 95, mais à frente, verifica-se que a maior concentração de fósforo foi de 0,247 mg/L, no ponto 25, durante a época de cheia. Isso ocorreu porque, antes da coleta, durante a cheia, houve pluviometria, o que pode ter aumentado a lixiviação dos solos presentes no entorno do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Além disso, a média da qualidade da água, na coleta do período de seca, pode ser enquadrada na classe 3, pois em ambientes intermediários o fósforo total pode ser de até a 0,15 mg/L. As outras épocas não se enquadram em nenhuma classe da qualidade da água da resolução Conama 357/2005.

Tais concentrações são muito superiores às já encontradas na região do reservatório da UHE Ferreira Gomes. Em 2010, por exemplo, foi detectada uma variação de 0,016mg/L a 0,14 mg/L de fósforo total, com uma média de 0,078 mg/L (COTA, 2015). No entanto, em janeiro de 2011, não foi encontrado valor nenhum e, em junho desse mesmo ano, o valor máximo foi de 0,016 mg/L, enquanto o valor mínimo foi de 0,004mg/L, ou seja, uma variação de 0,006mg/L.

Portanto, os valores detectados nesta pesquisa foram muito superiores à resolução Conama 357/2005 para ambientes intermediários, já que o reservatório da UHE Ferreira Gomes, o qual é fio d'água, apresenta tempo de armazenamento de 31 dias. Este tipo de ambiente é classificado como de classe 1 quando o limite máximo é de 0,025 mg/L; de classe 2 quando o máximo é de 0,050 mg/L; e de classe 3 quando o máximo é de 0,075mg/L.

Figura 95 – Estatística descritiva da UHE Ferreira Gomes



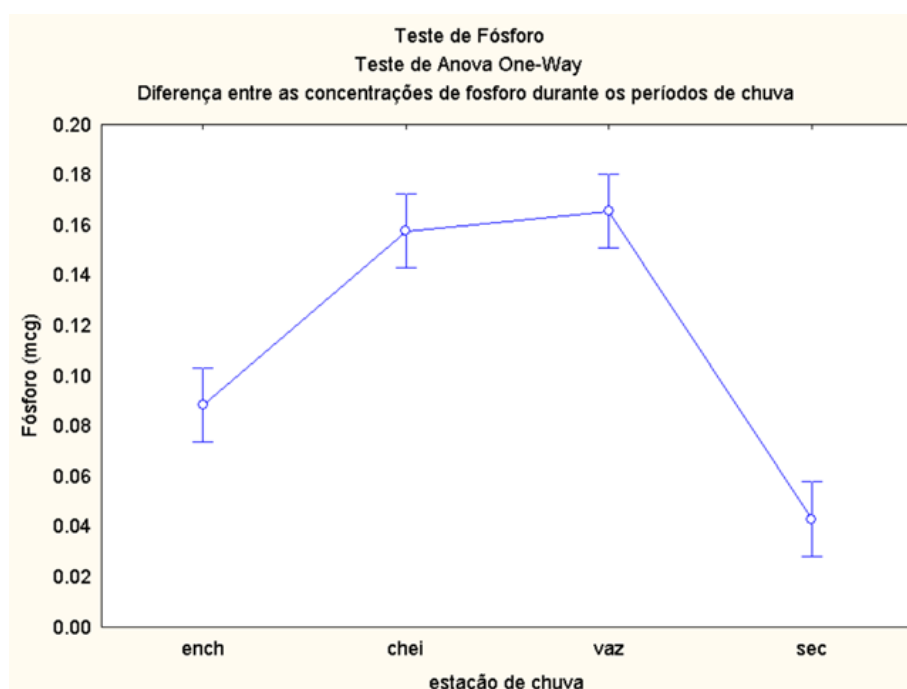
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Antes da construção da barragem, segundo Cota *et al.*, (2017), o rio Araguari apresentava uma quantidade bem menor de concentração de fósforo. Além disso, nos estudos de 2010, também anteriores à construção do reservatório, a variação de fósforo variava entre 0,016mg/L e 0,078mg/L. Em janeiro de 2011, a concentração de fósforo total foi de 0 mg/L e, em junho, a máxima foi de 0,016 mg/L, com mínimo de 0,004 mg/L, ou seja, uma média de 0,006mg/L de fósforo total. Com estas concentrações, o rio Araguari era considerado, segundo a resolução Conama 357/2005, como sendo um rio de classe 1.

De fato, as médias na coleta de seca enquadram este reservatório como de classe 2. No entanto, durante as coletas de cheia, enchente e vazante o reservatório não se enquadra em classe nenhuma, devido aos altos valores de fósforo encontrados.

Assim, o teste de Anova *one-way* mostrou que a diferença entre os dados da coleta de cheia e a vazante é pequena, evidenciando que não há necessidade de coleta de dados entre a elas, pois são semelhantes. Isso ocorre porque não há diferenças de pluviometria. Para respaldar este resultado, foi realizado o teste de *Fischer*, que obteve um valor de 0,04, ou seja, menor do que o significativo de 0,05, mostrando que existe uma diferença de dados, conforme Figura 96.

Figura 96 – Teste de Anova One -Way de fosforo total



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.4 Análise do ortofosfato da água da do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

O ortofosfato é a forma química do fósforo que pode indicar uma grande quantidade deste elemento presente no corpo hídrico. Além disso, é a forma de fósforo usada pelas macrófitas, de modo que, logo que é inserido no corpo hídrico, torna-se um adubo de algas. Por isso, esta é a forma de fosfato mais assimilada pela vegetação aquática, cujas fontes são inorgânicas, advindas da decomposição biológica da flora e da fauna. Assim, quando os fosfatos são absorvidos pelos vegetais, eles se tornam fosfatos orgânicos e fosfatos condensados que,

quando liberados nos corpos hídricos, são transformados pelas bactérias em ortofosfato (BARROSO *et al.*, 2018).

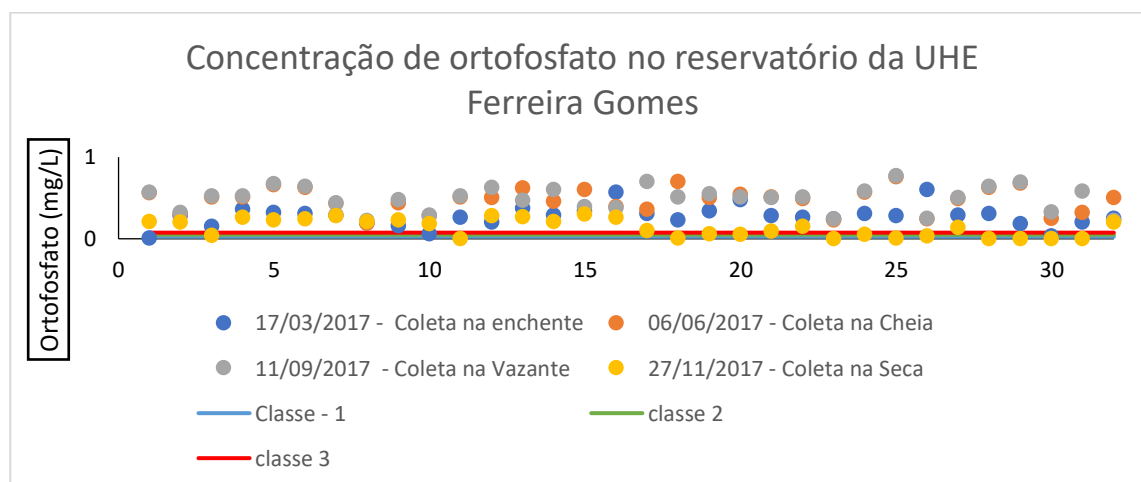
Desse modo, seu estudo é importante no estudo do reservatório da UHE Ferreira Gomes porque esse é um reservatório recente, que inundou grande quantidade de matéria orgânica, principalmente áreas de florestas, liberando, assim, grande de quantidade de fosfatos nos recursos hídricos.

Verifica-se, na Figura 97, que nas épocas de cheia e vazante em áreas onde há florestas inundadas ocorre a maior concentração de ortofosfato, além de uma grande quantidade de fósforo. De qualquer forma, o alto índice de fósforo no reservatório também pode ter sido causado porque, antes dos trabalhos de campo, houve a abertura das comportas e um decréscimo no nível de água. Estas alterações do nível de base local fizeram, então, com que o escoamento superficial pudesse levar os sedimentos que estão na margem, carreando-os para o ambiente aquático.

Sendo assim, a partir da análise dos dados das concentrações, identificou-se que a maior quantidade de ortofosfato no reservatório da UHE Ferreira Gomes ocorreu nos pontos 5, 6, 24, 25 e 28, que são áreas que apresentam grande quantidade de floresta inundada e morta, como mostra a Figura 98.

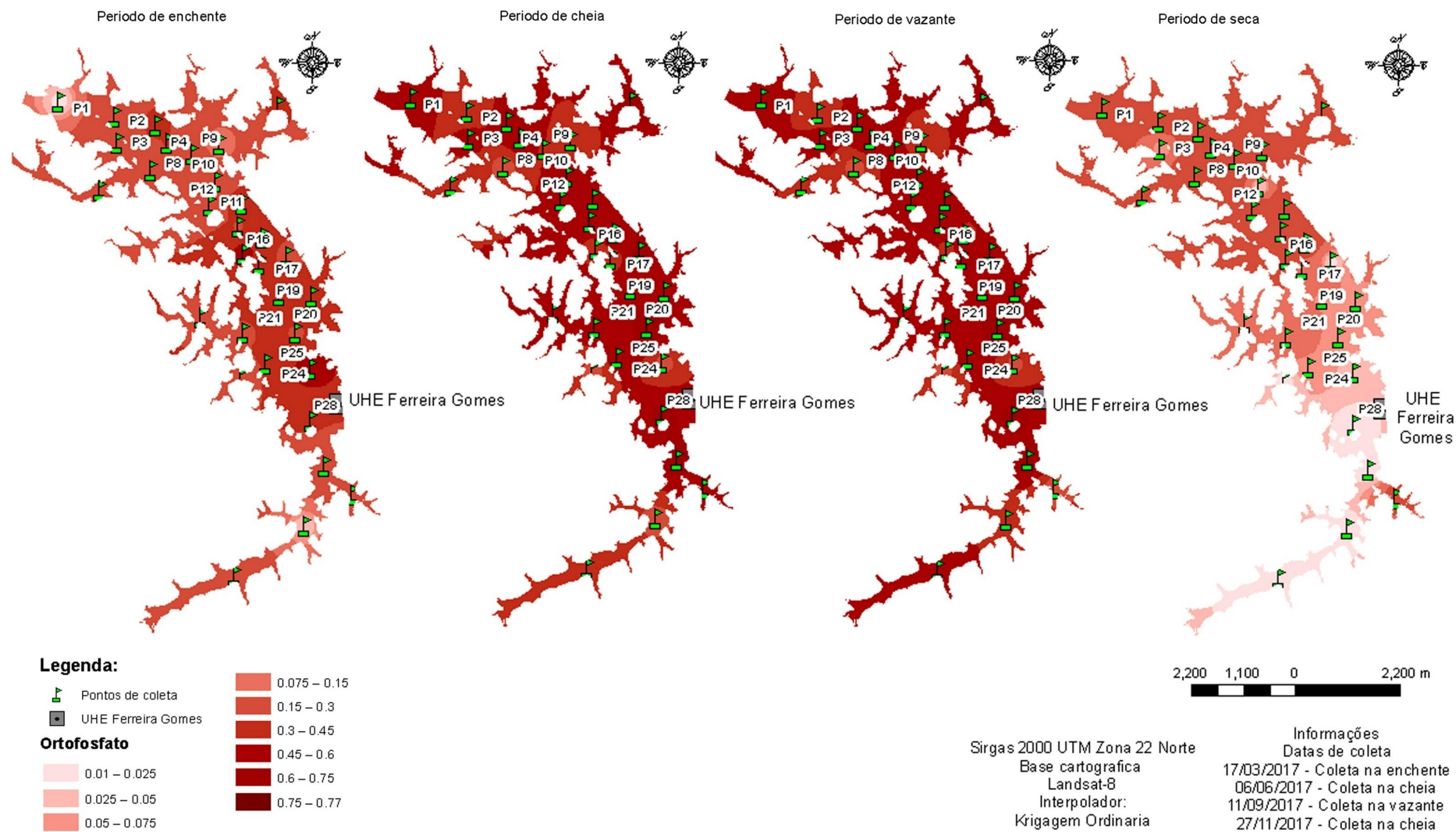
As chuvas nas cabeceiras do rio Araguari e no seu principal afluente, o rio Amapari, fazem com que o rio Araguari tivesse grande vazão, tornando possível uma maior quantidade de matéria orgânica que, durante o processo de decomposição, libera fosfato no ambiente aquático. Já nos períodos mais secos não há tanto carregamento de matéria orgânica quanto nos períodos de cheia e, por isso, há diminuição de ortofosfato no reservatório.

Figura 97 – Concentração de ortofosfato da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 98 – Espacialização dos dados de ortofosfato no reservatório da UHE.

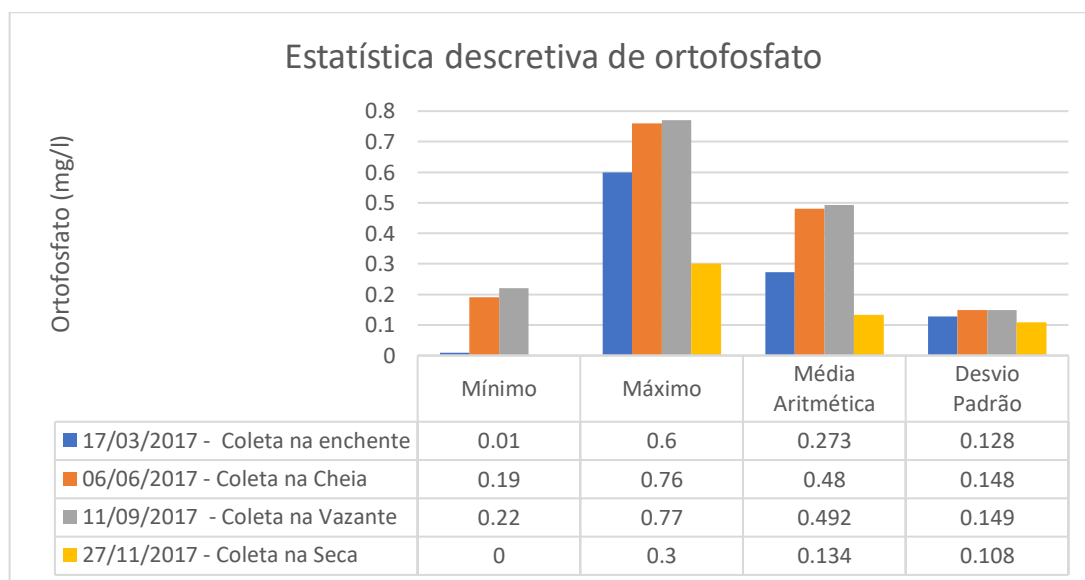


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

De acordo com análise estatística descritiva realizada (Figura 99), as maiores médias foram encontradas nas estações de cheia e na coleta de vazante, com, respectivamente 0,48 mg/L e 0,492 mg/L. Já nas coletas de enchente o valor foi de 0,273 mg/L e nas coletas de seca de 0,134 mg/L. Estas concentrações não estariam enquadradas em nenhuma classe da resolução Conama 357/2005 que, na classe 3, propõe o máximo de 0,075 mg/L. De fato, se todos os seus valores são superiores a 0,075 mg/L, entende-se que as águas podem ser classificadas como de classe 3 ou 4. Além disso, as altas concentrações detectadas no reservatório indicam que ainda há um processo de decomposição da biomassa que foi inundada durante a construção do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

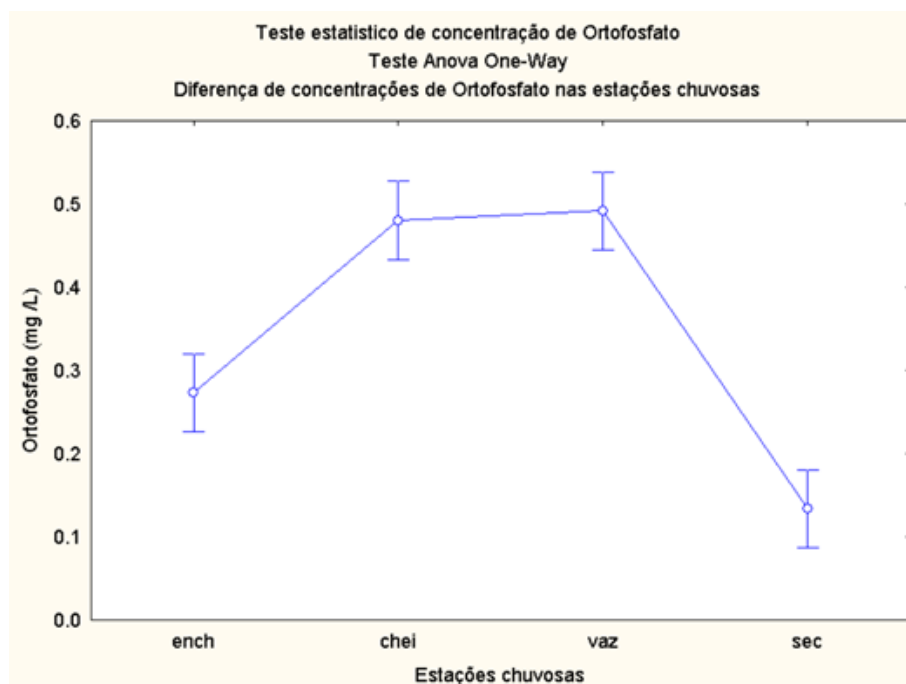
Para verificar o comportamento dos dados, realizou-se o teste *Anova one-way* e, para sua verificação, executou-se o teste de *Fisher*, que apontou um valor de 0,03, com o valor de significância de 0,05. Neste comportamento estatístico, portanto, verificou-se que os dados de ortofosfatos apresentam redundância entre a cheia e a vazante, apesar da anomalia climatológica de 2017. Além disso, houve uma diferença entre os dados de enchente, de seca e das estações de cheia e vazante, como indica a Figura 100.

Figura 99 – Estatística descritiva da concentração de ortofosfato da UHE



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 100 – Teste Anova one-way de variação da concentração de ortofosfato



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.5 Análise da clorofila nas águas do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

A clorofila é o pigmento verde que se encontra em grande parte dos organismos fotossintéticos, pois é produzida pelos cloroplastos. Nesses organismos, ela tem a função de realizar a fotorrecepção para a realização do processo fotossíntese e geração de energia (SILVA, 2018).

As concentrações de clorofila no corpo hídrico servem para mensurar de maneira indireta a biomassa de algas, pois indicam alterações na qualidade da água do corpo hídrico. Além disso, a clorofila serve para a indicação do estado trófico da água. Segundo Esteves (1998), em ambientes aquáticos que apresentam baixas concentrações de clorofila os valores são menores que 2,5 µg/L, enquanto aqueles com altos níveis de clorofila apresentam concentrações entre 5 a 140 µg/L.

A resolução Conama 357/2005 determina que a concentração de clorofila até 10 µg/L deve ser classificada como classe 1. Já para o corpo hídrico ser classificado como classe 2 deve haver concentração de até 30 µg/L e, para a classe 3, de até 60 µg/L.

Conforme as concentrações verificadas na coleta de dados no período de enchente, foram detectados corpos hídricos de classe 1 e de classe 2. Assim, no período de enchente, as águas de classe 2 foram observadas mais a montante do reservatório e as de classe 1 a jusante do reservatório. A classe 2 foi detectada na margem esquerda do reservatório, pois há presença

maior de fósforo e nitrogênio, que serviram para o aumento de clorofila, como se pode notar na Figura 101.

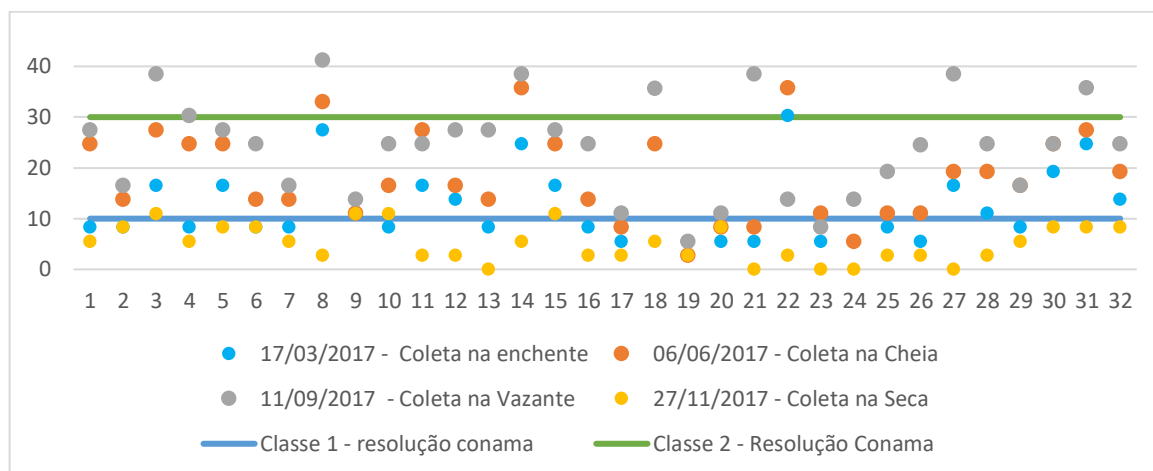
Já no período de cheia foram detectadas três classes de água, conforme os valores estipulados pela resolução Conama 357/2005. Destacam-se, na análise, os locais classificados como de classe 1, a montante no reservatório, e de classe 2, a jusante.

Por ser um período de seca no reservatório ocorreu um aumento da quantidade de nitratos que fez com houvesse aumento da clorofila no reservatório da UHE Ferreira Gomes. Já as águas de classe 2 ocorrem na margem direita do reservatório, onde a atividade econômica predominante próximo é a pecuária, que libera nutrientes no reservatório e provoca o aumento dos fitoplanctons na água.

No período de vazante, houve um aumento das concentrações acima de 30 $\mu\text{g/L}$ na margem direita do reservatório, que pode ser associado à presença de solo exposto e pastagem, os quais são fontes de nutrientes para a produção primária. Na margem esquerda do reservatório, porém, houve uma redução das concentrações – inferior a 10 $\mu\text{g/L}$ – (Figura 98), sendo essa área classificada como de classe 1.

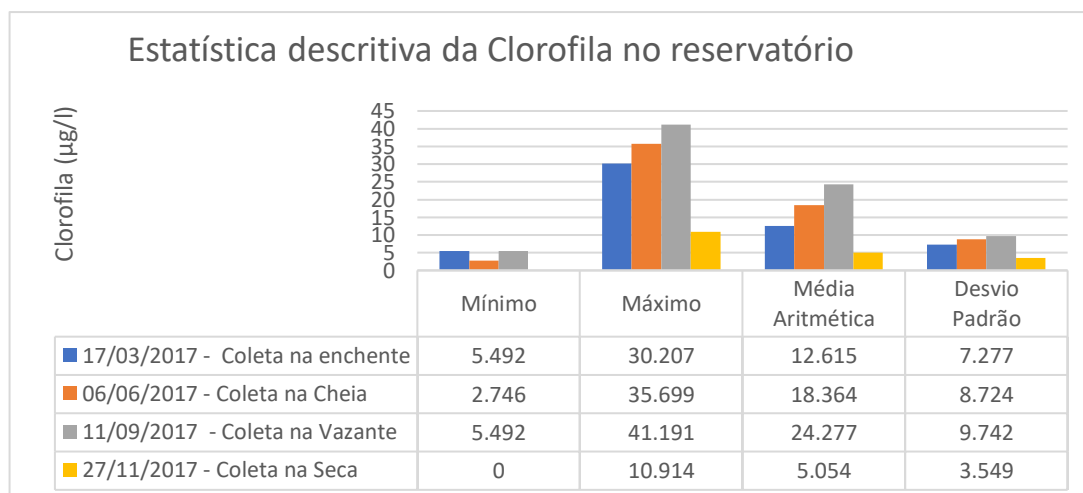
No período de seca, a classe 1 é a que predomina na margem direita, porém, próximo à área de pastagem, há presença da classe 2, que sofre a influência deste tipo de uso e ocupação do solo. Este processo acontece porque as pastagens são áreas de liberação de excrementos, os quais são carregados para o corpo hídrico, aumentando os nutrientes e, consequentemente, a concentração de clorofila.

De fato, a maior concentração de clorofila ocorreu no ponto 8 durante o campo da vazante, com um valor 41,2 $\mu\text{g/L}$, porque estas áreas são as mais próximas da pastagem, como evidencia a Figura 101. Além disso, o ponto 3 apresentou valores consideráveis, como 38,44 $\mu\text{g/L}$ de clorofila (Figura 102), por ser o ponto mais próximo de áreas de florestas alagadas. Isso fez com que houvesse uma maior quantidade de nitrogênio e fósforo, o que provoca o aumento da clorofila.

Figura 101 – Concentração de clorofila no reservatório da UHE Ferreira Gomes

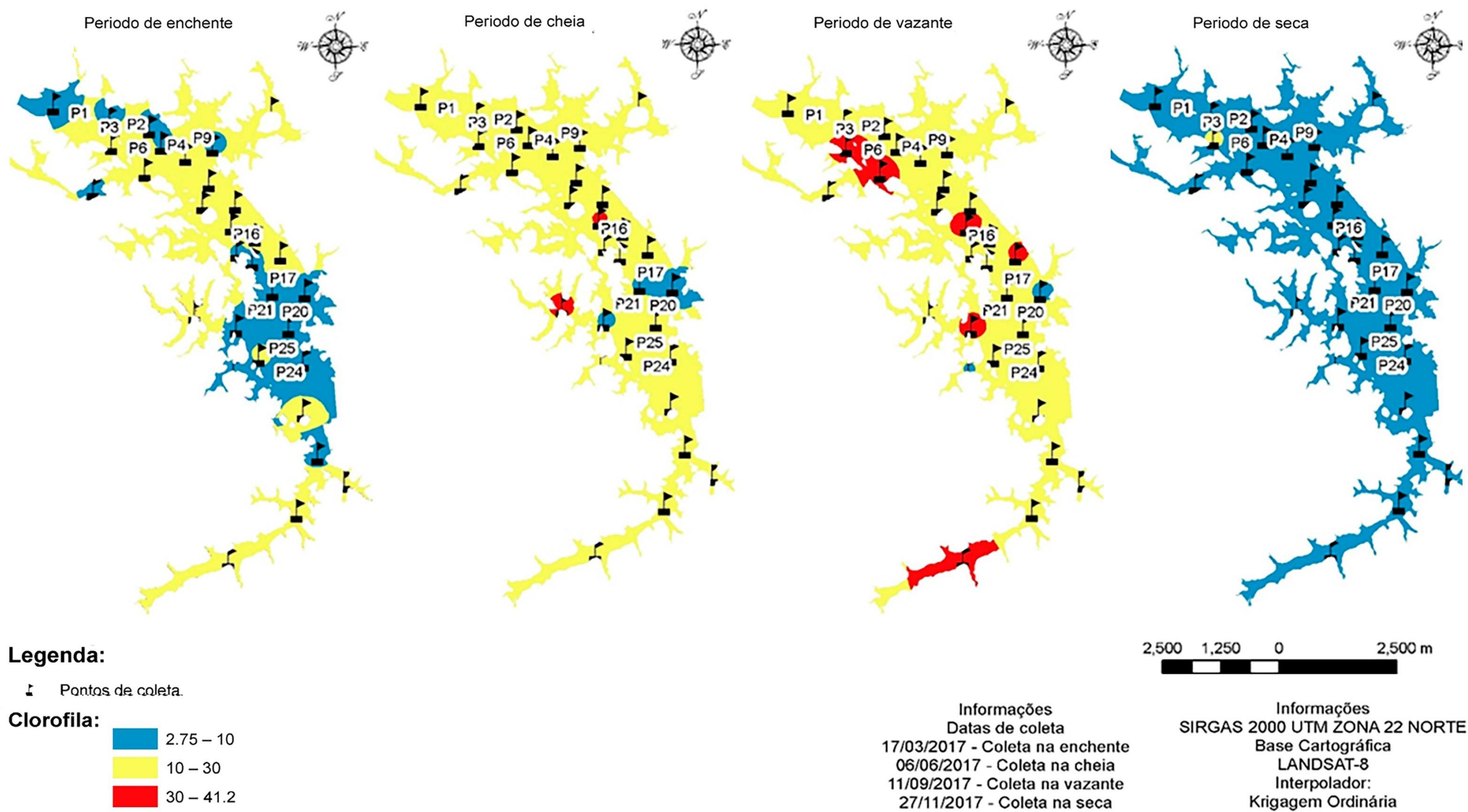
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A maior média de clorofila foi verificada durante o trabalho de campo na época de vazante, com uma concentração de 24,27 $\mu\text{g/L}$, podendo ser enquadrada na classe 2, como mostra a Figura 103. Os campos que ocorreram na enchente e na cheia também podem ser enquadrados na classe 2 porque a concentração média de clorofila no período de enchente foi de 12,61 $\mu\text{g/L}$ e no período de cheia 18,36 $\mu\text{g/L}$. No trabalho de campo na seca, detectou-se a menor concentração de clorofila, que em média foi 5,05 $\mu\text{g/L}$. Não obstante, em janeiro de 2011, antes da construção do reservatório e depois do período de chuva, obteve-se 9,17 $\mu\text{g/L}$, com o valor máximo obtido de 10,67 $\mu\text{g/L}$ (COTA, 2015). Portanto, após a construção do reservatório houve um aumento da concentração da clorofila no corpo hídrico durante o período de chuvas.

Figura 102 – Estatística descritiva da concentração de clorofila

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

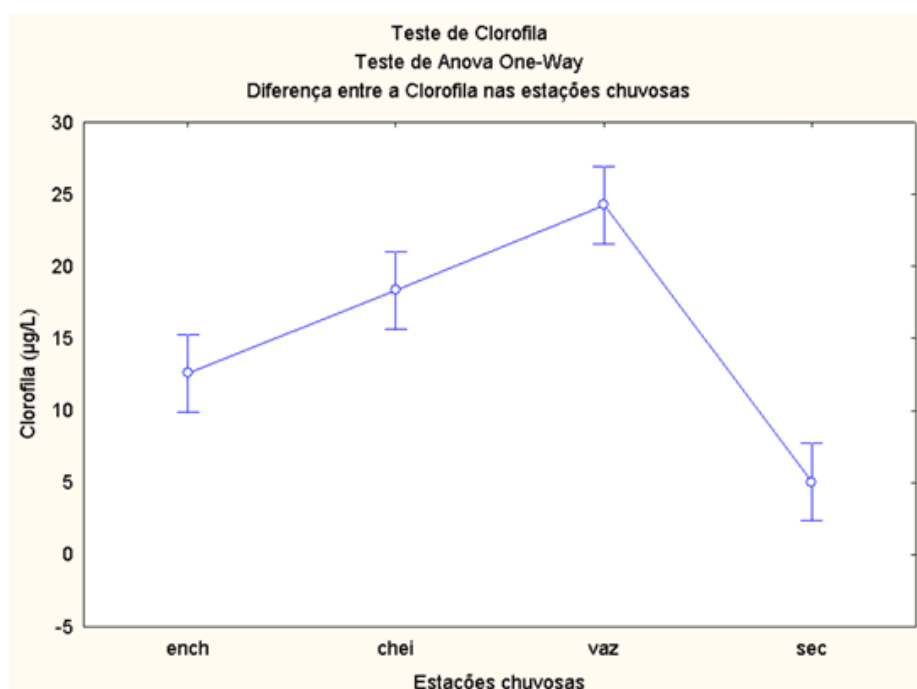
Figura 103 – Espacialização da concentração de clorofila no reservatório da UHE.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A partir disso, realizou-se o teste Anova *one-way* nos dados de clorofila para verificar se existia alguma redundância no ano de 2017 causada pela anomalia climatológica, já que o período de chuva ficou muito reduzido. Assim, verificou-se a diferença entre a enchente, a vazante, a cheia e a seca, mostrando que a estação de seca prolongada não fez com que houvesse tanta influência durante a vazante e a cheia, já que nessas estações houve uma pluviometria mais baixa do que o normal. Com efeito, para a verificação dos dados, realizou-se o teste de *Fisher*, que foi de 0,01, com valor significância de 0,05, evidenciando a diferença entre as coletas realizadas, como pode ser visto na Figura 104.

Figura 104 – Teste de anova one-way concentração de clorofila.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.6 Análise de correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório

4.2.6.1 Análise durante o período de enchente.

A partir dos dados limnológicos coletados durante o período de enchente, realizou-se o estudo de correlação entre os parâmetros, conforme mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório da UHE Ferreira Gomes durante o período de enchente

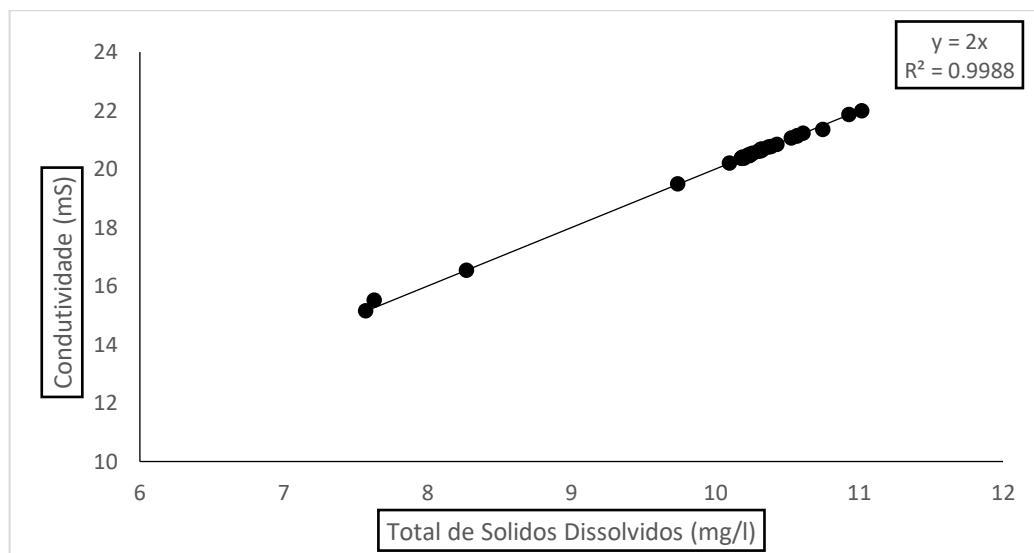
	Sólido suspensão	clorofila	nitrito	nitrito	fosforo	ortofosfato	temperatura	condutividade	pH	salinidade	OD-mg/l	Transparencia	TDS
Sólido suspensão	1.00												
clorofila	0.13	1.00											
nitrito	-0.05	-0.15	1.00										
nitrito	0.37	0.13	-0.13	1.00									
fosforo	0.16	-0.08	0.01	0.16	1.00								
ortofosfato	-0.06	-0.34	0.41	0.05	0.24	1.00							
temperatura	0.07	0.10	0.13	-0.17	-0.30	-0.26	1.00						
condutividade	-0.16	-0.41	-0.06	-0.10	0.24	0.26	-0.43	1.00					
pH	-0.01	-0.13	0.35	-0.05	-0.19	0.23	0.40	-0.33	1.00				
salinidade	0.20	-0.48	0.11	0.06	0.14	0.06	-0.06	0.19	-0.20	1.00			
OD-mg/l	-0.06	-0.08	-0.19	0.11	0.23	-0.13	-0.31	0.02	-0.24	0.12	1.00		
Transparencia	0.02	0.21	0.33	-0.08	-0.32	-0.09	0.71	-0.68	0.33	-0.11	-0.27	1.00	
TDS	-0.17	-0.41	-0.06	-0.11	0.23	0.26	-0.41	1.00	-0.34	0.20	0.02	-0.66	1.00

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Foi verificada uma correlação forte entre o total de sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica, conforme indica a Figura 105. Isto se dá porque quando existe uma grande quantidade de matéria orgânica dissolvida na água ocorre uma liberação de grande quantidade de íons, principalmente, por causa dos ácidos fúlvicos que fazem parte desta matéria orgânica, os quais liberam hidrogênio no ambiente aquático. Segundo Sampaio *et al.* (2018), as águas residuais apresentam grande quantidade de matéria orgânica e são ácidas, pois já foram utilizadas em diversas atividades econômicas, como a industrial e a agrícola, além de apresentaram uma forte correlação entre a condutividade elétrica e o material dissolvido na água.

Sendo assim, os pontos 3, 5 e 7 foram os que apresentaram menor condutividade elétrica e menor quantidade de sólidos dissolvidos, pelo fato de estarem mais próximos do leito principal do espelho d'água do rio Araguari, sofrendo, com isso menos, interferência da mudança da paisagem e das margens do reservatório.

Figura 105 – Gráfico de correlação entre a condutividade elétrica e total de sólidos dissolvidos



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.6.2 Análise durante o período de cheia.

Também se realizou estudo de correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório da UHE Ferreira Gomes durante o período de cheia, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Tabela de correlação dos parâmetros limnológicos do reservatório

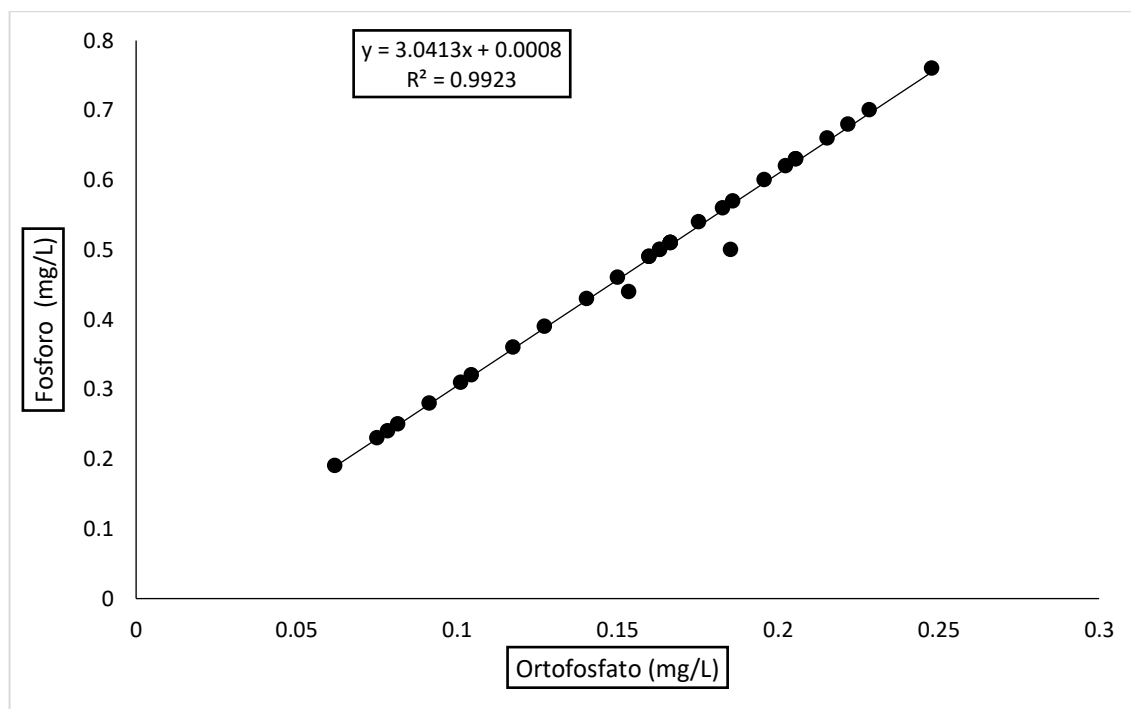
	sólido suspenso	clorofila	nitrito	nitrito	fosforo	ortofosfato	transparencia	OD-mg/l	salinidade	TDS	Temperatura	pH	Condutividade
sólido suspenso	1.00												
clorofila	-0.43	1.00											
nitrito	-0.22	0.07	1.00										
nitrito	0.27	-0.40	0.14	1.00									
fosforo	0.26	-0.03	0.15	0.24	1.00								
ortofosfato	0.26	-0.03	0.13	0.23	1.00	1.00							
transparencia	-0.08	0.18	-0.33	-0.30	-0.17	-0.17	1.00						
OD-mg/l	-0.08	0.08	0.44	-0.20	0.26	0.29	-0.19	1.00					
salinidade	0.19	-0.30	0.00	0.13	0.24	0.24	-0.82	0.06	1.00				
TDS	0.16	-0.25	0.14	0.16	0.26	0.27	-0.87	0.18	0.97	1.00			
Temperatura	0.06	0.02	-0.39	-0.15	-0.09	-0.10	0.40	-0.59	-0.15	-0.32	1.00		
pH	-0.04	0.04	0.27	0.26	0.02	0.02	-0.35	0.44	0.06	0.18	-0.59	1.00	
Condutividade	0.16	-0.25	0.14	0.17	0.26	0.27	-0.88	0.18	0.97	1.00	-0.32	0.17	1.00

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Assim, identificou-se a correlação entre o ortofosfato e o fósforo, conforme indica a Figura 106. Essa relação é baseada na presença do fósforo inorgânico, advindo, principalmente, da decomposição da flora que compunha a área de mata de terra firme próxima ao rio Araguari.

Por isso, o gráfico mostra que, quanto maior for a quantidade de ortofosfato, maior será a quantidade de fósforo presente no ambiente aquático.

Figura 106 – Gráfico de correlação entre o fosforo e ortofosfato

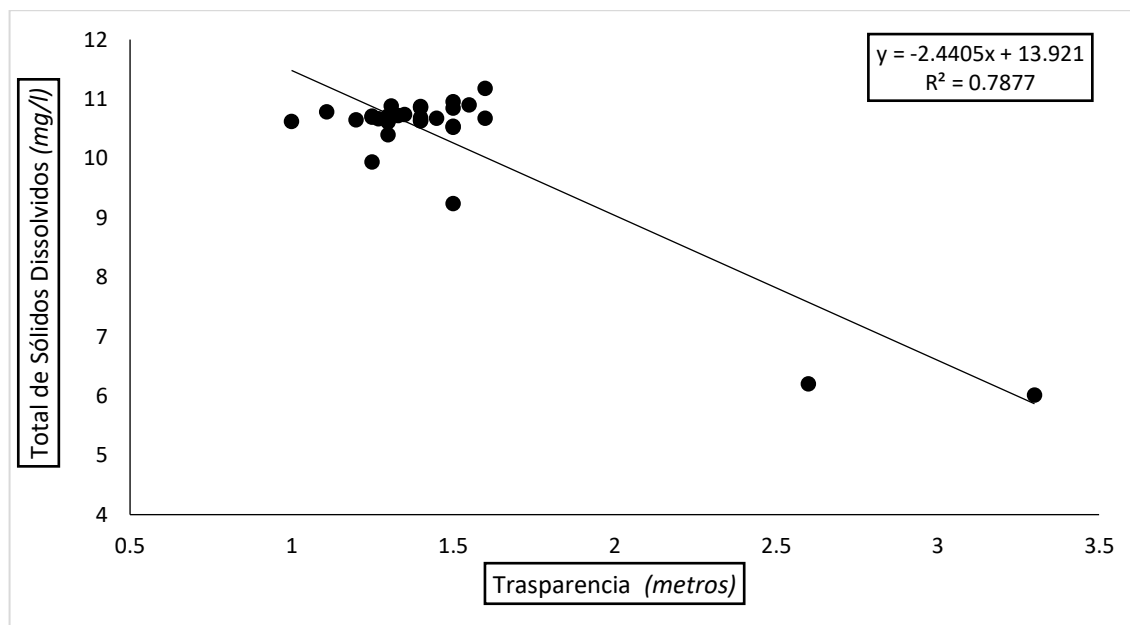


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Na época de cheia do corpo hídrico do reservatório da UHE Ferreira Gomes verificou-se a correlação forte entre o total de sólidos dissolvidos na água e a transparência presente no reservatório, com um fator de correlação de *Pearson* no valor de -0,87, conforme evidencia a Figura 107. Isto ocorreu principalmente porque grande parte dos sólidos dissolvidos na água são ácidos fúlvicos, que têm uma coloração escura. Por isso, quanto menor for a concentração de sólidos dissolvidos, menor será a concentração de ácidos fúlvicos e maior será a penetração da luz na água, aumentando, assim, sua transparência.

Com efeito, os pontos 30 e 31 foram os que apresentaram maior transparência e uma menor quantidade total de sólidos dissolvidos, pela influência do Igarapé do Prata, o qual foi inundado com a construção do reservatório.

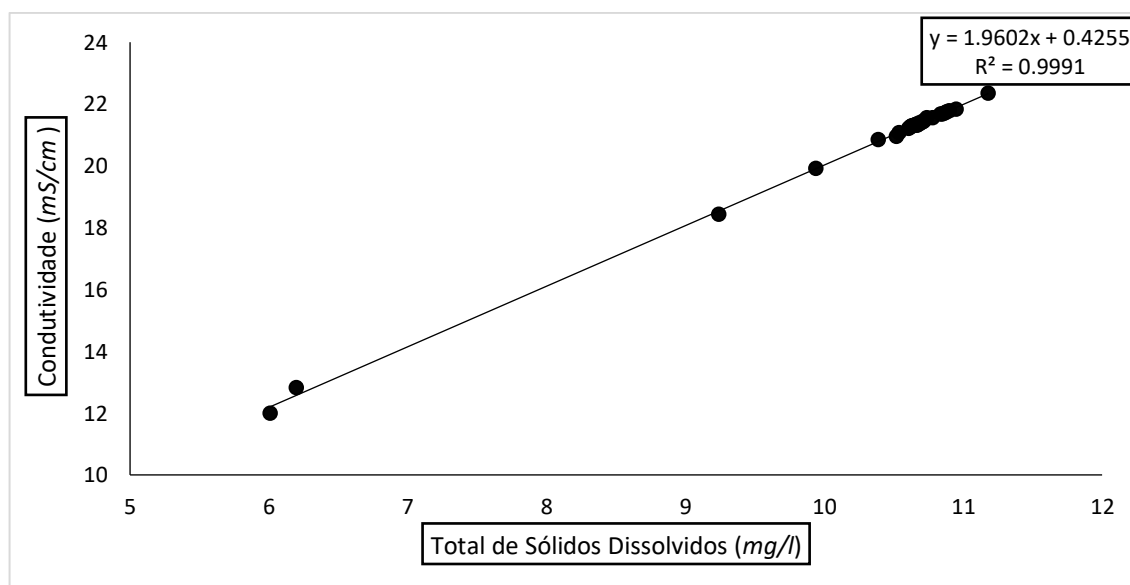
Figura 107 – Correlação entre a transparência e o total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Também foi encontrada correlação entre o total de sólidos dissolvidos na água e a condutividade elétrica, de modo que o coeficiente de regressão foi de 0,9, como indica a Figura 108. Isso ocorreu porque os sólidos dissolvidos na água apresentam uma grande quantidade de íons, que proporcionam aumento da condutividade elétrica.

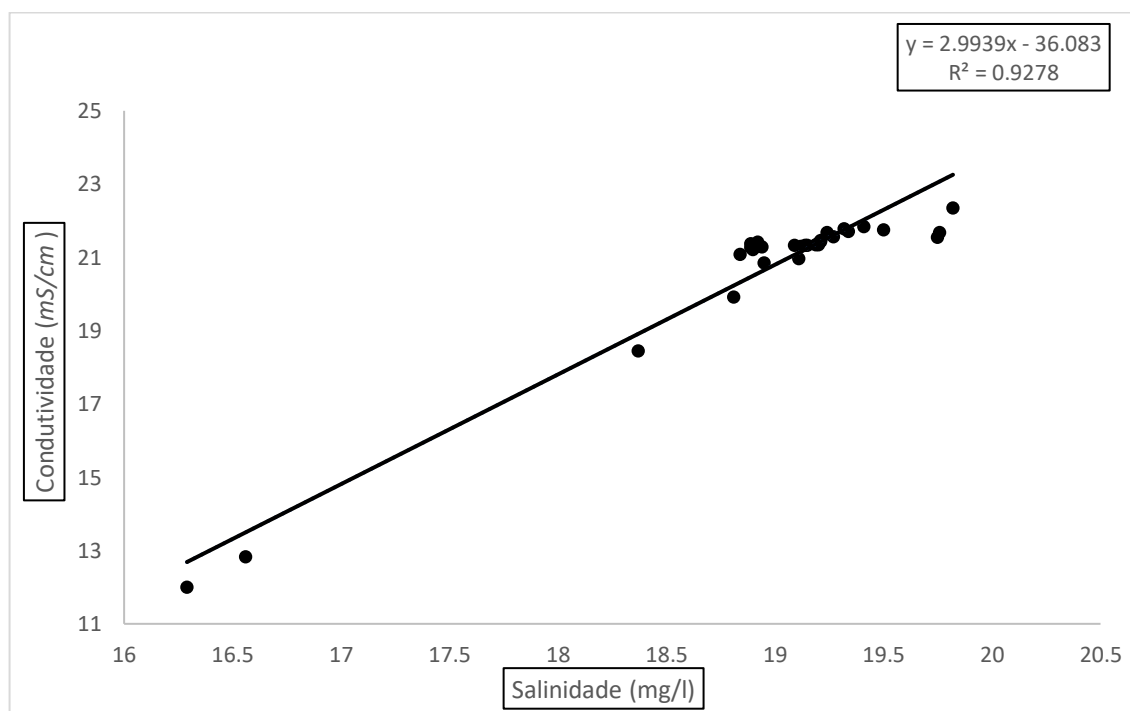
Figura 108 – Gráfico de correlação entre a condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Além disso, houve correlação entre a condutividade elétrica e a salinidade presentes no reservatório, como mostra a Figura 109, pois os sais apresentam alta condutividade elétrica e, quando dissolvidos, liberam íons, como o Na^+ e o Cl^- . Ou seja, a condutividade elétrica aumenta por causa da maior presença de sais dissolvidos na água. De fato, os dois pontos que apresentam menor condutividade e salinidade foram o 30 e o 31, devido à influência do Igarapé do Prata, que tem águas claras.

Figura 109 – Gráfico de correlação entre a condutividade e a salinidade



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

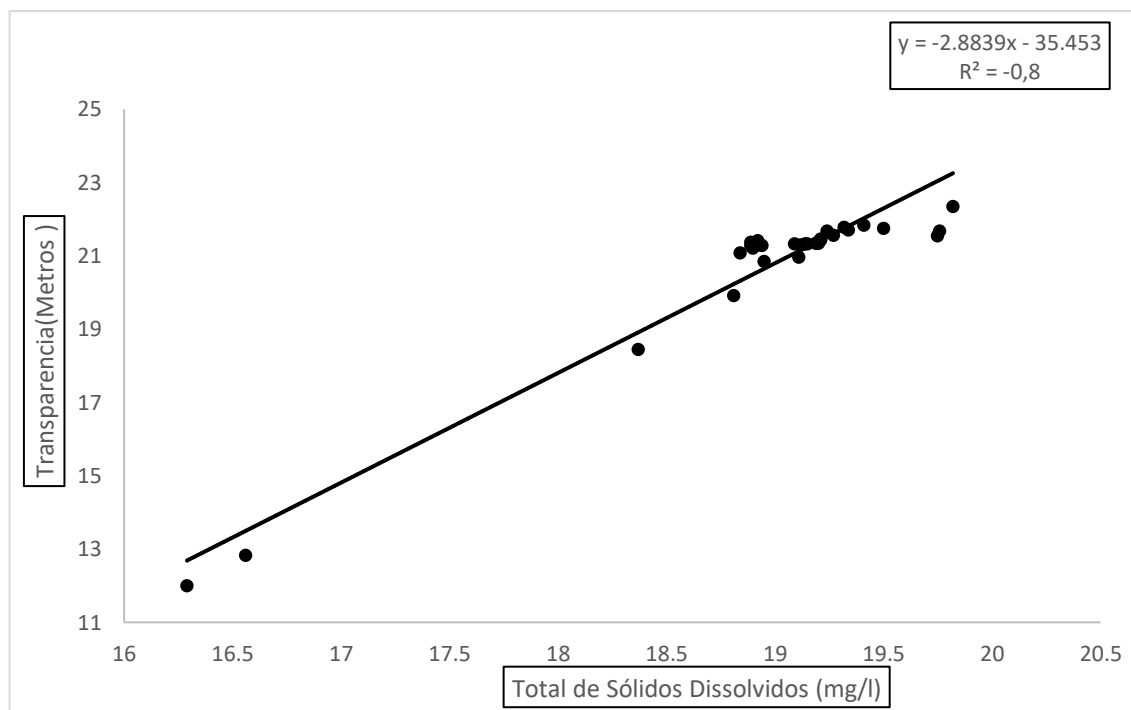
Houve, também, correlação negativa durante o período de coleta da cheia. A primeira detectada foi entre o total de sólidos dissolvidos e a transparência, cujo coeficiente de correlação foi de -0,8, como mostra a Figura 110. Isso ocorreu porque a penetração da luz consegue maior profundidade quando há menor volume de sais dissolvidos na água, já que eles são formados por matéria orgânica colorida, que se caracteriza por ser escura. Ou seja, quanto menor for a quantidade de matéria dissolvida menos escura fica a água.

Outra correlação registrada durante a enchente foi entre a salinidade e a transparência, cujo coeficiente de correlação foi de -0,8 (Figura 111). A correlação negativa ocorre porque os sais dissolvidos totais na água estão na matéria orgânica, devido ao processo de lixiviação, causado pelas chuvas na vertente. Dessa forma, na estação chuvosa a água fica mais escura.

Mesmo assim, um menor índice de salinidade a deixa mais clara, fazendo com que a luz consiga obter maior profundidade.

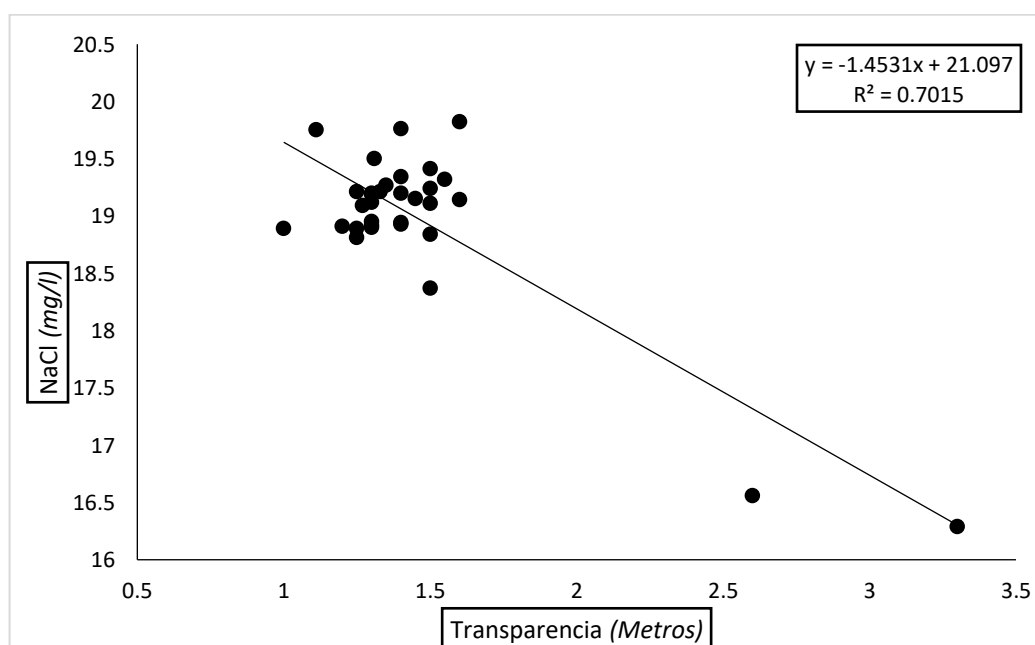
Portanto, como já foi dito, os pontos 30 e 31 apresentaram menor salinidade e maior transparência, devido à influência do Igarapé do Prata, cujas águas claras se distinguem de outros pontos do reservatório.

Figura 110 – Gráfico de correlação entre o total de sólidos dissolvidos e transparência



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

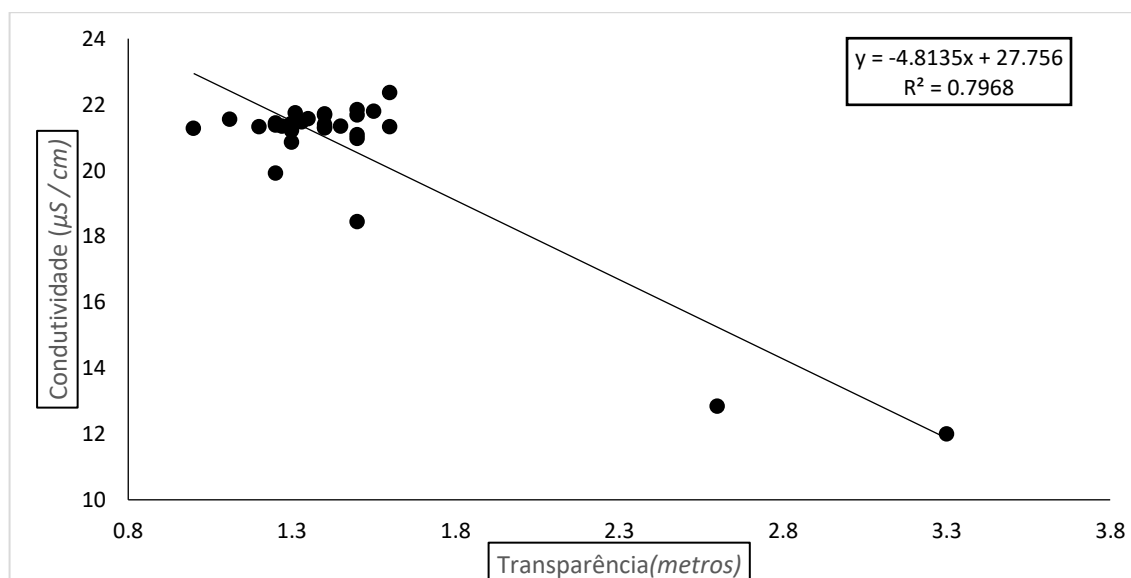
Figura 111 – Gráfico de correlação das variáveis Na Cl e transparência.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Finalmente, também se detectou correlação entre a condutividade e a transparência, como mostra a Figura 112. Isso ocorreu porque uma menor quantidade de matéria orgânica provoca menor quantidade de íons, fazendo, portanto, com que a condutividade elétrica da água diminuísse – mesmo assim, isso também provoca um aumento da luminosidade. De fato, novamente os pontos 30 e 31 se destacaram: houve menor condutividade e maior transparência.

Figura 112 – Gráfico de correlação entre condutividade e transparência da água



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.6.3 Análise durante o período de vazante.

A partir dos dados coletados durante a vazante, realizou-se a Tabela 25, logo abaixo.

Tabela 25 – Tabela de correlação de dados limnológicos durante a estação de vazante.

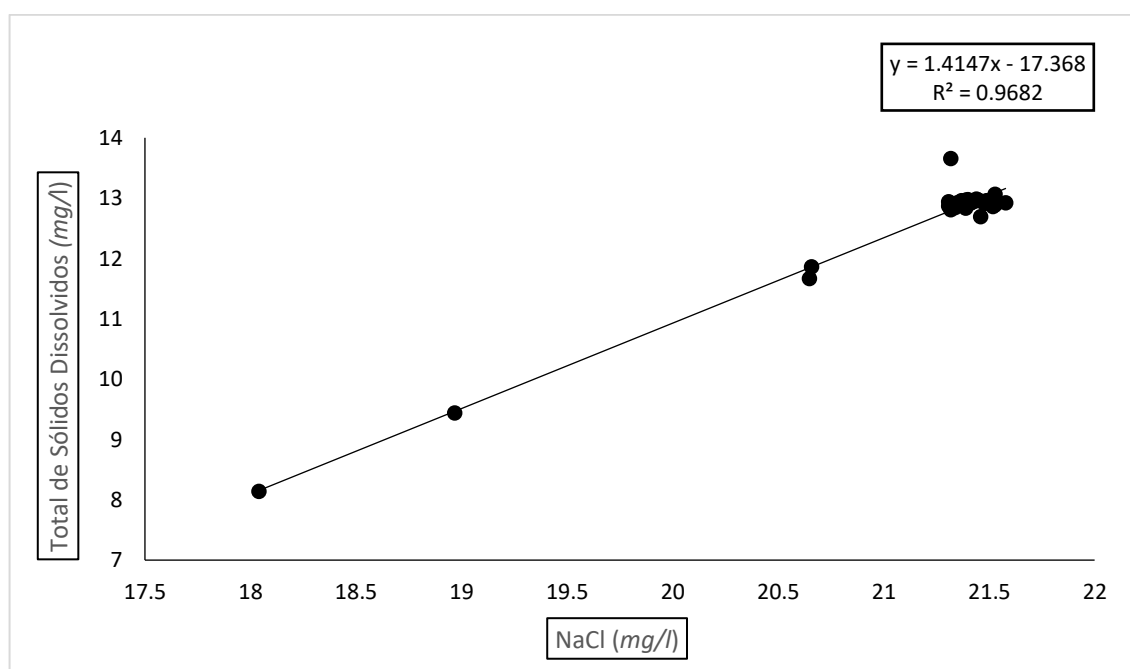
	sólido suspenso	clorofila	nitrito	nitrato	fosforo	ortofosfato	transparencia	OD-mg/l	salinidade	TDS	Temperatura	pH	Condutividade
sólido suspenso	1.00												
clorofila	0.06	1.00											
nitrito	-0.10	-0.09	1.00										
nitrato	0.25	-0.23	0.08	1.00									
fosforo	0.29	0.15	0.11	0.13	1.00								
ortofosfato	0.33	-0.04	-0.08	0.21	-0.06	1.00							
transparencia	0.06	-0.17	-0.39	-0.12	0.10	0.07	1.00						
OD-mg/l	0.03	0.28	0.56	-0.12	0.11	0.14	-0.40	1.00					
salinidade	0.20	-0.16	0.18	0.14	0.04	0.04	-0.53	0.16	1.00				
TDS	0.20	-0.17	0.17	0.16	0.05	0.02	-0.49	0.10	0.99	1.00			
Temperatura	-0.10	0.32	0.25	-0.33	-0.07	0.04	0.05	0.49	-0.47	-0.56	1.00		
pH	-0.06	0.21	0.11	-0.14	0.01	0.00	0.43	0.21	-0.61	-0.60	0.51	1.00	
Condutividade	0.20	-0.17	0.15	0.16	0.03	0.04	-0.50	0.11	1.00	0.99	-0.54	-0.61	1.00

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Nesse período detectou-se uma correlação significativa entre a salinidade e o total de sólidos dissolvidos, cujo coeficiente linear foi de 0,9, como indica a Figura 113. Isso ocorre, principalmente, porque grande parte do total de sólidos dissolvidos são ácidos fúlvicos causados por lixiviação, que também solubiliza grande parte dos sais presentes no solo. Assim, quanto maior for a quantidade dos sólidos dissolvidos, maior é a salinidade presente na água.

De fato, os pontos do reservatório com uma menor concentração de total de sólidos dissolvidos novamente foram os pontos 30 e 31, na parte mais baixa do gráfico. Os pontos 28 e 29, próximos ao Igarapé do Prata, localizam-se na parte intermediária do gráfico.

Figura 113 – Gráfico de correlação entre a salinidade e o total de sólidos dissolvidos



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

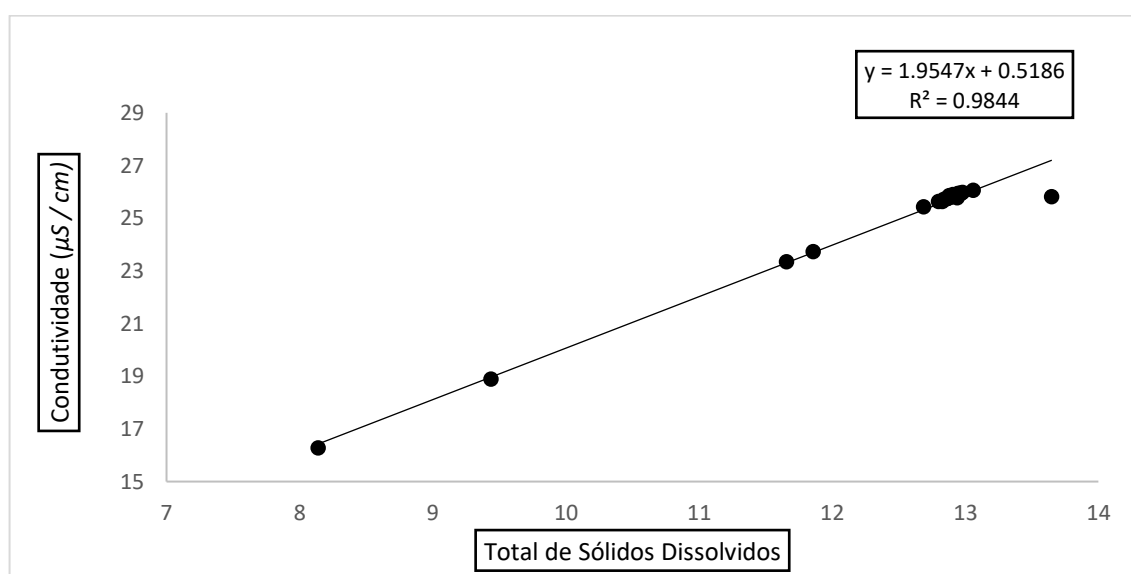
Outra correlação detectada na vazante foi entre as variáveis total de sólidos dissolvidos e condutividade elétrica, cujo coeficiente de determinação de *Pearson* foi de 0,9, como mostra a Figura 114. Isso ocorre porque grande parte dos sólidos dissolvidos na água liberam íons, que aumentam a condutividade elétrica. Neste gráfico, verificou-se que a influência do Igarapé do Prata sobre o reservatório gerou menor total de sólidos dissolvidos nos pontos 30 e 31. Já os pontos 28 e 29 estão localizados na parte intermediária do gráfico.

Houve, também, correlação entre as variáveis de Na Cl e a condutividade elétrica no reservatório, com coeficiente de determinação de *Pearson* de 0,9 (Figura 115). Como no

exemplo anterior, isso ocorre porque, quando os sais se dissolvem na água, liberam grande quantidade de íons, aumentando, assim, a condutividade elétrica.

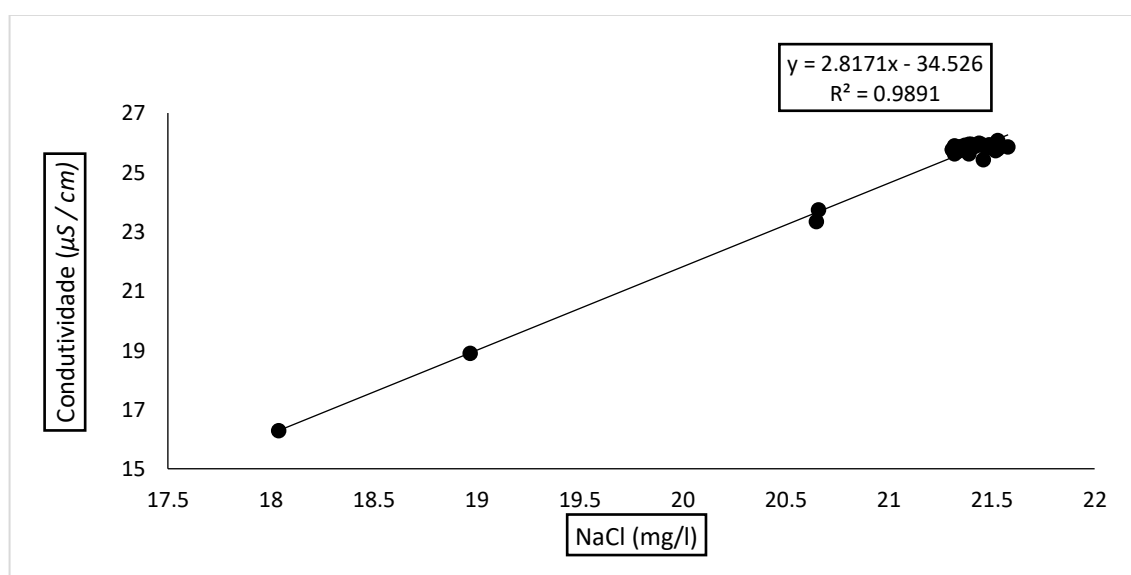
No gráfico verificou-se a presença dos pontos 30 e 31 na parte mais inicial da linha de tendência, devido à presença do Igarapé do Prata. Os pontos 28 e 29, por estarem na área de transição entre o Igarapé do Prata e a área alagada do rio Araguari, se localizam na zona intermediária do gráfico. Os pontos na zona superior do gráfico estão sob a influência do rio Araguari.

Figura 114 – Gráfico de correlação entre a condutividade e o total de sólidos dissolvidos



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 115 – Gráfico de correlação entre a salinidade e a condutividade elétrica na água



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.6.4 Análise durante o período de seca.

Também se realizou a análise de correlação entre os dados limnológicos coletados durante o período de seca no reservatório da UHE Ferreira Gomes (Tabela 26).

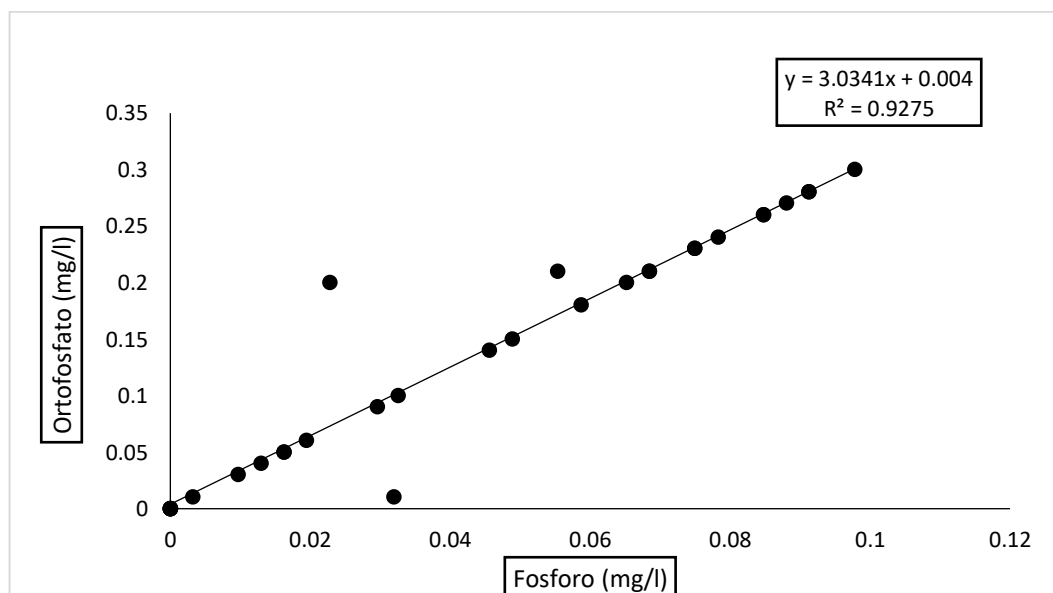
Tabela 26 – Tabela de correlação de dados limnológicos durante a estação de seca.

	Sólido suspensão	clorofila	nitrito	nitrito	fosforo	ortofosfato	transparencia	OD-/mg/l	Salinidade	TDS	Temperatura	pH	Condutividade
Sólido suspensão	1.00												
clorofila	-0.20	1.00											
nitrito	-0.34	0.08	1.00										
nitrito	0.36	-0.27	-0.52	1.00									
fosforo	-0.22	0.14	0.59	-0.47	1.00								
ortofosfato	-0.21	0.18	0.56	-0.46	0.96	1.00							
transparencia	-0.05	-0.04	0.41	-0.14	0.33	0.27	1.00						
OD-/mg/l	0.66	-0.25	-0.18	0.49	-0.26	-0.23	0.18	1.00					
Salinidade	-0.26	0.29	0.06	-0.20	0.24	0.22	0.26	-0.19	1.00				
TDS	0.38	-0.32	0.04	0.08	0.07	0.06	0.17	0.23	-0.60	1.00			
Temperatura	0.11	-0.50	-0.44	0.44	-0.48	-0.49	-0.39	0.17	-0.25	0.07	1.00		
pH	0.12	-0.40	-0.46	0.58	-0.58	-0.58	-0.44	0.16	-0.35	0.01	0.82	1.00	
Condutividade	0.06	-0.32	0.11	0.13	-0.04	-0.08	0.24	0.19	-0.05	0.25	0.30	0.29	1.00

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A correlação detectada foi entre o ortofosfato e o fósforo, cujo coeficiente foi de 0,96 (figura 116). Isso ocorre porque o ortofosfato é um fosforo inorgânico que tem origem na decomposição de matéria orgânica, de origem vegetal, proveniente das áreas alagadas do reservatório. Assim, após a decomposição do ortofosfato, as bactérias presentes na biota aquática o transformam em fósforo.

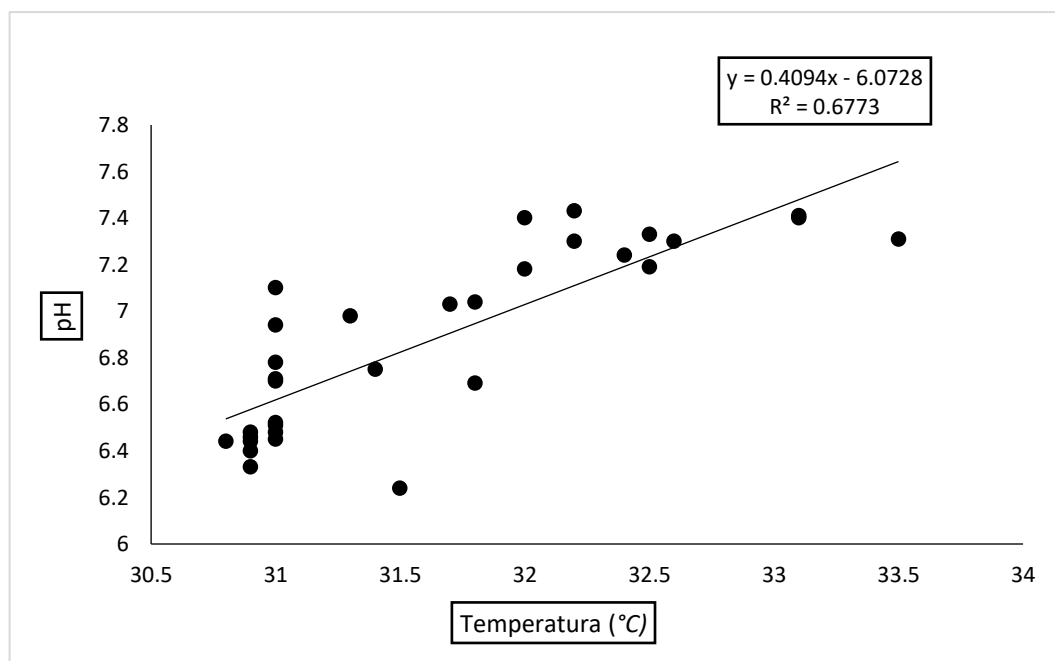
Figura 116 – Gráfico de correlação entre ortofosfato e fosforo.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Por fim, outra correlação encontrada durante o período de seca foi o coeficiente linear entre a temperatura e o pH, com um coeficiente de determinação de 0,67, como indica a Figura 117. Isso ocorre porque a liberação de íon OH^- acontece com o aumento da temperatura, que, conseqüentemente, aumenta o pH da água.

Figura 117 – Gráfico de correlação entre pH e temperatura



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

4.2.7 Variável limnológica de maior influência no reservatório

A variável que mostrou maior influência sobre a qualidade da água é o total de sólidos dissolvidos, devido à existência de matéria orgânica dissolvida, fenômeno que pode ser verificado pela influência destes elementos nos períodos de enchente, cheia e vazante, além da influência de parâmetros como o pH, que também está relacionado ao material dissolvido no corpo hídrico.

Os sólidos são separados em dois grupos: em suspensão e dissolvidos. Os sólidos dissolvidos são constituídos por colóides e são efetivamente dissolvidos. Esta separação se dá por meio de uma membrana filtrante, como de 1,2 μm de qualquer partícula que não for retida e considerada dissolvida; as que ficam paradas nas membranas são considerados em suspensão (CHOU; LUN 2018). De fato, no reservatório da UHE Ferreira Gomes há matéria orgânica dissolvida, ácidos fúlvicos, salinidade, ferro dissolvido, alumínio dissolvido e manganês dissolvido (WUNSCH *et al.*, 2019).

A matéria orgânica dissolvida e os ácidos fúlvicos presentes nesta área têm origem na decomposição de plantas e animais e de seus resíduos, como fezes, folhas, proteínas, carboidratos e lipídios (WUNSCH *et al.*, 2019). Por meio do processo de lixiviação e do escoamento superficial, a matéria orgânica alcança os recursos hídricos, aumentando em grande parte o total de sólidos dissolvidos.

No reservatório da UHE Ferreira Gomes, este processo de entrada de matéria orgânica dissolvida é alto devido à grande preservação da floresta ombrófila, que faz com que boa parte das folhas caiam e se decomponham. Além disso, as precipitações intensas na área aumentam o processo de lixiviação e, conseqüentemente, a concentração de matéria orgânica dissolvida.

Outro elemento dissolvido presente no reservatório da UHE Ferreira Gomes é o ferro solúvel. Segundo Cota (2017), é possível encontrar até duas vezes mais a quantidade de ferro solúvel do que nos valores estipulados na resolução Conama 357/2005, que é de 0,3mg/L. Isso ocorre porque grande parte das geologias que compõe a bacia do rio Araguari é formada pelo escudo cristalino das Guianas, ricas em ferro como granitos, migmatitos e dioritos, fazendo com que sejam solubilizados íons de ferro (Fe^{+2}) no rio (OLIVEIRA, 2017). Além disso, no município de Pedra Branca do Amapari ocorre grande exploração de minério de ferro, cujos resíduos são carreados para o rio Araguari.

Segundo Cota (2017), outro elemento que compõe o total de sólidos dissolvidos na água é o manganês, o qual apresenta grandes concentrações no reservatório da UHE Ferreira Gomes. Isso ocorre porque o rio Amapari, que é o principal afluente do rio Araguari a montante do reservatório, passa sobre a região de rochas de manganês e regiões onde há rejeito desse metal.

De fato, o rio Amapari tem contato com os rejeitos da exploração de manganês por meio da mineradora ICOMI (Industria Comercio e Minério), localizada no município de Serra do Navio, a céu aberto (Figura 118), de modo que as altas precipitações carregam os sedimentos e os íons de manganês – que são Mn^{+2} , na forma mais solúvel, e Mn^{+4} , na forma menos solúvel (SCARPELLI; HORIKAVA, 2018). Além disso, o maquinário contendo esse metal também fica a céu aberto (Figura 119), levando, assim, grande quantidade de manganês, proveniente dessas máquinas ao rio Amapari e, conseqüentemente, ao rio Araguari.

Outro elemento que compõe o total de sólidos dissolvidos no reservatório da UHE Ferreira Gomes é o alumínio dissolvido (COTA e VITORINO, 2017), proveniente do processo de lixiviação do solo e das rochas. Na verdade, a geologia da região apresenta os mais variados tipos de minério de ferro. Em suma, segundo Brito (2009), as altas concentrações de ferro e de alumínio dissolvidos são causadas pelo processo de lixiviação geológica e pela dissolução do solo na rocha.

Figura 118 – Rejeito de manganês no município de Serra de Navio próximo ao Rio Amapari



Fonte: Rodrigues *et al.*, 2017

Figura 119 – Maquinário contendo manganês no município de Serra de Navio próximo ao Rio Amapari



Fonte: Rodrigues *et al.*, 2017

4.3 Compartimentação do reservatório em zona fluvial, zona de transição e zona lacustre.

As diferenças longitudinais e verticais ocorridas em um reservatório permitem a identificação de compartimentos, delimitados por zonas de rio, zona de transição e zona lacustre. Esta proposta de compartimentação, no reservatório da UHE Ferreira Gomes, foi realizada a partir da metodologia de Tundisi e Tundisi (2008) e Cabral *et al.* (2013), levando

em consideração o parâmetro de oxigênio dissolvido, somando e realizando a média de cada ponto, como mostra a Figura 120, na próxima página. A partir disso, foram identificados os compartimentos do reservatório, conforme evidencia a Figura 121, mais à frente.

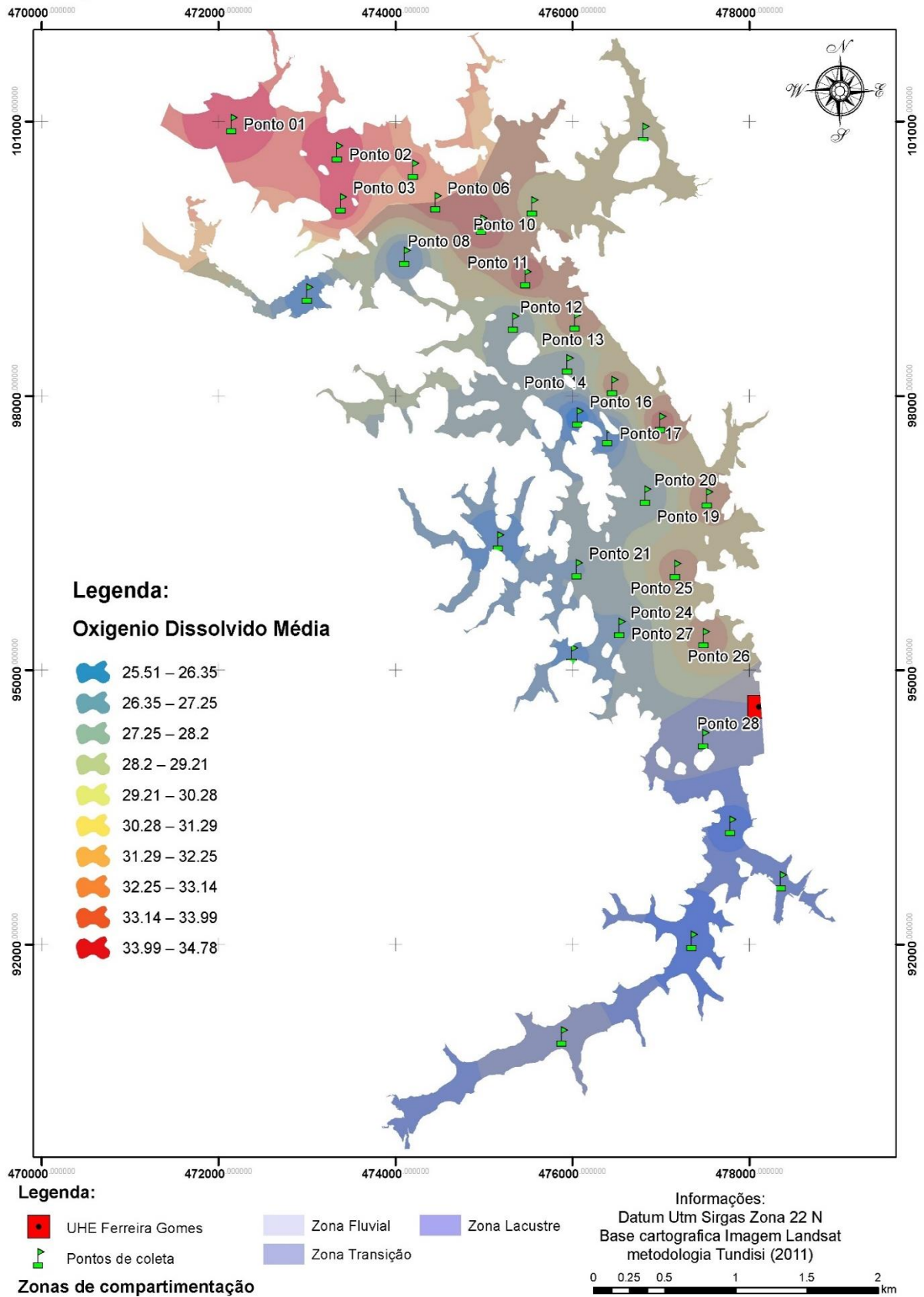
Analisou-se que na margem esquerda há uma maior concentração de oxigênio dissolvido devido principalmente, aos igarapés da margem esquerda que estão em altimetrias maiores apresentam maior vazão o que fazem que quando tenham contato com reservatório apresenta maior oxigênio dissolvido. Portanto, a margem esquerda do reservatório apresenta maior concentração de oxigênio dissolvido.

Sendo assim, a zona de rio ocorreu entre as áreas de influência dos pontos 1 a 6 e se caracteriza por ter maior concentração de oxigênio dissolvido e de sedimento em suspensão, mas apresenta menores valores de transparência.

Na zona de transição ocorre uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido e de sedimentos suspensos, em relação à zona de rio.

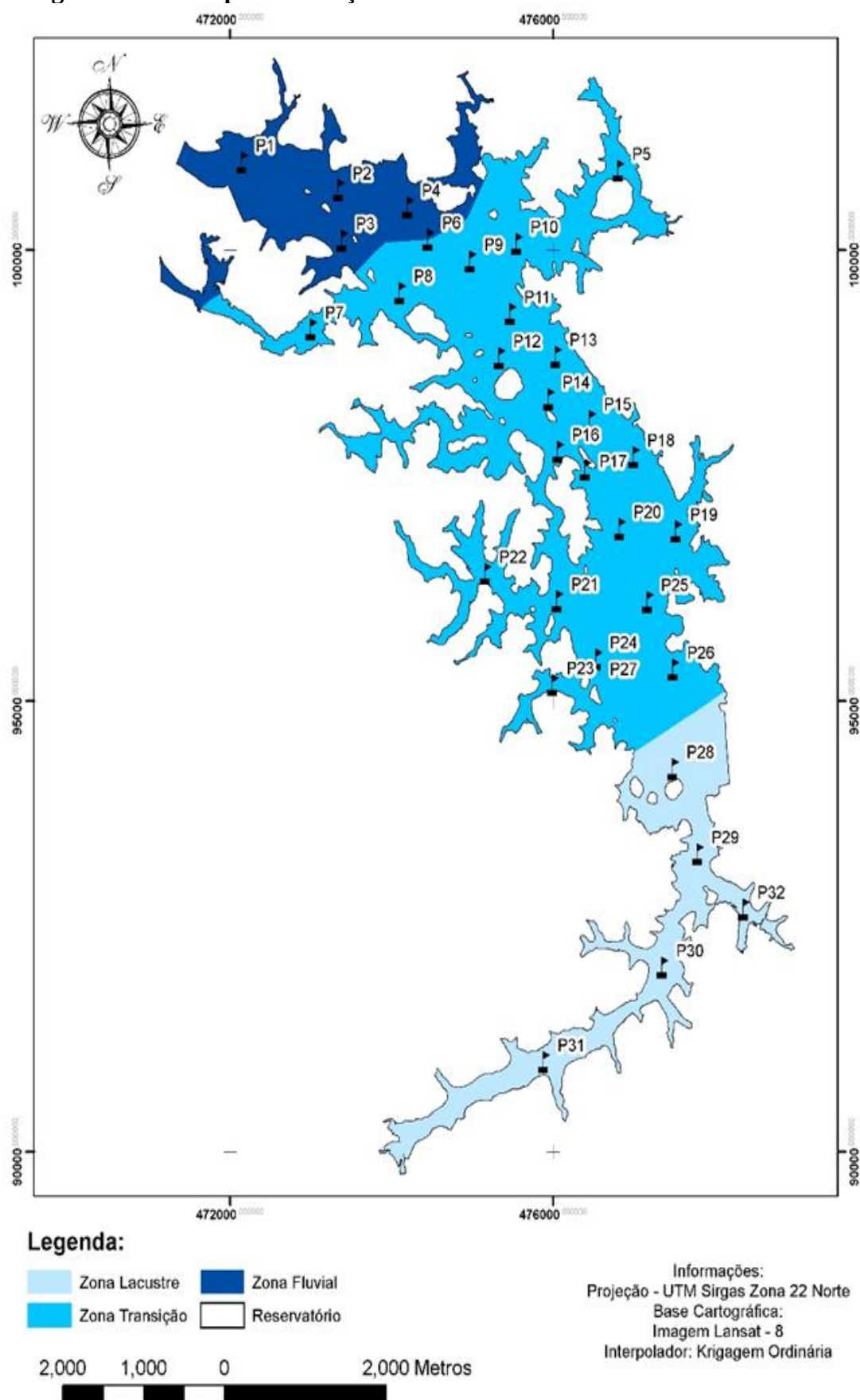
Por fim, na zona lacustre, localizada entre as áreas de influência do ponto 28 e a barragem do reservatório, também se verificou menor concentração de oxigênio dissolvido e de sedimentos suspensos.

Figura 120 – Compartimentação do reservatório baseado no Oxigênio Dissolvido



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Figura 121 – Compartimentação do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS COAs D'ÁGUA.

O comportamento espectral da água está diretamente relacionado com as concentrações das substâncias. Para o entendimento da assinatura espectral, é necessário o estudo do material presente no corpo hídrico, pois diversas substâncias interferem nas propriedades óticas da água, ou seja, os componentes opticamente ativos (SANTOS *et al.*, 2018; SILVA, 2012; ARRAUT *et al.*, 2005). Por isso, existe a necessidade de relacionar o comportamento espectral com a concentração dos componentes opticamente ativos, além de levar em consideração a transparência da água, que também interfere nas propriedades óticas.

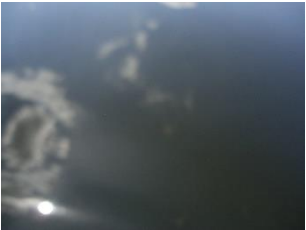
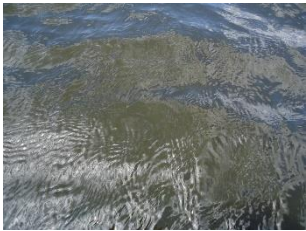
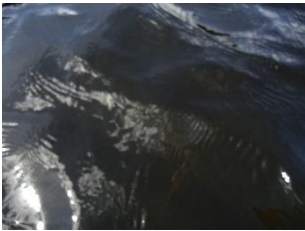
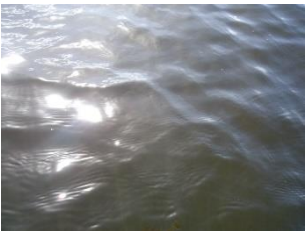
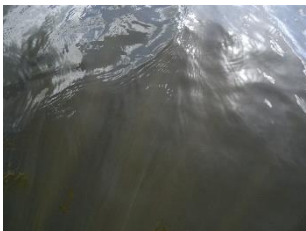
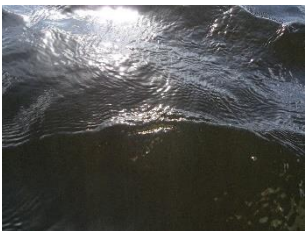
De fato, os constituintes opticamente ativos na água são a presença de clorofila, dos sedimentos em suspensão e do carbono orgânico dissolvido.

No reservatório da UHE Ferreira Gomes o total de sólidos dissolvidos é a variável limnológica que apresenta maior influência nas características da água e, conseqüentemente, em suas propriedades óticas. Pode-se inferir que há grande quantidade de alumínio e manganês dissolvidos na água, além de matéria orgânica, também dissolvida, interferindo, portanto, na coloração (COTA, 2015; COTA *et al.*, 2017; BRITO, 2009).

Com efeito, o manganês e o alumínio dissolvidos deixam a água com coloração escura e baixa reflectância (WETZEL, 2001; BRITO 2009), como pode ser visto na água do reservatório da UHE Ferreira Gomes, como mostra o Quadro 4.

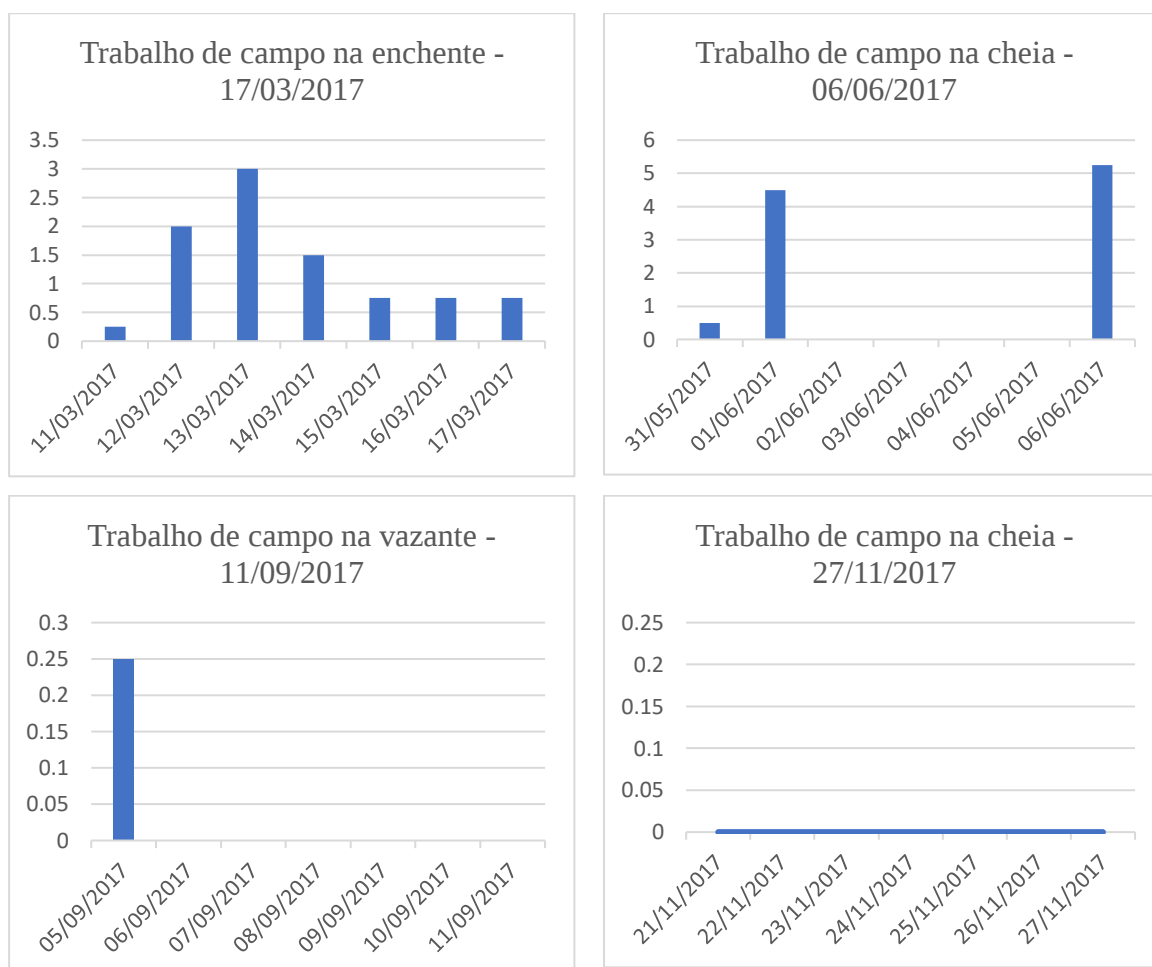
Sendo assim, para a realização do estudo do comportamento espectral da água realizou-se a coleta no mesmo momento da coleta dos parâmetros de qualidade da água, seguindo os trabalhos de Cabral (2003), Rudorff *et al.* (2007), Cabral *et al.* (2013). Além disso, optou-se por selecionar de modo preciso as condições climáticas, como menor nebulosidade e menor quantidade de vento, para não haver interferência no espelho d'água, embora tenham sido detectadas pequenas ondas na superfície.

Quadro 4 – Cor da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Região do reservatório / Estação chuvosa	Região fluvial do reservatório	Região de transição do reservatório	Região Lacustre do reservatório
Coleta na enchente (17/03/2017)			
Coleta na cheia (06/06/2017)			
Coleta na vazante (11/09/2017)			
Coleta na seca (27/11/2017)			

Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Quadro 5 – Dados de precipitação antes dos trabalhos de campo. (Estação pluviométrica UHE Ferreira Gomes Barragem)



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.1 Análise do comportamento espectral da água do reservatório.

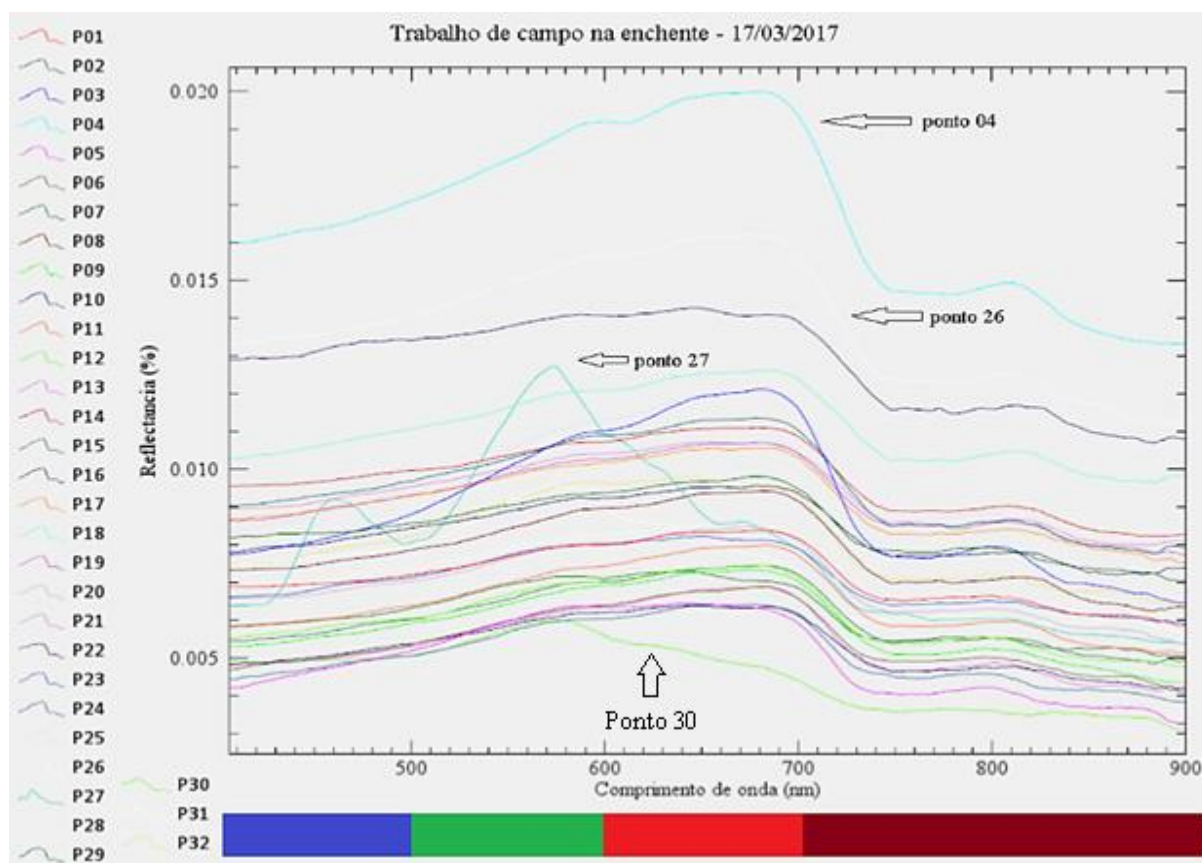
Para a realização do estudo, foram catalogados os dados do comportamento espectral da água em cada trabalho de campo, além dos parâmetros limnológicos. A partir disso, foi possível realizar a construção dos espectros eletromagnéticos e verificar se existem diferenças entre os diversos pontos e as diferentes épocas de coleta.

5.1.1 Regime de enchente

As assinaturas do comportamento espectral do trabalho de campo se caracterizaram por grande absorção de água na faixa do infravermelho, como mostra a Figura 122. Além disso, durante época de chuva, tal comportamento foi o que apresentou maior reflectância de energia. De fato, os pontos de coleta 4 e 26 apresentam a maior refletância, devido à maior intensidade

de energia no momento de coleta. Por sua vez, o ponto 30 apresenta uma maior profundidade de transparência e menor refletância no corpo hídrico, além de ter um dos menores índices de sólidos suspensos. Segundo Cabral e Pereira Filho (2018), quanto maior for a transparência presente na água, menor é a refletância.

Figura 122 – Espectros eletromagnéticos dos pontos coletados durante o período de enchente



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Na faixa espectral de 600 a 700 nm ocorreu a maior refletância entre as estações de coleta, devido à maior concentração de sedimentos suspensos. Estes sedimentos carregados para o corpo hídrico têm como uma das principais fontes as ilhas presentes no reservatório, conforme a Figura 123. Já a faixa de comprimento de onda de 700 a 900 nanômetros durante este período apresentou boa absorção do corpo hídrico.

Os pontos 27 e 31 apresentaram uma maior refletância em torno do comprimento de onda de 578 nm, na banda do verde. Isto ocorre devido à grande quantidade de clorofila, que foi de $24,46 \mu\text{g/L}^{-1}$, que ocorreu no ponto 31. Isto corrobora os trabalhos realizados por Arraut *et al.* (2005), Santos *et al.* (2018), Cabral e Pereira Filho (2018).

Figura 123 – Margem das ilhas da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Acervo do autor, 2016

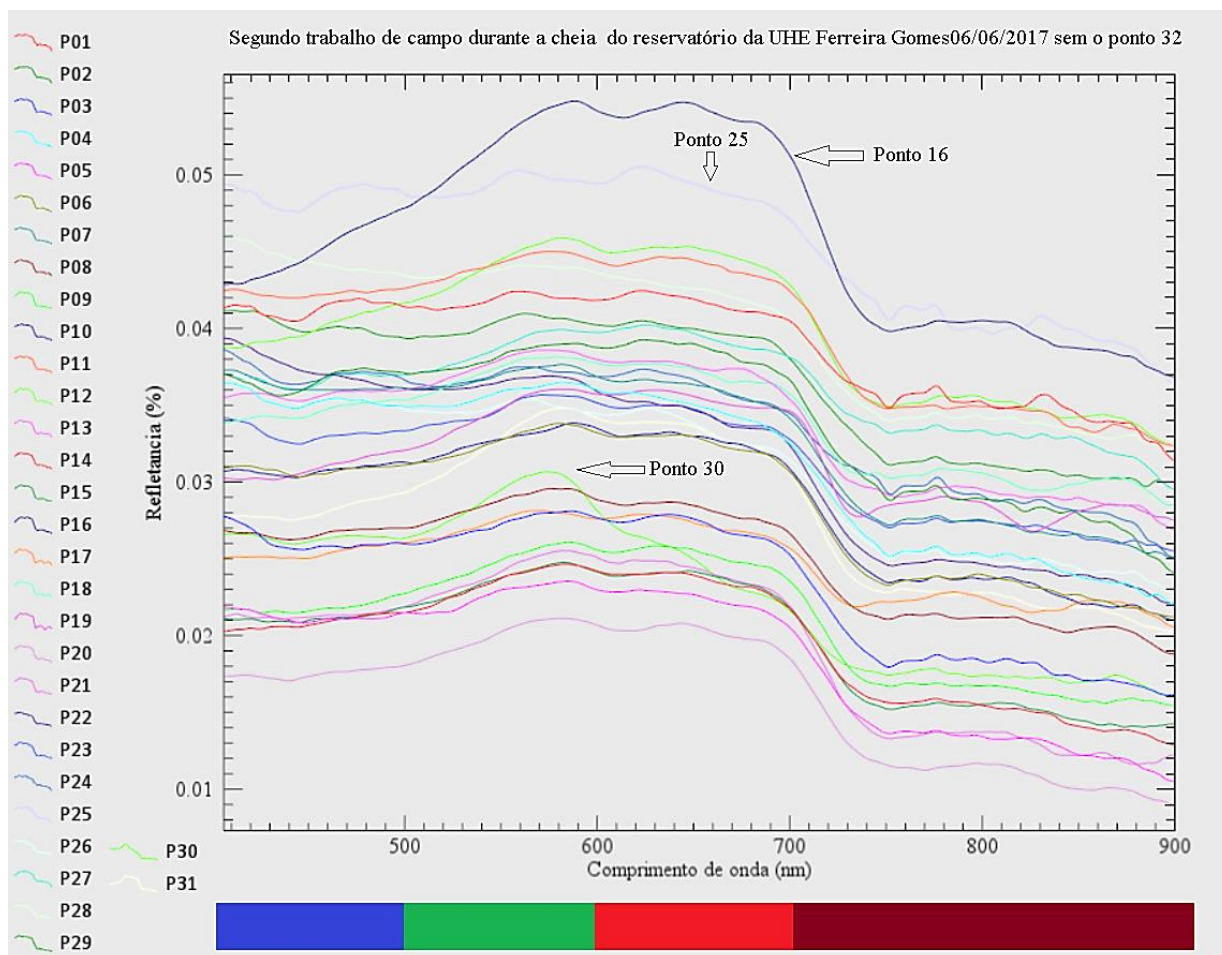
5.1.2 *Regime de cheia*

A época de cheia do ano de 2017 no reservatório da UHE Ferreira Gomes se caracterizou pela seca, causada pela anomalia climática e apresentou uma baixa reflectância. Além disso, a baixa reflectância encontrada também é causada pela coloração escura da água, conforme a Figura 124.

Os pontos de coleta 16, 25 e 30 foram os que apresentaram maior reflectância, com uma elevação no comprimento de onda de 590 nm, do verde, e pequenas absorções no vermelho, em torno de 620 nm. Isso ocorre devido à presença da clorofila que, neste trabalho de campo, teve um mínimo de $2,74 \mu\text{g}/\text{l}^{-1}$ e um máximo de $35,69 \mu\text{g}/\text{l}^{-1}$ cuja média foi de $18,34 \mu\text{g}/\text{l}^{-1}$.

Nos comprimentos de onda que correspondem à banda do azul, ocorreu absorção. Já nos comprimentos de onda entre 550nm e 650 nm, que correspondem à banda do verde, ocorreu uma pequena reflectância causada pela clorofila. Além disso, a partir do comprimento de onda de 720 nm, ocorreu uma alta absorção. Por fim, no comprimento de onda de 760 nm ocorreu uma absorção que pode ser associada às altas concentrações de oxigênio dissolvido.

Figura 124 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a cheia do reservatório da UHE Ferreira Gomes



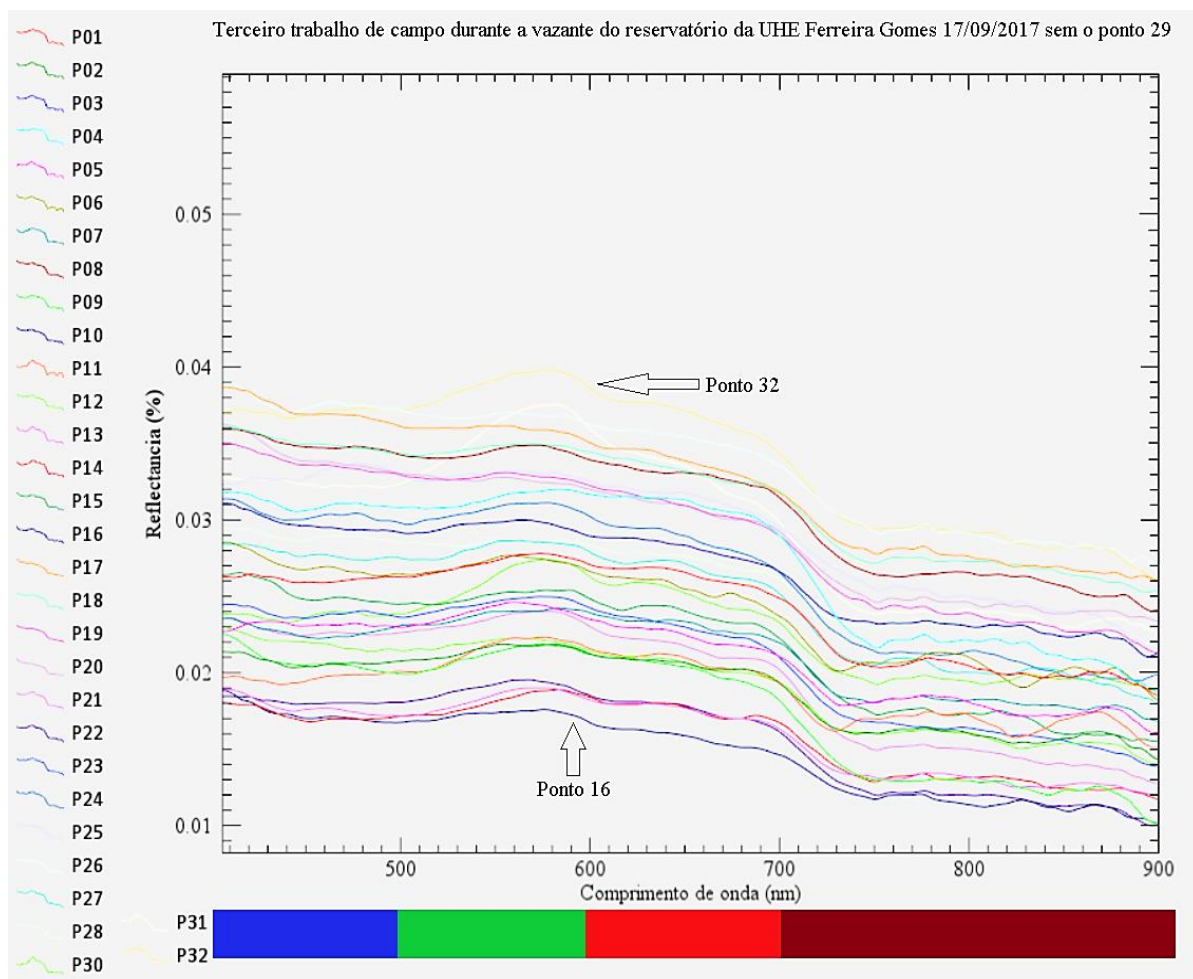
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.1.3 Regime de vazante

No trabalho de campo de campo durante a vazante, o ponto de maior intensidade de refletância foi o 32, enquanto o ponto de coleta 16 foi o que apresentou menor intensidade, como mostra a Figura 125.

Em termos gerais, o comportamento espectral da água na UHE Ferreira Gomes se caracteriza por uma baixa refletância, causada pela sua coloração escura. Além disso, durante a vazante, este comportamento apresentou absorção no comprimento de onda do azul, que ocorre entre 400nm até 470 nm e é causado pela absorção da clorofila. De qualquer forma, houve pequena refletância a partir dos 520 nanômetros, também causada pela presença de clorofila na água, que se reflete na banda do verde. Finalmente, houve uma alta absorção na região do infravermelho próximo.

Figura 125 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes

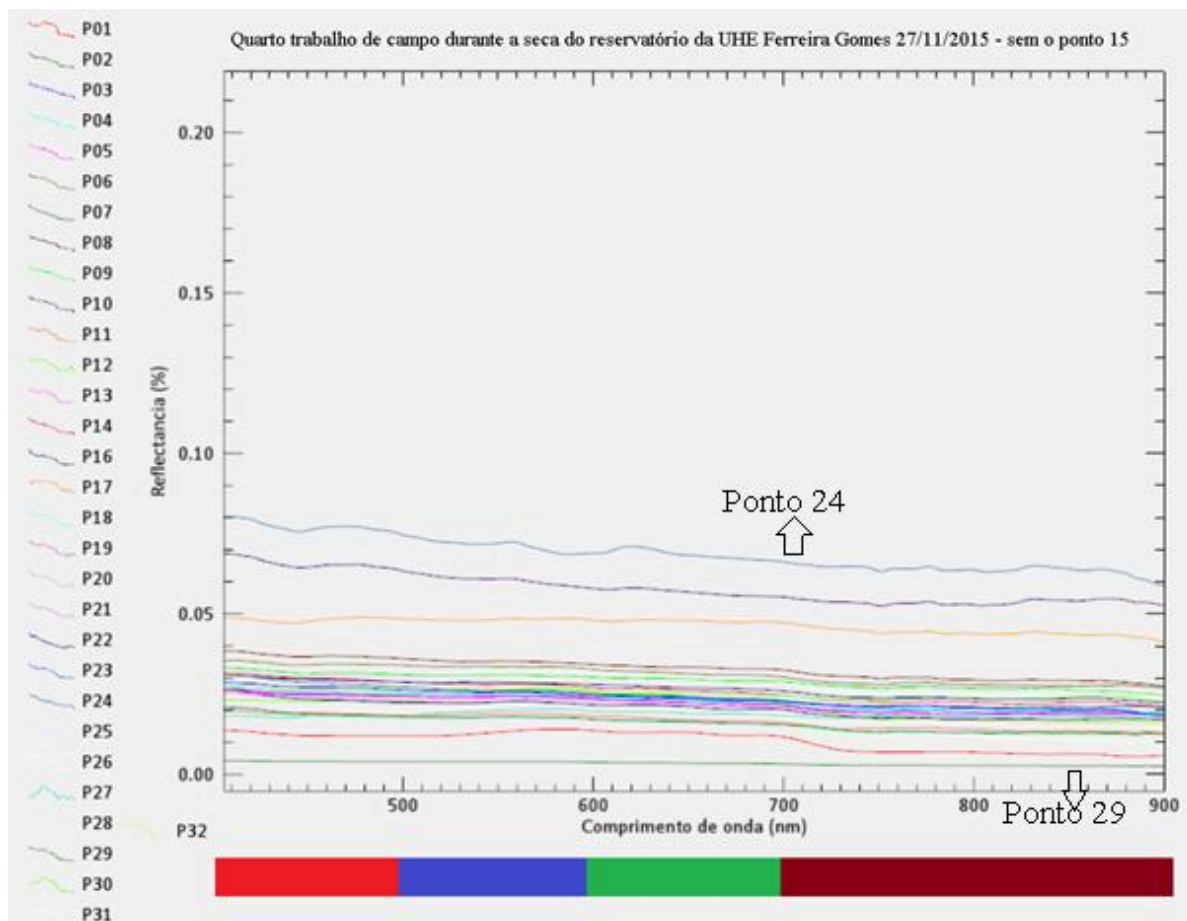


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.1.4 Regime de seca

No trabalho de campo durante a seca, o comportamento espectral do ponto 29 foi o que apresentou maior intensidade de reflectância, enquanto o 24 foi o que apresentou menor intensidade. Além disso, nesse ponto não houve nenhuma variação de energia, como se pode perceber na Figura 126.

Figura 126 – Espectros eletromagnéticos dos pontos de coleta durante a seca do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

O comportamento espectral da água no campo 4 se dá por causa da coloração escura, com indícios de grande quantidade de matéria orgânica. Assim, a reflectância do campo 4 apresentou-se em torno do comprimento de onda de 430 nm, que corresponde à banda do azul, de modo que essa pode ser uma absorção com indícios dos efeitos da matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) (JANSEN, 2009; NOVO *et al.*, 2019). Em torno de 570 nm, que está na banda do verde, houve uma pequena refletância causada pela presença da clorofila na água (NOVO *et al.*, 2019; JANSEN, 2009). Além disso, em 760 nm, ocorre a absorção da água causada pela presença de oxigênio da atmosfera (JANSEN, 2009; NOVO *et al.*, 2019).

5.2 Análise dos correlogramas entre os comprimentos de onda e as propriedades óticas da água

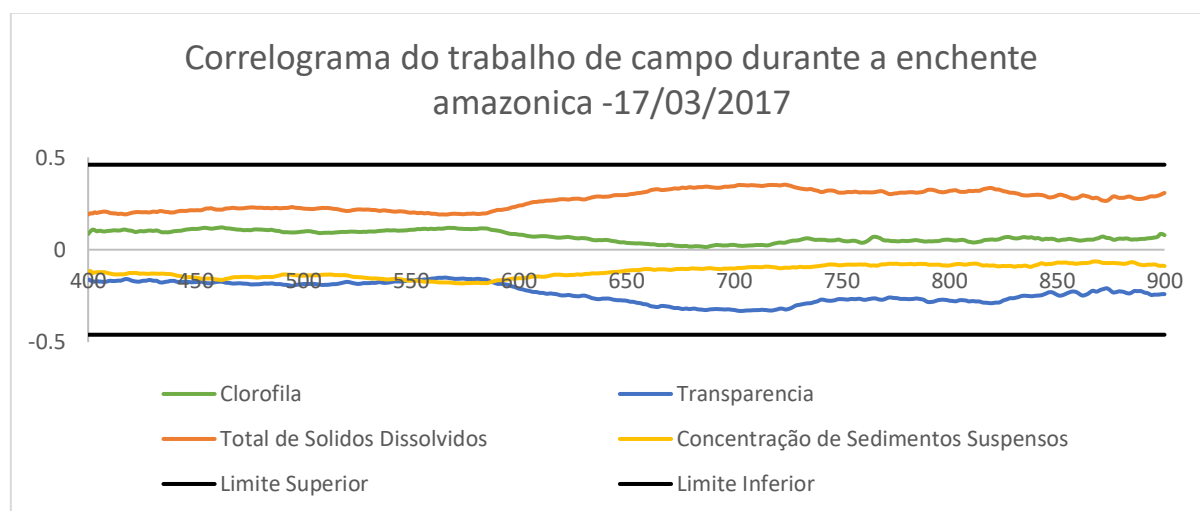
A partir dos dados do comportamento espectral em cada ponto, realizou-se a correlação entre a reflectância dos comprimentos de onda de 400 nm a 900 nm e as variáveis

limnológicas que interferem nas propriedades óticas da água. De fato, as variáveis limnológicas que apresentam interferência na cor da água são a presença de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensão. A partir disso, foram construídos os correlogramas, para verificar as correlações entre os comprimentos de onda e as variáveis limnológicas presentes no corpo hídrico.

5.2.1 Trabalho de campo durante na enchente realizado no dia 17/03/2017.

Para realizar o estudo de correlograma do trabalho de campo na época de enchente, considerou-se um valor de correlação significativo de 99%, como indica a Figura 127. Mesmo assim, para a correlação ter esse valor, deve ser acima de 0,46, tendo em vista o grupo de amostragem e o teste de significância.

Figura 127 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a enchente



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Devido à cor da água ser extremamente escura, não houve nenhuma correlação significativa entre os componentes opticamente ativos e a refletância nos comprimentos de onda. Além disso, por causa dessa coloração, a refletância da clorofila também fica afetada, como se pode perceber nos comprimentos de onda nos quais deveria haver uma refletância da clorofila, ou seja, nos comprimentos da banda do verde e do infravermelho, que não ocorreu.

De fato, os coeficientes não mostraram correlação com a transparência. Isso ocorre devido à alta absorção da água que ocorre no infravermelho, provocando um aumento na zona

eufótica da água, mas que não tem uma correlação com valor significativo em relação à reflectância.

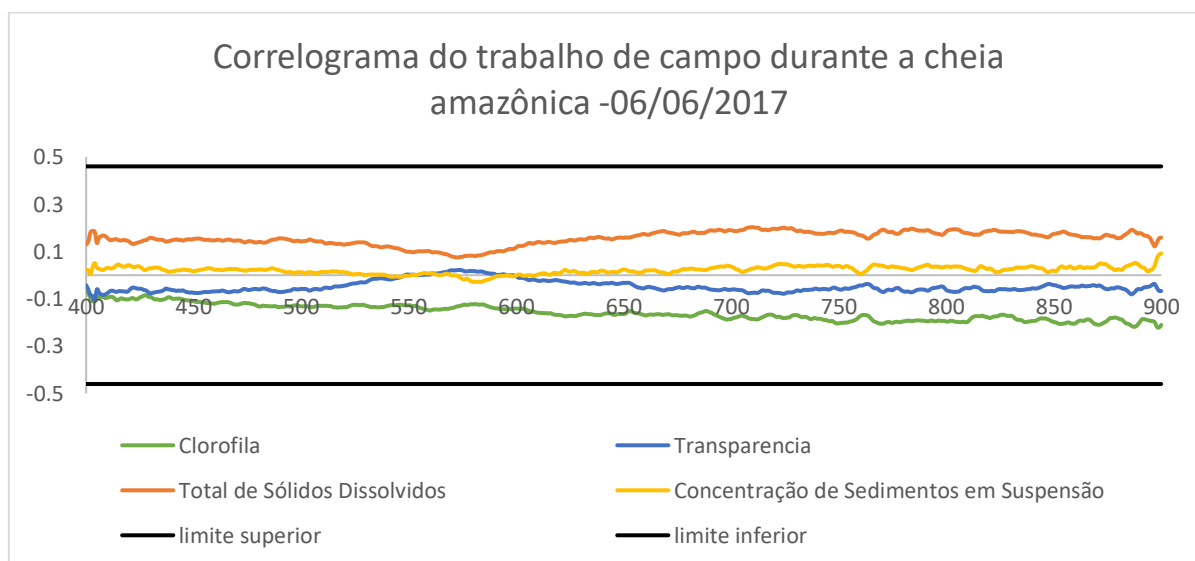
Também não há uma correlação significativa do total de sólidos dissolvidos na reflectância no campo 03. Isso ocorre devido à baixa reflectância da água e, consequentemente, pelo fato de a reflectância volumétrica também ter sido muito baixa (NOVO *et al.*, 2019).

Finalmente, também não se registrou correlação significativa entre a reflectância e a concentração de sedimentos suspensos, que foi de 1 mg/L até 19 mg/L, já que eles ficam retidos nos reservatórios a montante.

5.2.2 Trabalho de campo na enchente realizado no dia 06/06/2017.

Realizou-se o correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda e as variáveis limnológicas, o total de sólidos dissolvidos, a concentração de sedimentos em suspensão, a transparência e a clorofila. Somente foram consideradas correlações de significância de 99% e valores de coeficiente linear acima de 0,46, como mostra a Figura 128.

Figura 128 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a cheia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Não se obteve nenhuma correlação significativa entre a clorofila e os comprimentos de onda. De fato, apesar de haver uma média de concentração de clorofila de $18,34 \mu\text{g/l}^{-1}$, as suas correlações com as bandas do verde e do infravermelho não apareceram, devido à água do corpo hídrico ser muito escura.

Neste correlograma não houve nenhuma correlação significativa entre o TDS e a refletância, também causadas pela baixa refletância das águas escuras do reservatório.

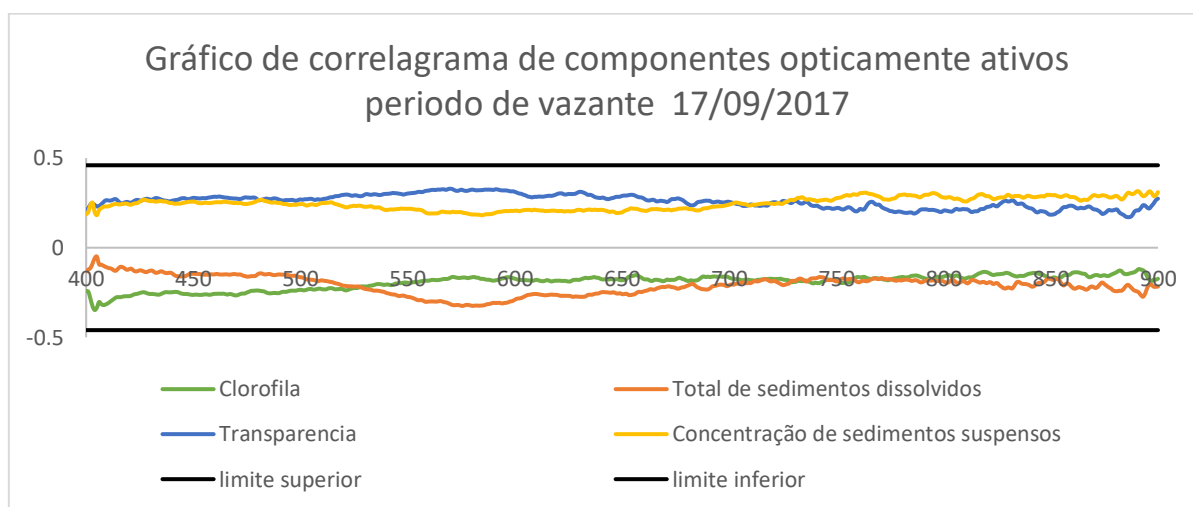
Não se detectou, igualmente, correlação significativa entre a transparência e refletância, por causa das águas escuras. Houve, no entanto, um aumento da absorção de energia em relação à enchente e um aumento na média de transparência, que anteriormente era de 97 cm e passou para 1,47 metros.

Não houve nenhuma correlação significativa entre os sedimentos suspensos e a refletância, porque grande parte deles ficam retidos no reservatório a montante. Em suma, o trabalho de campo realizado durante o período de cheia apresentou baixas correlações, devido, principalmente, às características físicas limnológicas da água do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

5.2.3 Trabalho de campo na vazante realizado no dia 17/09/2017

Para se verificar as correlações no comprimento de onda com as variáveis limnológicas considerou-se a significância de 99%, como se pode notar na Figura 129.

Figura 129 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante vazante.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Assim, não houve nenhuma correlação significativa nos espectros coletados durante o período de regime de chuva de vazante entre as propriedades óticas da água.

Como já foi dito, porque a água é muito escura, a refletância da clorofila fica afetada. Isso pode ser demonstrado em comprimentos de onda nos quais deveria haver correlação entre

a concentração de clorofila e a refletância na banda do verde e do infravermelho, mas que não foram detectados.

Os valores de reflectância não mostraram correlação com a transparência. Isso ocorre devido à alta absorção da água que ocorre no infra-vermelho, a qual provoca um aumento na zona eufótica da água, mas não apresenta valor significativo.

Também não há uma correlação significativa entre o total de sólidos dissolvidos e a reflectância durante o período de vazante. Isso ocorre devido à baixa reflectância da água e, consequentemente, à baixa refletância volumétrica.

Finalmente, também não houve correlação significativa entre a reflectância e a concentração de sedimentos suspensos, pois, como já foi dito, os sedimentos ficam retidos nos reservatórios a montante.

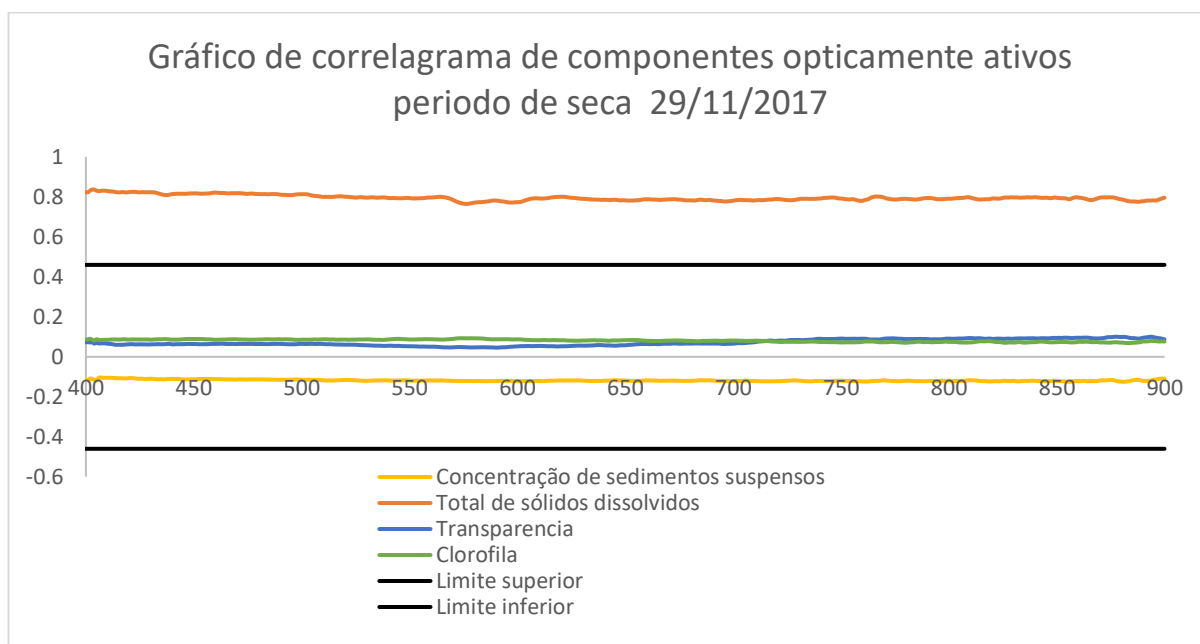
5.2.4 Trabalho de campo na seca realizado no dia 17/09/2017.

Para verificar a correlações significativas do trabalho de campo durante a seca, também se considerou as correlações com um nível de significância de 99%, cujo valor ficou acima de 0,46, como indica a Figura 130, mais à frente.

Assim, a variável de componente opticamente ativo que apresentou maior correlação foi o total de sólidos dissolvidos. Isso ocorre, principalmente, porque nesses sólidos existe a presença de matéria orgânica dissolvida, além de outros componentes, como o manganês e o alumínio dissolvidos, que acentuam a cor escura da água (BARBOSA, 2005).

A presença de manganês e alumínio dissolvidos na água pode inferir na alta quantidade de absorção (WETZEL, 2001; BRITO, 2009). Por isso, pode-se inferir que não há grande uma grande quantidade de matéria orgânica durante a época de seca, já que o processo de lixiviação para o corpo hídrico é baixo. Também pode-se inferir que a quantidade de manganês e alumínio dissolvidos na água pode ser a causa da correlação entre a refletância dos comprimentos de onda e o total de sólidos dissolvidos.

Figura 130 – Correlograma entre a reflectância dos comprimentos de onda de clorofila, transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos durante a seca.



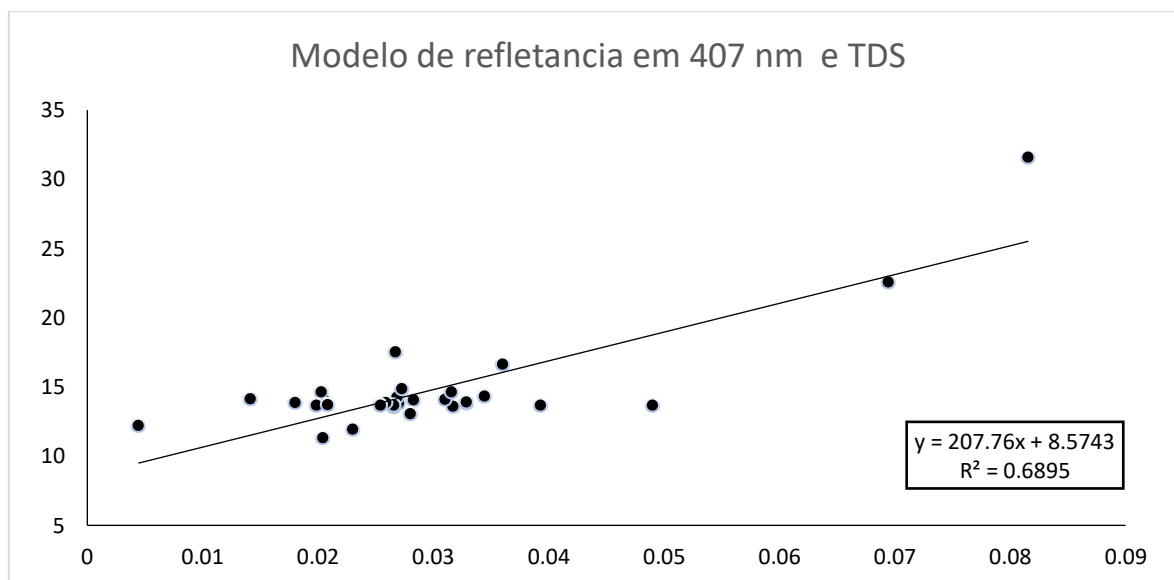
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Como já ressaltado anteriormente, devido à presença dos três reservatórios em cascata, a concentração de sedimentos em suspensão é menor, pois eles ficam retidos nos reservatórios da UHE do Caldeirão e de UHE Coroacy Nunes. Portanto, este componente opticamente ativo não apresenta grande influência no corpo hídrico.

Sendo assim, a partir da análise dos correlogramas, realizou-se o trabalho de campo 4, que corresponde ao período de seca. Para tanto, construiu-se um modelo para realizar a estimativa de TDS utilizando a reflectância de 407, que foi a maior coletada no trabalho de campo, cujo coeficiente de correlação foi de 0,81. Dessa forma, obteve-se um coeficiente de determinação de 0,68, com uma significância de 99%, como mostra a Figura 131.

Portanto, é possível estimar em 68% o total de sólidos dissolvidos no corpo hídrico, a partir do comprimento de onda 407 nm. Ou seja, identificou-se que as áreas de maior refletância foram as áreas de maior concentração de TDS.

Figura 131 – Modelo de estimativa de Total de Sólidos Dissolvidos durante a seca com o comprimento de onda de 407 nm.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.3 Análise da derivada dos espectros eletromagnéticos coletados.

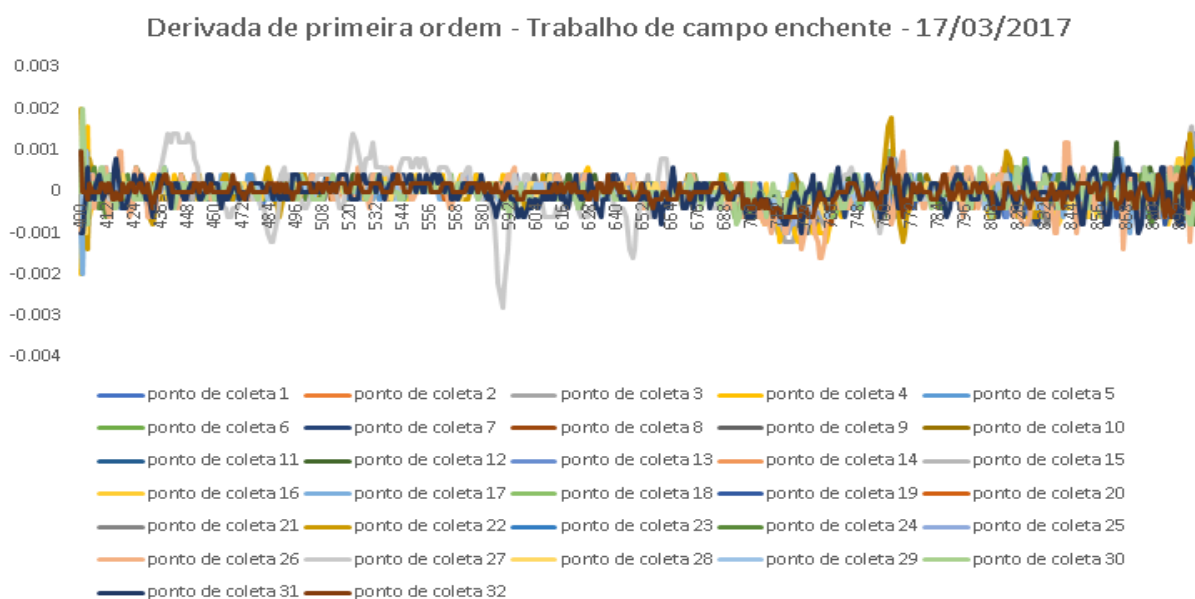
Para analisar o estudo de radiometria dos comprimentos de onda, realizou-se o estudo da radiometria por meio da análise da derivada (BARBOSA *et al.*, 2019), de modo a identificar os comprimentos de onda de maior absortância e reflectância de energia.

5.3.1 Trabalho de campo realizado na enchente que foi feito no dia 17/03/2017.

A partir dos dados dos espectros eletromagnéticos do campo de enchente, realizou-se a derivada de primeira ordem nos pontos selecionados e obteve-se gráfico apresentado na Figura 132 .

Com efeito, na análise da derivada da enchente verificou-se que não houve nenhuma grande reflectância. O ponto de coleta 27 foi o que apresentou maior absorção, em torno do comprimento de onda 589 nm, o qual está relacionado à presença de clorofila, cuja concentração é de $17,46 \mu\text{g}/\text{l}^{-1}$, que absorve os comprimentos de onda entre o verde e o vermelho para a realização da fotossíntese (JANSEN, 2009; NOVO *et al.*, 2019). Já a maior reflectância identificada ocorreu em torno de 760 nm, que está relacionada à absorção do oxigênio, cuja média foi 8,05mg/L.

Figura 132 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de enchente do reservatório da UHE Ferreira Gomes

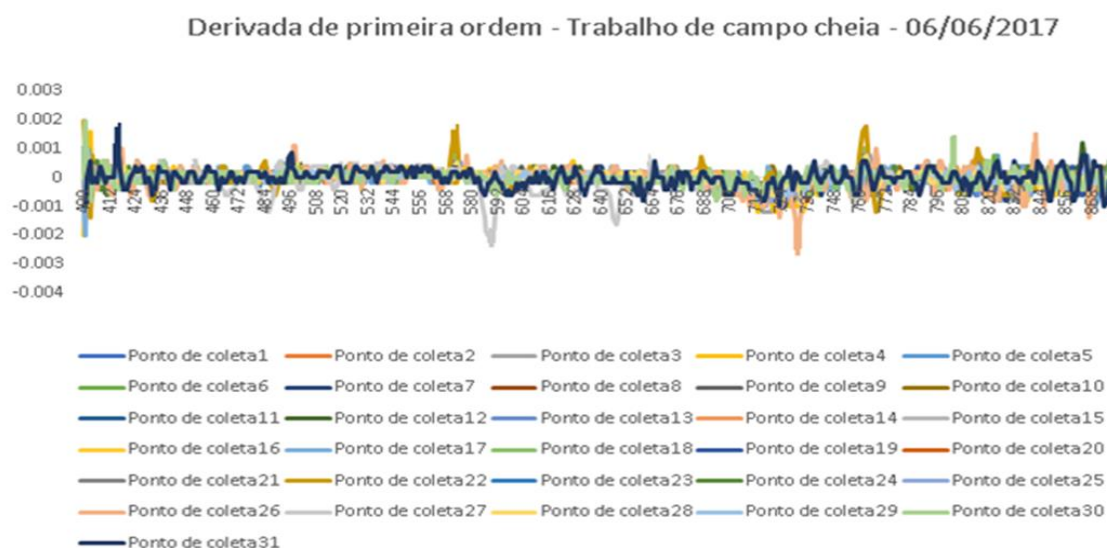


Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.3.2 Trabalho de campo durante a cheia que foi feito no dia 06/06/2017.

Com o objetivo de estudar a reflectância e absortância dos espectros eletromagnéticos dos campos realizados durante o período de cheia, realizou-se a derivada destes comprimentos de onda, como esclarece a Figura 133.

Figura 133 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de cheia do reservatório da UHE Ferreira Gomes.



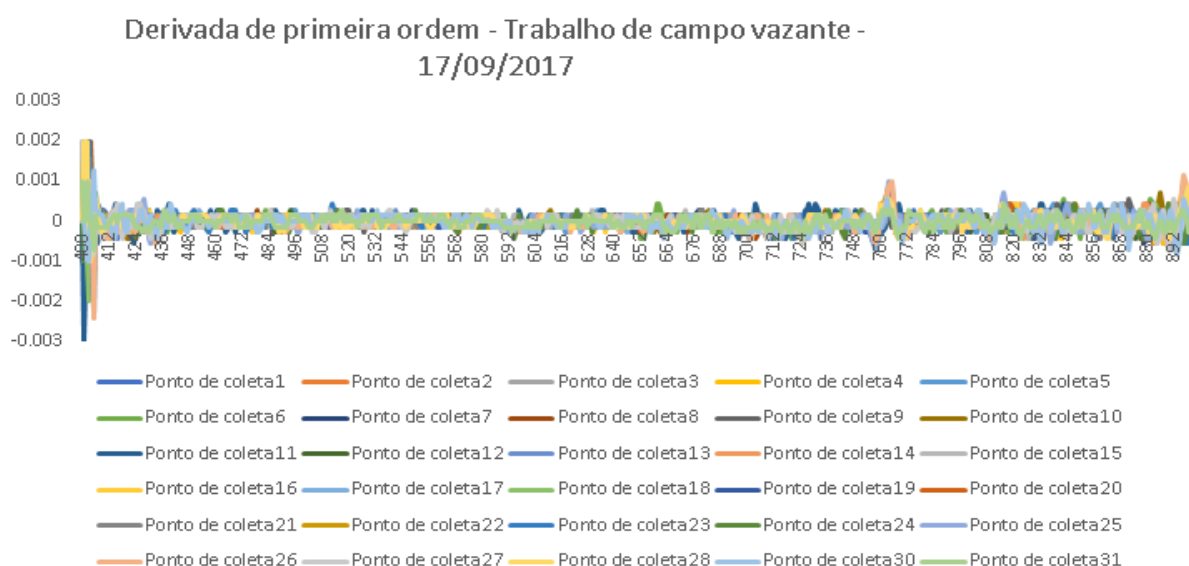
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

O comportamento da derivada no campo durante o regime de cheia amazônica mostra que não houve nenhum grande pico de refletância. De fato, o maior valor aconteceu no comprimento de onda 760 nm, no ponto de coleta 22, que está relacionado a uma absorção de oxigênio de 14 mg/L presente na atmosfera, que o reflete. Também houve uma refletância considerável de 415 a 420 nm, que pode ser associada à presença de matéria orgânica dissolvida no corpo hídrico. Enfim, o gráfico de derivada do comprimento de onda mostra que a água escura tem pouca refletância nos comprimentos de onda de 400 a 900 nm.

5.3.3 Trabalho de campo durante a vazante realizado no dia 17/09/2017.

A partir dos dados coletados do espectro eletromagnético durante a vazante, realizou-se a derivada a fim de extrair as informações de refletância e absortância do espectro eletromagnético, como mostra a Figura 134.

Figura 134 – Derivadas entre a refletância dos comprimentos de onda no período de vazante do reservatório da UHE Ferreira Gomes



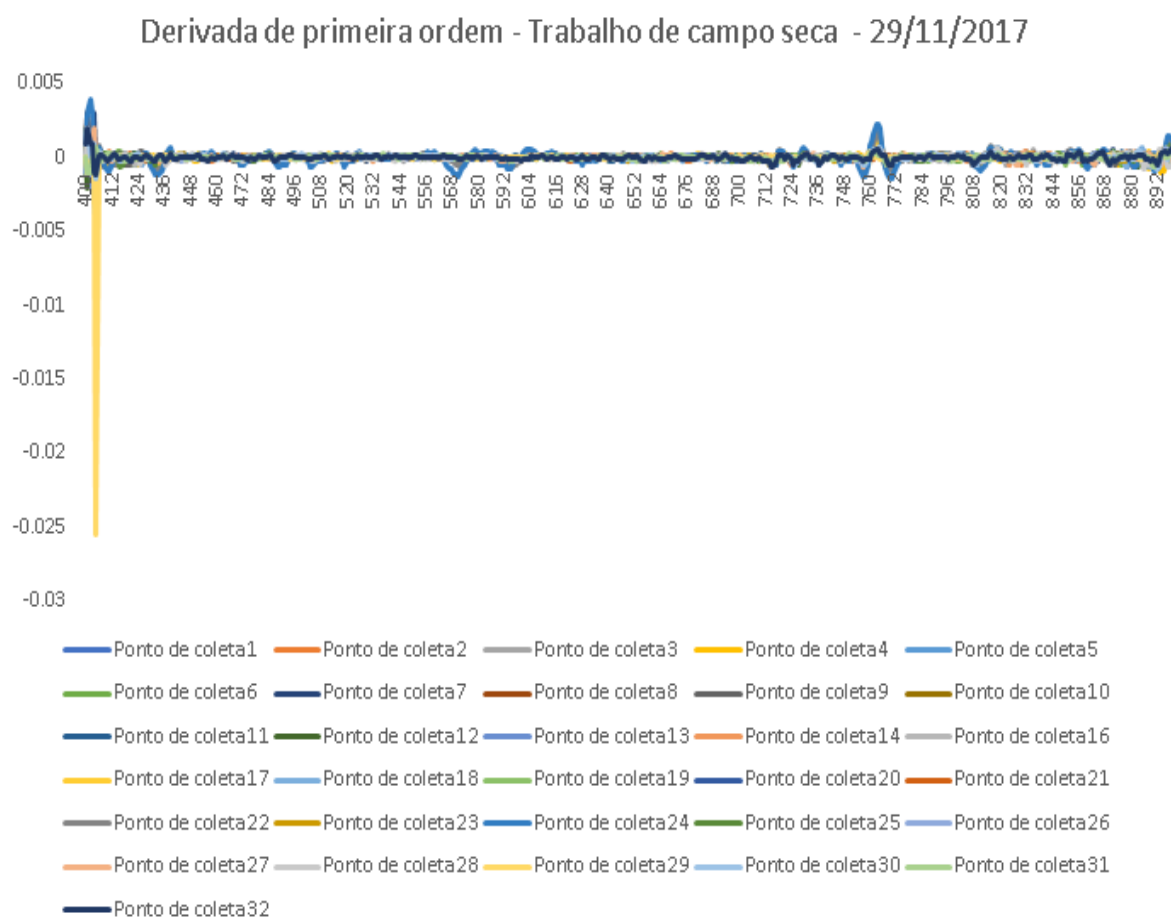
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

O gráfico da derivada de comprimento de onda apresentou uma concentração em torno de 0, evidenciando que não existem muitas variações. Assim, o ponto de coleta 26 apresentou maior refletância, em torno de 765 nm, mostrando influência do oxigênio presente na atmosfera (NOVO *et al.*, 2019). Nessa coleta foi encontrado um máximo de clorofila de $12 \mu\text{g/l}^{-1}$, o índice de transparência foi de 1,75 metros e o de sedimentos suspensos foi de 0,0041 mg/L.

5.3.4 Trabalho de campo durante a seca que foi feito no dia 29/11/2017.

Realizou-se a análise da derivada dos espectros eletromagnéticos coletados na vazante com o objetivo de verificar a reflectância e absortância dos comprimentos de onda coletados, como indica a Figura 135.

Figura 135 – Derivadas entre a reflectância dos comprimentos de onda no período de seca do reservatório da UHE Ferreira Gomes.



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Com efeito, verificou-se uma absortância muito alta no comprimento de onda de 407 nm, no ponto de coleta 17. Assim, o gráfico do comportamento de derivada do trabalho de campo 4 apresentou variação de absorção e reflexão nos comprimentos de onda de 760 até 770 nm, que ocorreu por causa da absorção do oxigênio presente na água.

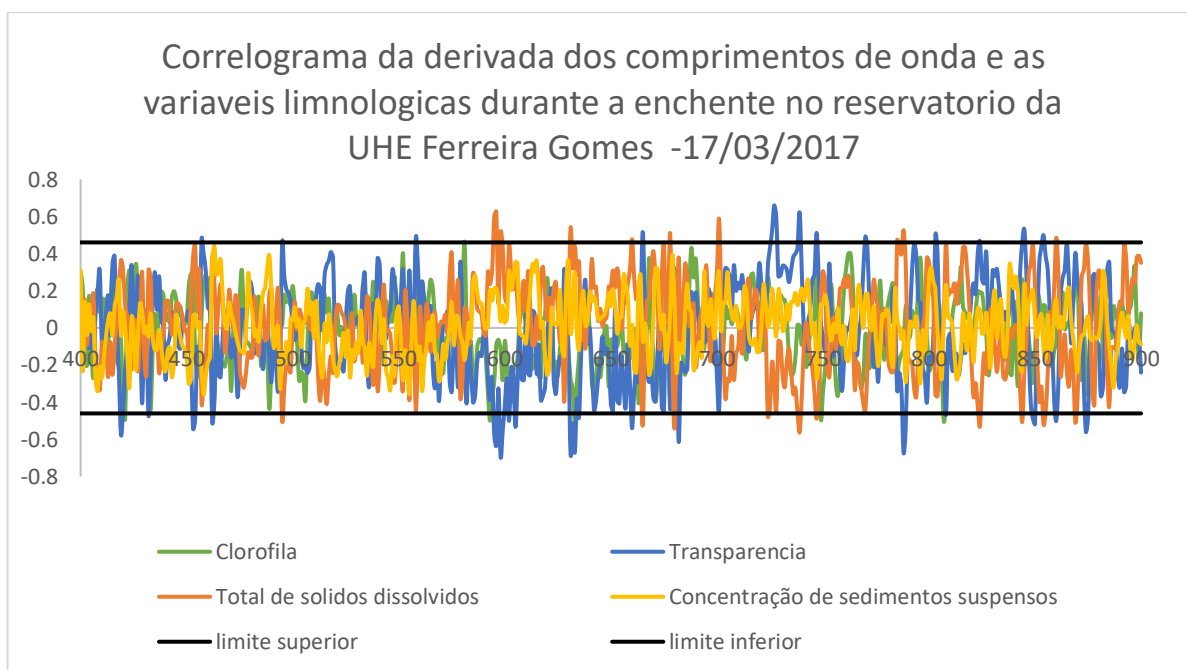
5.4 Análise do correlograma das derivadas dos comprimentos de onda com as variáveis limnológicas da água.

A partir dos dados da análise de limnologia, realizou-se a correlação da derivada dos comprimentos de onda com as variáveis limnológicas que interferem nas propriedades óticas da água, que são a clorofila, total de sólidos dissolvidos, transparência e concentração de sedimentos suspensos.

5.4.1 Período de enchente

A partir dos correlogramas das derivadas dos comprimentos de onda com as variáveis limnológicas obteve-se correlação significativa com as variáveis transparência, total de sólidos dissolvidos e concentração de sedimentos suspensos, como indica a Figura 136.

Figura 136 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a enchente amazônica



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Assim, a maior reflectância de TDS no trabalho de campo na enchente ocorreu no comprimento de onda de 596 nm, com uma correlação de 0,61, causada, supostamente, pela matéria orgânica dissolvida, já que sua refletância nos comprimentos de onda é maior. Além

disso, a maior absorvância ocorreu em 680 nm, que corresponde ao vermelho e foi causada pela presença da clorofila no corpo hídrico.

A maior correlação de refletância de clorofila ocorreu no comprimento de onda 581 nm, com uma correlação de 0,44, que ocorreu na banda do verde. Já a maior absorção ocorreu no comprimento de onda de 595 nm, com uma correlação de -0,45, na banda do vermelho. Esta absorção ocorre no vermelho porque a clorofila absorve esta banda para poder realizar a fotossíntese (PONZONI *et al.*, 2007).

A maior correlação de refletância da transparência ocorreu em 788 nm, com a correlação de 0,62. Isso ocorre devido à presença de sólidos suspensos, já que eles geram a refletância volumétrica do corpo hídrico (NOVO *et al.*, 2019; BARBOSA *et al.*, 2019). Por sua vez, a maior absorvância ocorreu em 598 nm, com uma correlação de -0,61, que corresponde à banda do vermelho e apresenta um comprimento de onda com maior absorção da água.

A maior correlação entre a concentração de sedimentos suspensos e a refletância ocorrem em 463 nm, com um valor de correlação de 0,44, que não foi significativa. Isso ocorre devido ao fato de os sedimentos suspensos apresentarem alta absorção na derivada do comprimento de onda em 458 nm.

Sendo assim, o correlograma de derivada do campo na enchente apresentou coeficiente de correlações significativas as variáveis transparência e total de sólidos dissolvidos. A variável transparência apresentou maior correlação em 788 nm, com um coeficiente de 0,62 e com 99% de significância, o que mostra que este comprimento de onda, apesar de ser infravermelho, apresenta maior refletância. Já o TSD apresentou maior correlação significativa em 596 nm, com um coeficiente de correlação de 0,62, causada, provavelmente, pela presença de matéria orgânica dissolvida na água (BARBOSA *et al.*, 2019)

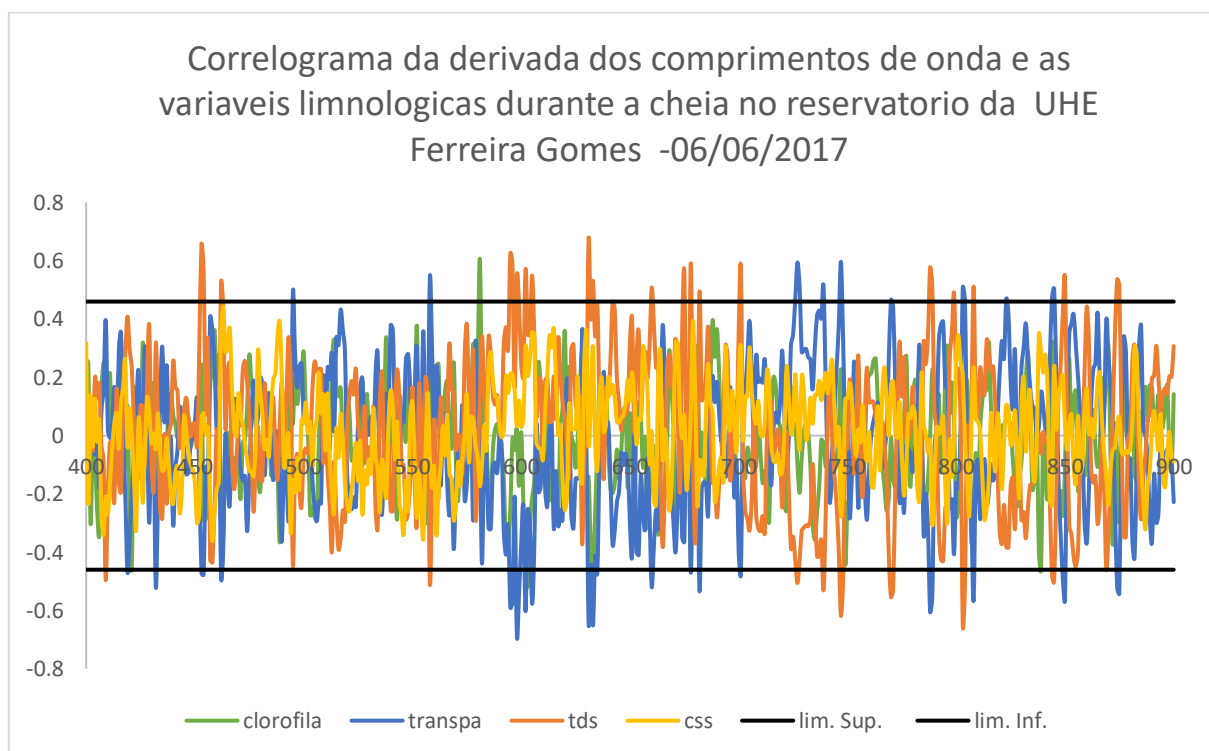
Portanto, partir do estudo da derivada, foram encontrados comprimentos de onda que apresentaram correlação significativa com as variáveis transparência e total de sólidos dissolvidos. De fato, como já foi dito, o comprimento de onda que apresentou maior correlação com a transparência ocorreu em 788 nm, com coeficiente de correlação na banda do infravermelho, devido à presença de material orgânico dissolvido, que promove maior refletância do corpo hídrico, denominada refletância volumétrica (NOVO *et al.*, 2019). Além disso, identificou-se que 39% da transparência pode ser estimada com a derivada do comprimento de onda 788 nm.

Já o estudo do total de sólidos dissolvidos mostrou o comprimento de onda de 596 nm, com um coeficiente de correlação de 0,61 e 99% de significância. Dessa forma, notou-se que 38% da concentração de TSD poderia ser estimada com a derivada da refletância de 596 nm.

5.4.2 Período de cheia

A partir dos dados da derivada do comprimento de onda durante a cheia realizou-se a correlação com as variáveis limnológicas. Assim, as variáveis clorofila, concentração de sedimentos suspensos e clorofila apresentaram correlações significativas (Figura 134).

Figura 137 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a cheia amazônica



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

No correlograma de derivada, foram encontradas as maiores correlações na variável total de sedimentos dissolvidos, com coeficiente de correlação entre 0,65 e 0,67. Isso ocorre na região do visível, supostamente por causa de uma reflectância da matéria orgânica dissolvida. Já as máximas absorções se manifestaram na variável transparência dos comprimentos de onda, entre 598 nm e 633 nm, ocorridas nas regiões do visível devido à cor escura da água.

A derivada da concentração de sedimentos suspensos apresentou comprimento de onda de 463 nm, com um coeficiente de 0,4. Já a maior absorção ocorreu no comprimento de onda de 458 nm, com coeficiente de -0,36, que não foi significativa. Esta baixa correlação da

concentração da derivada ocorreu pela escassa concentração de sólidos suspensos, causada, como já foi dito, pelas duas barragens a montante, que os retêm.

O comprimento de onda de maior derivada na variável TSD ocorreu em 631 nm, que está na banda do infravermelho e cujo coeficiente de correlação foi de 0,67. Isso corrobora a hipótese de que os comprimentos de onda no infravermelho possam ter reflectância em ambientes aquáticos nos quais há matéria orgânica e mostra há grande presença dessa matéria dissolvida no reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Por sua vez, a variável transparência apresentou uma correlação significativa com o comprimento de onda de 747 nm, cujo coeficiente de correlação foi de 0,59, com 99% de significância. Isso ocorre porque a reflectância da transparência da água é causada pelo espalhamento da reflectância volumétrica, em vista da grande presença de sólidos dissolvidos. Já a maior absorção de comprimento de onda ocorreu em 598 nm, que corresponde à banda do vermelho, devido à absorção do corpo hídrico (JANSEN,2009).

A maior correlação da derivada do comprimento de onda com a variável clorofila ocorreu em 581 nm, localizado na banda do verde, cujo coeficiente de correlação foi de 0,60. Isso ocorreu porque a clorofila apresenta reflectância no verde e no infravermelho.

De fato, após o estudo do correlograma das derivadas dos comprimentos de onda, foram construídos modelos para estimar as variáveis limnológicas. Este procedimento foi realizado a partir dos comprimentos de onda que apresentaram correlação significativa com as variáveis transparência, total de sólidos dissolvidos e clorofila.

Assim, a variável clorofila apresentou maior correlação com a derivada no comprimento de onda de 581 nm, que corresponde à banda do verde, com uma correlação de 0,62 e 99% de significância. Gerou-se, a partir disso, o modelo de estimativa.

A variável transparência teve uma maior correlação com a derivada no comprimento de onda de 598 nm, com uma correlação significativa de 0,68 e uma significância de 99%; este foi o comprimento de onda mais absorvido, por causa da absorção do corpo hídrico. Com efeito, obteve-se um coeficiente de determinação de 0,46, de modo que 46 % da transparência pode ser estimada com o comprimento de onda de 598 nm.

Por fim, a variável total de sólidos dissolvidos ocorreu na derivada do comprimento de onda 631 nm, com um coeficiente de correlação de 0,67 e significância de 99%. A banda de 631 nm apresentou maior reflectância no infravermelho devido ao espalhamento volumétrico da água e, portanto, determinou-se que 45% da concentração de sólidos dissolvidos pode ser estimada com a derivada nesse comprimento de onda.

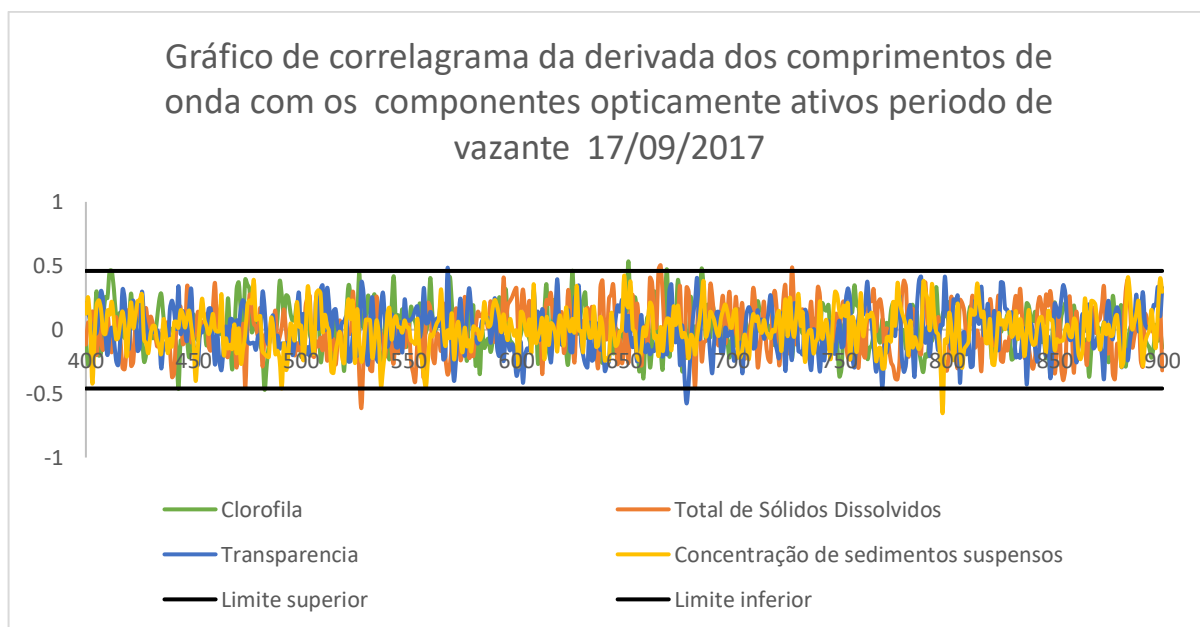
5.4.3 Período de vazante

Utilizando as derivadas do comprimento de onda do período de vazante, realizou-se a correlação com as variáveis clorofila, total de sólidos dissolvidos, concentração de sedimentos suspensos e transparência. A partir disso, obteve-se correlações com 99% de significância das variáveis clorofila, concentração de sólidos suspensos, total de sólidos dissolvidos e transparência, como indica o correlograma presente na Figura 138.

A clorofila apresentou maior correlação no comprimento de onda de 652 nm, com um coeficiente de correlação de 0,53 e nível de significância de 99%. Isso mostra que há refletância da clorofila na banda do infravermelho.

Na correlação de transparência, a maior refletância ocorreu em 568 nm, com um coeficiente de 0,48 e nível de significância de 99%. Este comprimento de onda ocorre na banda do verde, mostrando que há uma refletância na região do visível, devido à presença de clorofila no corpo hídrico. Já a maior absorção ocorreu em 679 nm, com um coeficiente de -0,57, que é causado pela propriedade da água em absorver os comprimentos de onda do infravermelho (JANSEN 2009; NOVO *et al.*, 2019). Dessa forma, há uma maior penetração desta banda no corpo hídrico.

Figura 138 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a vazante amazônica



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

A maior correlação do total de sólidos dissolvidos ocorreu em 528 nm, com um coeficiente de -0,61, que é provocado pela alta absorção da água. Este comprimento de onda corresponde à banda do verde e mostra que o corpo hídrico apresenta absorção na região.

No estudo da variável de concentração de sedimentos em suspensão, a maior absorção no comprimento de onda ocorreu em 798 nm, com um coeficiente de correlação de -0,65. Isso ocorre porque o corpo hídrico tem uma alta absorção do comprimento de onda na região do infravermelho, devido à baixa quantidade de sedimentos em suspensão.

Sendo assim, a partir do estudo de correlograma da derivada do trabalho de campo realizado em setembro, identificou-se que é possível estabelecer modelos de estimativas para as quatro variáveis limnológicas: totais de sólidos dissolvidos, clorofila, transparência e concentração de sólidos suspensos.

Assim, a maior correlação de refletância ocorreu na derivada do comprimento de onda de 652 nm, com a variável clorofila apresentando um coeficiente de correlação de 0,53 e nível de significância de 99%, como mostra a Figura 139. A partir disso, gerou-se um modelo de estimativa, no qual é possível estabelecer um coeficiente de determinação de 28% na concentração de clorofila, por meio da derivada do comprimento de onda de 652 nm.

Já a variável do total de sólidos dissolvidos apresentou a correlação com derivada de 528 nm, cujo coeficiente de correlação foi de 0,61 e significância de 99%. A partir disso, obteve-se um determinante de 0,37, o que faz com que seja possível estimar em 37% a concentração de TSD com a derivada do comprimento de onda 528 nm.

A variável de transparência apresentou uma correlação com a derivada de 679 nm, cuja correlação significativa foi de 0,57 e 99% de significância. Assim, obteve-se o determinante de 0,33, estimada em 33% da transparência por meio da derivada de 679 nm.

A variável de concentração de sedimentos suspensos apresentou uma correlação de 0,65, com uma significância de 99% no comprimento de onda de 798 nm. A partir desta correlação, estabeleceu-se a derivada desse comprimento de onda com um determinante de 0,42, estimando-se em 42% a concentração de sedimentos suspensos no corpo hídrico.

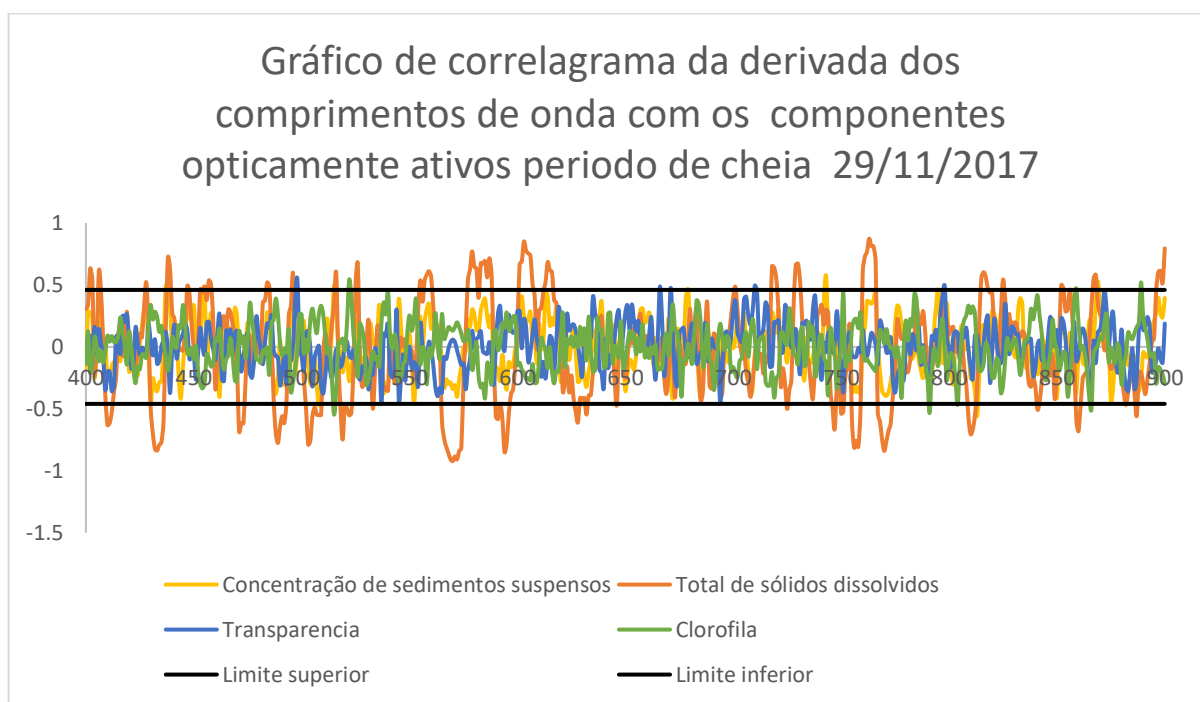
5.4.4 *Período de seca*

A partir do estudo das derivadas do comprimento de onda, realizou-se também a correlação com as variáveis limnológicas que apresentam interferência nas propriedades óticas da água. Assim, obteve-se correlações significativas para as variáveis clorofila, concentração de sedimentos em suspensão, total de sólidos dissolvidos e transparência (Figura 140).

A transparência apresentou uma correlação no comprimento de onda de 498 nm, com um coeficiente de correlação de 0,54 e 99% de significância. Isso ocorre porque a maior reflectância da água se dá na região do visível (NOVO 2001; JANSEN 2009). Por sua vez, a maior absortância de comprimento de onda ocorreu em 694 nm, com coeficiente de correlação de -0,45 e 99% de significância, evidenciando uma alta absorção da água nos comprimentos de onda do infravermelho.

O total de sólidos dissolvidos apresenta uma correlação significativa na derivada do comprimento de onda entre 603 nm e 763 nm, com coeficiente de correlação variando entre 0,84 e 0,81 e 99% da significância, que são, respectivamente, nas regiões do vermelho e do infravermelho. Já a absorção da variável total de sólidos dissolvidos nos comprimentos de onda apresentou maior correlação de -0,92 e 99% de significância na derivada de 570 nm, na banda do verde. Em vista deste comportamento das derivadas no correlograma da variável no total de sólidos dissolvidos, pode-se inferir que ele seja causado pela presença do manganês e do alumínio dissolvidos.

Figura 139 – Correlograma da derivada do comprimento de onda com as seguintes variáveis limnológicas: transparência, total de sólidos dissolvidos, clorofila e concentração de sedimentos suspensos durante a seca amazônica



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Já a variável de concentração de sedimentos em suspensão apresentou maior correlação com a derivada do comprimento de onda de 743 nm, cujo coeficiente de correlação foi de 0,57. Isso ocorre devido à maior reflectância na banda do infravermelho (NOVO 2008).

Na variável clorofila, a derivada do comprimento de onda que apresentou maior correlação foi de 889 nm, com um coeficiente de reflectância de 0,52 e 99% de significância. Isso ocorre porque a clorofila apresenta reflectância na banda do infravermelho. Já a maior absorvância ocorreu na derivada do comprimento de onda 515 nm, com um valor de -0,51, porque a clorofila absorve os comprimentos de onda da banda do verde.

Com efeito, a partir do estudo do correlograma das derivadas do comprimento de onda foram gerados modelos para poder estimar as variáveis limnológicas. Assim, foram encontradas correlações com o significativo de 99% para as variáveis transparência, concentração de sedimentos suspensos, clorofila e total de sedimentos dissolvidos.

A correlação da variável total de sólidos suspensos teve um maior valor de derivada, com a absorção do comprimento de onda de 570 nm e valor absoluto de coeficiente de correlação de 0,92. A partir disso, gerou-se o modelo de regressão, com um coeficiente de 0,84, estimando-se em 84% a concentração de TSD nesse comprimento de onda.

Também foi identificada a correlação da clorofila na derivada do comprimento de onda de 889 nm e obteve-se o coeficiente de de 0,52. Assim, o coeficiente de determinação foi de 0,27, estimando-se em 27% a concentração de clorofila nesse comprimento de onda.

Outra correlação obtida no trabalho de campo durante o período de seca foi entre a transparência e a derivada do comprimento de onda 498 nm, na qual obteve-se um coeficiente de 0,54 e significativo de 99%. Isso mostra o valor de 27% a partir da derivada nesse comprimento de onda.

Por fim, obteve-se a correlação de sedimentos em suspensão na derivada do comprimento de onda 743 nm, na qual obteve-se um coeficiente de correlação de 0,57 e significativo de 99%. Assim, o coeficiente de determinação foi de 29 % nesse comprimento de onda.

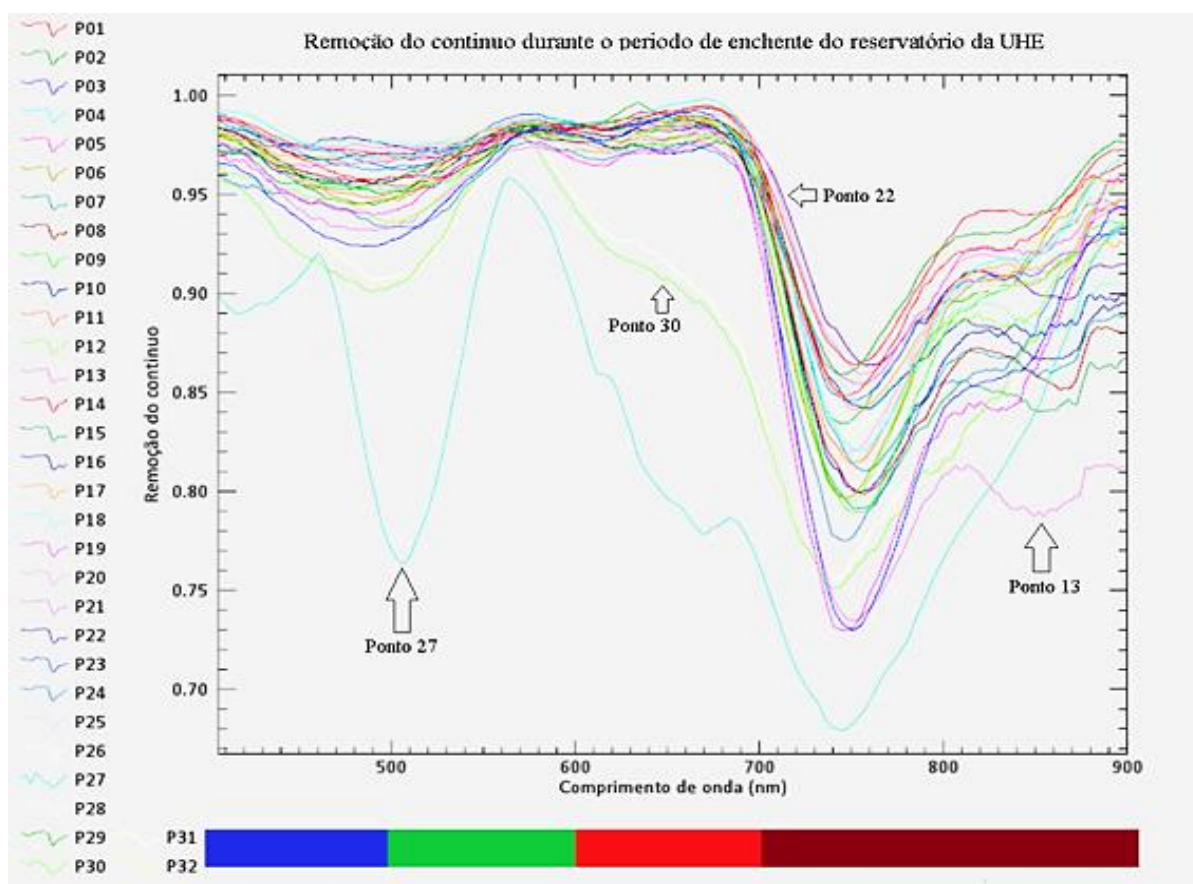
5.5 Análise da remoção do contínuo dos pontos de coleta do comportamento espectral realizados no período de cheia, enchente, vazante e seca no reservatório da UHE Ferreira Gomes

A partir da análise do comportamento espectral dos alvos, realizou-se a remoção do contínuo do espectro eletromagnético sobre cada ponto coletado, com o objetivo de tentar realçar as absorções dos comprimentos de onda que ocorrem no corpo hídrico.

5.5.1 Período de enchente.

A partir da análise espectral, realizou-se a remoção do contínuo para mostrar as feições que não foram possíveis de identificar no comportamento espectral. Assim, foi possível estabelecer uma absorção entre 460 e 560nm, causada pela presença de clorofila (Figura 140).

Figura 140 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de enchente do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes



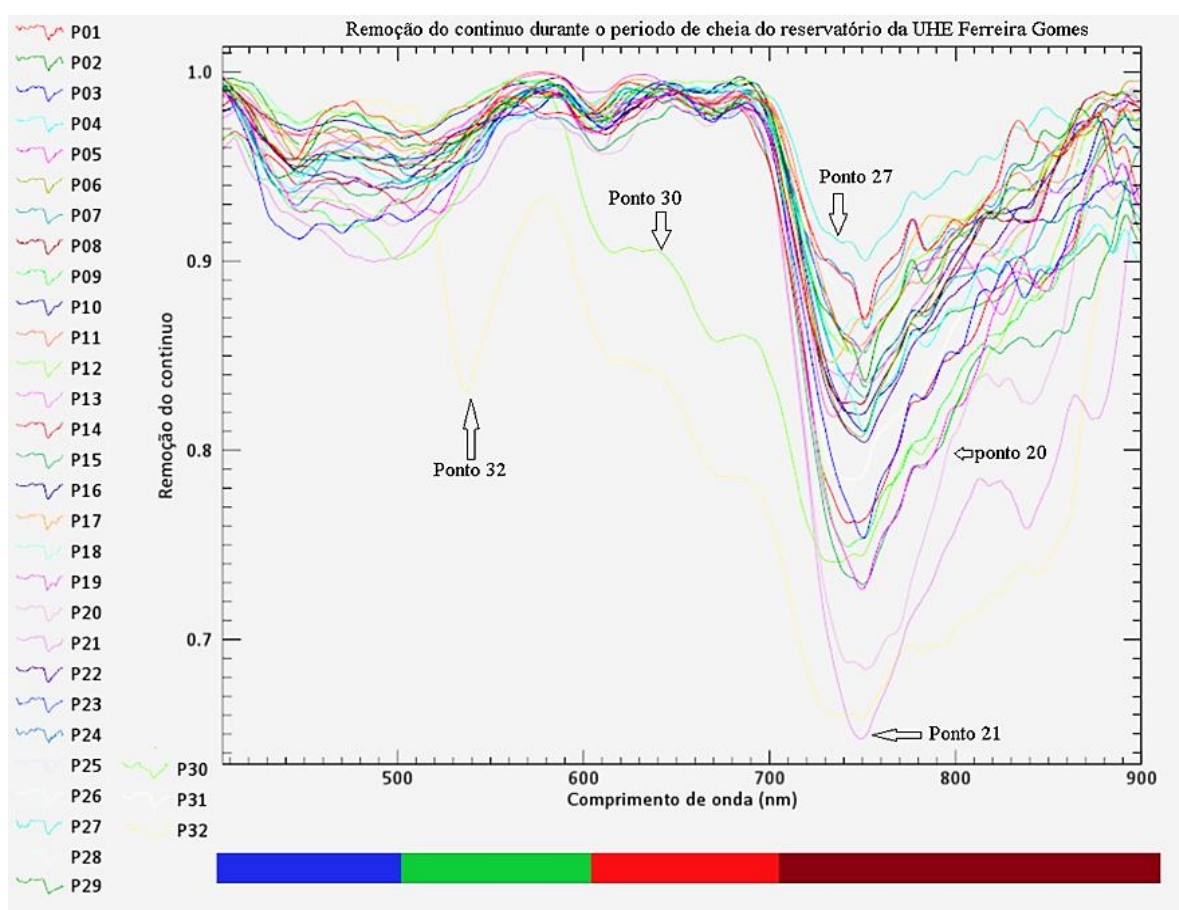
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Sendo assim, os pontos de coleta 27 e 30 foram os que apresentaram maior absorção no comprimento de onda do visível, devido à presença de clorofila na água. Já na banda do infra-vermelho, estes pontos de coleta apresentaram uma alta absorção devido ao comprimento de 760 nm, que sofre a absorção do oxigênio. Finalmente, o ponto de coleta que menos sofreu com este processo foi o 22.

5.5.2 Período de cheia

Para realizar as análises das absorções presentes no espectro eletromagnético da água, realizou-se a remoção do contínuo sobre as coletas realizadas. A partir disso, detectou-se uma grande absorção entre os comprimentos de onda de 427 nm e 507 nm, que corresponde à banda do azul, causada pela presença de clorofila que absorve estes comprimentos de onda para realização da fotossíntese, como mostra a Figura 141.

Figura 141 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de cheia do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes



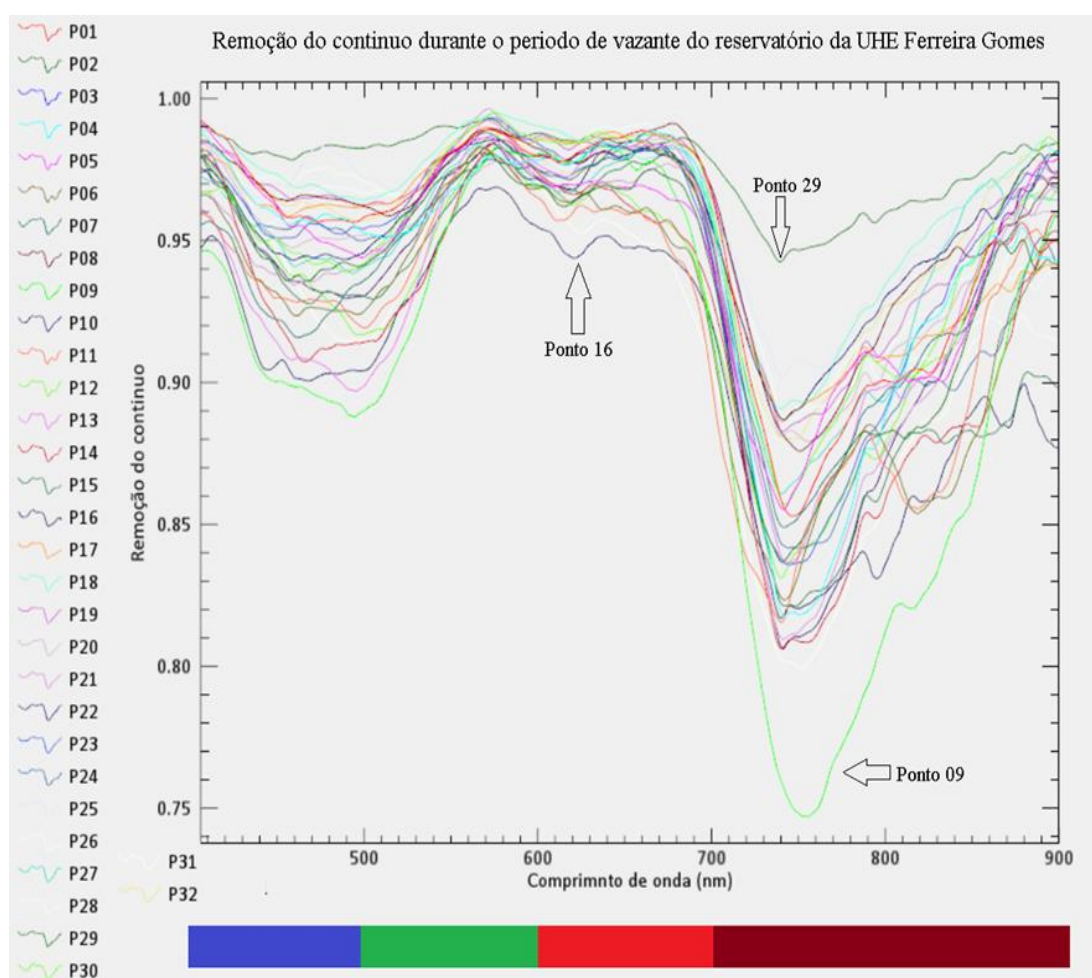
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

Detectou-se, também, a absorção dos comprimentos de onda entre 695 nm e 828 nm, por causa do índice de absorção corpo hídrico na banda do infravermelho. Assim, os pontos de coleta 20 e 21 apresentaram a maior absortância, entre os comprimentos de onda de 479 nm e 495 nm. Isto ocorre porque estes comprimentos correspondem à banda do azul e são causados pela presença de clorofila – que apresentou uma concentração média de $24 \mu\text{g/L}^{-1}$.

5.5.3 Período de vazante

Realizou-se a remoção do contínuo das assinaturas espectrais coletadas durante o período de vazante com o objetivo de identificar absorções de comprimento de onda no comportamento espectral da água da UHE Ferreira Gomes. Assim, a refletância foi caracterizada por um aumento da absorção da radiação entre 420 nm e 530 nm, causada pela presença da clorofila, que absorve o comprimento de onda do azul. Além disso, houve uma outra refletância, na transição entre o verde e o infra-vermelho, que também é característica da presença de clorofila no corpo hídrico do reservatório (SANTOS, 2018), conforme a Figura 142.

Figura 142 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de vazante do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes



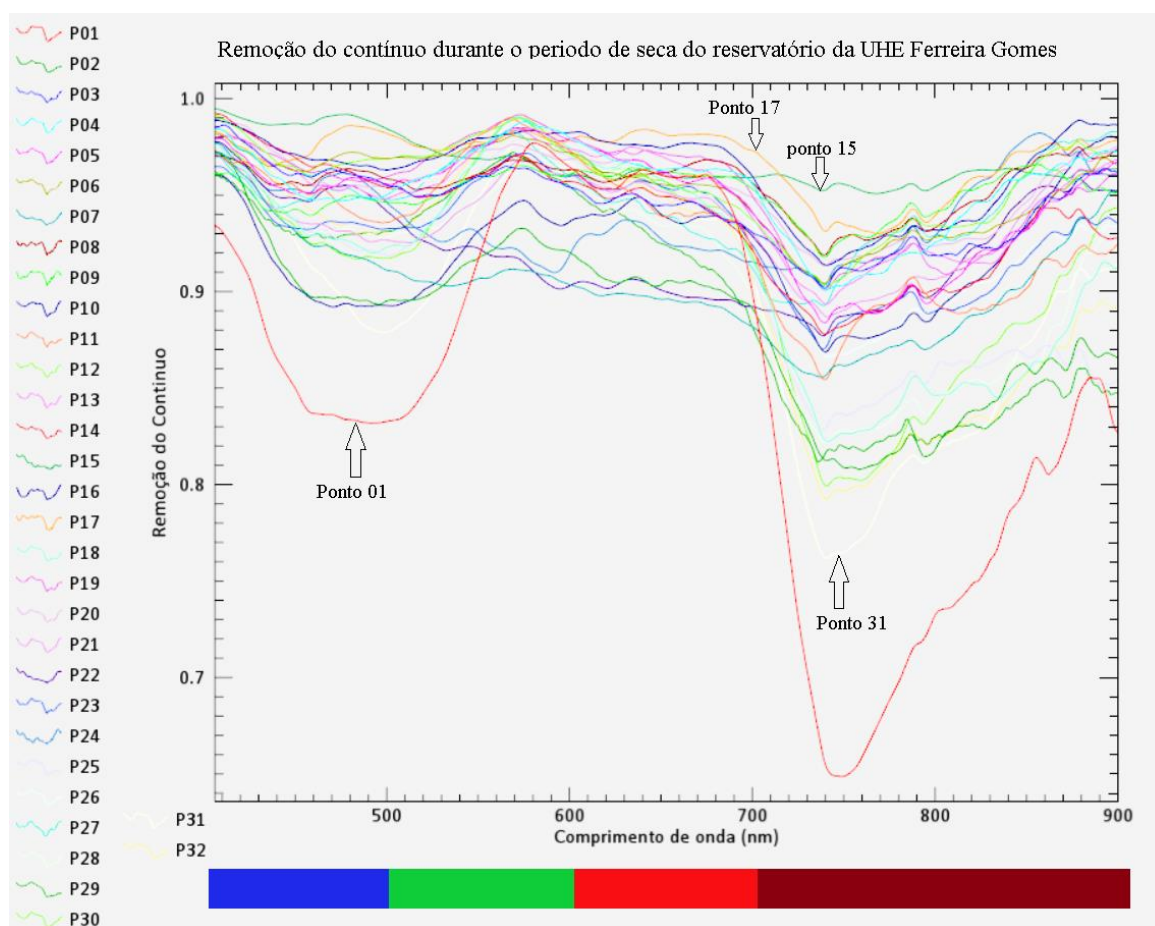
Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

5.5.4 Período de seca

Os estudos do comportamento espectral da coleta de água durante o período de seca mostraram que essa foi a estação que teve a menor concentração de clorofila, com uma média de $05 \mu\text{g/L}^{-1}$. A partir disso, detectou-se que o processo de absorção da radiação eletromagnética na banda do azul foi bem menor do que o realizado durante as outras estações chuvosas. Também foi a época em que os pontos de coleta tiveram menor variação de reflectância, como mostra a Figura 143.

De fato, os pontos 01 e 31 foram os que sofreram maior absorção de energia, enquanto que os pontos 17 e 15 foram os que sofreram menor absorção. Por isso, pode-se inferir que o motivo desses fatores é reflectância volumétrica, causada pela presença da matéria orgânica dissolvida presente no corpo hídrico.

Figura 143 – Remoção do contínuo no espectro eletromagnético na coleta de seca do ano de 2017 do reservatório da UHE Ferreira Gomes



Fonte: Elaborado pelo do autor, 2017

6 ANÁLISE HOLÍSTICA DOS DADOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL, DADOS LIMNOLÓGICOS E DE RADIOMETRIA

A partir dos dados estudados de vulnerabilidade ambiental, dos dados limnológicos e dos dados de radiometria, identificou-se que, no ano de coleta, existiram de três regimes de estações chuvosas: cheia, vazante e seca. Assim, notou-se que a maior influência sobre a qualidade da água do reservatório está diretamente ligada à bacia de captação do rio Araguari, localizada no Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque. Este parque é a maior unidade de conservação do país, com uma área de 3.865.188,53 hectares, no platô das guianas, sendo, com isso, responsável pelas nascentes dos principais rios do Amapá: Oiapoque, Jari, Araguari, Amapá, Calçoene e Tartarugalzinho. Estes rios se caracterizam principalmente pela sua coloração escura, devido à grande quantidade de matéria orgânica presente desde as suas respectivas nascentes.

Estas características escuras da água foram verificadas principalmente na análise dos dados de radiometria, nos quais se identificou uma alta absorção da água e uma baixa refletância, principalmente nos pontos de coleta que estão localizados no lado noroeste, a montante do reservatório – ou seja, os pontos 1, 2, 4, 5, 6 e 8. De fato, eles têm relação direta com o reservatório de Coroacy Nunes, o qual tem uma vazão média de $959 \text{ m}^3/\text{s}$ (SANTOS; CUNHA, 2013). Isso pode ser verificado pela grande aeração de oxigênio dissolvido na água do reservatório, já que, depois que passa pelas turbinas de Coroacy Nunes, ocorre entrada de oxigênio e a temperatura da água tende a ser mais baixa, pois origina-se no hypolímnio.

Nesse sentido, o modelo de vulnerabilidade é importante para o entendimento da qualidade da água do reservatório na época de chuva que, durante a coleta, caracterizou-se pelo período de enchente. Nesse período, encontrou-se a única propriedade opticamente ativa que sofre influência da bacia de captação direta do reservatório da UHE Ferreira Gomes, ocasionada pela grande variação da concentração de sedimentos suspensos presentes no reservatório, se comparada à época de seca. Isso pôde ser identificado em todos os pontos de coleta, especialmente nos pontos 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 32, pois eles estão próximos às ilhas do reservatório, que têm um alto grau de vulnerabilidade e carregam muitos sedimentos presentes no corpo hídrico. De fato, a identificação desses pontos foi possível por meio da radiometria, que apresentou maior refletância na região do visível e do infravermelho.

Além disso, a partir dos dados limnológicos e de radiometria dos pontos 27, 28, 29, 30 e 31, deflagrou-se uma alta influência do Igarapé da Prata, caracterizado por suas águas claras,

o qual foi alagado com a construção do reservatório. A partir disso, identificou-se claramente dois corpos hídricos distintos que formam o reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Um dos corpos hídricos é o que está no leito principal do rio Araguari e apresenta maior interferência dos sedimentos advindos das ilhas. Além disso, pelos dados de radiometria também foi possível inferir que há uma grande presença de matéria orgânica dissolvida.

O outro corpo hídrico advém do Igarapé da Prata, que apresenta menor quantidade de oxigênio dissolvido e maior concentração de clorofila. Além disso, o uso e ocupação de solo dessa área é diferente, pois há presença de propriedades agrícolas, o que faz com que existam influências distintas nas margens, já que, no rio Araguari, a vegetação é preservada no entorno do reservatório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não obstante, verificou-se que em Áreas de Proteção Permanente no entorno do reservatório existem ocupações irregulares, de pequenas propriedades familiares, que são utilizadas para a agricultura de subsistência e para a pecuária extensiva.

De fato, os fatores físicos que influenciam as áreas de maior vulnerabilidade ambiental estão sobre o Grupo Barreiras. Por isso, os pontos nessas áreas apresentam uma maior probabilidade de interferência na qualidade da água. Por outro lado, as áreas que apresentam menor vulnerabilidade ambiental são as localizadas sobre florestas ombrófilas, pois são mais preservadas e sofreram menor ação antrópica. Assim, de acordo com as análises realizadas, concluiu-se que grande parte da bacia hidrográfica se enquadra na classe moderadamente estável, evidenciando que grande parcela dos sedimentos carregados para o espelho d'água ocorrem de forma natural.

A montante do reservatório tem-se a área mais preservada da bacia de captação, porque fica próxima da Usina Hidrelétrica de Coroacy Nunes e, por isso, é protegida pela empresa Eletronorte, responsável pela geração de energia. Além disso, a vegetação presente nesta área também varia pela presença de cerrado de campo limpo, mata galeria, campos inundados e floresta ombrófila densa. De fato, a partir da grande variação do uso da terra, é possível encontrar diversas classes de qualidade da água ao longo do reservatório e, conseqüentemente, diferentes tipos de componentes opticamente ativos e de comportamentos espectrais.

Sabe-se que, durante os últimos 20 anos, houve diversas alterações na paisagem da área do reservatório da UHE Ferreira Gomes, como o aparecimento de áreas urbanas e da mineração, que começou a surgir nos últimos dez anos. No entanto, a maior modificação que houve na paisagem foi, de fato, a construção do reservatório da UHE Ferreira Gomes, que alagou um vasto território de floresta ombrófila e de campos limpos. Além disso, evidenciou-se que não houve retirada de parte da floresta que foi alagada.

Nesse sentido, a vasta porção de vegetação morta, submersa no corpo hídrico, fez com que houvesse uma grande quantidade de nutrientes na água, levando em conta que o reservatório tinha quatro anos de existência quando os dados foram coletados. Com efeito, essa grande quantidade de nutrientes deixa o ambiente aquático propício ao processo de eutrofização e, portanto, é necessário que haja o monitoramento da qualidade da água presente no reservatório.

Além disso, como já foi dito, dois corpos hídricos que apresentam características limnológicas diferentes foram identificados; o primeiro localiza-se no leito principal do rio

Araguari, o outro onde havia o Igarapé do Prata. Esta diferença dos parâmetros faz com que o monitoramento da qualidade da água também seja feito de maneira diferenciada.

Devido à coloração escura da água, porém, não foi possível realizar um monitoramento utilizando dados de sensoriamento remoto e somente foi registrada alguma correlação com o total de sólidos dissolvidos. Dessa maneira, em pesquisas futuras faz-se necessária a realização de estudos para verificar se é possível estabelecer alguma correlação com a matéria orgânica dissolvida, com o manganês dissolvido e com o alumínio dissolvido, pois infere-se que a coloração escura da água pode ter relação direta com estas variáveis.

De fato, a água do reservatório do rio Araguari pode ser enquadrada como sendo de classe 1, quando a variável estudada está relacionada ao total de sólidos dissolvidos, ao nitrito, ao nitrato e ao pH presentes no corpo hídrico. Mesmo assim, quando se usa como critério as variáveis oxigênio dissolvido e clorofila para estabelecer a classe do corpo hídrico, considera-se o reservatório como classe 2. Além disso, se o critério for a variável fósforo total presente na água, o reservatório é definido como sendo das classes 3 ou 4 e, portanto, essa variável classifica a água como imprópria para o consumo ao longo do ano.

Este trabalho mostrou que o monitoramento da qualidade das águas utilizando sensoriamento remoto no reservatório da UHE Ferreira Gomes poderia ser ineficaz devido à cor escura da água, a qual faz com que a alta absorção do corpo hídrico impeça uma reflectância considerável dos componentes opticamente ativos. De qualquer forma, é necessário realizar outros estudos para verificar a interferência do manganês e do alumínio dissolvidos no comportamento espectral do corpo hídrico do rio Araguari.

Conclui-se, portanto, a partir dos resultados encontrados, que é imprescindível o monitoramento *in loco* no reservatório da UHE Ferreira Gomes, principalmente porque existe risco de eutrofização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9897: **Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

_____, NBR 9898: **Preservação e técnicas de amostragem de fluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 45-56, 2018.

AB'SABER, A. N. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 7-30, 2002.

ALABASTER, J. S.; LLOYD, R. S. Water quality criteria for freshwater fish (No. 3117). **Elsevier**, 2013.

ÁLVARES, M.L.P.; ÁLVARES, D.; ÁLVARES, H. S.; MORAES, L.R.S.; SANTOS, M.E. P. dos. Delimitação das bacias hidrográficas e de drenagem natural da cidade de Salvador. **Revista Interdisciplinar de Gestão Social**. Salvador, v. 1, nº 1, p.107- 129. Jan-abril, 2012.

AMAPÁ, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá – IEPA. **Base de dados geográficos do Amapá**. Divisão de Geoprocessamento/Centro de Ordenamento Territorial/IEPA. Macapá: IEPA, 2015.

_____, **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do ZEE**. Macapá: IEPA-ZEE, 2008.

ANDREWS, D. S.; SOENYINK, J. Geometry in GIS is not combinatorial: segment intersection for polygon overlay. In: **Proceedings of the eleventh annual symposium on Computational geometry**. ACM, p. 424-425, 1995

ARAÚJO, E. A., KER, J. C., MENDONÇA, E. de SÁ, SILVA, I. R. da., OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, 41(1), 2010.

ARRAUT, E. M., RUDORFF C. D. M., BARBOSA, C. C. F., CARVALHO, J. C., PEREIRA FILHO, W., & Novo, E. M. L. M. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do lago grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12, 2447-2456, 2005.

ASSIS, T. D., COUTO JÚNIOR, A. F., NEVES, G. D., BRAGA, A. D. S., MARTINS, E. D. S., Gomes, M. P., CLAUDINNO, V. D. M. Evolução temporal da cobertura da terra de uma bacia experimental do Cerrado utilizando sensoriamento remoto multisensor e multitemporal. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais São José dos Campos: INPE, 2013

BARBARA, V. F. **Uso do modelo qual2e no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari-AP (Amazônia)**. (Dissertação de mestrado), 2006.

BARBARA, V. F., da CUNHA, A. C., RODRIGUES de, A. S. L., SIQUEIRA, E. Q de. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista Biociências**, 16(1), 2010.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuaí/Rio Amazonas.** (Tese de doutorado), São José dos Campos, INPE v. 281, 2005.

BARBOSA C.C.F; NOVO E.M.L.M; MARTINS V.S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistema aquáticos.** Princípios e Aplicações. 1 edição. Laboratório de Instrumentação de Sistemas Aquáticos. São José dos campos, 2019.

BARROSO, G. R.; PINHEIRO, W. F.; PEREIRA, A. A. Avaliação da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (MG) e sua relação com o volume de água do reservatório. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 12, n. 2, p. 91-109, 2018.

BASSON, E. R.; CARVALHO, S. L de. Avaliação da qualidade da água em duas represas e uma lagoa no município de Ilha Solteira (SP). **Holos Environment**, v. 7, n. 1, p. 16-29, 2018

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Modelos matemáticos para avaliação do índice de qualidade da água: uma revisão. **Acta Geográfica**, v. 11, n. 25, p. 111-136, 2017.

BEADLE, L. C. *et al.* **The inland waters of tropical Africa. An introduction to tropical limnology.** Longman Group Ltd, Publishers, 74 Grosvenor Street, London W. 1., 1974.

BECKER, B. K. Reflexões sobre a geopolítica e a logística da soja na Amazônia. **Dimensões humanas da biosfera-atmosfera na Amazônia.** São Paulo: Edusp, p. 13-38, 2007.

BELEM, F. L.; CABRAL, J. B. P. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes–Amapá/Landscape dynamics in the watersheds of the Ferreira Gomes Hydroelectric Plant–Amapá, Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 56, p. 119-133, 2019.

BELEM, F. L.; BASTOS, W. R. **Estudo da distribuição espacial de mercúrio em sedimentos no período da cheia do rio Mutum-Paraná,** (Dissertação de mestrado), Porto Velho, Rondônia, 2013

BESSA, M. da R. M. Qualidade e monitoramento da água nos recursos hídricos. **Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos.** Gramado, RS, 1998

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução Olga Cruz – **Caderno de Ciências da Terra.** Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, nº 13, 1972.

BORTOLI, J., REMPEL, C., MACIEL, M. J., SALVI, L. C. Qualidade físico-química da água em propriedades rurais com produção de leite no Vale do Taquari-RS. **Caderno Prudentino de Geografia**, 1(39), 81-102, 2017.

BRAGA, E. S., FREITAS, C. B., MENDES, L. S. A. dos S., AQUINO, M. D de. Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Águas Subterrâneas**, 32(1), 17-24., 2017

BRANDÃO, C., BOTELHO, M., SATO, M., & LAMPARELLI, M. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas.** São Paulo: CETESB, 2012.

BRASIL, CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 302 de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Data da legislação: 20/03/2002 - Publicação DOU nº 090, de 13/05/2002, págs. 67-68, 2002.

_____, **Resolução. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a qualidade da água em corpos hídricos. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, v. 357, 2005.

BRASIL, CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Amapá. 2004. In: **Geobank**, 2017. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 17/12/2004.

BREZONIK, P.; MENKEN, K. D.; BAUER, M. Landsat-based remote sensing of lake water quality characteristics, including chlorophyll and colored dissolved organic matter (CDOM). **Lake and Reservoir Management**, v. 21, n. 4, p. 373-382, 2005.

BRITO, D. C. **Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2Kw em grandes rios: o caso do alto e médio rio Araguari-AP**. (Dissertação de mestrado) Unifap: Embrapa Amapá: Iepa, 2009

BUFON, A. G. M.; LANDIM, P. M. B. Análise da qualidade da água por metodologia estatística multivariada na represa velha (CEPTA/IBAMA/Pirassununga/SP). **Holos Environment**, v. 7, n. 1, p. 42-59, 2018

BUKATA, R. P., JEROME, J. H., KONDRATYEV, A. S., & POZDNYAKOV, D. V. **Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters**. CRC press, 2018.

CABRAL, J. B. P. Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita-São Paulo-Brasil. **Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, (3), 13., 2003.

CABRAL, J. B. P., WACHHLOZ, F., BECEGATO, V. A., NASCIMENTO, E. S. Diagnóstico hidrossedimentológico do reservatório da UHE Caçu-Go. **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, (13_1), 25-37, 2013

CABRAL, J. B. P. WACHHOLZ, F. NOGUEIRA, P. F. OLIVEIRA, S. F. BRAGA, C. C. ROCHA, I. R. da. BARCELOS, A. A. de. LOPES, R. M. ROCHA, P. R. da. JUNIOR, V. S. Q. SANTOS, A. K. F. dos. Caracterização Preliminar das Águas da UHE Foz do Rio Claro – Goiás. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Água. Desenvolvimento Econômico e Socioambiental**. 17 – 22 de novembro de 2013 – Bento Gonçalves / RS, 2013.

CABRAL, J.B.P., PEREIRA FILHO, W. Avaliação das transparências da água em corpos lênticos a partir de dados espectrais. **In:** Benini, S. M.; Rosin, J. Aparecida R. e G.. **A questão ambiental em debate: pesquisa e prática**. 2ª ed., Tupa-SP, ANAP-SP, capítulo 10, p.165-178, 2018.

CAMARA, G.; **Análise Espacial de Dados Geográficos**. SP. Primeira edição. Editora Embrapa. São Paulo, 2000.

CAMARGOS, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; **Curso de fundamentos de geoestatística**. INPE, São José dos Campos, 2006.

CAMPBELL, J.B.; WYNNE, Randolph H. **Introduction to remote sensing**. Guilford Press, 2011.

CANFIELD, D. E., LANGE LAND, K. A., LINDA, S. B.; HALLER, W. T Relations between water transparency and maximum depth of macrophyte colonization in lakes. **Journal of Aquatic Plant Management**, 23(1), 25-28,1985.

CANTER, L. W. **River water quality monitoring**. CRC Press, 2018.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, v. 5, n. 2, 2009.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática. Rio de Janeiro. **Interciência**, 2008.

CHOU, L.; LUN, J. S. **Impact of High Total Dissolved Solids, Manganese and Nickel Ions on the Hybrid Zero-valent Iron Treatment System**. (Tese de Doutorado), 2018.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 1996

CLARK, R. N.; ROUSH, T. L. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 89, n. B7, p. 6329-6340, 1984.

COMPANHIA, DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico Do Brasil (CPRM). **Geobank**. Disponível em: < <http://geobank.com.gov.br/>>. Acesso em, 10/10/2016.

CORDEIRO, S. F. O. **Avaliação do grau de trofia das águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros-GO**. (Dissertação de mestrado). UFG-Regional Jataí, 2013.

COLUSSI, A.J. Can the pH at the air/water interface be different from the pH of bulk water? **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 34, p. E7887-E7887, 2018

COTA. L.R, **Relatório Simplificado 03 - Programa de monitoramento da qualidade da água da UHE Ferreira Gomes**. Ferreira Gomes – AP, 2015.

COTA. L.R, VITORINO I.Z. – **Relatório consolidado 04 - Programa de monitoramento da qualidade da água da UHE Ferreira Gomes**. Macapá – AP, 2017.

COSTA NETO, S. V.; SENNA, C. S. F; SOUZA COUTINHO, R. **Vegetação das áreas Sucuriju e Região dos lagos no Amapá**. 2006.

COSTA A. F., M., MENESES, P. R., SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, 59(2), 2007.

CREPANI, E. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; M. MEDEIROS, J. S. de.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos. INPE, 2001.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

_____, **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, SP, Brasil, 1999.

CUNHA, A. C. **Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. IEPA, 2010.

Evento Extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2014.

CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; PINHEIRO, L. A. R. Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no rio Araguari-AP: cenários para o AHE Ferreira Gomes-I-Amapá/Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 34-51, 2013.

DECKER, A., PACHECO, M., QUADRO, M., SOARES, H., NADALETTI, W., ANDREAZZA, R. Análise ambiental e qualidade da água da lagoa dos patos nas proximidades de uma tradicional comunidade de pescadores. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 7(2), 105-123, 2018.

DOMINGUES G.N. **Relatório Ambiental Semestral da UHE Ferreira Gomes período de julho a dezembro de 2015**. Macapá – AP, 2016.

ECOTUMUCUMAQUE. **Plano diretor de Ferreira Gomes**, 2010.

_____, **EIA-RIMA Aproveitamento Hidrelétrico Ferreira Gomes**, 2012.

EMBRAPA, E. Serviço nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

ESPINOZA, J. C., RONCHAIL, J., FRAPPART, F., LAVADO, W., SANTINI, W., GUYOT, J. L. The major floods in the Amazonas River and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970–2012 period: A focus on the 2012 flood. **Journal of Hydrometeorology**, 14(3), 1000-1008, 2013.

ESPÍRITO SANTO, C. M.; GUERRA, A. J. T.; SZLAFSZTEIN, C. F. Geodiversidade no médio curso do Rio Araguari, município de Ferreira Gomes – Estado do Amapá. In: **1º Workshop ARTE & Ciência: Reflexão Integrada na Paisagem**. 2017.

ESTEVES, F. de A. Fundamentos de limnologia. In: **Fundamentos de limnologia**. Interciência/Finep, 1988.

FRANCO, A. C. S., dos SANTOS, L. N., PETRY, A. C., GARCIA-BERTHOU, E. Abundance of invasive peacock bass increases with water residence time of reservoirs in southeastern Brazil. **Hydrobiologia**, 1-12, 2018.

GHOLIZADEH, M.; MELESSE, A.; REDDI, L. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1298, 2016.

GOERGEN, L. C. G; SCHUH, M. S; PEREIRA, R. S. Comparação entre a delimitação manual e automática da bacia do Arroio Corupá, RS, Brasil. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. n. 8, v.8, 2012.

GOMES, M.F; MAILLARD, P. **Comportamento espectral sazonal da vegetação no vale do rio Peruaçu**. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2000.

GOMES, A. R. Aplicação da metodologia ZEE para a análise da vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semiárido. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 3519-3526, 2005.

GUERRA, A.T. **Contribuição ao estudo da geologia do território federal do Amapá**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1953.

HAMILTON, D. P., SCHLADOW, S. G. Prediction of water quality in lakes and reservoirs. Part I—Model description. **Ecological Modelling**, 96(1-3), 91-110, 1997.

HIDROWEB— **Sistemas de Informações Hidrológicas**, 2018. Disponível Em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em, 20/02/2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Censo demográfico 1991**: Dados do Amapá - CD- 1.09. Rio de Janeiro: IBGE, 185 p.,1991.

_____, **Censo Demográfico 2000**: Região Norte e Sudeste - Microdados da Amostra - CD- 1.09. Rio de Janeiro: IBGE, 149 p., 2000.

_____, **Demográfico 2010**: Base Estatcart de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados Gerais da amostra por Município - CD- 1.09. Rio de Janeiro: IBGE, 149 p., 2010

_____, **Cidades**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/ferreira-gomes/panorama> acessado em 21/04/2018.

_____, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: Sistema fitogeográfico; inventario das formações florestais e campestres; Técnicas e manejo de coleções botânicas; Procedimentos para mapeamentos. rio de Janeiro: IBGE, 275 p, 2012.

INSTITUTO PESQUISA DO ESTADO DO AMAPÁ - IEPA. **Zoneamento Ecológico-Econômico**. Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do Zoneamento Ecológico Econômico. Macapá: IEPA, 2017

INSTITUTO DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DO AMAPÁ - IMAP. **Relatório técnico 52**. Macapá, 2016.

INEICHEN, Pierre. High turbidity solis clear sky model: development and validation. **Remote Sensing**, v. 10, n. 3, p. 435, 2018.

IRVING, M. de A. Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque: “Ultraperiferia” ou “laboratório” para a cooperação em gestão da biodiversidade nos espaços amazônicos de fronteira. **Revista de desenvolvimento econômico**, v. 4, n. 10, p. 26-37, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2a Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE. São Paulo, Parêntese, 672p., 2009

JORNAL DO DIA. **A seca da foz do rio Araguari**. 08/05/2014. Disponível em: <http://jornaldodia.com.br/ap/amapa/noticia/2014/05/seca-do-rio-Araguari-nafoz-defesa.html>. Acesso em: 8 mai, 2014

JÚNIOR, A. S. M., RIBEIRO, K. A., MERJJ, A. C., IENILDO LIMA, A., TAVARES, G. R., & RIQUELME, J. P. M. Concentração de fósforo total em sistema alternativo de tratamento por lagoa facultativa. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**. ISSN 2357-7797), 6(1), 172-190, 2018.

JUNK, W. J.; FURCH, K. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes Parte I: Trecho Cuiabá-Porto Velho-Manaus. **Acta Amazônica**, v. 10, n. 3, p. 611-633, 1980.

JUNK, W. J.; MELLO, J.A.S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

JUNK, W. J. Áreas inundáveis — Um desafio para limnologia. **Acta Amazônica**, v. 10, n. 4, p. 775-795, 1980.

JUPP, D. L., KIRK, J. T., HARRIS, G. P. Detection, identification and mapping of cyanobacteria—using remote sensing to measure the optical quality of turbid inland waters. **Marine and Freshwater Research**, 45(5), 801-828, 1994

HAMILTON, D. P., SCHLADOW, S. G. Prediction of water quality in lakes and reservoirs. Part I—Model description. **Ecological Modelling**, 96(1-3), 91-110, 1997.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Oficina de Textos, 2009.

LANDOVSKY, G. S.; BATISTA, D. B.; ARAKI, H. Análise da qualidade visual da paisagem da região de Tibagi, PR, aplicando o sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 188-195, 2006.

LEAL, R. M.; VARGAS, R. R. Análise de demanda bioquímica de oxigênio e nitrogênio total do Lago Azul–Guarulhos (SP). **Revista Educação-UNG-Ser**, v. 11, n. 3 ESP, p. 70, 2017

LAGOMARSINO, L., DIOVISALVI, N., BUSTINGORRY, J., ESCARAY, R., & ZAGARESE, H. E. Diel patterns of total suspended solids, turbidity, and water transparency in a highly turbid, shallow lake (Laguna Chascomús, Argentina). **Hydrobiologia**, 752(1), 21-31, 2015

LEAL, R. M.; VARGAS, R. R. Análise de demanda bioquímica de oxigênio e nitrogênio total do Lago Azul–Guarulhos (SP). **Revista Educação-UNG-Ser**, v. 11, n. 3 ESP, p. 70, 2017

LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). **Acta Amazonica**, v. 10, n. 2, p. 343-357, 1980

LI, Y., ZHANG, Y., SHI, K., ZHU, G., ZHOU, Y., ZHANG, Y., GUO, Y. Monitoring spatiotemporal variations in nutrients in a large drinking water reservoir and their relationships with hydrological and meteorological conditions based on Landsat 8 imagery. **Science of the Total Environment**, 599, 1705-1717, 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2018

_____, Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 4, 2015

LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; LIMA NETO, I.E., Monitoring and modeling of water quality in a semiarid watershed. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 125-135, 2018

LOGAN, T. J. Effects conservation tillage on ground water quality: nitrates and pesticides. **CRC Press**, 2017.

LÓPEZ, J.M., CARREÑO, M. F., PALAZÓN-FERRANDO, J. A., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ESTEVE, M. A. Remote sensing of plant communities as a tool for assessing the condition of semiarid Mediterranean saline wetlands in agricultural catchments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 26, 193-204, 2014.

KALAI, S. Modelling the effect of temperature, pH, water activity, and organic acids on the germination time of *Penicillium camemberti* and *Penicillium roqueforti* conidia. **International journal of food microbiology**, v. 240, p. 124-130, 2017.

KAMPEL, M.; NOVO, E. M. L. M. O sensoriamento remoto da cor da água. **Oceanografia por satélites. São Paulo: Oficina de Textos**, p. 179-196, 2005.

KATSAROS, K. B. **An introduction to ocean Remote Sensing**, 2 edição, 2015.

KIMMEL, B. L.; GROEGER, A. W. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs: a perspective. **Lake and reservoir management**, v. 1, n. 1, p. 277-281, 1984.

KIRK, J. T. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge university press, 1994.

KHORRAM, S., VAN DER WIELE, C. F., KOCH, F. H., NELSON, S. A., POTTS, M. D. **Principles of applied remote sensing**. Springer, 2016.

MARTINS, G. D. A. **Estatística geral e aplicada**. Editora USP, 2001.

MASCARENHAS, A. N.; CUNHA, R. D. A. Aplicação de SIG na análise da redução da paisagem verde na avenida São Rafael em Salvador-BA. **Paisagem e Ambiente**, n. 23, p. 214-221, 2007.

MATHER, P. M.; KOCH, M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. John Wiley & Sons, 2011.

MAURYA, P. K., BALBARINI, N., MOLLER, I., RONDE, V., CHRISTIANSEN, A. V., BJERG, P. L., FIANDACA, G. Subsurface imaging of water electrical conductivity, hydraulic permeability and lithology at contaminated sites by induced polarization. **Geophysical Journal International**, 213(2), 770-785, 2018.

MCCOY, R. M. **Field methods in remote sensing**. Guilford Press, 2005.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/2, 2009.

MEIRELLES, M. P. S.; CAMARA, G.; ALMEIDA, M. C., **Geomática Modelos e Aplicações Ambientais**, Primeira edição, Editora Embrapa. São Paulo, 2007.

MERRY, F., SOARES-FILHO, B., NEPSTAD, D., AMACHER, G., RODRIGUES, H. Balancing conservation and economic sustainability: the future of the Amazon timber industry. **Environmental management**, 44(3), 395-407, 2009.

MERTEN, G. H., MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, 3(4), 33-38, 2002

MONTANHER, O. C., NOVO, E. M., BARBOSA, C. C., RENNÓ, C. D., & SILVA, T. S. Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 29, 67-77, 2014.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T. M. de. Cobertura da terra e parâmetros da paisagem no município de Caracaraí-Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 46-59, 2013.

MORETI B.G.; BIANCHESSI D. C.S. M. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, 2013.

MOUW, C. B., GREB, S., AURIN, D., DIGIACOMO, P. M., LEE, Z., TWARDOWSKI, M., & MOSES, W. Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions. **Remote sensing of environment**, 160, 15-30, 2015.

MUNTZ, W. R. A. A penetração de luz nas águas de rios amazônicos. **Acta Amazonica**, v. 8, n. 4, p. 613-619, 1978.

NASCIMENTO JR, W. R., SOUZA-FILHO, P. W. M., PROISY, C., LUCAS, R. M., & ROSENQVIST, A Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 117, 83-93, 2013.

NEPSTAD, D., SOARES-FILHO, B. S., MERRY, F., LIMA, A., MOUTINHO, P., CARTER, J., MCGRATH, D. G. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, 326(5958), 1350-1351, 2009.

NÓBREGA, I. W. **Análise Espectral de Sistemas Aquáticos da Amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos**. IW Nóbrega. –São José dos Campos: INPE, 2002.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto. Princípios e Aplicações**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 2008

NOVO, E.M.L M; Comportamento espectral da água. In Meneses, Paulo Roberto; Netto Jose da Silva Madeira. **Sensoriamento remoto reflectância dos alvos naturais**. Brasília-DF. Editora UNB, 2001.

NOVO, E.M.L M; BARBOSA, C.C.F; LOBO F.L. Comportamento Espectral dos Ambientes Aquáticos. In: MENESES, P. H.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. de M. **Reflectância dos materiais terrestres**. 1 edição, São Paulo-SP, Editora Oficina de Textos, capítulo 7, página 226-249, 2019.

OLIVEIRA, A. F. S., SILVA, L. D. P., DE MELO SILVA, T., SANTOS, L. P., ROCHA, R. M., FREITAS, H. G., PEREIRA, S. D. F. P. Desenvolvimento do índice de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público-IPA para Amazônia. **Scientia Plena**, 13(1), 2017.

OLIVEIRA, S.F. **Caracterização hidrossedimentológica e estudo da qualidade dos sedimentos na bacia hidrográfica e lago da UHE Barra dos Coqueiros**. (Tese de doutorado). Goiânia, 2018.

PALHARES J.M. **Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Tamandua nos municípios de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu – PR**. (Dissertação de Mestrado), Foz do Iguaçu, 2012.

PALHARES, J.M.; GUERRA A. J. T. Potencialidades no município de Oiapoque, Amapá, para o desenvolvimento do Geoturismo. **Espaço Aberto**. Volume 6, número 2 pag.51-72, 2018.

PALHARES, J. M.; NAGATA, N. Responsabilidade social e ambiental das empresas: um estudo das ações praticadas pela Itaipu binacional. **Seminário Latino-Americano de Geografia Física**, Universidade de Coimbra, 2010.

PANTOJA, G. M. T.; ANDRADE, R. F. Impactos socioambientais decorrentes dos projetos hidrelétricos na bacia do rio Araguaí: do aumento populacional a disseminação da malária. Planeta Amazônia: **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, n. 4, p. 61-74, 2012.

PAULA OLIVEIRA, M. C., DE OLIVEIRA, B. T. Á., DE SOUZA DIAS, J., MOURA, M. N., DA SILVA, B. M., BARBOSA, S. V., FELIPPE, M. F. Avaliação macroscópica da qualidade das nascentes do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, 3(1), 2013.

PEREIRA FILHO, W. Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo da influência das características da bacia de captação na concentração de sólidos em suspensão em reservatório: o exemplo de Tucuruí. 175 f. 1991. **São José Dos Campos. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. Dissertação (Mestrado. Sensoriamento Remoto)**, 1991.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí-Pará**. Tese de Doutorado, 2000.

PEREIRA F., W.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M. Influência das condições do tempo em espectros de reflectância da água. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 415-422, 2005.

PERROT, L., GOHIN, F., RUIZ-PINO, D., LAMPERT, L., HURET, M., DESSIER, A., BORRIAU, P. Coccolith-derived turbidity and hydrological conditions in May in the Bay of Biscay. **Progress in Oceanography**, 166, 41-53, 2018.

PINESE, J. F. J.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica–AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

PINHO, E. S., ROSANOVA, C., MATOS, F. T., HONDA, R. T., BUENO, G. W., AKAMA, A. Avaliação do Índice de Estado Trófico como ferramenta para monitoramento de atividades aquícolas em reservatórios continentais. **Biotemas**, 31(4), 23-34, 2018.

POKHAREL, K. K., BASNET, K. B., MAJUPURIA, T. C.; BANIVA, C. B. Environmental Variables of the Seti Gandaki River Basin Pokhara, Nepal. **Journal of Institute of Science and Technology**, 22(2), 129-139, 2018.

PONS, N. A. D., PEREIRA, I. Z. Estudo da Qualidade Ambiental de APP de nascentes da Bacia do Ribeirão José Pereira, com o auxílio do Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 7, 2018.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

PORTO, M. F.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, 22(63), 43-60, 2008.

PRADO, R. B.; NOVO, EML de M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. **Embrapa Solos**, 2007.

PRADO, J. R. S. **Qualidade da água da bacia do Rio Teles Pires na área de influência direta da futura UHE Sinop, MT**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso, 2018.

QUEIROZ, M. T. A., QUEIROZ, C. A., QUEIROZ, F. A., LEO, M. M. D.; AMORIM, C. C.. Estudos dos parâmetros físico-químicos, qualidade da água e trofia do reservatório da usina hidrelétrica de Sa Carvalho, Minas Gerais, Brasil. **Revista Gestão Industrial**, 12(1), 2016.

RADAMBRASIL, Projeto. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. **Ministério das Minas e Energia, Folha Macapá**. NA / NB - 22, v. 6, 1974.

RAMALHO, E. E. *et al.* Ciclo hidrológico nos ambientes de várzea da reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá – médio Rio Solimões, período de 1990 a 2008. **Scientific Magazine UAKARI**, v. 5, n. 1, p. 61-87, 2009.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. P. Fe.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras, 2002.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N. C. Avaliação da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma cerrado por meio de modelagem dinâmica da paisagem. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, 2016.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A; JUNIOR, A. F. M.; WAICHMAN, A. V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia Brasileira Ocidental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 54-65, 2011.

ROCHA, I. R. **Influência da bacia hidrográfica nas análises limnológicas e espectrais das águas do reservatório salto do Rio Verdinho-GO**. (Tese doutorado), 2018.

ROCHA, H. M.; 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**, v. 19, n. 1, p. 131-142, 2014.

ROCHA, I. R.; CABRAL, J. B. P... Alterações no Uso da Terra da Bacia Hidrográfica da UHE Salto do Rio Verdinho, Goiás, Brasil. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 142-153, 2017.

RODRIGUES A. S; NETO J.C.S; CUNHA A.K; BEZERRA M.S – **Relatório final de campo integrado. Disciplinas de Geografia do Amapá**, Recursos Naturais e Sensoriamento remoto. Universidade Federal do Amapá, 2017.

ROLIM NETO, F. C., SCHAEFER, C. E. G. R., COSTA, L. M., CORREA, M. M., FERNANDES FILHO, E. I., IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28(6), 2004.

RODRIGUES, T. E. **Caracterização e classificação dos solos do campo experimental do cerrado da Embrapa do Amapá. Estado do Amapá**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documento 43, 2005.

ROSA-COSTA, L. T. da; CHAVES, C. L.; KLEIN, E. L. **Geologia e recursos minerais da folha Rio Araguari-NA. 22-YB: estado do Amapá**. CPRM, 2014.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil**. Edusp, 1996.

RUDORFF, C. M., NOVO, E. M. L. M., GALVAO, L. S., PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica**, 37(2), 269-280, 2007.

SOUZA, E. B.da, FERREIRA, D. B. S, GUIMARAES, J. T. F., FRANCO, V. S, AZEVEDO, F. T. M., MORAES, B. C. Os padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

SÁ OLIVEIRA, J. C.; CHELLAPPA, S.; VASCONCELOS, H. C. G. Estrutura populacional, relação peso-comprimento e fator de condição de *Hoplosternum littorale*, Hancock, 1828 (Siluriformes: Callichthyidae) da Área de Proteção Ambiental do rio Curiaú, Macapá-AP. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 1, n. 1, p. 38-41, 2011.

SÁ-OLIVEIRA, J. C. Caracterização da pesca no Reservatório e áreas adjacentes da UHE Coaracy Nunes, Ferreira Gomes, Amapá-Brasil. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 3, n. 3, p. 83-96, 2013.

SANTIAGO, M.F.; SILVA, C.M.S.V.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará, Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. **Radiocarbon**, 39(1), 49-59, 2008.

SANTOS, U. de M. Rios da bacia amazônica. I. Afluentes do rio Negro. **Acta Amazonica**, v. 14, n. 1-2, p. 222-237, 1984.

SANTOS, A. K. F. **Análise do comportamento espectral das águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros (GO)**. Dissertação, Jatai GO, 2018.

SANTOS, E. S. D; DA CUNHA, A. C.; DA CUNHA, E. D. D. S. Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. 2014.

SANTOS, P. V. C. J.; DA CUNHA, A. C. Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Rev. Bras. Recur. Hídricos**, v. 18, p. 81-95, 2013.

SANTOS, V. F. D., POLIDORI, L., SILVEIRA, O. F. M. D., FIGUEIREDO, A. G. D. Aplicação de dados multisensor (SAR e ETM+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais: Costa Amazônica, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, 27, 39-55, 2009.

SANTOS, A. K. F. D., FACCO, D. S., CABRAL, J. B. P., PEREIRA FILHO, W. Técnicas de remoção do contínuo por meio de uma biblioteca espectral nas águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros (GO). **Revista Geoambiente**. número 30, 2018.

SANTOS, E. S.; DA CUNHA, A. C; DA CUNHA, E. D.S. **Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil**. 2014.

SANTOS FILHO, H.; DE OLIVEIRA, M. J. Avaliação do Modelo Digital de Terreno (MDT) do projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá: estudo de caso do perímetro urbano do Macapá. **Geopantanal**, Cuiabá, 2016.

SANTOS M. L., GONCALVES; SANTOS, L., LOPEZ DOVAL, J. C., MARTINS POMPEO, M. L., MOSCHINI-CARLOS, V. Fatores ambientais relacionados à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 11(4), 2016.

SAMPAIO, S. C., SILVESTRO, M. G., FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, 12(4), 569-574, 2018.

SANTANA, N. S. **Análise da vulnerabilidade ambiental de Salvador: um subsídio ao planejamento e à gestão territorial da cidade**, 2017.

SANTIAGO, C. M. C., SILVA, E. V., & SOARES, L. S. Diagnostico da qualidade da água frente as alterações na bacia hidrográfica do Rio São Nicolau. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 2018

SANTOS, A. P. F., da SILVA, L. M. A., da Silva, S. C., BITTENCOURT, L. N., & ZACARDI, D. M. Levantamento socioeconômico da atividade pesqueira artesanal na vila do Sucuriú, Amapá, Brasil. **Bol. Téc. Cient. Cepnor**, 11(1), 129-141, 2011.

SCARPELLI, W; HORIKAVA, E H. Ouro, ferro e manganês na área central do Amapá, Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 4, p. 703-721, 2018.

SCHMIDT, J.C. J. **O clima da Amazônia**. Instituto brasileiro de geografia e estatística, 1947.

ŞENER, Ş.; ŞENER, E.; DAVRAZ, A.. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). **Science of the Total Environment**, v. 584, p. 131-144, 2017.

SILVA, A. M. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. Rima, 2003

SILVA, M. A.; ARAÚJO, R. R de. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no rio Pirapozinho no Estado de São Paulo-Brasil. **Formação (Online)**, v. 1, n. 24, 2017.

SILVA, B. B., BRAGA, A. C., BRAGA, C. C., de OLIVEIRA, L. M. M., GALVINICIO, J. D., MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47(9), 1218-1226, 2012.

SILVA, C. H. L. S., Tendências espaço-temporais das chuvas na Amazônia brasileira. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, n. 2017, p. 2073-2083, 2018.

SILVA, L. J.; LOPES, L. G. I; AMARAL, L. A. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 615-622, 2018.

SILVA BRITO, M. T., NASCIMENTO FILHO, S. L D., VIANA, G. F. S., JUNIOR, M. M. Aplicação de um protocolo de avaliação ambiental rápida em dois reservatórios do semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 20(1), 1-5, 2016.

SILVA, D. C. V. R., QUEIROZ, L. G., FERNANDES, J. G., DA SILVA, S. C., DE PAIVA, T. C. B., POMPEO, M. L. M., ALAMINO, D. A. Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23(4), 2018.

SILVEIRA, L.G. G., FURLAN, L. R., CURI, R. A., FERRAZ, A. L. J., ALENCAR, M. M., REGITANAO, L. C. A., MARTINS, C. L., ARRIGONI, M. B., SUGUISAWA, L., SILVEIRA, C. OLIVEIRA, H. N. Growth hormone 1 gene (GH1) polymorphism as possible markers of the production potential of beef cattle using the Brazilian Canchim breed as a model. **J. Genet. Mol. Bio.** 31(4): 874-879, 2008.

SILVEIRA, O. F. M.; SANTOS, V. F. Aspectos geológicos-geomorfológicos região costeira entre o rio Amapá Grande e a região dos lagos do Amapá. **MMA/PROBIO, Macapá, 30p**, 2006.

SIOLI, H. Studies in Amazonian waters. **Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica**, (Limnologia) 3: 9-50, 1967.

_____. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: **Tropical ecological systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 275-288, 1975.

_____. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**. v. 1, p. 74-83, 1984.

_____. Limnologia, a ciência. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 55, p. 93-106, 2017

SILVEIRA, O.T.; COSTA NETO, S.V. da; SILVEIRA, O. F. M. da. Social wasps of two wetland ecosystems in Brazilian Amazonia (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae). **Acta amazônica**, v. 38, n. 2, p. 333-344, 2008.

SIQUEIRA, V. F. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2011.

SHIMABUKURO, Y. E., DUARTE, V., MELLO, E. M. K., MOREIRA, J. C. Apresentação da metodologia de criação do PRODES digital. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, SP, 2000

SHIMABUKURO, Y. E., DOS SANTOS, J. R., FORMAGGIO, A. R., DUARTE, V., & THEODOR, R. V. F. The Brazilian Amazon monitoring program: PRODES and DETER projects. **Global forest monitoring from earth observation**, 354 ,2012.

SMITH, N. J.H. Quelônios aquáticos da Amazônia: um recurso ameaçado. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 1, p. 87-97, 1979.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. EPUSP, São Paulo, 299p, 1998.

_____, Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, p. 74, 2006.

_____, Nexos Entre as Dimensões Socioeconômicas e o Desmatamento na Amazônia: A Caminho de um Modelo Integrado. **Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação**, v. 304, 2008.

SOARES FILHO, B. RAJAO, R., MACEDO, M., CARNEIRO, A., COSTA, W., COE, M., ALENCAR, A Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

SOKOLONSKI, H. H. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

SOUZA, C. G... **Manual técnico de pedologia**. IBGE, 2005.

SOUZA, E. B. de; CUNHA, A. C. da. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. IN: CUNHA, A. C. da; SOUZA, E. B. de; CUNHA, H. F. A. (Org.). **Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. cap. 10, p. 177-195. Disponível em: <<http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/418>>. Acesso em: 10/11/2018

SPIER, C. A.; FERREIRA FILHO, C. F. Geologia, estratigrafia e depósitos minerais do Projeto Vila Nova, escudo das guianas, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2017.

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

STICKLER, C. M., NEPSTAD, D. C., COE, M. T., MCGRATH, D. G., RODRIGUES, H. O., WALKER, W. S., DAVIDSON, E. A. The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region. **Global Change Biology**, 15(12), 2803-2824, 2009.

STRAŠKRABRA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas: diretrizes para gerenciamento de lagos**. Oficina de Textos, 2013.

SUTHERLAND, R. A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. **Environmental geology**, v. 39, n. 6, p. 611-627, 2000.

TONIOLO, G. R. Reflectância espectral da água em função de variações temporais do uso e cobertura da terra. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 14, n. 1, p. 50-61, 2016.

TRICART, J. Ecodinâmica. In: **Série recursos naturais e meio ambiente**. SUPREN/IBGE, 1977.

_____, **Paisagem. Ecologia**. São José do Rio Preto, UNESP, 1982.

TROLL, C. Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. In: **Studium generale**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1950. p. 163-181.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. 3ª Edição. Rio Claro, 1989.

TUNDISI, J. G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos. **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 21, p. 9-20, 2000.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. Oficina de textos, 2016.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

TURNER, B. C. Geographic distribution of Neurospora spore killer strains and strains resistant to killing. **Fungal Genetics and Biology**, v. 32, n. 2, p. 93-104, 2001.

VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M., & da SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química Journal**, 22(1), 2018.

VANZELA, L., H.F. B., FRANCO, R. A. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, 14(1), 2010

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em micrertentes em micrertentes em microbacias pela análise de modelos digitais pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VALERIANO, M. de M.; ALBUQUERQUE, P.C.G de. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16702-RPQ/854). 79p, 2010.

VASCONCELOS, C. H., NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens—fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí-PA. **Acta Amazônica**, 34(3), 487-493, 2004.

VIEIRA B.L., SOUZA F de., M., BARROS, F.M., ROCHA, F. A, da Silva AMORIM, J., ROCHA DE CARVALHO, S., DA SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 9(1), 2014

VIEIRA, M.S. Base cartográfica contínua do estado do Amapá. In: **Revista Digital Simonsen**. Rio de Janeiro, n.3, nov, 2015. Disponível em:< www.revistaonlinesimonsen.com.br>. Acesso 17/12/2017.

VILLAR, E. R. **Monitoramento das dinâmicas espaciais e temporais dos fluxos sedimentares na Bacia Amazônica a partir de imagens de satélite**. Tese UNB. Brasília, 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

WACHHOLZ, F. *et al.* **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. UFSM. Santa Maria, 2007.

WATANABE, M., OLIVEIRA, F. A. de, NUNES, D. D., SILVA NUNES, A. C. da , AGUIAR CAVALCANTE de, M. M., AGUIAR, T. C. de. Análise do impacto do desmatamento no aporte sedimentar de bacias pareadas na Amazônia ocidental: bacias do rio mutum-paraná, Rondônia (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 19(3), 2018.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G. E. **Limnological analyzes**, 1991

WETZEL, R.G. **Limnology: lake and river ecosystems**. Gulf Professional Publishing, 2001.

WRUBBLACK, S. C., MERCANTE, E., BOAS, M. A. V., PRUDENTE, V. H., SILVA, J. L. Variation of water quality along a river in agricultural watershed with support of geographic information systems and multivariate analysis. **Engenharia Agrícola**, 38(1), 74-81, 2018.

WUNSCH, U., Bro, R., STEDMON, C., WENIG, P., MURPHY, K. Emerging patterns in the global distribution of dissolved organic matter fluorescence. **Metods of the analisys**, 2019.

ZHANG, C., ZHANG, W., HUANG, Y., GAO, X.. Analysing the correlations of long-term seasonal water quality parameters, suspended solids and total dissolved solids in a shallow reservoir with meteorological factors. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(7), 6746-6756, 2017.

ZONNEVELD, I. S. The land unit—a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape ecology**, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.

APENDICE A - TABULAÇÃO DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DA UHE FERREIRA GOMES.

A.1 Tabulação parâmetros físicos da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes

A.1.1 Tabela da temperatura da bacia de captação do reservatório.

Tabela 27 – Tabela de temperatura da água do reservatório

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	25.6	27.7	31	30.9
Ponto 02	25.6	27.7	30.9	30.9
Ponto 03	25.6	27.7	31.4	30.9
Ponto 04	25.7	27.8	30.8	30.8
Ponto 05	26.2	28.3	31.4	30.9
Ponto 06	26.1	27.8	30.5	30.9
Ponto 07	25.6	27.4	30.2	31.5
Ponto 08	25.6	27.5	30.2	31
Ponto 09	25.8	27.9	30.5	31
Ponto 10	27.4	28.8	30.8	31
Ponto 11	25.8	28	30.5	31
Ponto 12	25.9	28.6	30.7	31
Ponto 13	25.8	28	30.4	31.7
Ponto 14	25.8	28.6	30.7	31.8
Ponto 15	25.6	28.6	30.1	31
Ponto 16	26.2	28.6	30.1	31
Ponto 17	25.9	30.7	30.2	31
Ponto 18	25.7	29.1	30.1	31.4
Ponto 19	25.7	28.5	30.1	31.3
Ponto 20	25.9	28.7	30.1	31
Ponto 21	26.5	28.7	30.3	31.8
Ponto 22	26.8	30.8	30.9	32
Ponto 23	27.7	29.5	30.3	32.5
Ponto 24	26.9	28.6	30.1	32.5
Ponto 25	26.2	28.3	30.2	33.1
Ponto 26	26.4	28.1	30.4	33.1
Ponto 27	26.7	28.7	30.4	33.5
Ponto 28	26.8	28.6	30.5	32.6
Ponto 29	27.8	29.1	31	32.2
Ponto 30	28.3	29.3	31.3	32.2
Ponto 31	28.8	30.1	31.4	32
Ponto 32	28.8	30.2	31.1	32.4

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.2 Tabulação da condutividade elétrica da bacia de captação.

Tabela 28 – Tabela de condutividade elétrica no reservatório

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	20.4	21.08	25.76	14.15
Ponto 02	20.66	21.27	25.82	14
Ponto 03	20.47	21.21	25.83	14.04

Ponto 04	20.45	21.32	25.84	13.83
Ponto 05	15.51	20.85	25.41	34.8
Ponto 06	20.49	21.32	25.96	27.18
Ponto 07	20.67	21.41	25.92	27.2
Ponto 08	20.62	21.37	25.92	27.36
Ponto 09	20.38	21.29	25.91	28.61
Ponto 10	21.13	21.34	25.61	28.22
Ponto 11	20.43	21.33	25.83	29.24
Ponto 12	20.65	21.43	25.91	29.2
Ponto 13	20.36	21.28	25.93	27.49
Ponto 14	20.6	21.34	25.88	29.23
Ponto 15	20.75	21.29	25.8	27.83
Ponto 16	21.87	21.68	25.85	27.85
Ponto 17	21.22	21.74	25.83	27.35
Ponto 18	20.47	21.33	25.75	27.3
Ponto 19	20.54	21.46	25.74	27.44
Ponto 20	21.13	21.38	25.83	27.68
Ponto 21	21.36	21.55	25.84	27.73
Ponto 22	21.06	22.35	25.71	27.72
Ponto 23	21.99	21.84	26.05	29.66
Ponto 24	20.85	21.78	25.89	32.1
Ponto 25	20.37	21.67	25.88	27.45
Ponto 26	20.53	21.71	25.8	27.77
Ponto 27	20.76	21.56	25.7	27.7
Ponto 28	20.68	20.96	25.61	27.34
Ponto 29	19.49	18.44	23.71	26.43
Ponto 30	16.53	12.83	18.88	23.88
Ponto 31	15.15	11.99	16.27	22.67
Ponto 32	20.2	19.91	23.32	26.1

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.3 Tabela do oxigênio dissolvido da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 29 – Tabulação de oxigênio dissolvido durante as coletas de campo

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	9.75	9.42	8.43	7.15
Ponto 02	10.13	9.18	8.46	7
Ponto 03	10.05	9.27	8.45	7.37
Ponto 04	9.76	9.08	7.45	7.1
Ponto 05	6.94	8.9	7.47	6.95
Ponto 06	9.67	8.89	6.99	7.29
Ponto 07	6.12	6.65	6.36	7.1
Ponto 08	6.22	6.69	6.55	7.15
Ponto 09	9.79	9.19	7.27	7.01
Ponto 10	8.02	8.51	7.38	7.03
Ponto 11	9.64	9.03	7.21	7.2
Ponto 12	6.22	6.83	7.2	7.31
Ponto 13	9.77	9.02	7.01	7.02
Ponto 14	6.24	7.99	7.1	7.03
Ponto 15	8.84	8.98	6.78	7.58
Ponto 16	4.97	7.43	6.11	7
Ponto 17	5.68	6.76	6.24	7.65
Ponto 18	9.84	8.35	6.84	7.86

Ponto 19	9.58	7.94	7.02	7.68
Ponto 20	5.91	7.95	6.62	7.65
Ponto 21	6.62	7.66	6.67	7.21
Ponto 22	6.22	6.57	6.35	7.31
Ponto 23	6.75	6.7	5.93	7.45
Ponto 24	6.41	7.1	6.8	7.6
Ponto 25	9.59	8.3	6.89	7.3
Ponto 26	9.5	7.95	6.94	7.58
Ponto 27	6.6	7.23	6.72	7.6
Ponto 28	7.27	7.38	6.66	7.08
Ponto 29	7.06	6.54	6.68	6.92
Ponto 30	6.42	6.92	6.43	6.89
Ponto 31	7.13	7.58	6.91	6.88
Ponto 32	7.31	6.1	6.78	7.47

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.4 Tabela da transparência da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 30 – Tabulação de transparência no reservatório da UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	0.5	1.5	1.8	2.1
Ponto 02	0.82	1	1.3	2
Ponto 03	0.78	1.3	1.55	2.5
Ponto 04	0.71	1.2	1.6	2.5
Ponto 05	1.02	1.3	1.4	2.65
Ponto 06	0.92	1.6	1.6	2
Ponto 07	0.92	1.3	1.2	2.53
Ponto 08	0.72	1.25	1.35	2.68
Ponto 09	0.88	1.4	1.7	2.61
Ponto 10	1.04	1.3	1.7	2.63
Ponto 11	0.85	1.27	1.62	2.71
Ponto 12	0.85	1.25	1.67	2.63
Ponto 13	0.86	1.4	1.59	2.46
Ponto 14	0.86	1.3	1.45	2.48
Ponto 15	0.97	1.3	1.9	2.53
Ponto 16	0.97	1.4	1.9	2.43
Ponto 17	0.97	1.31	1.86	2.54
Ponto 18	0.98	1.45	1.85	2.63
Ponto 19	1	1.33	1.9	2.51
Ponto 20	0.98	1.4	1.9	2.48
Ponto 21	0.98	1.11	1.77	2.21
Ponto 22	0.97	1.6	2.05	2.43
Ponto 23	1.01	1.5	1.9	2.18
Ponto 24	1.02	1.55	1.7	2.22
Ponto 25	0.97	1.5	1.97	2.2
Ponto 26	0.98	1.4	1.8	2.15
Ponto 27	0.98	1.35	1.89	2.15
Ponto 28	1	1.5	1.9	2.4
Ponto 29	1.25	1.5	1.9	2.4
Ponto 30	1.7	2.6	2.3	1.95
Ponto 31	2.5	3.3	2.2	1.15
Ponto 32	0.93	1.25	1.9	1.85

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.5 Tabela do pH da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 31 – Tabela de pH no reservatório da UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	5.71	5.71	6.63	6.48
Ponto 02	5.73	6.12	6.39	6.46
Ponto 03	5.68	6.04	6.33	6.44
Ponto 04	5.72	6.02	6.42	6.44
Ponto 05	6.18	6.04	6.33	6.33
Ponto 06	5.96	5.99	6.26	6.4
Ponto 07	5.6	5.98	6.35	6.24
Ponto 08	5.48	6.04	6.31	6.94
Ponto 09	5.56	6.12	6.46	6.7
Ponto 10	5.57	6	6.56	6.52
Ponto 11	5.53	5.92	6.48	6.48
Ponto 12	5.4	5.78	6.31	6.78
Ponto 13	5.58	5.86	6.42	7.03
Ponto 14	5.56	5.97	6.33	6.69
Ponto 15	5.74	5.88	6.5	6.71
Ponto 16	5.98	5.9	6.22	6.51
Ponto 17	5.92	5.8	6.3	6.45
Ponto 18	5.61	6.03	6.32	6.75
Ponto 19	5.71	5.92	6.33	6.98
Ponto 20	5.75	5.82	6.29	7.1
Ponto 21	5.67	5.9	6.32	7.04
Ponto 22	5.89	5.59	6.39	7.18
Ponto 23	5.95	5.8	6.24	7.19
Ponto 24	5.72	5.71	6.37	7.33
Ponto 25	5.76	5.94	6.5	7.4
Ponto 26	5.76	6.02	6.43	7.41
Ponto 27	5.83	5.86	6.46	7.31
Ponto 28	6	6.03	6.55	7.3
Ponto 29	5.86	6.01	6.61	7.3
Ponto 30	5.9	5.74	6.65	7.43
Ponto 31	5.83	5.84	6.7	7.4
Ponto 32	5.82	5.8	6.58	7.24

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.6 Tabela do NaCl da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 32 – Tabela de coleta de NaCl no reservatório da UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	17.96	18.84	21.53	22.47
Ponto 02	18.07	18.89	21.48	22.33
Ponto 03	17.99	18.9	21.58	22.43
Ponto 04	18	18.91	21.47	22.27
Ponto 05	16.08	18.95	21.46	25.42
Ponto 06	18.21	19.14	21.44	22.35
Ponto 07	18.06	18.92	21.4	22.37
Ponto 08	18.07	18.89	21.39	22.33
Ponto 09	18	18.93	21.44	22.93
Ponto 10	18.81	19.2	21.39	22.75
Ponto 11	17.98	19.09	21.41	23.16

Ponto 12	18.12	19.21	21.49	22.32
Ponto 13	17.97	18.94	21.45	22.35
Ponto 14	18.09	19.19	21.47	23.07
Ponto 15	18.11	19.12	21.32	22.5
Ponto 16	18.75	19.76	21.42	22.84
Ponto 17	18.37	19.5	21.4	22.38
Ponto 18	18.02	19.15	21.31	22.35
Ponto 19	18.23	19.21	21.31	22.3
Ponto 20	18.32	19.2	21.35	22.35
Ponto 21	18.83	19.75	21.35	22.6
Ponto 22	10.56	19.82	21.52	22.51
Ponto 23	19.16	19.41	21.53	23.2
Ponto 24	18.6	19.32	21.37	13.56
Ponto 25	18.03	19.24	21.32	22.33
Ponto 26	18.25	19.34	21.37	22.8
Ponto 27	18.39	19.27	21.34	22.75
Ponto 28	18.55	19.11	21.32	22.5
Ponto 29	18.24	18.37	20.66	22.06
Ponto 30	17.36	16.56	18.97	20.9
Ponto 31	16.9	16.29	18.04	20.48
Ponto 32	18.77	18.81	20.65	21.96

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.1.7 Tabela do Total de sólidos dissolvidos da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 33 – Tabela do total de sólidos dissolvidos na UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	10.19	10.54	12.88	14.15
Ponto 02	10.33	10.62	12.91	14
Ponto 03	10.23	10.61	12.92	14.04
Ponto 04	10.24	10.65	12.94	13.83
Ponto 05	7.63	10.39	12.69	17.52
Ponto 06	10.24	10.67	12.98	16.64
Ponto 07	10.32	10.71	12.97	13.59
Ponto 08	10.32	10.69	12.96	13.67
Ponto 09	10.19	10.64	12.95	14.31
Ponto 10	10.57	10.66	12.83	14.11
Ponto 11	10.21	10.66	12.91	14.62
Ponto 12	10.32	10.71	12.95	13.55
Ponto 13	10.18	10.63	12.96	13.75
Ponto 14	10.3	10.67	12.94	14.64
Ponto 15	10.37	10.63	13.65	13.92
Ponto 16	10.93	10.85	12.93	14.25
Ponto 17	10.61	10.88	12.94	13.67
Ponto 18	10.24	10.67	12.94	13.69
Ponto 19	10.26	10.72	12.87	13.69
Ponto 20	10.57	10.68	12.92	13.81
Ponto 21	10.75	10.78	12.88	13.86
Ponto 22	10.53	11.18	12.86	22.56
Ponto 23	11.02	10.95	13.06	14.85
Ponto 24	10.43	10.9	12.95	31.6
Ponto 25	10.2	10.84	12.91	13.72
Ponto 26	10.26	10.87	12.9	13.89

Ponto 27	10.39	10.74	12.84	13.86
Ponto 28	10.33	10.52	12.8	13.68
Ponto 29	9.74	9.24	11.86	12.2
Ponto 30	8.27	6.2	9.44	11.93
Ponto 31	7.57	6.01	8.14	11.32
Ponto 32	10.1	9.94	11.66	13.04

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.2 Tabela dos parâmetros químicos da água.

A.2.1 Tabela do nitrogênio da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 34 – Dados de nitrito no reservatório da UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	0	0.01	0.01	0.01
Ponto 02	0	0.01	0.01	0.01
Ponto 03	0	0.01	0.01	0.01
Ponto 04	0	0.01	0.01	0
Ponto 05	0	0.01	0.01	0.01
Ponto 06	0	0	0	0
Ponto 07	0	0.01	0.01	0
Ponto 08	0	0	0	0.02
Ponto 09	0	0.01	0.01	0.02
Ponto 10	0	0	0	0.02
Ponto 11	0	0.01	0.01	0.02
Ponto 12	0	0	0	0.02
Ponto 13	0	0	0	0.02
Ponto 14	0	0	0	0.03
Ponto 15	0	0.01	0.01	0.02
Ponto 16	0.01	0	0	0.03
Ponto 17	0.01	0	0	0
Ponto 18	0	0	0	0.01
Ponto 19	0.01	0.01	0.01	0
Ponto 20	0	0	0	0
Ponto 21	0	0	0	0
Ponto 22	0	0	0	0
Ponto 23	0	0	0	0
Ponto 24	0	0	0	0
Ponto 25	0	0	0	0.01
Ponto 26	0.01	0	0	0
Ponto 27	0.01	0	0	0
Ponto 28	0.01	0	0	0
Ponto 29	0	0	0	0
Ponto 30	0	0	0	0
Ponto 31	0.01	0	0	0
Ponto 32	0	0.01	0.01	0

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

Tabela 35 – Tabela de nitrato do reservatório da UHE Ferreira Gomes

identificação	campo 1	campo 2	campo 3	campo 4
Ponto 01	0.17	0.07	0.06	0.05
Ponto 02	0.25	0.07	0.06	0.08
Ponto 03	0.08	0.07	0.06	0.07
Ponto 04	0.16	0.06	0.05	0.09
Ponto 05	0.15	0.1	0.09	0
Ponto 06	0.12	0.07	0.06	0
Ponto 07	0.14	0.12	0.11	0.09
Ponto 08	0.15	0.09	0.08	0.12
Ponto 09	0.12	0.12	0.11	0.05
Ponto 10	0.08	0.07	0.07	0.04
Ponto 11	0.14	0.06	0.05	0
Ponto 12	0.16	0.1	0.09	0.13
Ponto 13	0.15	0.08	0.07	0.09
Ponto 14	0.06	0.09	0.08	0.03
Ponto 15	0.34	0.09	0.08	0.07
Ponto 16	0.24	0.07	0.06	0
Ponto 17	0.08	0.08	0.07	0.08
Ponto 18	0.08	0.09	0.08	0.2
Ponto 19	0.1	0.13	0.12	0.22
Ponto 20	0.06	0.11	0.11	0.21
Ponto 21	0.1	0.1	0.09	0.17
Ponto 22	0.08	0.06	0.06	0.16
Ponto 23	0.11	0.07	0.06	0.18
Ponto 24	0.09	0.07	0.06	0.16
Ponto 25	0.08	0.08	0.07	0.15
Ponto 26	0.09	0.08	0.07	0.2
Ponto 27	0.09	0.09	0.08	0.08
Ponto 28	0.02	0.08	0.12	0.17
Ponto 29	0	0.13	0.07	0.06
Ponto 30	0.18	0.08	0.04	0.05
Ponto 31	0.14	0.05	0.08	0.12
Ponto 32	0.17	0.09	0.07	0.15

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.2.2 Tabela do fosforo da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 36 – Tabela de fosforo no reservatório da UHE Ferreira Gomes

identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	0.0587	0.1827	0.2023	0.0554
Ponto 02	0.1011	0.1011	0.1044	0.0652
Ponto 03	0.0619	0.1664	0.1696	0.013
Ponto 04	0.1957	0.1664	0.2186	0.0848
Ponto 05	0.0913	0.2153	0.2088	0.075
Ponto 06	0.1011	0.2055	0.1468	0.0783
Ponto 07	0.0783	0.1403	0.0946	0.0587
Ponto 08	0.0848	0.0619	0.1696	0.075
Ponto 09	0.0913	0.1535	0.1664	0.0913
Ponto 10	0.1566	0.0913	0.2055	0.0685

Ponto 11	0.1109	0.1664	0.1533	0
Ponto 12	0.075	0.1631	0.1957	0.0913
Ponto 13	0.1011	0.2023	0.1272	0.0881
Ponto 14	0.1859	0.15	0.1239	0.0848
Ponto 15	0.1109	0.1957	0.2284	0.0685
Ponto 16	0.0946	0.1272	0.1664	0.0326
Ponto 17	0.1207	0.1174	0.1794	0.0032
Ponto 18	0.0652	0.2284	0.1664	0.0163
Ponto 19	0.0848	0.1631	0.1794	0.0195
Ponto 20	0.0195	0.1752	0.1631	0.0489
Ponto 21	0.0522	0.1664	0.1631	0.0296
Ponto 22	0.0619	0.1598	0.0783	0.0032
Ponto 23	0.0946	0.075	0.1892	0
Ponto 24	0.1011	0.1859	0.2414	0.0163
Ponto 25	0.1044	0.2479	0.0815	0.0195
Ponto 26	0.1174	0.0783	0.1631	0.0489
Ponto 27	0.0489	0.1598	0.2088	0.0296
Ponto 28	0.0913	0.2055	0.2251	0.0032
Ponto 29	0.0032	0.2218	0.0848	0
Ponto 30	0.0163	0.0815	0.1337	0.0163
Ponto 31	0.0652	0.1044	0.1892	0.0097
Ponto 32	0.0815	0.1853	0.1696	0.0456

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

Tabela 37 – Tabela de ortofosfato do reservatório da UHE Ferreira Gomes

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	0.01	0.56	0.57	0.21
Ponto 02	0.28	0.31	0.32	0.2
Ponto 03	0.15	0.51	0.52	0.04
Ponto 04	0.36	0.51	0.52	0.26
Ponto 05	0.32	0.66	0.67	0.23
Ponto 06	0.31	0.63	0.64	0.24
Ponto 07	0.29	0.43	0.44	0.18
Ponto 08	0.19	0.19	0.22	0.23
Ponto 09	0.16	0.44	0.48	0.28
Ponto 10	0.06	0.28	0.29	0.21
Ponto 11	0.26	0.51	0.52	0
Ponto 12	0.2	0.5	0.63	0.28
Ponto 13	0.37	0.62	0.47	0.27
Ponto 14	0.29	0.46	0.6	0.26
Ponto 15	0.34	0.6	0.39	0.21
Ponto 16	0.57	0.39	0.38	0.3
Ponto 17	0.31	0.36	0.7	0.1
Ponto 18	0.23	0.7	0.51	0.01
Ponto 19	0.34	0.5	0.55	0.05
Ponto 20	0.48	0.54	0.51	0.06
Ponto 21	0.28	0.51	0.5	0.15
Ponto 22	0.26	0.49	0.51	0.09
Ponto 23	0.24	0.23	0.24	0.01
Ponto 24	0.31	0.57	0.58	0
Ponto 25	0.28	0.76	0.77	0.05
Ponto 26	0.6	0.24	0.25	0.03
Ponto 27	0.29	0.49	0.5	0.14
Ponto 28	0.31	0.63	0.64	0

Ponto 29	0.18	0.68	0.69	0
Ponto 30	0.03	0.25	0.33	0
Ponto 31	0.2	0.32	0.58	0
Ponto 32	0.25	0.5	0.22	0.2

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017

A.2.3 Tabela da clorofila da água da bacia de captação do reservatório da UHE Ferreira Gomes.

Tabela 38 – Tabela de clorofila na área de estudo

Identificação	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
Ponto 01	8.238	24.714	27.461	5.492
Ponto 02	8.238	13.73	16.476	8.238
Ponto 03	16.476	27.461	38.445	10.914
Ponto 04	8.238	24.714	30.207	2.746
Ponto 05	16.476	24.714	27.461	5.492
Ponto 06	8.238	13.73	24.714	8.238
Ponto 07	8.238	13.73	16.476	8.238
Ponto 08	27.461	32.953	41.191	10.914
Ponto 09	10.984	10.984	13.73	10.914
Ponto 10	8.238	16.476	24.714	5.492
Ponto 11	16.476	27.461	24.714	2.746
Ponto 12	13.73	16.476	27.461	2.746
Ponto 13	8.238	13.73	27.461	2.746
Ponto 14	24.714	35.699	38.445	0
Ponto 15	16.476	24.714	27.461	2.746
Ponto 16	8.238	13.73	24.714	5.492
Ponto 17	5.492	8.238	10.984	10.914
Ponto 18	24.714	24.714	35.669	2.746
Ponto 19	5.492	2.746	5.492	5.492
Ponto 20	5.492	8.238	10.984	8.238
Ponto 21	5.492	8.238	38.445	2.746
Ponto 22	30.207	35.699	13.73	0
Ponto 23	5.492	10.984	8.238	2.746
Ponto 24	5.492	5.492	13.73	0
Ponto 25	8.238	10.984	19.222	0
Ponto 26	5.492	10.984	24.461	2.746
Ponto 27	16.476	19.222	38.445	0
Ponto 28	10.984	19.222	24.719	2.746
Ponto 29	8.238	16.476	16.476	5.492
Ponto 30	19.222	24.714	24.714	8.238
Ponto 31	24.714	27.461	35.699	8.238
Ponto 32	13.73	19.222	24.714	8.238

Fonte: Dados de campo coletados pelo autor, 2017