

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA NORMAL SUPERIOR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS

JOÃO CARLOS FERREIRA JÚNIOR

LIMNOLOGIA E SENSORIAMENTO REMOTO:
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MIRITI (MANACAPURU/AM) E CONTRIBUIÇÃO
PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Manaus
2019

JOÃO CARLOS FERREIRA JÚNIOR

**LIMNOLOGIA E SENSORIAMENTO REMOTO:
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MIRITI (MANACAPURU/AM) E CONTRIBUIÇÃO
PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), Escola Normal Superior (ENS) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Flávio Wachholz

Manaus
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

F383li
m Ferreira Júnior, João Carlos
 Limnologia e Sensoriamento Remoto : Qualidade da
 Água do Rio Miriti (Manacapuru/AM) e Contribuição para a
 Gestão dos Recursos Hídricos / João Carlos Ferreira
 Júnior. Manaus : [s.n], 2019.
 199 f.: color.; 30 cm.

 Dissertação - PGSS - Gestão e Regulação de Recursos
 Hídricos (Mestrado) - Universidade do Estado do
 Amazonas, Manaus, 2019.
 Inclui bibliografia
 Orientador: Flávio Wachholz

 1. Ferramentas Geotecnológicas. 2. Dados
 Limnológicos. 3. Usos Múltiplos da Água. 4. Águas
 Pretas. I. Flávio Wachholz (Orient.). II. Universidade do
 Estado do Amazonas. III. Limnologia e Sensoriamento
 Remoto

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a João Carlos Ferreira Júnior. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: jcfj23@gmail.com

JOÃO CARLOS FERREIRA JÚNIOR

**LIMNOLOGIA E SENSORIAMENTO REMOTO:
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MIRITI (MANACAPURU/AM) E CONTRIBUIÇÃO
PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), polo da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), como requisito à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA

Flávio Wachholz

Professor Doutor Flávio Wachholz
(ProfÁgua/UEA)

João Cândido André da Silva Neto

Professor Doutor João Cândido André da Silva Neto
(PPGG/UFAM)

Ieda de Batista

Professora Doutora Ieda Hortêncio Batista
(ProfÁgua/UEA)

Aprovado em 15 de março de 2019.

Dedico a minha mãe, minha maior incentivadora, por todo o seu esforço ao longo de sua vida, dedicando-a a minha criação e de minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço imensamente a Universidade do Estado do Amazonas (UEA), mais uma vez oportunizando meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal. Viva a universidade pública, gratuita e de qualidade!! Espero um dia retribuir todo o conhecimento que tive o privilégio de receber dentro dessa instituição a qual serei para sempre grato.

À Agência Nacional das Águas (ANA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que idealizaram e financiaram o Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional para Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), oportunizando a realização desta pesquisa, a participação em eventos a nível nacional, além da possibilidade de conhecer profissionais que admiro e me inspiro.

Ao professor Carlossandro Albuquerque, coordenador do ProfÁgua no Polo UEA, pela incansável dedicação em atender todas as demandas acadêmicas, pela cobrança e incentivo que a mim foram dirigidos. Destaco o esforço junto a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), que concedeu bolsa durante o mestrado, importantíssima ajuda sem o qual tornaria tudo ainda mais difícil, por isso agradeço.

Aos professores que tive a oportunidade de trabalhar ao longo das disciplinas do mestrado, com todos e de todos pude captar um pouco da experiência e conhecimento. Agradeço aos professores João Silva Neto e Ieda Batista pelos comentários, sugestões e pela leitura do trabalho durante a qualificação e defesa final da dissertação.

Em especial ao meu orientador, professor Flávio Wachholz ao qual agradeço muitíssimo pela paciência e confiança no meu trabalho, mesmo quando tudo não estava caminhando bem, sempre encontrava palavras de motivação, me fazendo resiliente ao longo desse desgastante processo.

Aos meus colegas de mestrado, que me fizeram aprender muito ao longo das disciplinas e eventos que participamos juntos, dividindo suas experiências e conhecimento. Destaco dois que tive a felicidade de conhecer, a menina Nayandra Pereira e o menino Délcio Martins, que me proporcionaram momentos de alegria e divertimento, almoços e jogos. Nesse curto período de tempo cultivamos divertidas histórias, que jamais esqueceremos, experiências só realizáveis com amigos.

Aos meus amigos Juliana Alves, Roberto Epifânio e Ítalo Oliveira que estão comigo desde a graduação, com os quais dividi algumas angustias do mestrado e muitos momentos de ócio de qualidade. Sobressaio minha amizade com a Juliana que me acompanhou aos inúmeros shows da minha banda manauara preferida Alaídenegão, som que embalou esse período de transformação e evolução pessoal e acadêmica.

À minha família, minha mãe Maria Mar e minha irmã Karolina Ferreira, que me suportaram nesse período estressante, aguentaram minha ausência nos momentos de viagens e pela dedicação a pesquisa, testemunhas do meu esforço em concluir este trabalho. Aos meus três gatinhos (também são da família), que me alegraram (nem sempre) e que me acompanhavam durante as longas noites escrevendo e produzindo.

Aos colegas que fiz na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) por intermédio do curso de Bacharelado em Geografia, pelo incentivo, companheirismo e amizade nesse período de jornada dupla. Em especial aos camaradas Gabriel Fernandes, Bruno Sarkis, Ednaldo Severo e Dudu Simões pela parceria nos estudos, trabalhos de campo e na vida fora da universidade.

Aos companheiros Claudenei Sampaio, Wallace Santos, Françoan Dias e Flávio Wachholz, sem ajuda dos quais não teria realizado o trabalho de campo de medições limnológicas. Aguentaram Sol, chuva e a incrível velocidade de nosso veículo aquático navegando ao longo do rio Miriti, permitindo o sucesso do trabalho de campo.

À estas e a muitas outras pessoas sem as quais não conseguiria ter alcançado esse almejado objetivo, minha eterna gratidão!!

“Não acho que quem ganhar ou quem perder, nem quem ganhar nem perder, vai ganhar ou perder. Vai todo mundo ganhar.”

(Adaptado de fala da Presidenta Dilma Rousseff, 2010)

RESUMO

LIMNOLOGIA E SENSORIAMENTO REMOTO: QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MIRITI (MANACAPURU/AM) E CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O uso de ferramentas geotecnológicas não é novidade no campo dos estudos aquáticos, tornando-se cada vez mais frequente e necessário na gestão dos recursos hídricos. Tendo em vista isso, o presente trabalho teve por objetivo: avaliar o uso potencial de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto aplicadas aos recursos hídricos, para identificação de compartimentos aquáticos e monitoramento da qualidade da água no baixo curso do rio Miriti, como contribuição para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Os procedimentos metodológicos partiram da construção de um banco de dados geográficos: 1) utilização de MDE para delimitação da bacia hidrográfica e aquisição de dados geomorfométricos; 2) processamento de imagens de sensoriamento remoto, aplicando fatiamento e transformação de bandas espectrais; 3) mapeamento dos usos da terra e cobertura vegetal, além da medição e espacialização de dados limnológicos (temperatura, turbidez, transparência, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica); 4) discussão acerca do uso de ferramentas geotecnológicas aplicadas aos instrumentos de gestão de recursos hídricos. A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados aos recursos hídricos são importantes ferramentas para gestão das águas. O uso de dados altimétricos foram importantes para entender o funcionamento hidrológico da bacia, além de contribuir para entender o planejamento do ordenamento territorial. Também foram identificados seis usos preponderantes da água no baixo curso do rio Miriti, sendo dois consuntivos (abastecimento humano urbano e rural e para consumo animal) e quatro não consuntivos (lançamento de efluentes, turismo e lazer, pesca e aquicultura e navegação). A espacialização dos dados limnológicos possibilitou correlações diretas com os usos da terra, com associações a entrada de matérias de origem natural e/ou antrópicos. Por fim, os dados de sensoriamento remoto contribuíram como dados complementares na análise da qualidade da água, pela visualização de dados históricos, além do monitoramento dos constituintes opticamente ativos, evidenciando um aumento espaço-temporal da reflectância da água nas três bandas da faixa do visível (RGB), associados a expansão urbana e da agropecuária. Em suma, a realização deste trabalho denota a relevância da bacia em contexto municipal e regional, evidenciando a necessidade de um maior cuidado do poder público e dos demais atores envolvidos com a conservação dos recursos hídricos e demais riquezas da bacia. Visto isso, a composição de um corpo gestor preocupado diretamente e exclusivamente com a questão hídrica pode ser a alternativa para a gestão desse espaço.

Palavras-chave: Ferramentas Geotecnológicas. Dados Limnológicos. Qualidade de Água. Usos Múltiplos da Água. Águas Pretas.

ABSTRACT

LIMNOLOGY AND REMOTE SENSING: QUALITY OF MIRITI RIVER WATER (MANACAPURU/AM) AND CONTRIBUTION TO WATER RESOURCES MANAGEMENT

The use of geotechnical tools is not recent in aquatic studies, and it is becoming increasingly frequent and necessary for water resources management. This study aimed to evaluate the potential use of geoprocessing and remote sensing techniques applied to water resources to identify aquatic compartments and to monitor water quality in the lower Miriti river, as a contribution to implementation of water resources management instruments. The methodological procedures were based on the construction of a geographic database: 1) the use of DEM for delimiting the hydrographic basin and acquisitioning geomorphometric data; 2) remote sensing image processing, applying slicing and transformation of spectral bands; 3) mapping land use and vegetation cover, besides the measurement and spatialization of limnological data (temperature, turbidity, transparency, pH, dissolved oxygen, total dissolved solids and electrical conductivity); 4) discussion about the use of geotechnical tools applied to water resources management instruments. The use of geoprocessing and remote sensing techniques applied to water resources are important tools for water management. The use of altimetric data was important to understand the hydrological functioning of the basin, besides contributing to understand the planning of the territorial organization. Six prevailing uses of water in the lower Miriti river were also identified, with two consumptive uses (urban/rural human consumption and animal consumption) and four non-consumptive uses (effluent, tourism/leisure, fishing/aquaculture and navigation). The spatialization of the limnological data allowed direct correlations with land uses, with associations to input materials of natural and/or anthropic origin. Finally, the remote sensing data contributed as complementary data in the analysis of water quality, by the historical data, as well as the monitoring of the optically active constituents, evidencing a spatiotemporal increase of the water reflectance in the three bands of the visible band (RGB), associated with urban and agricultural expansion. In summary, the realization of this work denotes the relevance of the basin in both municipal and regional context, evidencing the necessity of a greater action by the public power and other involved actors regarding water resources conservation and other wealths of the basin. Finally creating a management institution concerned directly and exclusively with the water issue can be a feasible alternative for managing this area.

Keywords: Geotechnical tools. Limnological data. Water Quality. Multiple Uses of Water. Black Waters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Escala de pH da água, com indicação de ambientes aquáticos caracterizados por cada valor de pH.....	37
Figura 02: Espectro Eletromagnético.	48
Figura 03: Comportamento espectral da água em diferentes estados físicos.....	50
Figura 04: Espectros de reflectância da água, de acordo com a presença dos constituintes opticamente ativos, em imagens do sensor hiperespectral Hyperion/EO-1 na região Amazônica.....	52
Figura 05: Organograma de desenvolvimento metodológico.	56
Figura 06: Comparação de imagens, a esquerda em tons de cinza a banda 6 (infravermelho de ondas curtas) e a direita composição colorida (654/RGB).	68
Figura 07: Aparelhos utilizados para a medição dos dados limnológicos. A: Medidor multiparâmetro com sonda; B: Turbidímetro portátil; C: Disco de Secchi.....	73
Figura 08: Representação para interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.....	86
Figura 09: Perfil esquemático da floresta ombrófila densa.....	102
Figura 10: Estações de captação de água superficial no rio Miriti, os dois pontos possuem em comum, a proximidade com áreas de forte adensamento populacional, zona de despejo de efluentes domésticos e grande presença de macrófitas aquáticas no entorno. A: Captação realizada na Orla do Miriti, próximo à sede da SAAE, bairro Liberdade; B: Está localizado entre as fozes dos igarapés Paçoca e Cai n'Água, bairro São Francisco.	114
Figura 11: Afluentes urbanos do rio Miriti, forte presença de ocupação das margens por moradias do tipo palafita. A: Próximo a foz do igarapé Dente de Leite (MIR7), os rejeitos domésticos são lançados diretamente na água; B: Trecho do igarapé da Feira (MIR6), além dos rejeitos líquidos, presença de resíduos sólidos.....	115
Figura 12: Hotéis turísticos construídos na margem do rio Miriti. A: Vista do Complexo Turístico Paraiso D'Ângelo, em destaque dois dos atrativos, o tubo água na área da piscina e uns dos pontos de pesca esportiva do hotel fazenda; B: Amazon Experience Hotel, como principal atrativo a vista contemplativa do rio Miriti, também oferece piscina e restaurante com comidas regionais.....	116
Figura 13: Exemplos da ocorrência do uso para navegação no rio Miriti. A: Barco de médio porte navegando pelo rio Miriti; B: Orla do Miriti funciona também como área	

portuária de barcos pesqueiros, que veem no rio Miriti um local calmo para ancoramento e realização de reparos nos estaleiros.	117
Figura 14: Exemplificações dos usos para a pesca e aquicultura. A: Pesca para a subsistência, casal em embarcação do tipo canoa, pescando com auxílio de malhadeira. B: Tanques escavados para piscicultura, localizados na fazenda aquícola Seringal 25 de Dezembro.....	118
Figura 15: Visão da margem esquerda do rio Miriti, na altura do complexo turístico Paraíso d'Ângelo, na margem direita. Em primeiro plano um bloco flutuante de macrófitas aquáticas e ao fundo na borda da massa d'água a vegetação arbórea, com destaque para as palmeiras.	121
Figura 16: Visão a partir de embarcação no rio Miriti da barragem no furo de ligação entre os sistemas aquáticos Miriti-Calado, construída para acesso terrestre, ligando o ramal do Calado até a área de aquicultura da Fazenda Seringal 25 de Dezembro.	122
Figura 17: Áreas de vegetação natural e de agropecuária. Em primeiro plano área de campo sujo, ao fundo áreas florestais nas proximidades do ramal do Calado em terra firme.	123
Figura 18: Criação extensiva de bovinos em pastagem, fim do ramal do Calado na sub-bacia SB-18.....	124
Figura 19: Plantação de mamoeiros na margem da rodovia AM-352, exemplo de cultura permanente.	125
Figura 20: Áreas de agricultura temporária na bacia hidrográfica do rio Miriti. A: Cultivo de mandioca próximo à AM-352 rodovia de ligação a Novo Airão; B: Estufas para a produção de hortaliças no ramal do Calado, sub-bacia SB-13.	126
Figura 21: Mosaico de fotografias de áreas da classe agropecuária na sub-bacia SB-01. A: Área de campo no complexo turístico Paraíso d'Ângelo, utilizado para lazer; B: Estrada Paraíso d'Ângelo, principal acesso ao complexo turístico encontra-se não asfaltada (área exposta), a esquerda criação de equinos; C: pastagem com presença de bovinos a direita da estrada Paraíso d'Ângelo, ao fundo o rio Solimões.....	127
Figura 22: Passeio turístico da Orla do Miriti, rua Tancredo Neves (A), bairro Liberdade. Lugar de lazer e recreação da população, possui um almirante (B), além de bares e restaurantes. Na data da visita o espaço encontrava-se em obra de revitalização.	128

Figura 23: Moradias as margens do rio Miriti. A: moradia flutuante sobre as águas do rio Miriti; B: Moradias do tipo palafita, marcadas com linhas traçadas em branco no nível em que as águas atingem durante o período da cheia do rio Miriti, localizadas no fim da avenida Ribeiro Júnior, bairro São Francisco.	129
Figura 24: Imagem dos lagos de aquicultura da Fazenda Seringal 25 de Dezembro, próximo a foz do rio Miriti, com destaque para as barragens artificiais que alteraram a dinâmica fluvial da área.....	130
Figura 25: Grande ocorrência de macrófitas aquáticas na Orla do Miriti. A: Barcos pesqueiros de pequeno e médio porte aportados na Orla, com destaque para o tapete verde formado pela grande população de macrófitas no local. B: A florescência da <i>Eichhornia crassipes</i>	136
Figura 26: Algumas espécies de macrófitas aquáticas que ocorrem no baixo rio Miriti, nas proximidades do complexo turístico Paraíso d'Ângelo, igarapé Paraíso d'Ângelo. As espécies identificadas na fotografia são: <i>Paspalum repens</i> (A), <i>Pontederia rotundifolia</i> (B) e <i>Salvinia minima</i> (C).	137

LISTA DE MAPAS

Mapa 01: Percursos e pontos percorridos durante os trabalhos de campo realizados na bacia do rio Miriti.	77
Mapa 02: Série histórica das massas d'água do rio Miriti e transecto delineado no eixo central do canal do rio Miriti, com destaque para o trecho ocupado por área urbanizada.....	85
Mapa 03: Localização da bacia de hidrográfica do baixo curso rio Miriti, município de Manacapuru, estado do Amazonas.....	89
Mapa 04: Mapa hipsométrico da bacia do baixo rio Miriti.	99
Mapa 05: Mapa clinográfico da bacia hidrográfica no baixo rio Miriti.....	100
Mapa 06: Sub-bacias hidrográficas e hierarquia de drenagem no baixo curso do rio Miriti.....	110
Mapa 07: Usos da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas do baixo rio Miriti.....	119
Mapa 08: Espacialização e profundidade dos pontos amostrais no baixo rio Miriti, com a toponímia dos seus principais afluentes.....	134
Mapa 09: Espacialização dos parâmetros de qualidade das águas no baixo rio Miriti.	147
Mapa 10: Compartimentação limnológica do baixo curso do rio Miriti.	150
Mapa 11: Variação espaço-temporal da reflectância da banda azul no baixo curso do rio Miriti.....	160
Mapa 12: Variação espaço-temporal da reflectância da banda verde no baixo curso do rio Miriti.....	162
Mapa 13: Variação espaço-temporal da reflectância da banda vermelho no baixo curso do rio Miriti.	164

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Média mensal de precipitação em forma de chuva, estação pluviométrica de Manacapuru.	103
Gráfico 02: Cotograma correspondente às cotas mensais da série histórica 1972-2018 da estação fluviométrica de Manacapuru, localizada no rio Solimões.	104
Gráfico 03: Regime hídrico do rio Solimões em Manacapuru, período de 1972 a 2017.	107
Gráfico 04: Série histórica (1972-2018) médias mensais de vazão do rio Solimões, estação fluviométrica de Manacapuru.	107
Gráfico 05: Proporção dos usos da terra e cobertura vegetal por sub-bacia hidrográfica.	120
Gráfico 06: Temperatura da água nos pontos amostrais.	138
Gráfico 07: Valores de turbidez da água nos pontos amostrais.	140
Gráfico 08: Transparência da água nos pontos amostrais.	142
Gráfico 09: Valores de pH nos pontos amostrais.	143
Gráfico 10: Valores de oxigênio dissolvido presentes na água.	144
Gráfico 11: Valores de TDS e condutividade elétrica nos pontos de medição.	145
Gráfico 12: Representação do valores normalizados dos dados limnológicos no eixo central do canal principal do rio Miriti.	153
Gráfico 13: Representação do valores normalizados dos dados limnológicos nos pontos de medição nas sub-bacias com predomínio de floresta e áreas expostas.	154
Gráfico 14: Estatística descritiva dos valores de reflectância da lâmina d'água do Rio Miriti, referente as bandas do visível ao longo da série temporal (1984-2017).	157
Gráfico 15: Média dos valores de reflectância da lâmina d'água do Rio Miriti ao longo da série temporal (1984-2017).	158
Gráfico 16: Transecto espectral da banda do azul, eixo central do rio Miriti.	166
Gráfico 17: Transecto espectral da banda do verde, eixo central do rio Miriti.	167
Gráfico 18: Transecto espectral da banda do vermelho, eixo central do rio Miriti.	168
Gráfico 19: Razão de bandas entre as bandas verde e vermelho.	169
Gráfico 20: Índice de vegetação da diferença normalizada, o NDVI encontrado no transecto no eixo central do baixo rio Miriti.	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Síntese de algumas características limnológicas de diferentes rios de água preta.	46
Tabela 02: Série histórica de imagens LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI, com a cota registrada referente as datas de aquisição na estação fluviométrica de Manacapuru, localizada no rio Solimões.....	62
Tabela 03: Meses mais frequentes dentre as imagens selecionadas.....	63
Tabela 04: Classificação do coeficiente Kappa, para avaliação da exatidão da classificação supervisionada.	70
Tabela 05: Dados descritivos das sub-bacias hidrográficas e áreas de contribuição direta do curso inferior do rio Miriti.	90
Tabela 06: População total do município de Manacapuru por ano de recenseamento censitário.....	92
Tabela 07: População urbana de Manacapuru por bairros no ano de 2010.	93
Tabela 08: População residente por situação de domicílio no município de Manacapuru, série histórica dos recenseamentos demográficos.....	94
Tabela 09: Classes hipsométricas do relevo da bacia do baixo rio Miriti.	98
Tabela 10: Classificação da declividade do relevo da bacia do baixo rio Miriti.....	101
Tabela 11: Cotas das cheias e vazantes do rio Solimões, medidas na estação fluviométrica de Manacapuru, de acordo com a frequência mensal de ocorrência, período de 1972 a 2017.	105
Tabela 12: Cotas das cheias e vazantes do rio Solimões, medidas na estação fluviométrica de Manacapuru, de acordo com a frequência de pico máximo, no período de 1972 a 2017.	106
Tabela 13: Distribuição da drenagem conforme hierarquização, bacia do baixo curso do rio Miriti.....	111
Tabela 14: Matriz de correlação entre as bandas do visível ao longo da série temporal.	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Instrumentos de gestão dos recursos hídricos e suas principais atribuições em âmbito nacional e estadual.	28
Quadro 02: Uso da água em suas respectivas classes segundo a Resolução CONAMA 357/2005.....	30
Quadro 03: Principais características dos rios amazônicos.	43
Quadro 04: Características físico-químicas das águas amazônicas, de acordo com a classificação por tipo de rio.	44
Quadro 05: Características de imageamento dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.	53
Quadro 06: Resoluções de imageamento dos sensores TM e OLI.	54
Quadro 07: Principais aplicações das bandas utilizadas do LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI.	55
Quadro 08: Características de aquisição da cena do Alos Palsar.....	59
Quadro 09: Legenda das classes de reflectância e degradê de cores correspondente.	65
Quadro 10: Chaves de interpretação visual de imagens de acordo com as classes de usos da terra e cobertura vegetal.....	69
Quadro 11: Características das classes de usos da terra e cobertura vegetal.....	70
Quadro 12: Localização e horário de coleta dos pontos amostrais (29 mar. 2018)..	71
Quadro 13: Especificações sobre o medidor multiparâmetro com sonda, o turbidímetro portátil e disco de Secchi.	74
Quadro 14: Especificações sobre as variáveis de tempo medidas pelo aparelho Termo-Higro-Anemômetro Luxímetro (LM-8000).	76
Quadro 15: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o usos múltiplos da água realizados na bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).....	78
Quadro 16: Temas e fontes utilizadas para entender o processo de ocupação da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).	79
Quadro 17: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o sistema populacional e econômico da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).....	80
Quadro 18: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o sistema físico-ambiental da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).....	80
Quadro 19: Características das classes de declividade do terreno.....	82

Quadro 20: Condições do tempo durante o trabalho de campo para medição das variáveis limnológicas.	132
Quadro 21: Síntese das medições das variáveis limnológicas por compartimento aquático do baixo rio Miriti.....	151
Quadro 22: Síntese dos usos e cobertura da terra nas sub-bacias hidrográficas que drenam os compartimentos aquáticos encontrados.	152
Quadro 23: Síntese das técnicas e recursos geotecnológicos utilizados, como contribuição a gestão dos recursos hídricos.	171

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau <i>Celsius</i>
µm	Micromêtro
ρ	Reflectância
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite-1</i>
ASF	<i>Alaska Satellite Facility</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
AVNIR-2	<i>Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2</i>
BDG	Banco de Dados Georreferenciados
BDGEx	Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro
CAT	Centro de Atendimento ao Turista
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CONAMA	Comissão Nacional do Meio Ambiente
DOS	<i>Dark Object Subtract</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	<i>Environment for Visualizing Images</i>
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FVA	Fundação Vitória Amazônica
GloVis	<i>Global Visualization Viewer</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDAM	Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
IVP	Infravermelho Próximo
JAXA	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão
K	Índice Kappa
km ²	Quilômetro quadrado
MDE / DEM	Modelo Digital de Elevação
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MSS	<i>Multi-Spectral-Scanners</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido

OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PALSAR	<i>Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PDI	Processamento Digital de Imagem
pH	Potencial Hidrogeniônico
PERH/AM	Política Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRISM	<i>Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
ProfÁgua	Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
R ²	Coefficiente de determinação
REM	Radiação Eletro Magnética
RDS	Reserva de Desenvolvimento Suspeitável
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RMM	Região Metropolitana de Manaus
RTC	<i>Radiometrically Terrain-Corrected</i>
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SAGA	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
SCP	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
S/d	Sem dados
SEGRH/AM	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Amazonas
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
t	Tonelada
TDS	Total de Sólidos Dissolvidos
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidade de Conservação
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS 84	<i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 OBJETIVOS.....	26
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 LEGISLAÇÃO PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS APLICADOS A QUALIDADE DE ÁGUA	27
2.1.1 Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos	27
2.1.2 CONAMA 357/05: Resolução sobre Qualidade de Água	29
2.1.3 Contexto Municipal	31
2.2 PARÂMETROS DE MEDIÇÃO LIMNOLÓGICOS	33
2.2.1 Macrófitas Aquáticas	40
2.3 OS TIPOS DE RIOS AMAZÔNICOS	42
2.3.1 Características Inerentes aos Rios de Águas Pretas	45
2.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA LÍQUIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL	47
2.4.1 Constituintes Ópticamente Ativos da Água.....	51
2.4.2 Imagens Orbitais Multiespectrais: LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI	52
3 BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS	56
3.1 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	57
3.1.1 Delimitação das Bacias Hidrográficas	57
3.1.2 Processamento das Imagens de Satélite	61
3.1.3 Mudanças nos Usos da Terra e Cobertura Vegetal.....	66
3.1.3.1 NDVI.....	66
3.1.3.2 Mapa Atual dos Usos e Cobertura.....	67
3.2 DADOS LIMNOLÓGICOS	70
3.2.1 Medidas Limnológicas.....	72
3.2.2 Modelo Numérico do Terreno	75
3.3 DADOS COMPLEMENTARES	75
3.3.1 Condições Atmosféricas	76
3.3.2 Usos Múltiplos da Água e Macrófitas Aquáticas	76
3.3.3 Caracterização Geográfica da Bacia	79
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	83
3.4.1 Dados Limnológicos	83
3.4.2 Dados Espectrais	84
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MIRITI	88
4.1.1 Localização Geográfica e Processo de Ocupação.....	88
4.1.2 Sistema Populacional-Econômico.....	92

4.1.3 Sistema Físico-Ambiental	97
4.2 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO BAIXO RIO MIRITI	113
4.1.4 Abastecimento Humano Urbano e Rural	113
4.1.5 Lançamento de Efluentes	115
4.1.6 Lazer e Turismo	116
4.1.7 Navegação	117
4.1.8 Pesca e Aquicultura	117
4.1.9 Consumo Animal	118
4.3 USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO RIO MIRITI.....	118
4.4 CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA.....	132
4.4.1 Aspectos Gerais e Macrófitas Aquáticas	132
4.4.2 Variáveis Limnológicas	138
4.4.2.1 <i>Temperatura da Água</i>	138
4.4.2.2 <i>Turbidez</i>	140
4.4.2.3 <i>Transparência</i>	141
4.4.2.4 <i>Potencial Hidrogeniônico</i>	142
4.4.2.5 <i>Oxigênio Dissolvido</i>	144
4.4.2.6 <i>TDS e Condutividade Elétrica</i>	145
4.4.3 Compartimentação das Variáveis Limnológicas	146
4.4.3.1 <i>Síntese dos Compartimentos Aquáticos Limnológicos</i>	149
4.4.4 Correlações entre os Usos da Terra e os Parâmetros Limnológicos	153
4.5 DADOS ESPECTRAIS DA ÁGUA POR IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO	156
4.5.1 Massa d'Água	156
4.5.2 Compartimentos Aquáticos Espectrais	159
4.5.3 Transectos	165
4.6 CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	171
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	177
5.1 RECOMENDAÇÕES	180
6 REFERÊNCIAS	182
APÊNDICES	197

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de gestão das águas no Brasil foi estabelecido pela Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), estabelecendo cinco instrumentos para a gestão dos recursos hídricos: os planos de recursos hídricos, a outorga de direito de uso da água, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento de corpos hídricos e os sistemas de informações sobre recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A nível estadual, no Amazonas a Lei nº 3.167, de 28 de agosto de 2007, reformulou as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH/AM) e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH/AM), dentre outras providências. Nesta são previstos nove instrumentos: o plano estadual de recursos hídricos, os planos de bacia hidrográfica, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, o fundo estadual de recursos hídricos, o sistema estadual de informações sobre recursos hídricos, o zoneamento ecológico-econômico do estado do Amazonas e o plano ambiental do estado do Amazonas (AMAZONAS, 2007).

Nos instrumentos das duas políticas de recursos hídricos a avaliação da qualidade de água é uma ferramenta de grande importância, podendo ser aproveitada diretamente, por exemplo, na formulação da fase de diagnóstico dos planos de recursos hídricos e dos planos de bacia e/ou para o enquadramento dos corpos hídricos. Sobre qualidade de água, Von Sperling (2014, p. 13) diz que em estado de preservação as condições naturais de um curso d'água são afetadas pelos arranjos físicos que compõem a bacia hidrográfica, contudo a forma como o homem modifica o espaço também ocasiona mudanças nas características naturais dos recursos aquáticos, perturbando suas condições originais.

Diante desse cenário, a bacia hidrográfica torna-se a unidade territorial ideal para gestão dos recursos hídricos, assim como estabelecido nas políticas de recursos hídricos estadual e nacional, pois possibilita estudos que relacionem as modificações causadas pelo homem nesses espaços, em conflito com os elementos constituintes da paisagem natural como o relevo, clima, vegetação e a hidrografia.

A partir dessa relação espacial, estudos buscam entender como o uso e a ocupação do espaço pode influenciar na qualidade dos recursos hídricos ao longo do tempo. Com enfoque nesta temática, Soares (2017) analisou a dinâmica ambiental em bacias hidrográficas, relacionando as características geomorfológicas, de uso e cobertura da terra, do potencial erosivo e da qualidade da água, para o estabelecimento de subsídios para solução dos conflitos socioambientais e utilização racional do espaço e dos recursos naturais no âmbito do planejamento ambiental.

Lollo (2016) buscou entender os efeitos e influências do uso e ocupação das terras na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, baseando-se em trabalhos que abordaram essa temática, fazendo um resgate bibliográfico sobre o tema. Martins (2009) avaliou a qualidade das águas superficiais na sub-bacia hidrográfica do rio Candeias, tributário da bacia do rio Madeira no Estado de Rondônia, sob influência do uso e ocupação da terra.

O desafio para a realização dessa tarefa está nos custos e no acesso à determinadas áreas, o que dificulta a regularidade das análises, com isso alternativas complementares podem ser adotadas para preencher essas lacunas. Visto isso o sensoriamento remoto torna-se uma alternativa para essa realidade, pois segundo Florenzano (2011) é o conjunto de atividades que têm por objetivo determinar as propriedades dos alvos pela detecção, registro e análise da radiação eletromagnética por eles refletida e/ou emitida, gerando informações seja sobre o objeto, área ou fenômeno analisado.

A eficácia dos dados de sensoriamento remoto por satélite aplicado aos estudos da qualidade de água é decorrente da frequente melhora da combinação das resoluções espacial, temporal, espectral e radiométrica (WACHHOLZ, 2011). Novo (2017) aborda sobre o monitoramento da quantidade e qualidade de água por meio de sensoriamento remoto como ferramenta da gestão dos recursos hídricos e a possibilidade de avanços nessa tecnologia expandindo o acesso a produtos com melhores resoluções.

De acordo com Kirk (1996 apud WACHHOLZ, 2011) aplicado ao estudo da água, o sensoriamento remoto compreende a relação entre os espectros de reflectância da própria água e seus constituintes opticamente ativos. Segundo Rudorff (2006) estudos apoiados no uso de sensoriamento remoto são ideais para o monitoramento da qualidade da água, pois permitem identificar a origem e o deslocamento de substâncias específicas na água.

Wachholz (2007; 2011) trabalhou com o apoio de produtos do sensoriamento remoto e análises de variáveis limnológicas, sobre a contribuição do uso da terra para alterações na qualidade da água em reservatórios no Rio Grande do Sul, em contexto espaço-temporal. Rudorff (2006) e Marinho (2014) utilizaram imagens de sensoriamento remoto, sensor hiperespectral e multiespectral respectivamente, para a avaliação dos constituintes óticamente ativos da água em corpos hídricos da Bacia Amazônica.

A execução de trabalhos com esse viés possibilita o alcance de informações em áreas de difícil acesso e/ou de grande área territorial. Para Marinho (2014) métodos tradicionais de amostragem e análise de qualidade de água apresentam pelo menos cinco problemas que estão inter-relacionados: o custo operacional, a logística de operação, a manutenção de estações, profissionais técnicos-especializados, além da dimensão geográfica da bacia.

Nesse contexto, técnicas de sensoriamento remoto podem promover avanços aos estudos Amazônicos aplicados à água, como aporte as análises em campo. Alcântara et al. (2007) avaliaram a variação da turbidez em resposta ao pulso de inundação da planície de inundação de Curuai no Pará nas escalas ponto-temporal, usando dados do Sistema de Monitoramento Ambiental (SIMA) e espaço-temporal, utilizando imagens MODIS/TERRA.

Em específico ao recorte espacial foco desta pesquisa, o rio Miriti, não existem trabalhos realizados com o apoio de produtos de sensoriamento remoto aplicado a água, sendo apenas dois estudos realizados de forma pontual sobre a qualidade de água, a nível de monografia de graduação, Comape (2014) e Santos (2015).

Comape (2014) verificou a qualidade da água no complexo de lazer da Orla do Miriti, avaliando os impactos ambientais e seus reflexos na qualidade de água, realizando análise de quatro parâmetros limnológicos (pH, condutividade elétrica, turbidez e temperatura). Fato observado nesta área é a grande presença de populações de macrófitas aquáticas, sendo este um indicativo ambiental de possíveis alterações na qualidade da água, causados pela entrada de resíduos orgânicos provenientes do sistema de esgoto e das embarcações ancoradas.

Santos (2015) realizou identificação taxonômica de espécies de macrófitas aquáticas flutuantes coletadas em pontos diferentes do rio Miriti, comparando áreas completamente antropizada com áreas de baixa ocupação, obtendo como produto

final uma cartilha, auxiliando de forma simples o reconhecimento de espécies de macrófitas aquáticas importantes na região.

O rio Miriti é afluente da margem esquerda do rio Solimões, está localizado no município de Manacapuru, estado do Amazonas. Na bacia de drenagem do rio Miriti existem diferentes usos da terra, o que possibilita a comparação das influências de cada uso sobre a qualidade do ambiente aquático. As sub-bacias da margem direita encontram-se completamente urbanizadas ou em processo de expansão urbana; enquanto na margem esquerda, as sub-bacias são ocupadas por estabelecimentos agropecuários, além de áreas ainda em estado natural.

Em ambiente aquático, diversos atores dependentes dos recursos hídricos competem pelo seu uso, o que conjectura em diferentes conflitos pela água. Como reflexo dessas interações entre os agentes modificadores do espaço e os conflitos pelo uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Miriti, a qualidade da água acaba comprometida.

Esse cenário de conflito torna-se cada vez mais alarmante a medida que são realizadas diversas obras de intervenções em contexto regional, promovidas sobretudo pelo Estado. Destaca-se a criação da Região Metropolitana de Manaus (RMM) (2007); a implantação do gasoduto Coari-Manaus (2009); a inauguração da ponte Jornalista Phelippe Daou (2011); e a duplicação da rodovia Manoel Urbano (AM-070), com trecho inaugurado em 2015 e com frentes de trabalho atualmente dentro da bacia.

Diante dessa conjuntura, o rio Miriti mostra-se como uma área de relevante interesse, pois está inserido num contexto de expansão urbana da cidade de Manacapuru e metropolitana, pelas obras de circulação nos municípios da borda sul da RMM. A possibilidade do uso de metodologias para análise das interferências no ambiente aquático, aliando o estudo de campo e o uso de imagens orbitais como apoio para o monitoramento da água em escala espaço-temporal, pode contribuir para a implementação dos instrumentos previstos na PERH/AM, estabelecendo mecanismos de aquisição de dados sobre a bacia hidrográfica ao corpo gestor dedicado as questões hídricas e demais interessados.

1.1 OBJETIVOS

Nesse contexto o objetivo geral constitui-se, em avaliar o uso potencial de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto aplicadas aos recursos hídricos, para identificação de compartimentos aquáticos e monitoramento da qualidade da água no baixo curso do rio Miriti, como contribuição para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Os objetivos específicos são:

- a) Realizar caracterização físico-ambiental da realidade atual da bacia hidrográfica e levantamento dos usos múltiplos da água e dos usos e cobertura da terra;
- b) Analisar a qualidade da água com base em características físico-químicas do corpo hídrico, correlacionando com os usos e cobertura atuais das sub-bacias hidrográficas;
- c) Identificar possíveis alterações no comportamento espectral da água utilizando imagens orbitais, considerando as variações espaço-temporais (1984 a 2017);
- d) Discutir sobre a importância das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto empregadas no trabalho, como ferramentas para gestão dos recursos hídricos.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, o primeiro é a introdução, que apresenta e delimita a temática que é desenvolvida ao longo do trabalho, além de destacar os objetivos propostos. Composto pelo referencial teórico, no segundo capítulo são abordados tópicos referentes a legislação de recursos hídricos, sobre as variáveis limnológicas, as águas Amazônicas e sobre uso do sensoriamento remoto para estudos aquáticos. Enquanto o capítulo três apresenta de forma detalhada os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, divididos em seis partes: a primeira caracteriza a atual configuração espacial da bacia do rio Miriti; a segunda aborda os usos múltiplos da água; a terceira trata dos usos e cobertura das terras nas sub-bacias; a quarta é a análise dos dados limnológicos; a quinta trabalha os dados espectrais em contexto tempo-espacial; e a última parte sobre as contribuições à gestão dos recursos hídricos. Por fim, as considerações finais e recomendações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo consiste na apresentação de breve referencial sobre os temas centrais tratados ao longo da dissertação, a fim de fundamentar teoricamente sobre: a abordagem da qualidade de água na legislação nacional e estadual de gestão dos recursos hídricos; esclarecer sobre os parâmetros limnológicos e suas especificidades; caracterizar os tipos de rios Amazônicos; e por fim, tratar sobre o comportamento espectral da água líquida por meio de sensor remoto imageador.

2.1 LEGISLAÇÃO PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS APLICADOS A QUALIDADE DE ÁGUA

O entendimento da questão legal na gestão dos recursos hídricos é fundamental, pois em diferentes esferas existem legislações que se aplicam no contexto da qualidade dos corpos d'água. Nesta seção são abordados de forma sintética sobre a política nacional e estadual de recursos hídricos (seção 2.1.1), as resoluções mais importantes sobre qualidade de água (seção 2.1.2) e uma contextualização sobre as questões relacionadas a água na legislação municipal de Manacapuru (seção 2.1.3).

2.1.1 Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos

A Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, considera a água como recurso natural limitado, de domínio público e dotado de valor econômico, sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial ideal para a gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Conhecida por seu caráter descentralizador, por criar um sistema nacional que integra União e Estados, valorizando a gestão participativa, por inovar com a instalação de comitês de bacias hidrográficas que une poderes públicos nas três instâncias, usuários e sociedade civil na gestão de recursos hídricos. A PNRH é considerada uma lei moderna que criou condições para identificar conflitos pelo uso das águas, por meio dos planos de recursos hídricos e arbitrar conflitos no âmbito administrativo (Quadro 01).

Quadro 01: Instrumentos de gestão dos recursos hídricos e suas principais atribuições em âmbito nacional e estadual.

Instrumentos	Atribuições
Planos de Recursos Hídricos	São planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implementação de seus programas e projetos, visando fundamentar e orientar os demais instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos. São elaborados em três níveis: Plano Nacional de Recursos Hídricos, os Planos Estaduais de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica.
Enquadramento	Consiste na classificação dos corpos d'água de acordo com os usos preponderantes da água. Regulamentado pela Resolução 357 de 2005 do CONAMA, que dispõe sobre as classes e diretrizes para o enquadramento, bem como das condições e padrões de lançamento de efluentes.
Outorga	A outorga pelo direito de uso da água são as concessões dadas pelo órgão gestor de água para os usuários interessados. Dentre os usos outorgáveis pode-se destacar: captação de águas superficiais e subterrânea, inclusive abastecimento público; lançamento de efluentes em corpo hídrico, tratados ou não; aproveitamento hidrelétrico; além de outros usos que alterem o regime de qualidade e quantidade de água no sistema aquático.
Cobrança	A Lei das Águas reconhece a água enquanto bem econômico, por isso a cobrança pelo uso da água visa dar ao usuário indicação do seu real valor, além de incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para aplicação dos programas de intervenção previstos nos planos de recursos hídrico.
Sistema de Informação	É um banco de dados para reunir e divulgar as informações sobre a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos de determinada bacia ou bacias hidrográficas, atualizando permanentemente as informações sobre as demandas e disponibilidade de água.

Fonte: Dourado Júnior (2014, p. 74-77); Okawa; Poletto (2014, p. 04-11).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A Lei estadual nº 3.167, de 28 de agosto de 2007, prevê nove instrumentos para gestão dos recursos hídricos no estado do Amazonas: o plano estadual de recursos hídricos, os planos de bacia hidrográfica, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, o fundo estadual de recursos hídricos, o sistema estadual de informações sobre recursos hídricos, o zoneamento ecológico-econômico do estado do Amazonas e o plano ambiental do estado do Amazonas (AMAZONAS, 2007).

Os seis primeiros possuem as mesmas atribuições no que é previsto na Lei das Águas, só que contemplando os recursos hídricos de dominialidade estadual: o plano

estadual de recursos hídricos e de bacias hidrográficas, que são apresentados separadamente na PERH/AM; o enquadramento; a outorga, a cobrança e o sistema de informação estadual. A política estadual ainda estabelece outros três instrumentos, o fundo estadual de recursos hídricos, o zoneamento ecológico-econômico e o plano ambiental do estado, todos ainda em fase de elaboração ou em início de aplicação.

2.1.2 CONAMA 357/05: Resolução sobre Qualidade de Água

O conceito de qualidade da água sempre tem relação com o uso que se faz dessa água. Existe uma grande variedade de indicadores que expressam aspectos parciais da qualidade das águas. No entanto, não existe um indicador único que sintetize todas as variáveis de qualidade da água.

Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros, que são indicadores da qualidade da água e se constituem não conformes quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. As características inerentes à água estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e em sua bacia de drenagem. Ao se abordar a questão da qualidade da água, é fundamental ter em mente que o meio líquido apresenta duas características marcantes, que condicionam a conformação desta qualidade: a capacidade de dissolução e a capacidade de transporte (FUNASA, 2014).

Nesse contexto, Mendes e Cirilo (2001) destacam a importância da organização espacial das forças que interagem na bacia hidrográfica, aliado ao planejamento dos recursos hídricos como parte de um amplo processo de planejamento ambiental, para que garanta expectativas de unidade da região.

A água é usada em diversas atividades, dependendo da atividade necessária, os valores dos parâmetros de qualidade podem divergir. O termo qualidade de água fica subentendido ao seu uso. De acordo com Branco (2003, p. 58) os padrões químicos da água na natureza não a caracterizam como pura, mas sim como uma solução diluída de inúmeras substâncias.

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 357 de 17 de março de 2005, dispõe da classificação d'água e suas diretrizes ambientais para seu enquadramento e padrões de lançamento de efluentes, a fim de garantir a população a qualidade da água cabível ao uso livre de seres patogênicos ou em quantidade aceitáveis (BRASIL, 2005).

O capítulo 02 da Resolução CONAMA 357, em seu artigo 4º dispõe sobre a classificação dos corpos d'água, na seção 01 aborda as questões referentes a água doce (Quadro 02).

Quadro 02: Uso da água em suas respectivas classes segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Classes	Usos Preponderantes da Água	Variáveis e Valores Limite
Classe Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.	Devem ser mantidas as condições naturais do corpo da água.
Classe I	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção de comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; proteção das comunidades aquáticas em Terras indígenas.	OD: superior a 6 mg/L; Turbidez: até 40 NTU; pH: 6,0 a 9,0; TDS: inferior a 500 mg/L.
Classe II	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.	OD: superior a 5 mg/L; Turbidez: até 100 NTU; pH: 6,0 a 9,0; TDS: 500 mg/L.
Classe III	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e) dessedentação de animais.	OD: superior a 4 mg/L; Turbidez: até 100 NTU; pH: 6,0 a 9,0; TDS: 500 mg/L.
Classe IV	a) à navegação; b) à harmonia paisagística.	OD: superior a 2 mg/L; pH: 6,0 a 9,0; TDS: 500 mg/L.

Fonte: BRASIL (2005).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

2.1.3 Contexto Municipal

A gestão dos recursos hídricos no município de Manacapuru possui complicadas características, ao abordar as questões urbanas e rurais. As áreas urbanas possuem maior concentração populacional, enquanto as áreas rurais sofrem pela forma de ocupação do espaço menos concentrada, com casas e comunidades espaçadas. Essas diferentes características geram maiores custos, as principais questões estão relacionadas ao saneamento básico (abastecimento, esgotamento sanitário e os resíduos sólidos), falta de energia, dentre outros fatores que justificam a importância deste recurso no planejamento territorial e ambiental do município.

Peres e Silva (2013) destacam que os planos territoriais, dentre eles o plano diretor e lei orgânica são documentos que

No âmbito municipal, [...] podem atuar de forma mais articulada na gestão do parcelamento e no uso e ocupação do solo envolvendo atividades imobiliárias, agrícolas, turísticas, industriais, de controle de cheias, de moradias etc; na gestão das águas, envolvendo atividades relacionadas aos seus múltiplos usos; na gestão de parques, áreas verdes, mananciais; e na gestão do saneamento ambiental (2013, p. 23).

Em Manacapuru, a Lei Orgânica, promulgada pela Lei Municipal nº 005, de 05 de abril de 1990 e reformulada pela Lei Municipal nº 238, de dezembro de 2013, estabelece na seção relacionadas ao meio ambiente, inciso 2º, as seguintes atribuições relacionada aos recursos hídricos,

I - Prevenção e eliminação das consequências advindas da poluição sonora, visual, hídrica, de erosão, poluição provocada por veículos, e qualquer ameaça ao patrimônio público e privado instalado no Município;
 II - Controle e fiscalização das condições de uso de rios, lagos, igarapés, balneários, parques, áreas de recreação e logradouros públicos;
 IV - Fiscalização e controle preventivo de serviços com potencial de impacto ou passíveis de gerar comprometimento ao meio ambiente, tais como oficinas, postos de serviços para veículo e de fornecimento de combustíveis;
 V – Coleta, destinação e tratamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (MANACAPURU, 2016, p. 65).

Nestas atribuições percebe-se normas gerais ao município, com intuito de preservar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, mas em específico ao rural, na seção IV, relacionada a pesca e da parte fundiária, o artigo 186 “viabilizará condições e meios aos órgãos responsáveis para fazer a proteção dos lagos da zona rural e os da redondeza da cidade, com o objetivo de proibir a pesca comercial predatória” (MANACAPURU, 2016, p. 67).

A seção VI trata do abastecimento e da produção municipal, seu inciso primeiro estabelece a operacionalidade de algumas medidas, dentre elas, destacam-se duas, ao tratar do uso da terra e da água,

I - Promoção e uso racional das várzeas e das terras firmes, respeitando suas limitações e potencialidades, observando suas diferenças e características, estabelecendo políticas compatíveis de produção, com vista ao melhor aproveitamento dos recursos;

IV - O processo de desenvolvimento agrário deve garantir ao homem do campo o acesso aos serviços essenciais de saúde, educação, segurança pública, eletrificação rural, comunicação, habitação, saneamento, recreação e demais benefícios sociais (MANACAPURU, 2016, p. 68).

Com relação a Lei Municipal nº 051, de 04 de junho de 2003, o Código Ambiental de Manacapuru (MANACAPURU, 2003, p. 5) em sua seção I que trata das áreas de preservação permanente, estabelece “as nascentes, as matas ciliares e as faixas marginais de proteção das águas superficiais” como áreas prioritárias a preservação.

Em específico aos recursos hídricos no livro II de parte especial, que trata do controle ambiental e da qualidade ambiental e do controle da poluição. O capítulo III trata somente sobre as águas, no artigo 77 traz os objetivos da política municipal de controle de poluição e manejo dos recursos hídricos, como

I. proteger a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população;

II. proteger e recuperar os ecossistemas aquáticos superficiais e subterrâneos, com especial atenção para as áreas de nascentes, as áreas de várzeas, de igarapés e de igapós e outros relevantes para a manutenção dos ciclos biológicos;

III. permitir a implementação de ações para a redução de toxicidade e as quantidades dos poluentes lançados nos corpos d'água, depois de analisada a gravidade;

IV. controlar os processos erosivos que resultem no transporte de sólidos, no assoreamento dos corpos d'água e da rede pública de drenagem;

V. assegurar o acesso e o uso público às águas superficiais, exceto em áreas de nascentes e outras de preservação permanente, quando expressamente disposto em norma específica;

VI. garantir o adequado tratamento dos efluentes líquidos, visando preservar a qualidade dos recursos hídricos;

VII. garantir condições que impeçam a contaminação da água potável na rede de distribuição e realização periódica da análise da água (MANACAPURU, 2003, p. 17).

Em parágrafo único o código ambiental responsabiliza os proprietários de embarcações fluviais pela emissão de quaisquer poluentes dentro dos limites de competência do Município. Os artigos 78, 79 e 80 estabelecem parâmetros sobre o lançamento de efluentes em corpos hídricos,

Art. 78 - As diretrizes deste Código aplicam-se a lançamentos de quaisquer efluentes líquidos provenientes de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras instaladas no Município de Manacapuru, em águas superficiais ou subterrâneas, diretamente ou através de quaisquer meios de lançamento, incluindo redes de coleta e emissários.

Art. 79 - Os critérios e padrões estabelecidos em legislação deverão ser atendidos, também, por etapas ou áreas específicas do processo de produção ou geração de efluentes, de forma a impedir a sua diluição e assegurar a redução das cargas poluidoras totais.

Art. 80 - Os lançamentos de efluentes líquidos não poderão conferir aos corpos receptores características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água em vigor, ou que criem obstáculos ao trânsito de espécies migratórias, exceto na zona de mistura (MANACAPURU, 2003, p. 17).

Portanto, percebe-se algumas atribuições dos planos municipais relacionadas aos recursos hídricos em território urbano e rural no município de Manacapuru, contudo destaca-se a necessidade de maiores medidas de planejamento, importantes para a preservação dos mananciais de recursos hídricos e para o uso sustentável deste território que se apliquem as especificidades da Região Amazônica, onde o município de encontra.

As medições de diversificados parâmetros são importantes para obter as características naturais e antropizadas da água, indicando padrões normais ou alterações no ambiente aquático. As legislações vigentes são baseadas em diferentes valores de parâmetros limnológicos, essas medidas definem as classes de qualidade de águas dos corpos hídricos.

2.2 PARÂMETROS DE MEDIÇÃO LIMNOLÓGICOS

Limnologia é a ciência que estuda as águas continentais, independentemente de sua origem, dimensão ou concentração salina (ESTEVES, 2011, p. 6; TUNDISI; TUNDISI, 2008, p. 18). Partindo desta perspectiva, estão inclusos: os rios; os lagos, as lagoas e as lagoas; as áreas pantanosas e as áreas alagáveis; os açudes, as represas e reservatórios; as águas subterrâneas; além dos ambientes estuários, nas regiões costeiras.

Baldi (1949 apud TUNDISI; TUNDISI, 2008, p. 20) destaca que a limnologia em sua essência “é o estudo da circulação de material em um corpo d’água”. Portanto, seria o estudo das águas interiores enquanto ecossistema, visto que os estudos limnológicos não se limitam a uma unidade natural, pois englobam componentes bióticos e abióticos que estão em constante troca de energia e ciclagem de materiais.

De acordo com Tundisi e Tundisi (2008, p. 20) os sistemas aquáticos continentais são derivados da interação dos diversos componentes e subsistemas que compõem uma bacia hidrográfica. Barrella et al. (2001) definem bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, delimitada por divisores de água, localizados nos pontos mais altos do relevo que separam duas bacias hidrográficas.

Rodrigues e Adami (2005, p. 147-148), designam bacia hidrográfica como um “sistema que compreende um volume de materiais predominantemente sólidos e líquidos, próximo à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais”. Portanto a bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema aberto, composto por outros subsistemas, como os divisores de água e os canais fluviais.

Drew (2011, p. 21) diz que “a Terra opera como uma hierarquia de sistemas, todos parcialmente independentes, mas firmemente vinculados entre si”. As atividades antrópicas ainda não são capazes de afetar significativamente o funcionamento dos sistemas globais, mas o mesmo não acontece com os sistemas de ordem inferior, sobretudo aqueles que envolvem seres vivos, pois são muito mais vulneráveis às ações humanas.

As características ambientais dos ecossistemas aquáticos são condicionadas por processos naturais, contudo suas características também sofrem alterações pelas interferências humanas na bacia hidrográfica. As diversas intervenções antrópicas em terra ou em água refletem diretamente sobre as condições dos recursos hídricos, dependendo das atividades desenvolvidas podem haver efeitos positivos ou negativos sobre o meio natural e/ou sociedade.

A quantidade e a qualidade dos recursos hídricos são fatores interligados, associados aos múltiplos usos da água e a ocupação da bacia hidrográfica. Wrublack et al. (2014, p. 179-181) destacam que a qualidade da água está sujeita a diversas fontes poluidoras, por isso o acompanhamento e a avaliação dos usos na bacia hidrográfica são fundamentais. Considerando a crescente urbanização e aumento demográfico nos ambientes urbanos e o avanço de atividades agropastoris nas áreas rurais, a pressão sobre os recursos hídricos torna-se mais acelerado.

Poleto (2014, p. 29-30) destaca o uso da água para diversas demandas, divididas em dois grandes grupos: os **usos consultivos**, demandam uma quantidade substancial de água, alterando a disponibilidade para outros usuários, no Brasil o uso de maior pressão é a irrigação, responsável por cerca de 65% da demanda total; enquanto os **usos não consultivos** são aqueles que pouco alteram a quantidade de água disponível, mas podem comprometer significativamente a qualidade, no país historicamente houve predileção para produção de energia elétrica.

No dizer de Von Sperling (2014, p. 17) os principais usos da água são: abastecimento urbano, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação animal, aquicultura, preservação da fauna e da flora, recreação e lazer, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, navegação e diluição de resíduos. Assim, partido das características de cada um desses usos pode-se ter diferentes demandas de qualidade.

A qualidade da água pode ser representada por intermédio de diversos parâmetros, que revelam as características físicas, químicas e/ou biológicas desse recurso mineral (VON SPERLING, 2014, p. 22). As variáveis temperatura, turbidez, transparência, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica são exemplos de variáveis físicas, enquanto representando as variáveis químicas tem-se o potencial hidrogeniônico (pH) e o oxigênio dissolvido.

Em termos conceituais a **temperatura** é a medida de intensidade de calor da água (VON SPERLING, 2014, p. 27), no Brasil tem-se como unidade de medida padrão o grau Celsius (°C). As variações de temperatura por influência natural estão diretamente relacionadas ao regime climático, com variações sazonais ao longo do ano e no decorrer do período de um dia, como grande fator em sua variação a radiação solar é o principal agente que gera o aquecimento térmico. As variações de temperatura ocorrem tanto superficialmente quanto de acordo com a estratificação vertical do curso d'água (CETESB, 2018, p. 5).

A temperatura desempenha um papel crucial no sistema aquático, exercendo papel marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias (FUNASA, 2014, p. 14). Além disso, condiciona uma série de variáveis físico-químicas, com o aumento da temperatura da água, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (CETESB, 2018, p. 5).

Por influência antrópica, as alterações de temperatura na água geralmente são provocadas por despejos industriais, usinas termoeletricas e frigoríficos. A elevação da temperatura aumenta as taxas de reações químicas e biológicas, enquanto reduz a solubilidade dos gases, levando a diminuição do oxigênio dissolvido, impactando diretamente nos limites de tolerância térmica dos organismos aquáticos. Também influencia no aumento da taxa de transferência de gases, que leva a liberação de gases com maus odores (CETESB, 2018, p. 5; VON SPERLING, 2014, p. 25-26).

Outro importante parâmetro, a **turbidez** é definida como o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, esta diminuição ocorre devido a absorção e/ou espalhamento da luz branca pelas maiores partículas suspensas. A unidade de apresentação dos valores de turbidez é expressa por meio de unidades nefelométricas de turbidez, em inglês *Nephelometric Turbidity Units* (NTU) (FUNASA, 2014, p. 19).

As águas com maiores taxas de turbidez apresentam-se mais escuras, esta característica é provocada pela ocorrência de grandes quantidades de sólidos em suspensão, que podem ter origem inorgânica, como areia, silte e argila, oriundos da erosão do solo e/ou de procedência orgânica, como as algas, bactérias, plânctons e outros microrganismos, além de resíduos líquidos de origem doméstica, industrial e de mineração (RICHTER, 2009, p. 69; CETESB, 2018, p. 5).

Quanto maior a turbidez menor será transparência da água, o inverso também é verdadeiro. A ocorrência de altos índices de turbidez nos corpos hídricos pode levar a redução da capacidade fotossintética das plantas aquáticas e das algas, limitante a entrada de energia solar. Logo, a turbidez pode afetar adversamente as comunidades biológicas aquáticas, além dos usos doméstico, industrial e de recreação, pois os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos (CETESB, 2018, p. 5; VON SPERLING, 2014, p. 26).

A **transparência** indica a competência de passagem dos raios solares pela água, esta capacidade diminui à medida que aumenta a profundidade, por conta da dispersão da energia luminosa (STRAŠKRABRA; TUNDISI, 2013, p. 110). A partir da medida de transparência da água é possível determinar a zona fótica, ou seja, a profundidade máxima de penetração de energia luminosa na coluna d'água, permitindo a atividade fotossintética (CETESB, 2018, p. 5). O limite inferior da zona fótica corresponde a profundidade onde a intensidade de radiação solar seja 01% da que atinge a superfície (ANA, 2013, p. 14).

Straškrabra e Tundisi (2013, p. 110) indicam que a determinação da transparência se dá pelos efeitos combinados dos sólidos dissolvidos, os sólidos em suspensão e pelas algas presentes na água. Esses efeitos são inibidores da luz solar, que podem interferir na fotossíntese realizada pelos fitoplânctons, na filtragem efetuada pelos zooplânctons, e enfim, na redução da visibilidade, pois quanto menor a transparência da água, menor será a visibilidade. A visibilidade é capacidade de distinguir objetos na água.

Um dos parâmetros de maior importância na análise das características da água é o potencial hidrogeniônico, comumente chamando apenas de **pH**, é uma escala usada para quantificar a concentração de íons hidrogênio H^+ , dando indicações de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 2014, p. 28).

É uma escala adimensional, onde os valores do pH variam de 0 a 14 (FUNASA, 2014, p. 20), os valores inferiores a sete ($pH < 7$) demonstram águas com condições ácidas, enquanto valores superiores a sete ($pH > 7$) indicam águas com características básicas (alcalinas) e quando o valor encontrado for igual a sete ($pH = 7$) representa neutralidade (ANA, 2012), conforme mostrado na Figura 01.

Figura 01: Escala de pH da água, com indicação de ambientes aquáticos caracterizados por cada valor de pH.



Fonte: ANA (2017).

As alterações de pH podem ter procedência natural, provocado pela intemperização química das rochas, pela fotossíntese e decomposição de matéria orgânica e pela chuva; ou podem ter origem antropogênica, influenciado pelos despejos de rejeitos líquidos doméstico e industriais.

Para o abastecimento, o pH baixo (ácido) contribui para corrosividade e agressividade da água, enquanto os elevados valores de pH (alcalino) possibilitam incrustações nas tubulações de água. Os valores próximos a neutralidade são os ideais para a vida aquática (FUNASA, 2014, p. 21; VON SPERLING, 2014, p. 28).

Um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático trata-se do **oxigênio dissolvido**, pois é basal para a vida dos organismos aeróbicos (dependentes de oxigênio), sendo um dos gases mais importantes na dinâmica dos ecossistemas aquáticos. A unidade de medida dessa variável é apresentada em miligramas por litro (mg/L).

Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio para respiração, podendo causar uma redução da sua concentração. Caso o oxigênio seja completamente consumido, haverá condições anaeróbicas (ausência de oxigênio), com geração de maus odores na água (VON SPERLING, 2014, p. 36-37).

Segundo Esteves e Furtado (2011, p. 167-168) as principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, a redução de concentração de oxigênio na água ocorre em detrimento, sobretudo do consumo e decomposição de matéria orgânica, perda para a atmosfera, pela respiração dos organismos aquáticos e pela oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês.

A capacidade de solubilidade do oxigênio na água é dependente de distintos fatores ambientais, nas águas interiores são basicamente dois fatores: temperatura e pressão. Com o aumento da temperatura e diminuição da pressão a água perde capacidade de solução do oxigênio, enquanto em temperaturas baixas e altas pressões observa-se maior solubilidade do oxigênio na água (ANA, 2013; ESTEVES; FURTADO, 2011, p. 167).

Outra variável importante a ser considerada são os sólidos, esta variável corresponde a toda matéria que conservar-se na água como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra (ANA, 2013). Os sólidos presentes na água podem ser classificados pelo seu tamanho e características químicas, podendo ser encontrados em suspensão e dissolvidos. Os sólidos em suspensão

podem ser entendidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração, ou seja, as partículas de maior granulometria presentes na água (FUNASA, 2014, p. 20).

Os **sólidos totais dissolvidos** do inglês *total dissolved solids (TDS)* são todos os constituintes químicos dissolvidos na água, composto por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm que permanecem em solução mesmo após filtração (FUNASA, 2014, p. 20). As unidades de medida deste parâmetro variam de acordo com o aparelho utilizado, podendo ser apresentadas em partes por milhão (ppm) ou miligramas por litro (mg/L).

O aporte de sólidos na água pode ocorrer naturalmente por meio dos processos erosivos, pela decomposição de organismos e por resíduos orgânicos, ou ainda por processos antrópicos, causados pelo lançamento de resíduos líquidos e sólidos (CETESB, 2018, p. 4). O TDS é normalmente medido mediante a conversão da medida da condutividade elétrica, para isto o valor da condutividade elétrica é multiplicado por um fator de conversão dependendo da composição química do TDS (ANA, 2013).

A variável **condutividade elétrica** é medida pela capacidade da água de conduzir eletricidade, em função da presença de substâncias dissolvidas. Esta capacidade é dependente da concentração da carga de íons na água, normalmente é de se esperar que a condutividade seja maior em soluções com alta taxa de íons e vice-versa (RICHTER, 2009, p. 73). A condutividade elétrica deve ser expressa por uma unidade de resistência e por uma unidade de comprimento, geralmente é apresentada em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (FUNASA, 2014, p. 20).

A condutividade da água depende das concentrações iônicas e da temperatura, além de indicar a quantidade de sais existentes (TDS) na coluna d'água, portanto, pode ser considerada uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2018, p. 20). Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Os principais agentes poluidores associados aos valores de condutividade elétrica são as atividades ligadas a agropecuária, como irrigação, toxicidade e problemas de permeabilidade do solo (VON SPERLING, 2014, p. 46).

Todos estes parâmetros limnológicos ajudam a exprimir as características físico-química da água, estabelecendo propriedades que podem corresponder aos padrões naturais, assim como podem indicar alterações ambientais. Áreas no curso

d'água com características limnológicas similares podem ser individualizadas, formando **compartimentos aquáticos**.

Pereira Filho e Novo (2002 apud WACHHOLZ, 2007, p. 24) afirmam que os compartimentos aquáticos são áreas específicas envolvendo condições ambientais similares. O ecossistema aquático é formado por componentes biótico e abiótico, estes são vulneráveis ao ecossistema terrestre, ou seja, pela influência das ações naturais e antrópicas na bacia hidrográfica. Logo, as características limnológicas da água são reflexo desses fatores (WACHHOLZ, 2007, p. 24).

2.2.1 Macrófitas Aquáticas

As macrófitas aquáticas são plantas originalmente de ambiente terrestre que no decorrer de seu processo evolutivo passaram por mudanças adaptativas para crescerem e se desenvolverem em ambientes aquáticos distintos (THOMAZ; ESTEVES, 2011, p. 467). Segundo Lopes (et al., 2015, p. 54) essa capacidade deve-se a ampla aptidão que essas plantas adquiriram ao se adaptar nos mais diferentes ambientes aquáticos, que vão desde áreas encharcadas até submersas na coluna d'água; se desenvolvem em água doce, salobra ou salgada de baixa correnteza; além de apresentar ampla distribuição geográfica, exceto pelas regiões congeladas.

Devido a heterogeneidade filogenética e taxonômica das macrófitas aquáticas, reflexo da independência adaptativa ao longo da evolução de cada espécie, essas plantas são preferencialmente classificadas de acordo com o biótipo, levando em consideração suas adaptações ao ambiente aquático (THOMAZ; ESTEVES, 2011, p. 463). Normalmente as macrófitas aquáticas são divididas em cinco grupos (THOMAZ; ESTEVES, 2011, p. 463-464):

- a) Emersas: ficam enraizadas no sedimento e com a folhagem para fora d'água. Como representantes desse grupo temos as espécies dos gêneros *Echinochloa* e as *Typha*;
- b) Flutuantes fixas: são fixas ao substrato, mas com as folhas flutuantes, ligadas por um pecíolo longo e flexível. A espécie mais conhecida é a *Victoria amazônica* (vitória-régia), outros exemplos são as espécies dos gêneros *Eichhornia*, *Limnobium* e *Lemna*;

- c) Submersas fixas: são plantas enraizadas no solo com o caule e folhas submersas, contudo suas estruturas reprodutivas ficam fora da água. Exemplo: as espécies dos gêneros *Vallisneria* e *Nitella*;
- d) Submersas livres: assim como as submersas fixa este grupo desenvolve-se quase completamente submersos com exceção de suas flores, porém estas são epífitas, ou seja, ocorrem de forma comensal com outras plantas aquáticas ou em outras estruturas submersas, como as espécies do gênero *Utricularia*;
- e) Flutuantes livres: são plantas cujas as raízes estão sob a água, sem contato com nenhum substrato, flutuando livremente a mercê da correnteza e dos ventos. Como exemplo tem-se as o aguapé ou mureru (*Eichhornia crassipes*) e as espécies dos gêneros *Nymphaea* e *Nymphoides*.

Thomaz e Esteves (2011, p. 462) relatam que as macrófitas aquáticas influenciam de diversas formas os ecossistemas aquáticos. Elas são as principais produtoras de matéria orgânica de todo o ecossistema; absorvem nutrientes de regiões que não estariam disponíveis e depois liberam esses nutrientes na água; vivem em associação com bactérias e algas perifíticas; são de grande importância para cadeia herbívora e detritívora, além disso, são utilizadas para nidificação e refúgio para diversos organismos.

As macrófitas aquáticas funcionam como importante bioindicador da qualidade da água, sugerindo tanto o estágio de transição quanto o estágio trófico do ecossistema aquático. Também têm sido empregadas na despoluição de ambientes aquáticos, produção de biomassa para alimentação de gado, fertilizantes de solo e de tanques de piscicultura (POMPÊO, 2017, p. 7-8).

As características limnológicas dos ambientes aquáticos são reflexo das interações naturais e antrópicas na bacia hidrográfica. Esses padrões revelam diferentes tipos de rios, no caso da Amazônia a classificação mais comum pressupõe três tipos de rios, classificados conforme a coloração de suas águas e outros parâmetros limnológicos. Na Amazônia concentra-se a maior reserva de água doce disponível do mundo, contudo esse cenário de abundância vinculado a Região, não condiz com a realidade das bacias hidrográficas com intensa ocupação antrópica, como nas cidades.

2.3 OS TIPOS DE RIOS AMAZÔNICOS

O território brasileiro concentra uma grande reserva de água doce, correspondendo a 12% da água disponível no mundo, somando um volume superior a 1,5 milhões de m³/s, porém ocorre mal distribuída no território nacional (SILVA; CAVALCANTE, 2016, p. 25; TUNDISI, 2003, p. 3).

A Região Amazônica abriga o mais extenso sistema fluvial e de maior massa líquida do planeta, coberta em sua maior parte pela maior floresta equatorial do planeta (SIOLI, 1985, p. 22). Com uma área pouco superior a 6,1 milhões de km² e 200.000 m³/s de descarga líquida média, a Bacia Amazônica representa cerca de 5% das terras emersas continentais e cerca de 15% do volume de água lançado aos oceanos, fazendo dela a maior bacia hidrográfica em área drenada e em volume de água do mundo (MOLINIER; GUYOT, 1996, p. 211).

A bacia hidrográfica do rio Amazonas estende-se por sete países da América do Sul, sendo 63% da área em território brasileiro e o restante distribuído nos países vizinhos, Peru (16%), Bolívia (12%), Colômbia (5,6%), Equador (2,3%), Venezuela (0,8%) e na Guiana (0,3%) (MOLINIER et al., 1994, p. 32). No Brasil é ocupada pelos estados do Amazonas, Pará, Rondônia, Acre, Roraima e parte dos estados do Amapá, Mato Grosso e Maranhã (CUNHA, 2012, p. 235).

O rio Amazonas, maior e principal curso d'água da Bacia Amazônica, possui cerca de 6.992,06 km de extensão, nasce nas Cordilheiras dos Andes, sul do Peru e deságua no Oceano Atlântico, norte do Brasil (CUNHA; PASCOALOTO, 2009, p. 17; INPE, 2008).

Resultante de características climáticas e topográficas contrastantes, as unidades morfoestruturais que compõem a região ajudam a entender a origem dos principais rios que formam a Bacia Amazônica (RÍOS-VILLAMIZAR; GUYOT, 2011, p. 567; MOLINIER et al., 1994, p. 32; SIOLI, 1985, p. 15).

O alemão Harald Sioli foi o pioneiro nos estudos limnológicos na Amazônia, sendo o primeiro a elaborar uma classificação dos corpos d'água da região, presente em sua publicação "Über Natur und Mensch im brasilianischen Amazonasgebiet" de 1956 (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2014, p. 18), contudo a tradução dessa classificação para a língua portuguesa ocorreu somente no livro "Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de floresta tropical" publicado em 1985.

Baseando-se em parâmetros físico-químicos para classificação limnológicas das águas, como: cor, transparência, pH e condutividade elétrica, inovou ao correlaciona-las com as características físicas das bacias hidrográficas. Com base nisso chegou a conhecimento de três tipos de rios na Amazônia, os rios de águas brancas, os rios de águas claras e os rios de águas pretas (SIOLI, 1985, 29-37) (Quadro 03).

Quadro 03: Principais características dos rios amazônicos.

Tipos de rio	Principais características
Água Branca	Os rios de água branca apresentam uma água turva, barreta e amarelada, com baixa visibilidade, variando de 10 a 50 cm. Apresentam grande quantidade de materiais em suspensão, suas nascentes geralmente estão associadas da Cordilheira dos Andes, caracterizada por ser a zona de aporte de cerca de 90 a 95% da grande quantidade de material em suspensão transportado para a bacia, fato que atribui a cor barrenta da água, além de sedimentos ricos em nutrientes e elevadas concentrações de sólidos dissolvidos indicados pela condutividade elétrica. São exemplos desse tipo o próprio rio Amazonas, além do Madeira, Purus e Juruá.
Água Clara	Os rios de água clara possuem elevada transparência superior a 4 m, apresenta coloração esverdeada. Suas nascentes estão localizadas no Planalto Central Brasileiro, em virtude do relevo menos movimentado do escudo Brasileiro e a sazonalidade pluviométrica do Cerrado, quase nenhum material em suspensão é carregado durante o período de seca, o que contribui para a elevada transparência. Exemplos desse tipo são os rios Tapajós e Xingu.
Água Preta	Os rios de água preta têm origem natural associada a decomposição de matérias orgânicos, principalmente vegetação, sua coloração em leito natural assemelha-se a café preto, mas em um recipiente a tonalidade muda para chá fraco. Esta característica deve-se também à pobreza de partículas em suspensão, causado pelo relevo pouco movimentado de suas cabeceiras, localizadas no escudo da Guiana e pelo solo arenoso que lhe atribui indiretamente sua coloração e relativa transparência, em média de 1,5 a 2,5 m. O rio Negro é o maior e mais famoso rio de águas pretas, outros exemplos são os rios Tefé, Jutá e Uatumã.

Fonte: Sioli (1985, p. 29-37).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

De acordo com Sioli (1985, p. 48) os cursos d'água de menor extensão, conhecido na Amazônia brasileira como igarapés, ao contrário dos rios de grandes bacias, exprimem condições mais homogêneas de determinação do tipo de água. Esses cursos d'água são formados dentro da própria bacia sedimentar, podendo ocorrer também com águas brancas, águas claras e águas pretas.

Os igarapés de água branca foram visualizados somente em áreas com forte influência andina. Os igarapés de águas claras são os mais comuns, típicos de terra firme, coberto por floresta alta e solos do tipo Latossolo Amarelo. Enquanto os igarapés de água preta provem de terrenos com solo arenoso alvo, conhecido como Espodosolo, que determinam por meio da redução da matéria orgânica morta a formação de húmus, que dissolvido na água percola ao lençol freático tingindo-o, depois aflorando na superfície (SIOLI, 1985, p. 48-52).

Junk (1983, p. 50-53) ao tratar da classificação das águas amazônicas igualmente destaca os três tipos de rios, com: águas brancas, águas claras e águas pretas. Também dá ênfase as estruturas geológicas para a formação dessas diferentes colorações dos tipos de rios. Além disso, apresenta dados de análise físico-química das águas, contudo destaca a generalização e simplificação dessa classificação, principalmente dos rios de águas claras (Quadro 04).

Quadro 04: Características físico-químicas das águas amazônicas, de acordo com a classificação por tipo de rio.

Tipos de rio	Características físico-químicas
Água Branca	Cor branca; pH: 6,5 a 7; Condutividade elétrica: 60 a 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Elevada carga de sedimentos, alcalinos e ricos em sais minerais; Maior quantidade percentual de cálcio e magnésio em relação a quantidade de sódio e potássio.
Água Clara	Transparentes, com tons esverdeados; pH: 4,5 a 7; Condutividade elétrica: 6 a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Baixa carga de sedimentos, contudo em época de chuva a água fica turva; Sódio e potássio são os metais mais frequentes, porém, em certas áreas cálcio e magnésio também podem dominar.
Água Preta	Cor escura, indo de marrom a avermelhada; pH: em torno de 4; Condutividade elétrica: menor que 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pela pobreza de sais minerais; Baixa quantidade de materiais em suspensão; Maior concentração de sódio e potássio em relação a concentração de cálcio e magnésio.

Fonte: Junk (1983, p. 50-53).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Goulding et al. (2003 p. 41-42) realizaram novas considerações sobre a classificação dos rios amazônicos. Sobre as águas brancas, atribui o termo “*muddy rivers*” em tradução livre rios lamacentos, caracterizados pela alta turbidez da água, deixando-os com a coloração de café com leite. Ele divide os rios de águas brancas de acordo com a ocorrência em relação ao terreno de drenagem: os rios lamacentos estão associados aos andes onde a quantidade de sedimentos carreados é muito grande; enquanto os rios semilamacentos ocorrem no Escudo da Guiana, onde a carga de sedimento é muito menor devido a maturidade do terreno, sendo o principal exemplo o rio Branco, afluente do rio Negro.

Sobre os rios de águas claras, destaca dois grupos: o primeiro grupo com ocorrência permanente com águas claras, estes estão associados a drenagem do Escudo Brasileiro; enquanto o segundo tipo ocorre sazonalmente com água claras, estão associados a região de cabeceiras nos Andes, são pequenos cursos d’água que fluem em terreno quase cristalino (GOULDING et al., 2003, p. 43). Por fim, os rios de águas pretas, ocorrem principalmente associados pela drenagem de terrenos mais antigos como o Escudo das Guianas, embora rios menores com essa coloração também ocorram nos sedimentos terciários da Bacia Amazônica (GOULDING et al., 2003, p. 44).

As características inerentes aos rios de água preta são as que mais interessam para este trabalho, pois o rio Miriti está incluso nesse grupo. Na seção 2.3.1 são apresentados alguns rios de águas pretas, evidenciando as variáveis limnológicas utilizadas no trabalho, também medidas em corpos hídricos classificados como de água preta.

2.3.1 Características Inerentes aos Rios de Águas Pretas

Como visto, a ligação entre a química dos sistemas de rios e a geologia de suas áreas de influência são nítidas, reconhecendo três tipos de águas a Região Amazônica, principalmente por suas características visuais como a cor e a transparência: brancas, claras e pretas (ZEIDEMANN, 2001, p. 66-67). Cada característica define seu aspecto, uma alteração natural que se estabelece no local onde se encontra.

A coloração da água é decorrente de sua capacidade em absorver certas radiações do espectro do visível, devido à presença de sólidos dissolvidos,

especialmente o material em estado coloidal orgânico e inorgânico (RICHTER, 2009, p. 67; VON SPERLING, 2014, p. 25). No caso das águas pretas sua origem natural está associada a decomposição de material orgânico produzido pela floresta, esses produtos são solúveis em água, principalmente ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, provocando a coloração escura da água (JUNK, 1983, p. 52).

As águas pretas possuem características físico-químicas similares em seu estado natural, as quais destacam-se: o pH, classificado como ácido, com valores na faixa de 4 a 5; a transparência das águas com entorno de 60 a 120 cm de profundidade; a baixa quantidade de sólidos em suspensão; a elevada quantidade de material orgânico dissolvido na água e condutividade elétrica inferior a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014, 19; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2014, p. 18). As características físico-químicas específicas de alguns rios de águas pretas podem ser visualizadas na Tabela 01.

Tabela 01: Síntese de algumas características limnológicas de diferentes rios de água preta.

Rios	Variáveis Limnológicas		
	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)
Negro²	4,5	9,6	-
Tefé¹	5,03	7,36	-
Jutaí¹	5,96	8,71	-
Uatumã²	5,9	9,6	-
Urubu²	4,4	9,2	-
Manacapuru²	5,8	<25	-
Aripuanã³	4,9	22,2	25,1
Sucundurí³	4,2	19,5	8,5

Fonte: ¹Ríos-Villamizar et al. (2014, p. 20); ²Cunha; Pascoaloto (2006); ³Lages et al. (2013, p. 346).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

São diversos os estudos realizados em ambientes aquáticos com águas pretas na Amazônia, os parâmetros medidos variam muito de trabalho a trabalho. A grande maioria das variáveis são químicas, alusivo aos constituintes químicos da água, para ser mais preciso. As variáveis pH e condutividade elétrica são as mais comumente encontradas, dentre aquelas ao qual o trabalho buscou analisar.

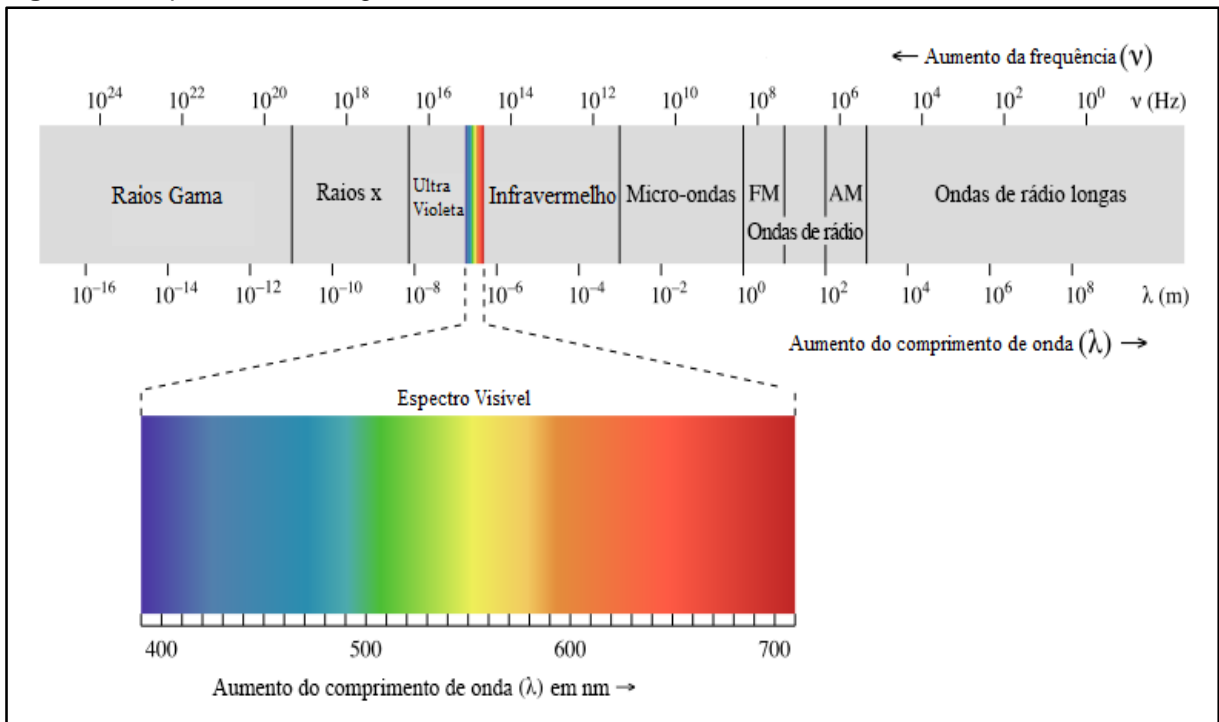
Como base para estudos de qualidade da água, as técnicas ligadas ao sensoriamento remoto orbital podem ser aplicadas para a leitura do comportamento espectral da água. Essa tecnologia permite o registro das variações de energia refletida ou emitida pela água, resultando em dados passíveis de interpretação tanto visuais quanto estatísticos. Buscando o melhor entendimento desse comportamento, faz-se necessário entender alguns conceitos ligados as técnicas de captação de energia de forma remota e ao comportamento espectral da água.

2.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA LÍQUIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

O conceito de sensoriamento remoto está ligado a aquisição de informações sobre a superfície terrestre de forma distante, com o objetivo de determinar propriedades de alvos pela detecção e registro da radiação eletromagnética por eles refletida e/ou emitida, gerando informações sobre o objeto, área ou fenômeno que esteja sendo analisado (FLORENZANO, 2011, p. 09; NOVO, 2010, p. 25-28; ROSA, 2009, p. 17-18).

O campo de aplicação dos dados provenientes de sensoriamento remoto é, extenso, atualmente fornecem aplicações a diversas áreas de atuação, que utilizam dados espaciais e temporais da superfície terrestre. Dentre estes, pode-se citar estudos relacionados ao urbano, agrícolas, geológicos, florestais, cartográficos, oceanográficos, hidrológicos, limnológicos, dentre diversos outros, que permitem sua integração e análises em perspectivas multidisciplinar e interdisciplinar (FLORENZANO, 2011, p. 121-122; NOVO, 2010, p. 30-31).

O princípio básico da aquisição de dados por meio de sensoriamento remoto está ligado a radiação eletromagnética (REM), tipo de energia pelo qual a informação é transferida do alvo ao sensor (NOVO, 2010, p. 35). O espectro eletromagnético encontra-se dividido em faixas, essa divisão ocorre segundo o comprimento e a frequência das ondas, representando a distribuição da radiação eletromagnética ao seu longo (FLORENZANO, 2011, p. 11-12) (Figura 02).

Figura 02: Espectro Eletromagnético.

Fonte: adaptado de Chemistry LibreTexts (2018).

Para o sensoriamento remoto terrestre as principais faixas utilizadas são da faixa do visível, do infravermelho (próximo, médio e termal) e as micro-ondas (ROSA, 2009, p. 23). A faixa do visível é chamada desta forma pela sensibilidade do olho humano a esse trecho de energia espectral, bastante utilizada no sensoriamento remoto, pois é uma região do espectro solar muito transparente, por onde passa uma grande quantidade de radiação (MENESES, 2012a, p. 13).

As faixas do visível e infravermelho normalmente estão associadas a sensores imageadores, responsáveis por obter informações particularmente espaciais de uma cena, enquanto a faixa do micro-ondas é utilizada em sensores não imageadores, como em radares altimétricos (LORENZZENTI, 2015 p. 19). A competência de leitura dos sensores imageadores da superfície terrestre é determinada pela capacidade de quatro resoluções: espacial, temporal, espectral e radiométrica (ROSA, 2009, p. 57).

A resolução espacial para Florenzano (2011, p. 17) é a capacidade do sensor em discriminar os objetos da superfície em detrimento do seu tamanho. Para Rosa (2009, p. 59) pode ser definida como a distância mínima entre dois alvos na qual um sensor pode registrá-lo como objetos diferentes, ou seja, a área da superfície que corresponde a cada pixel da imagem. Quanto melhor a resolução espacial menor será o tamanho do pixel, contudo isso varia dependendo da finalidade do estudo.

A resolução temporal está relacionada a frequência de imageamento de uma mesma área, determinada pelo tempo de revisita do sensor (BIELENKI JUNIOR; BARBASSA, 2012, p. 226). Essa resolução é importante para o acompanhamento das mudanças na superfície terrestre, principalmente para fenômenos com maior dinamismo, como os estágios de crescimento vegetal na agricultura, no monitoramento de desmatamento e em desastres ambientais (MENESES, 2012a, p. 31-32).

A resolução espectral refere-se a largura da faixa espectral de cada banda, além da quantidade do número de bandas de um sensor (BIELENKI JUNIOR; BARBASSA, 2012, p. 226). De acordo com Florenzano (2011, p. 18) quanto maior o número de bandas e mais estreita for cada faixa espectral, maior será a resolução espectral, pois possibilita maiores chances de registro de variações de energia refletida por um objeto.

Por fim, a resolução radiométrica é definida pela capacidade de medida das diferenças de energia refletida e/ou emitida de um alvo na superfície terrestre por um sensor, ou seja, determina o número de níveis de cinza representados por uma imagem digital (FLORENZANO, 2011, p. 18; ROSA, 2009, p. 58). Bielenki Junior e Barbassa (2012, p. 224) destacam que os níveis de cinza são expressos em *bits*, seu valor sempre é em potência de 2, por exemplo o sensor TM possui 8 bits de resolução radiométrica, ou seja, corresponde a 2^8 que é igual ao valor máximo de 256 níveis de cinza, enquanto o sensor OLI possui 12 bits de resolução radiométrica, correspondendo a 4.096 níveis de cinza.

Essas quatro resoluções são elementos importantíssimos a serem considerados para compreender a relação da reflectância da água e de seus constituintes óticamente ativos, pois são fatores determinantes para a obtenção desses valores.

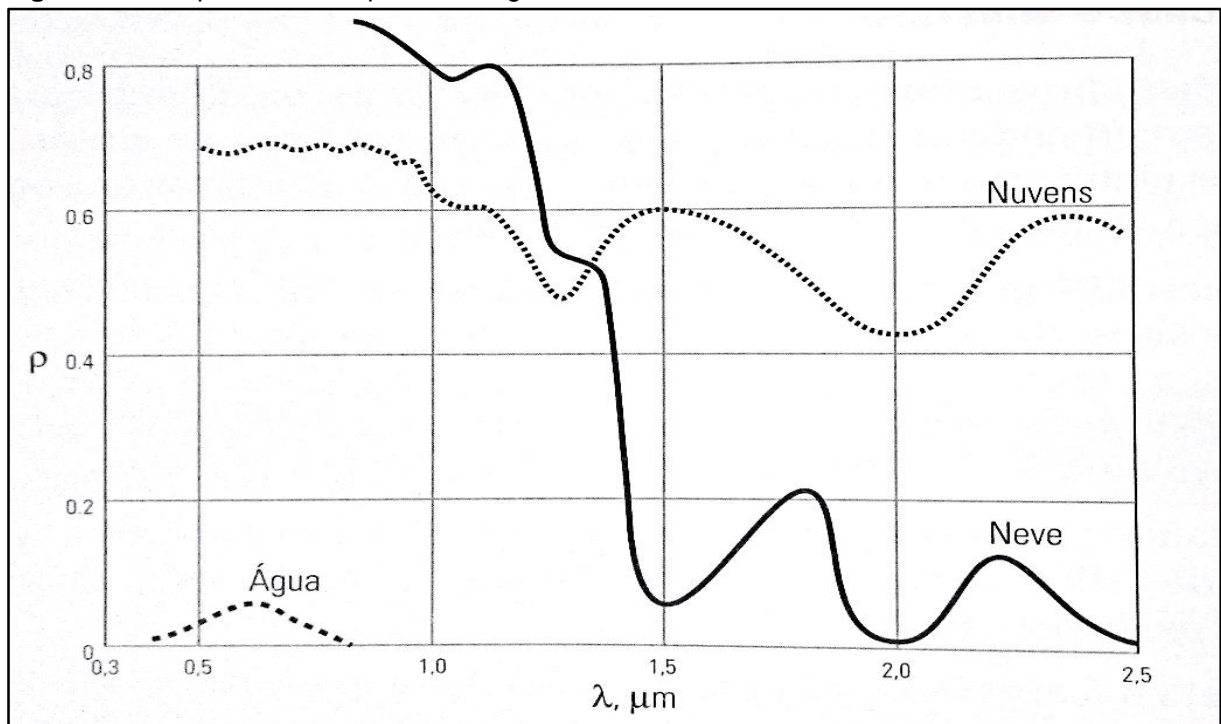
O comportamento espectral de um alvo é determinado pela reação da radiação ao contato com um alvo na superfície terrestre. A curva espectral de determinado objeto varia de acordo com sua posição em relação ao sensor, ou seja, diferentes modos de leitura de um mesmo alvo podem representar variações em seu gráfico, contudo representa uma boa aproximação de sua assinatura espectral em geral (NOVO, 2010, p. 243; BIELENKI JUNIOR; BARBASSA, 2012, p. 222).

O conhecimento do comportamento espectral médio de um alvo a ser estudado é fundamental, para conhecimento das formas mais adequadas de extração das

informações e definição do tratamento apropriado da imagem a ser utilizada, além da definição das bandas espectrais mais apropriadas para aquisição de dados de determinado alvo (NOVO, 2010, p. 241).

A água possui assinaturas espectrais diferentes de acordo com seu estado físico: a água líquida possui baixa reflectância entre 0,38 μm e 0,7 μm , acima disso a água absorve toda a radiação eletromagnética; a neve possui alta reflectância no intervalo de 0,7 a 1,2 μm , entre o intervalo 1,2 a 1,4 ocorre uma queda acentuada da reflectância e de 1,4 a 2,0 μm possui baixa reflectância; por fim, as nuvens com altíssima reflectância entre 0,38 μm e 2,5 μm (NOVO, 2010, p. 262) (Figura 03).

Figura 03: Comportamento espectral da água em diferentes estados físicos.



Fonte: Bowker et al. (1985 apud Novo, 2010, p. 262).

Na água líquida a radiação registrada é decorrente da radiação solar que penetra a água, ao alcançar o fundo do corpo hídrico é propagada pela coluna d'água até sair do corpo d'água e ser registrada pelo sensor. Contudo, para a identificação dos constituintes opticamente ativos na água é necessário realizar correção radiométrica, a fim de minimizar as atenuações causadas pela atmosfera (JENSEN, 2009, p. 412-413).

Rosa (2009, p. 51-52) diz que a reflectância da água limpa ocorre majoritariamente na faixa do visível, apresentando maiores reflectâncias no comprimento de onda do azul e verde, diminuindo em direção ao infravermelho, ou

seja, a reflectância diminui a medida do aumento do comprimento de onda. A água limpa possui baixa reflectância, quanto mais limpa a água menor será a reflectância, ou seja, água sem constituintes dissolvidos ou suspensos.

Os componentes que mais afetam o comportamento espectral da água são chamados de constituintes opticamente ativos, formados por: organismos vivos (fitoplânctons, zooplânctons e bacterioplâncton), partículas orgânicas ou inorgânicas em suspensão e as substâncias orgânicas dissolvidas (NOVO, 2010, p. 262; ROSA, 2009, p. 52).

2.4.1 Constituintes Opticamente Ativos da Água

Um dos principais interesses no uso de produtos de sensoriamento remoto em ambientes aquáticos é verificar a variação espaço-temporal da composição da água, possibilitando investigar a origem e o deslocamento de substância específicas em suspensão ou dissolvidos na água (JENSEN, 2009).

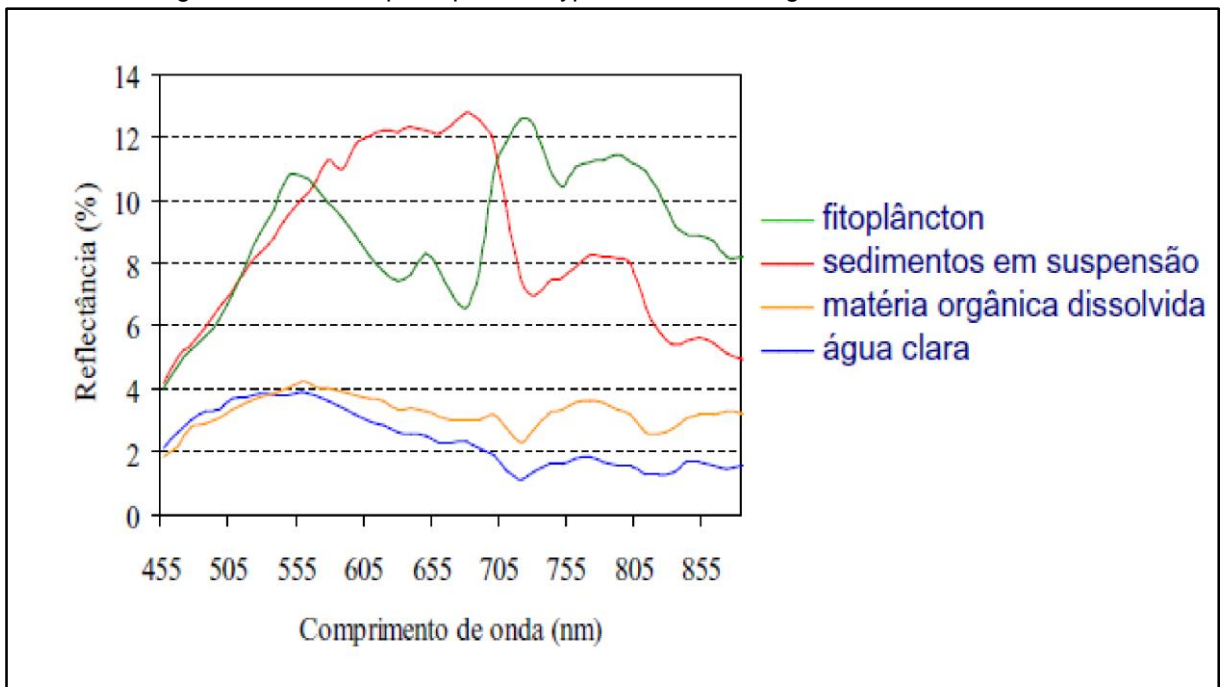
Tratando-se especificamente dos corpos hídricos, Jensen (2009) ao falar dos constituintes opticamente ativos presentes na água, destaca que na água existe uma mistura de constituintes orgânicos, como a clorofila *A* e os materiais inorgânicos, como os minerais em suspensão, que misturados tornam-se difíceis de se extrair informações quantitativas sobre esses constituintes a partir de dados de sensoriamento remoto.

Sedimentos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes, matéria orgânica dissolvida e as moléculas de água em si, são os principais agentes que reagem as propriedades óticas inerentes da água e, portanto, são chamados de componentes opticamente ativos (JENSEN, 2009). As propriedades de absorção e espalhamento dos constituintes opticamente ativos irão definir seletivamente a forma e amplitude final da curva de reflectância.

Por outro lado, o sensoriamento remoto tem contribuído na realização de estudos de ambientes aquáticos, ajudando a entender as complexidades de um ecossistema e suas interações. Estudos da variação espacial e temporal da qualidade da água são possíveis com o uso do sensoriamento remoto, pois essa tecnologia permite identificar a gênese e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão ou dissolvidas na água (Rudorff, 2006).

As maiores concentrações de sólidos em suspensão produzem uma maior reflectância em comprimentos de onda do vermelho (Kirk, 1994). De modo geral, os pigmentos que atuam na fotossíntese provocam a diminuição da reflectância nas faixas do azul e do vermelho e o aumento na faixa do verde (Mantovani, 1993 apud Wachholz, 2007) (Figura 04).

Figura 04: Espectros de reflectância da água, de acordo com a presença dos constituintes opticamente ativos, em imagens do sensor hiperespectral Hyperion/EO-1 na região Amazônica.



Fonte: Rudorff. (2006, p. 86).

Alguns parâmetros limnológicos, como o caso da transparência e da turbidez, são influenciados pelos componentes opticamente ativos da água, formado pelos sedimentos em suspensão, os pigmentos fotossintetizantes, a matéria orgânica dissolvida e pelas próprias moléculas da água em si, que permitem a aferência desses dados por meio de sensoriamento remoto baseado no comportamento espectral da água, aliando esta ferramenta ao monitoramento da água.

2.4.2 Imagens Orbitais Multiespectrais: LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI

Os avanços iniciais na concepção dos sensores orbitais, ocorreu pela possibilidade de registrar simultaneamente diferentes respostas dos alvos em regiões distintas do espectro eletromagnético (NOVO, 2010, p. 98).

Menezes (2012b, p. 34-35) fala da eficiência dos sensores orbitais multiespectrais, destacando três motivos para o avanço desse modelo de aquisição de dados: 1º) o formato digital dos dados, trazendo o computador como um meio rápido para visualizar e processar as imagens; 2º) a operação em plataformas espaciais, permitindo a aquisição de dados em curto período de tempo de todo o globo terrestre; e 3º) aquisição de informações da superfície em diferentes intervalos espectrais, ampliando a utilização para além das aplicações temáticas das ciências da Terra. Essas características projetaram esse modelo de aquisição de dados da superfície terrestre como uma das mais bem-sucedidas inovações no sensoriamento remoto (MENEZES, 2012b, p. 34-35).

O primeiro sensor multiespectral foi o MSS (*Multi-Spectral-Scanners*), levado a bordo dos primeiros satélites da série LANDSAT, sendo aperfeiçoado na concepção do sensor TM (*Thematic Mapper*), que permitiu melhorias nas resoluções espacial, radiométrica e espectral (NOVO, 2010, p. 99). O último sensor lançado da série foi o OLI (*Operational Land Imager*), que apresenta melhorias na quantização dos pixels, que passou para 12 bits (EMBRAPA, 2013a). O Quadro 05 apresenta as principais características dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.

Quadro 05: Características de imageamento dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8.

Atributos Técnicos		
Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 8
 Lançamento	01/03/1984	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center
Veículo Lançador	Delta 3920	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (22/11/2011)	Ativo
Órbita	Polar, Heliossíncrona	Circular, Polar, Heliossíncrona
Altitude	705 km	705 km
Faixa imageada	185 km	185 km
Inclinação	99,2º	99,2º
Duração da Órbita	98,2 min	98,9 min
Horário de Passagem	09h / 11h	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Sensores	MSS (até ago./1995) e TM	OLI e TIRS

Fonte: EMBRAPA (2013a); INPE (2019).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Em relação as resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica das imagens produto dos sensores TM e OLI, o Quadro 06 permite a comparação entre os valores apresentados nas imagens desses sensores.

Quadro 06: Resoluções de imageamento dos sensores TM e OLI.

Satélite/ Sensor	Resoluções			
	Temporal	Espacial	Espectral (μm)	Radiométrica
LANDSAT 5 TM	16 dias	30 m	B1 - Azul (0,45 - 0,52)	8 bits
			B2 - Verde (0,52 - 0,60)	
			B3 - Vermelho (0,63 - 0,69)	
			B4 - Infravermelho próximo (0,76 - 0,90)	
			B5 - Infravermelho médio (1,55 - 1,75)	
		120 m	B6 - Infravermelho termal (10,4 - 12,5)	
		30 m	B7 - Infravermelho distante (2,08 - 2,35)	
LANDSAT 8 OLI	16 dias	30 m	B1 - Aerossol, costeira (0,43 - 0,45)	12 bits
			B2 - Azul (0,45 - 0,51)	
			B3 - Verde (0,52 - 0,60)	
			B4 - Vermelho (0,63 - 0,68)	
			B5 - Infravermelho próximo (0,84 - 0,88)	
			B6 - Infravermelho médio (1,56 - 1,66)	
			B7 - Infravermelho distante (2,10 - 2,30)	
		15 m	B8 - Pancromática (0,50 - 0,68)	
		30 m	B9 - Cirrus (1,36 - 1,39)	

Fonte: EMBRAPA (2013a); USGS (2015).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Os sensores multiespectrais têm a função de medir e registrar a energia refletida e/ou emitida pelos objetos presentes na superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda. Os dados obtidos pelo imageamento podem ser apresentados de diversas formas como gráficos ou imagens, permitindo a análise das informações por meio da distinção dos alvos terrestres (NOVO, 2010).

A resposta espectral dos alvos terrestres em distintas faixas espectrais, favorecem a combinação de bandas para enfatizar diferentes aspectos dos objetos presentes na superfície. As principais aplicações das bandas espectrais dos sensores TM e OLI, com ênfase as faixas do visível e do infravermelho próximo, podem ser visualizadas no Quadro 07.

Quadro 07: Principais aplicações das bandas utilizadas do LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI.

Satélite		Bandas	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas
LANDSAT 5	LANDSAT 8			
TM 1	OLI 2	Visível (Azul)	TM (0,45 - 0,52) OLI (0,45 - 0,51)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos.
TM 2	OLI 3	Visível (Verde)	TM (0,52 - 0,60) OLI (0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água.
TM 3	OLI 4	Visível (Vermelho)	TM (0,63 - 0,69) OLI (0,63 - 0,68)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, assumindo coloração escura, permitindo bom contraste com as áreas ocupadas (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Permite o mapeamento da drenagem recorrendo a visualização da mata galeria e o entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal.
TM 4	OLI 5	Infravermelho (Próximo)	TM (0,76 - 0,90) OLI (0,84 - 0,88)	É responsável pelo registro da energia refletida pela vegetação, sendo útil para a identificação e realce entre áreas de agropecuária/solo e terra/água. Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas.

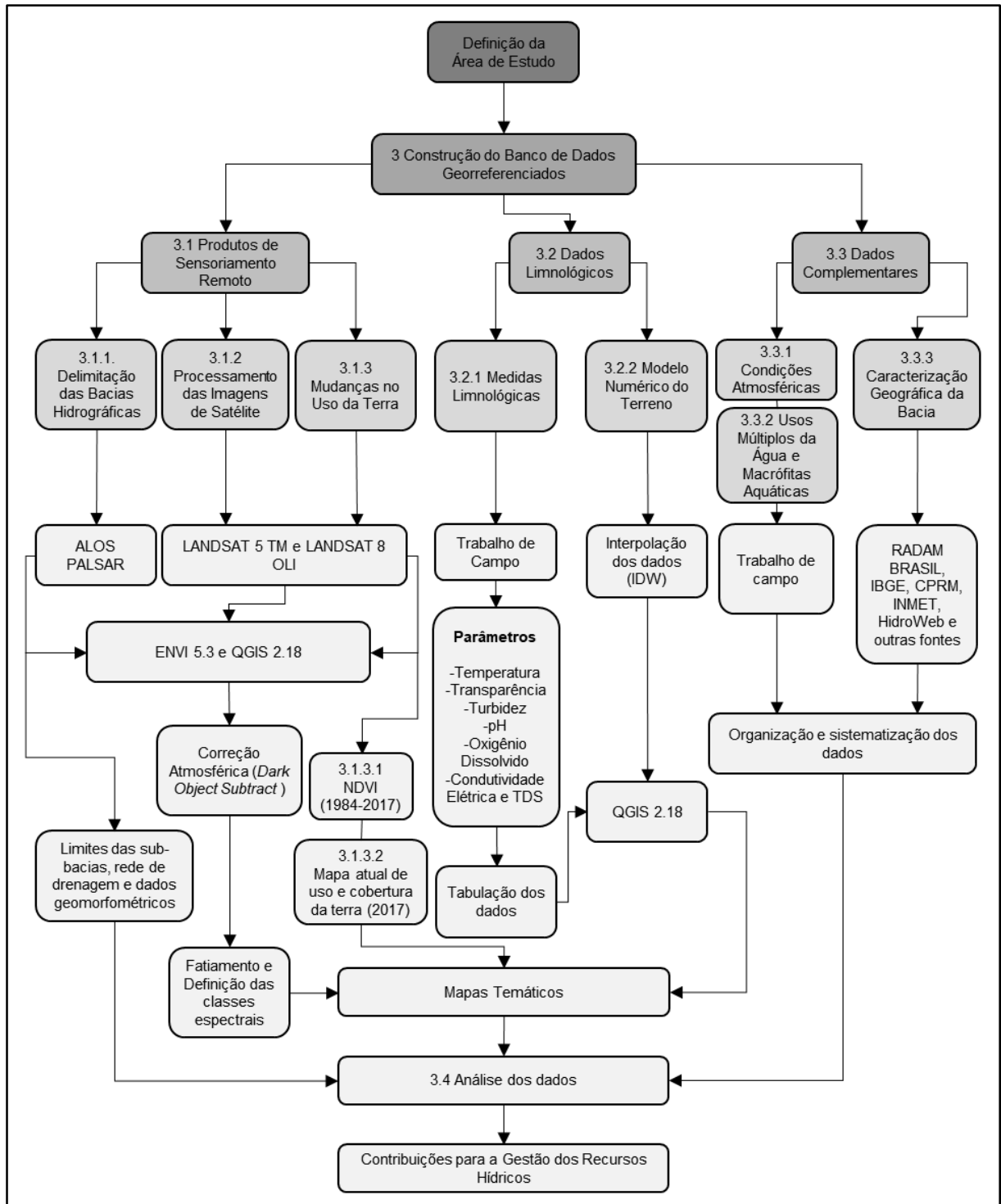
Fonte: INPE (2009); Novo (2009, p. 182).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

3 BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS

A metodologia utilizada constituiu-se na construção de um banco de dados georreferenciados (BDG), seguindo as etapas conforme exposto no organograma apresentado na Figura 05.

Figura 05: Organograma de desenvolvimento metodológico.



Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Os documentos componentes do banco de dados georreferenciados são os dados gerados a partir de modelo digital de elevação (MDE); as informações obtidas pelo processamento de imagens multiespectrais, LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI; as bases vetoriais adquiridas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx); além dos dados georreferenciados em campo.

Essas informações foram trabalhadas em Sistema de Informação Geográfica (SIG), a fim de gerar as informações necessárias para a elaboração de mapas e outros produtos, base para as discussões dos resultados. Estes processos são minuciosamente esmiuçados ao longo das subseções a seguir, explicitando as etapas de processamento digital de imagens (PDI) desde a aquisição dos dados até a elaboração dos produtos finais.

Além disso, foram realizados quatro trabalhos de campos. Tiveram por finalidade o reconhecimento da área, a fim de visualizar os agentes atuantes na bacia hidrográfica do rio Miriti, tanto em terra, contemplando os usos da terra e a cobertura vegetal, quanto na água, com medição dos dados de qualidade da água e registro dos usos múltiplos dos recursos hídricos na área de estudo.

3.1 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Os produtos de sensoriamento remoto utilizados foram o MDE do satélite Alos sensor Palsar e as imagens de satélite multiespectrais do LANDSAT, missões 5 e 8, obtidas respectivamente, pelos sensores TM e OLI, às quais foram submetidas ao PDI.

As técnicas de PDI consistem na aplicação de uma grande variedade de técnicas de processamento por meio de operações matemáticas em ambiente SIG para obtenção de melhorias na qualidade dos aspectos espectrais e espaciais, de acordo com a aplicação necessária (MENESES; ALMEIDA, 2012b, p. 82).

3.1.1 Delimitação das Bacias Hidrográficas

A delimitação de uma bacia hidrográfica pode ser definida a partir de seu ponto de exutório, com auxílio de bases cartográficas prontas que contenham altimetria ou modelos digitais de elevação (MDE).

A precisão dos produtos gerados fica a cargo não somente do tamanho da bacia a ser mapeada, mas da qualidade e riqueza das resoluções dos produtos utilizados. Com base nisso, para a delimitação das bacias hidrográficas e extração da rede de drenagem foi utilizado o MDE Alos Palsar, adquirido no portal *Vertex* da *Alaska Satellite Facility* (ASF).

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite-1*), também conhecido como DAICHI, missão da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), ficou ativo entre os dias 16/05/2006 e 21/04/2011. Era composto por três sensores: o radiômetro AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2*), o radiômetro multiespectral PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e o sensor de micro-ondas PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) (EMBRAPA, 2013b; ASF, 2018a).

O sensor PALSAR é um radar de abertura sintética (SAR) que opera na Banda L, possuía a capacidade de obter imagens diurnas ou noturnas e em quaisquer condições atmosféricas (EMBRAPA, 2013b). Possui quatro canais espectrais, dois de feixe fino, polarização única (FBS) e polarização dupla (FBD); além de polarização quádrupla, também conhecida como modo polarimétrico (PLR); e feixe largo ScanSAR (WB1, WB2) com perda considerável de resolução (ASF, 2018b).

Com a finalidade de corrigir a geometria do terreno e a radiometria do radar SAR e apresentar os dados em formato GeoTIFF (*Geo-referenced Tagged Image File Format*), a ASF criou o projeto *Radiometrically Terrain-Corrected* (RTC), que torna esses dados mais acessíveis para comunidade interessada. Os dados incluídos no projeto RTC são as cenas de feixe fino e de polarimétricos em todas as áreas emersas do globo, exceto na Antártida, Groenlândia, Islândia e norte da Europa e Ásia (ASF, 2018b).

Para todas as áreas alcançadas pelo projeto foram produzidos tanto um produto de melhor resolução espacial (*Hi-Res Terrain Corrected*) de 12,5 metros, quanto um produto de pior resolução espacial (*Low-Res Terrain Corrected*) de 30 metros (ASF, 2018b).

Visando o melhor delineamento e precisão, para este trabalho foi utilizado o produto de melhor resolução espacial, o Alos Palsar de 12,5 m. Mediante cadastro no portal de dados *Vertex* (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>), foi adquirida a cena ALPSRP248567120, com as características explicitadas no Quadro 08.

Quadro 08: Características de aquisição da cena do Alos Palsar.

Atributos técnicos	
Data de Aquisição	24/09/2010
Modo de feixe	FBD
Caminho	77 m
Moldura	7.120 m
Direção	Ascendente
Polarização	HH + HV
Ângulo Fora do Nadir	34,3°
Rotação de Faraday	0,47°
Órbita Absoluta	24.856 km
Frequência	Banda L

Fonte: Catálogo de imagens da ASF (2018).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A cena adquirida é formada por dez arquivos, destes o item “AP_24856_FBD_F7120_RT1.dem”, com a terminação DEM (*Digital Elevation Model*) em português MDE, o único arquivo com dados topográficos. Este arquivo foi trabalhado em SIGs por meio do software livre e gratuito QGIS 2.18 Las Palmas, com o auxílio de ferramentas do GRASS 7 (*Geographic Resources Analysis Support System*) e do SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*), além de outros complementos.

Para aquisição das informações desejadas, seguiram-se algumas etapas importantes para preparação do MDE, vale ressaltar que tais procedimentos foram necessários para o sucesso do delineamento dos dados hidrográficos:

- a) Reprojeção: a cena estava atrelada ao datum WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), entretanto como datum padrão para o BDG foi definido como sendo o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000), por ser o sistema de referência geodésico brasileiro. Além disso, por se tratar de dados métricos, a projeção utilizada foi a UTM (Universal Transversa de Mercator) zona 20 Sul;
- b) Recorte: foi definido um quadrante que excedesse os limites previstos da bacia e fez-se o recorte do MDE. Esta etapa torna-se necessária pois diminui o tempo e a quantidade de dados trabalhados, assim otimizando os processos;

- c) Substituição dos Pixels Negativos: esta etapa é necessária pois os valores negativos não permitem o preenchimento dos pixels vazios, para tal foi utilizado o geocalgoritmo “*raster calculator*” do SAGA, aplicando a formula “*ifelse(a<1, 1, a)*”, para assim modificar qualquer valor inferior a um (1) pelo próprio valor um (1). A execução desta etapa é imprescindível para a realização da etapa seguinte, pois para que se realize é preciso que todos os pixels possuam valores positivos;
- d) Preenchimentos dos Pixels Vazios: alguns dos pixels do MDE Alos Palsar não possuem informação, encontram-se vazios. Para que estes fossem preenchidos utilizou-se uma ferramenta do QGIS, chamada “preencher dados” no menu Raster. Esse procedimento consiste numa interpolação, utiliza-se os valores dos pixels adjacentes para estimar um valor para o pixel vazio;
- e) Remoção das Depressões: utilizando o geocalgoritmo “*r.fill.dir*” do GRASS 7 o MDE passou por um processamento que gerou um novo arquivo intitulado “*Drepressionless DEM*”, este procedimento consistiu-se no preenchimento de todas as áreas com buracos que atrapalhassem o delineamento dos cursos d’água, facilitando a extração das informações da bacia;
- f) Delimitação e extração dos dados hidrográficos: primeiramente foi utilizado o geocalgoritmo “*r.watershed*” programa de criação de bacias hidrográficas do GRASS 7, para tal como base foi utilizado o arquivo manipulado “*Drepressionless DEM*”. Por ter uma configuração fractal é necessário definir o tamanho mínimo das bacias hidrográficas, o valor escolhido foi cem (100), ou seja, equivalente a área de cem pixels. Este geocalgoritmo pode gerar diversos arquivos, mas para a delimitação da bacia e drenagem apenas três foram necessários: “*Drainage direction*” necessário para delimitar da bacia maior; “*Unique label for each watershed basin*” com as diversas bacias delimitadas dentro da área mínima definida; e “*Stream segments*” com a rede de drenagem. Para delimitar a bacia maior foi preciso utilizar o geocalgoritmo “*r.water.outlet*”, como base foi utilizado o raster “*Drainage direction*”, por fim definiu-se o ponto de exutório e a montante foi delimitada a bacia do rio Miriti;
- g) Vetorização: os arquivos gerados anteriormente são do tipo raster, por isso fez-se necessário o processo de vetorização. Para isso, no QGIS usou-se o

comando “converter raster para vetor (poligonizar)” no menu raster, vetorizando a bacia maior, as sub-bacias menores e a rede drenagem;

- h) Organização dos Vetores: Após a vetorização fez-se necessário algumas modificações nos arquivos criados: primeiramente houve a compartimentação da bacia principal em alto, médio e baixo curso, em função do perfil longitudinal do canal principal; em seguida para a bacia do baixo curso foram delimitadas sub-bacias, organizando as bacias menores de acordo com a rede drenagem, totalizando em dezenove sub-bacias além das áreas de contribuição direta; por seguinte a rede drenagem foi corrigida manualmente, criando um novo vetor em linhas baseado no arquivo gerado que estava como polígono e definiu-se a hierarquia de drenagem;
- i) Suavização: para a suavização foi utilizado o geoalgoritmo “v.generalize.smooth” do GRASS 7, métodos “*Chaiken*” e “*Snakes*” para a suavização dos vetores, visando obter um produto de melhor qualidade visual;
- j) Dados Estatísticos: por fim, foram obtidos com auxílio da “calculadora de atributos” no QGIS, os valores de área, perímetro e altitude média da bacia e das sub-bacias de drenagem.

Vale ressaltar, devido as diferenças altimétricas muito pequenas próximas a foz, foi necessário fazer ajustes manuais utilizando imagens de satélite disponíveis no Google Earth Pro.

3.1.2 Processamento das Imagens de Satélite

Para este trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5 e do OLI sensor do LANDSAT 8, especificamente da órbita/ponto 231/62. As imagens foram adquiridas gratuitamente, mediante cadastro gratuito no banco de dados GloVis (*Global Visualization Viewer*) da *United States Geological Survey* (USGS) (<https://glovis.usgs.gov/>).

Foram consultadas um catálogo de 453 imagens LANDSAT 5 TM e 101 imagens LANDSAT 8 OLI, somando um total de 554 imagens. Como critério, foram selecionadas somente imagens sem cobertura de nuvens e/ou sombras sobre a região de interesse, chegando a um total de 35 imagens selecionadas, sendo 28 do sensor TM e 07 do sensor OLI, organizadas conforme a Tabela 02.

Tabela 02: Série histórica de imagens LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI, com a cota registrada referente as datas de aquisição na estação fluviométrica de Manacapuru, localizada no rio Solimões.

Satélite e Sensor	Década	Data	Cota (m)
LANDSAT 5 TM	1980	04 de agosto de 1984	17,50
		12 de julho de 1987	17,70
		29 de agosto de 1987	13,73
		02 de agosto de 1989	19,45
LANDSAT 5 TM	1990	20 de julho de 1990	18,09
		21 de agosto de 1990	16,30
		21 de junho de 1991	18,55
		23 de julho de 1991	18,36
		08 de agosto de 1991	17,73
		23 de junho de 1992	15,61
		17 de julho de 1992	14,39
		19 de outubro de 1994	12,21
		20 de julho de 1996	18,52
		21 de junho de 1997	19,41
		13 de julho de 1999	19,91
15 de setembro de 1999	15,05		
LANDSAT 5 TM	2000	01 de setembro de 2000	16,97
		17 de setembro de 2000	15,21
		03 de agosto de 2001	17,58
		24 de julho de 2003	18,70
		09 de agosto de 2003	18,15
		29 de julho de 2005	16,24
		02 de setembro de 2006	12,93
		04 de agosto de 2007	17,47
		21 de julho de 2008	18,04
		LANDSAT 8 OLI	2010
14 de julho de 2011	18,76		
31 de agosto de 2011	15,03		
10 de agosto de 2015	19,69		
11 de setembro de 2015	16,89		
09 de junho de 2016	18,21		
27 de julho de 2016	17,52		
28 de junho de 2017	19,61		
30 de julho de 2017	18,37		
15 de agosto de 2017	16,87		

Fonte: Catálogo de imagens da USGS (2018).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Nas três primeiras décadas estudadas todas as imagens são LANDSAT 5 TM, na última dividem-se em LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI. Das 35 imagens adquiridas, 04 são da década de 1980, 12 da década de 1990, 09 dos anos 2000 e 10 da década de 2010. Os anos com maior número de imagens adquiridas são 1991 e 2017 com três imagens cada.

Quando se leva em consideração os meses de aquisição, as imagens concentram-se em cinco, com destaque para os meses de julho e agosto, conforme pode ser observado na Tabela 03.

Tabela 03: Meses mais frequentes dentre as imagens selecionadas.

Mês	Frequência
Junho	05
<i>Julho</i>	13
<i>Agosto</i>	11
Setembro	05
Outubro	01
Total	35

Fonte: Catálogo de imagens da USGS, 2018.

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As imagens de satélite são captadas a grandes distâncias da superfície terrestre, como consequência podem haver transformações na radiação medida pelo sensor. A camada atmosférica que a radiação precisa superar até o sensor é substancial, alguns fatores com o comprimento de onda e as condições atmosféricas influenciam na leitura do sensor (ROSA, 2009, p. 198).

Visto isso, a correção dos efeitos atmosféricos torna-se necessário para corrigir essas possíveis modificações. Novo (2010, p. 292) destaca três situações que esse procedimento se torna indispensável: a primeira, quando deseja-se obter os valores de reflectância, emitância ou retroespalhamento; a segunda, para utilização de algoritmos baseados em operações entre bandas; e o terceiro, para comparação entre diferentes imagens de diferentes datas.

Algumas dessas situações foram contempladas na análise dos dados espectrais, por isso fez-se necessária as correções dessas distorções. Essa etapa versa sobre o pré-processamento, pois consiste na aplicação de técnicas visando melhorar a qualidade visual das imagens. O tipo de correção a ser aplicado nas imagens depende dos objetivos propostos (MENESES; ALMEIDA, 2012b, p. 84).

As etapas de PDI foram realizadas com o auxílio do software ENVI 5.3 (*Environment for Visualizing Images*) para as imagens LANDSAT 5 TM e no QGIS 2.18 Las Palmas, para as imagens do LANDSAT 8 OLI. O pré-processamento iniciou com a correção atmosférica nas imagens, este procedimento consiste em atenuar os efeitos de dispersão da energia eletromagnética pelas moléculas e gases presentes na atmosfera, que limitam a leitura da radiância pelo sensor (ROSA, 2009, p. 200).

O método utilizado foi o *Dark Object Subtract* (DOS), correção atmosférica pelo pixel escuro, proposto por Chavez Junior (1988), consiste no uso do limite inferior dos valores digitais do histograma de cada banda, conforme a equação (1).

$$DOS = j * (ND - ND_{esp}) \quad (1)$$

Onde: j = medida estimada do ângulo de elevação solar e do cosseno do ângulo zenital solar; ND = números digitais da imagem; ND_{esp} = espalhamento atmosférico calculado para o sensor.

O espalhamento atmosférico adiciona um valor de brilho a todos os pontos da imagem, enquanto as áreas sombreadas deixam de exibir pixels com valores zero ou bem próximos de zero. São definidos valores de níveis digitais que são subtraídos de toda a cena, esses valores decrescem dos menores para os maiores comprimentos de onda (PONZONI et al. 2012, p.79-80; MENESES; ALMEIDA, 2012b, p. 88)

Segundo Meneses e Almeida (2012b, p. 89) este método não envolve somente a correção atmosférica, mas a transformação da imagem digital para imagem de reflectância, possibilitando comparar os espectros de reflectância extraídos das imagens. Essa transformação foi realizada de forma automática nos softwares citados, utilizando os dados da própria imagem, presentes no arquivo de metadados MTL.

Após o pré-processamento, primeiramente foi destacado um quadrante que abarcasse todo o limite da bacia do baixo curso do rio Miriti, esse recorte foi realizado visando a diminuição do tempo de processamento das imagens. Para a definição dos limites das massas d'água, notou-se a necessidade da delimitação temporal, pois em cada data existe variação na cota fluviométrica, conforme visto na Tabela 02.

Os limites da massa d'água foram obtidos a partir do fatiamento da banda 4 do sensor TM e da banda 5 do sensor OLI. Essas bandas correspondem ao infravermelho próximo, onde os corpos aquosos absorvem praticamente toda a energia recebida, permitindo o mapeamento das áreas com lâmina d'água e seu delineamento preciso de acordo com a resolução espacial dos sensores.

Como resultado do fatiamento foram obtidos arquivos vetoriais das massas d'água existentes no quadrante, o destacamento da massa d'água do baixo rio Miriti foi realizado no QGIS, onde também foram realizados pequenos ajustes no delineamento, pois ao longo do tempo o canal fluvial sofreu diversas modificações no seu leito.

Em seguida, foi realizado o fatiamento das bandas do visível, nas imagens LANDSAT 5 TM correspondem as bandas B1 (Azul), B2 (Verde) e B3 (Vermelho), enquanto nas imagens do sensor OLI LANDSAT 8 referem-se as bandas, B2 (Azul), B3 (Verde) e B4 (Vermelho). Cada uma das bandas do visível, em todas as datas, foram qualificadas conforme as classes de reflectância observadas no Quadro 09.

Quadro 09: Legenda das classes de reflectância e degradê de cores correspondente.

Energia Refletida	Degradê de Cores	RGB
0,0000 – 0,0025		R=130, G=255, B=255
0,0025 – 0,0050		R=000, G=255, B=255
0,0050 – 0,0075		R=000, G=255, B=220
0,0075 – 0,0100		R=000, G=255, B=180
0,0100 – 0,0125		R=000, G=255, B=140
0,0125 – 0,0150		R=000, G=255, B=100
0,0150 – 0,0175		R=060, G=255, B=000
0,0175 – 0,0200		R=090, G=255, B=000
0,0200 – 0,0225		R=130, G=255, B=000
0,0225 – 0,0250		R=170, G=255, B=000
0,0250 – 0,0275		R=200, G=255, B=000
0,0275 – 0,0300		R=230, G=255, B=000
0,0300 – 0,0325		R=255, G=255, B=000
0,0325 – 0,0350		R=255, G=230, B=000
0,0350 – 0,0375		R=255, G=200, B=000
0,0375 – 0,0400		R=255, G=180, B=000
0,0400 – 0,0425		R=255, G=160, B=000
0,0425 – 0,0450		R=255, G=130, B=000
0,0450 – 0,0475		R=255, G=100, B=000
0,0475 – 0,0500		R=255, G=070, B=000
0,0500 – 0,0525		R=255, G=040, B=000
0,0525 – 0,0550		R=225, G=020, B=020
0,0550 – 0,0575		R=200, G=030, B=030
0,0575 – 0,0600		R=180, G=040, B=040

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As bandas do visível fatiadas foram recortadas utilizando os limites da massa d'água correspondente a cada data. Em seguida, as classes foram tematizadas conforme o degradê de cores apresentado no Quadro 09, finalizando com a elaboração de mapas temáticos.

3.1.3 Mudanças nos Usos da Terra e Cobertura Vegetal

A ação do homem como agente modificador do espaço, está diretamente conectada aos elementos da natureza, que lhe proporcionem desenvolvimento, sobrevivência e conforto (DREW, 2010). A partir das necessidades humanas o espaço é apropriado e modificado para diversos caracteres, relacionados com a função socioeconômica que o homem atribui à superfície (IBGE, 2013).

Segundo Rosa (2009, p. 169) o termo uso da terra refere-se as alterações que o homem faz no espaço para seu estabelecimento e utilização dos seus recursos, muitas vezes também é utilizado o termo uso do solo, os quais podem ser visualizados como sinônimos. O termo cobertura da terra refere-se aos elementos da natureza que se sobrepõem a superfície terrestre, não necessariamente refletindo o uso realizado, apenas exprimem diretamente o que é observado na superfície terrestre (TERAMATSU, 2012, p. 07).

3.1.3.1 NDVI

Para visualizar as transformações espaço-temporais nos usos da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas, optou-se pela utilização do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), em português Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, pois possibilita uma análise mais rápida das mudanças espaciais, tanto por análise estatística quanto por classificação temática.

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, sendo apresentados em diferentes tons de cinza. Deste modo, os valores próximos de 1, com tons de cinza mais claros, estão relacionados às áreas com maior quantidade de vegetação, enquanto os valores próximos de -1 são áreas sem cobertura vegetal, representadas por tons de cinza mais escuros (PONZONI et al., 2012, p. 90-91).

O cálculo do NDVI é feito a partir da subtração da reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R) dividido pela soma das reflectâncias das duas bandas, conforme observado na equação 2.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (2)$$

Onde: ρ_{NIR} = reflectância do infravermelho próximo; ρ_R = reflectância do vermelho.

Foram utilizadas trinta e cinco imagens entre LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI. Nas imagens do sensor TM a faixa do infravermelho próximo corresponde a banda 4 e a faixa do vermelho a banda 3, enquanto nas imagens do sensor OLI as faixas correspondem, respectivamente, a bandas 5 e 4.

Em todas as imagens foi aplicada correção atmosférica (DOS) e recorte de um quadrante abrangendo a área de interesse, conforme os procedimentos apresentados na seção 3.1.2. Para o cálculo do NDVI foi utilizado a matemática de bandas do ENVI 5.3, utilizando a fórmula simplificada $(float(b4)-float(b3))/(float(b4)+float(b3))$ no caso das imagens TM e também no caso das imagens OLI, já que a banda 1 não foi considerada.

Os valores típicos do NDVI para as áreas de solo exposto são próximos a zero, a água e as nuvens apresentam valores negativos, enquanto as áreas de pastagem, de agricultura e florestadas, possuem valores próximos a 1, variando de acordo com a estratificação e o índice de desenvolvimento da vegetação. Partindo dessa premissa, pôde-se aferir sobre as transformações no espaço associando os diferentes usos com a quantidade de vegetação.

3.1.3.2 Mapa Atual dos Usos e Cobertura

Para melhor visualização dos usos e cobertura das terras atuais foi elaborado um mapa temático. Os dados de sensoriamento remoto podem ser correlacionados a superfície e usados para mapeamento temático, interpretadas a partir de modelos, tonalidades, texturas, formas e arranjos espaciais, pois o sensor remoto só registra a cobertura da terra e não retratam a atividade diretamente (IBGE, 2013).

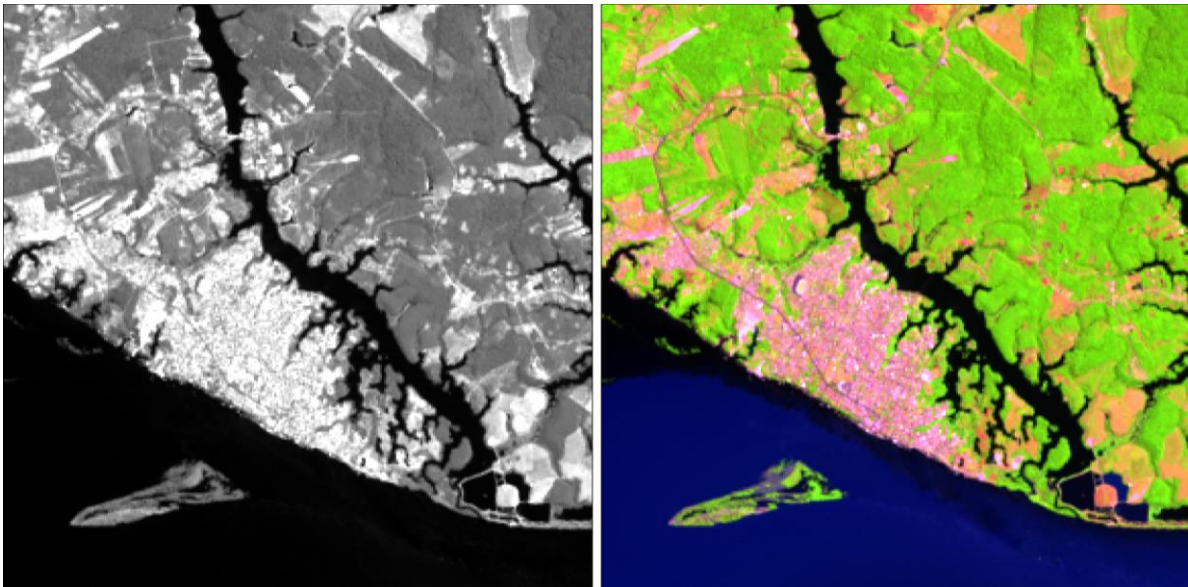
Para a elaboração do mapa de usos da terra e cobertura vegetal foi selecionada uma imagem LANDSAT 8 OLI, a mais recente do BDG, data de passagem em 15 de agosto de 2017. O SIG utilizado para PDI foi o QGIS, por meio dos recursos do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). Foram seguidas as etapas de pré-processamento, processamento e pós-processamento dos dados gerados, desde a aquisição da imagem até a elaboração do mapa final.

Primeiramente fez-se a preparação das imagens, iniciando com o pré-processamento: realizou-se a correção atmosférica; a conversão para reflectância; o empilhamento das bandas B2 (Azul), B3 (Verde), B4 (Vermelho), B5 (Infravermelho Próximo), B6 (Infravermelho médio) e B7 (Infravermelho distante); o recorte da imagem utilizando os limites da bacia; e por fim, a composição colorida das bandas.

Dentre as composições testadas para a identificação dos alvos e obtenção de informações espaciais, foi escolhida a composição falsa cor, associando a banda 6 a cor vermelha (R), a banda 5 a cor verde (G) e a banda 4 a cor azul (B), que produz uma composição colorida representada por 654/RGB.

Segundo Florenzano (2011, p. 22) as imagens obtidas por sensores eletrônicos são originalmente processadas em preto e branco, contudo o olho humano distingue cerca de cem vezes mais cores do que tons de cinza, logo a composição colorida faz-se necessária, atribuindo uma forma de realce a imagem (Figura 06).

Figura 06: Comparação de imagens, a esquerda em tons de cinza a banda 6 (infravermelho de ondas curtas) e a direita composição colorida (654/RGB).



Fonte: Imagem LANDSAT 8 OLI (231/62), data de passagem 15/08/2017.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Após a composição, optou-se pela classificação supervisionada, que consiste na interpretação visual da imagem com base em chaves de interpretação, selecionando as amostras conforme um padrão de tonalidade/cor, forma e de textura dos objetos dispostos na imagem (JENSEN, 2009, p. 135). As classes temáticas definidas para o mapeamento foram quatro: água, agropecuária, áreas expostas e vegetação natural (Quadro 10).

Quadro 10: Chaves de interpretação visual de imagens de acordo com as classes de usos da terra e cobertura vegetal.

Classes	Tonalidade/Cor	Forma	Textura
Água	Preto (limpa) e tons de azul (material em suspensão)	Irregular, linear retilínea ou curvilínea	Lisa
Agropecuária	Tons de vermelho e rosa	Regular	Lisa
Áreas Expostas	Branca e magenta, com variações de tons	Regular	Lisa ou ligeiramente rugosa
Vegetação Natural	Tons de verde	Irregular	Rugosa

Fonte: Jensen, 2009; Florenzano, 2011.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

O classificador que se mostrou mais indicado a ser utilizado para o mapeamento foi o *Minimum Distance*, pois foi o que obteve os resultados mais próximos da realidade. De acordo com Fonseca e Fernandes (2004, p. 119) os critérios para se estabelecer esse método de classificação, consiste em atribuir a cada elemento da imagem distância mínima a média de cada classe.

Após a classificação foi realizado o pós-processamento, para validação da classificação e análise da acurácia dos dados. A avaliação da exatidão pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância, estes podem ser expressos como concordância total ou por classes (ROSA, 2013, p. 130), visto isso foi obtido o coeficiente de concordância *Kappa* (K), conforme a equação 3:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (3)$$

Onde: **n** = número de observações; **r** = número de linhas matriz; **x_{ii}** = número de observações na linha **i** e coluna **i**; **x_{i+}** e **x_{+i}** = totais marginais da linha **i** e coluna **i**, respectivamente.

O valor do coeficiente Kappa varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior será a concordância na classificação e quanto mais próximo de zero, maior o indicativo de concordância nula (MENESES; SANO, 2012, p. 206). Para a classificação do mapeamento uso terra e cobertura vegetal, obteve-se como resultado o valor K=0,96 considerada perfeita nessa escala.

Landis e Koch (1977, p. 165) estabeleceram uma classificação entre os diferentes níveis de concordância, para interpretação do coeficiente Kappa, conforme mostra a Tabela 04.

Tabela 04: Classificação do coeficiente *Kappa*, para avaliação da exatidão da classificação supervisionada.





Coeficiente <i>Kappa</i>	Nível de Concordância
< 0	Nula
0,00 a 0,20	Mínima
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Perfeita

Fonte: adaptado de Landis e Koch (1977, p. 165).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Feito isso, a imagem com as classes temáticas foi vetorizada, os dados estatísticos referentes a área das classes temáticas na bacia e das sub-bacias foram obtidos com o uso da calculadora de atributos no QGIS, por fim, foi elaborado o *layout* final, com a definição de cores para a representação das classes temáticas e disposição dos elementos básicos para a composição do mapa (Quadro 11).

Quadro 11: Características das classes de usos da terra e cobertura vegetal.

Classes	Cor	RGB	Características
Agropecuária		R=245, G=235, B=025	Pastagens, áreas de agricultura permanente ou temporária, vegetação rasteira.
Água		R=60, G=200, B=240	Rio, represas, lagos de aquicultura.
Áreas Expostas		R=245, G=165, B=190	Áreas edificadas, áreas de solo exposto, rodovias, construções isoladas.
Vegetação Natural		R=110, G=170, B=065	Vegetação arbórea, arbustiva e macrófitas aquáticas.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

3.2 DADOS LIMNOLÓGICOS

Inicialmente foram definidos cinquenta pontos de medição, de acordo com o delineamento amostral. Foram distribuídos de forma irregular ao longo da lâmina d'água, contemplando o eixo central, ambas as margens e as reentrâncias dos afluentes, contudo para adequar-se as condições de campo foram feitas medições em quarenta e um pontos georreferenciados (Quadro 12).

Quadro 12: Localização e horário de coleta dos pontos amostrais (29 mar. 2018).

Pontos	Localização	Latitude	Longitude	Hora da Coleta
RM01	Ponte sobre o rio Miriti	03° 15' 50,44" S	60° 37' 37,47" W	09:23
RM02	Igarapé Catolé	03° 15' 57,44" S	60° 37' 46,02" W	09:48
RM03	Rio Miriti	03° 16' 06,42" S	60° 37' 40,96" W	10:01
RM04	Igarapé S/N	03° 16' 06,54" S	60° 37' 15,06" W	10:27
RM05	Rio Miriti	03° 16' 17,95" S	60° 37' 27,92" W	10:43
RM06	Igarapé São Pedro	03° 16' 35,46" S	60° 37' 40,30" W	11:01
RM07	Rio Miriti	03° 16' 37,96" S	60° 37' 21,22" W	11:13
RM08	Igarapé Dente de Leite	03° 16' 44,29" S	60° 37' 24,60" W	11:23
RM09	Igarapé do Mija Onça	03° 16' 42,21" S	60° 37' 01,18" W	11:33
RM10	Igarapé do Mija Onça	03° 16' 33,79" S	60° 36' 58,20" W	11:47
RM11	Igarapé S/N	03° 16' 40,96" S	60° 36' 57,40" W	11:58
Chuva				
RM12	Rio Miriti	03° 16' 48,02" S	60° 37' 12,37" W	12:28
RM13	Igarapé da Feira	03° 16' 55,25" S	60° 37' 11,85" W	12:39
RM14	Orla do Miriti (Captação)	03° 16' 58,43" S	60° 37' 06,31" W	12:42
Almoço				
RM15	Rio Miriti	03° 16' 59,28" S	60° 36' 52,93" W	14:14
RM16	Igarapé da Áurea	03° 16' 48,95" S	60° 36' 40,92" W	14:21
RM17	Igarapé da Áurea	03° 16' 42,98" S	60° 36' 34,40" W	14:25
Chuva				
RM18	Rio Miriti	03° 17' 06,54" S	60° 36' 43,31" W	14:39
RM19	Rio Miriti (Captação)	03° 17' 09,68" S	60° 36' 46,86" W	14:44
RM20	Igarapé do Cai n'Água	03° 17' 17,65" S	60° 36' 58,09" W	14:52
RM21	Igarapé Paçoca	03° 17' 19,63" S	60° 36' 45,01" W	15:05
RM22	Igarapé Paçoca	03° 17' 30,31" S	60° 36' 50,28" W	15:12
RM23	Igarapé S/N	03° 17' 02,07" S	60° 36' 30,97" W	15:27
RM24	Rio Miriti	03° 17' 14,61" S	60° 36' 32,66" W	15:35
RM25	Rio Miriti	03° 17' 25,14" S	60° 36' 27,20" W	15:43
RM26	Igarapé do Areal	03° 17' 37,19" S	60° 36' 36,09" W	15:53
RM27	Igarapé do Areal	03° 17' 51,69" S	60° 36' 44,05" W	15:58
RM28	Igarapé S/N	03° 17' 48,78" S	60° 36' 27,92" W	16:15
RM29	Rio Miriti	03° 17' 37,22" S	60° 36' 20,57" W	16:21
RM30	Igarapé Paraíso D'Ângelo	03° 17' 51,37" S	60° 36' 17,81" W	16:29
RM31	Igarapé Paraíso D'Ângelo	03° 18' 06,82" S	60° 36' 18,57" W	16:36
RM32	Rio Miriti	03° 17' 44,48" S	60° 36' 10,52" W	16:46
RM33	Rio Miriti	03° 17' 54,34" S	60° 36' 00,76" W	16:56
RM34	Igarapé S/N	03° 17' 41,92" S	60° 35' 58,51" W	17:04
RM35	Igarapé S/N	03° 17' 35,76" S	60° 35' 49,60" W	17:13
RM36	Igarapé S/N	03° 18' 02,83" S	60° 36' 04,54" W	17:27
RM37	Rio Miriti	03° 18' 03,88" S	60° 35' 48,78" W	17:36
RM38	Igarapé S/N	03° 17' 59,58" S	60° 35' 39,69" W	17:41
RM39	Igarapé S/N	03° 18' 18,70" S	60° 35' 56,24" W	17:52
RM40	Rio Miriti (Barragem)	03° 18' 16,59" S	60° 35' 42,90" W	18:00
RM41	Rio Miriti	03° 18' 32,69" S	60° 35' 50,95" W	18:07

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

3.2.1 Medidas Limnológicas

A coleta de dados limnológicos foi realizada no dia 29 de março de 2018, entre o horário de 09h23min e 18h07min, a medição foi realizada em ambiente aquático com auxílio de um barco. As informações observadas foram registradas em ficha de campo, organizada previamente (Apêndice A). No dia do campo, a cota no rio Solimões segundo a estação fluviométrica de Manacapuru era de 15,47 m.

As amostras de água foram medidas *in situ* de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) com apoio da Agência Nacional das Águas (ANA) (CETESB, 2011). As variáveis medidas foram temperatura, transparência da água, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e TDS, realizadas em campo (Apêndice B).

a) Temperatura (°C): a temperatura da água foi medida com auxílio de um termômetro digital acoplado a sonda multiparâmetro. A medida foi realizada submergindo o aparelho diretamente no corpo d'água.

b) Transparência da água (cm): essa variável foi obtida com o auxílio de um disco de *Secchi* de 30 centímetros de diâmetro, quadriculado nas cores preto e branco, acoplado a uma corda graduada. O operador fica posicionado de maneira que a visão fique vertical ao eixo central do disco em local com pouca agitação da água, preferencialmente à sombra, o disco foi submerso no local de medida até seu desaparecimento. A profundidade limite em que se pode ver o disco é a transparência da água (CETESB, 2018).

c) Turbidez (NTU): para a obtenção da turbidez foi utilizado um turbidímetro digital portátil. O método utilizado para a medição da turbidez é o nefelométrico, baseado na intensidade de luz dispersa pela amostra num ângulo de 90° em relação à direção da luz incidente, comparada com a intensidade de luz dispersa por uma suspensão padrão.

d) pH: a determinação do potencial hidrogeniônico foi realizada diretamente em campo com phmetro acoplado em aparelho de medição multiparâmetro. O pH pode ser classificado com ácido, básico ou alcalino, quanto maior é concentração de íons hidrônio (H_3O^+) e menor a concentração de íons (OH^-), menor será o valor do pH, sendo inversamente verdadeiro para águas básicas ou alcalinas.

e) Oxigênio Dissolvido (mg/L): a medição foi realizada diretamente no corpo d'água utilizando oxímetro presente em sonda multiparâmetro.

f) Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e TDS (mg/L): foram determinadas pela quantidade de sais presentes na água, fornecendo uma medida indireta de concentração dos poluentes e uma indicação das modificações na composição do corpo d'água. A medição foi realizada com condutivímetro acoplado a uma sonda multiparâmetro.

Para as medições foram utilizados três aparelhos: o medidor multiparâmetro (HI98194) com sonda (HI7698194) (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e TDS), o turbidímetro portátil (HI93703C) (turbidez) e o disco de Secchi (transparência da água) (Figura 07).

Figura 07: Aparelhos utilizados para a medição dos dados limnológicos. **A:** Medidor multiparâmetro com sonda; **B:** Turbidímetro portátil; **C:** Disco de Secchi.



Fonte: Hanna Instruments; Milan (2019).

As especificações sobre a gama, resolução, precisão e calibração dos aparelhos de medição das variáveis qualidade de água, bem como as respectivas variáveis limnológicas, estão organizadas no Quadro 13.

Quadro 13: Especificações sobre o medidor multiparâmetro com sonda, o turbidímetro portátil e disco de *Secchi*.

Aparelho	Parâmetro	Gama	Resolução	Precisão	Calibração
Medidor Multiparâmetro com Sonda	Temperatura (°C)	-5,00 a 55,00 °C	0,01 °C	± 0,15 °C	Automática a 1 ponto personalizado
	pH	0,00 a 14,00 pH	0,01 pH	± 0,02 pH	Automática 1, 2 ou 3 pontos com reconhecimento automático de 5 padrões (pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01)
	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,00 a 50,00 (mg/L)	0,01 (mg/L)	0,00 a 30,00 (mg/L): ± 1,5% da leitura ou ±0,10 (mg/L) o que for maior	Automática 1 ou 2 pontos a 0, 100% ou 1 ponto personalizado
	Condutividade Elétrica (µS/cm)	0 a 200 mS/cm	1 µS/cm	±1% da leitura ou ±1 µS/cm o que for maior	Automática a um ponto, com 2 soluções padrão (84 µS/cm, 1413 µS/cm)
	TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) (mg/L)	0 a 400000 (mg/L)	1 ppm (mg/L)	±1% da leitura ou ±1 ppm (mg/L) o que for maior	Baseada na calibração de condutividade
Turbidímetro	Turbidez (NTU)	0,00 a 1000 NTU	0,01 (0,00 a 50,00 NTU)	±0,5 NTU	Três pontos (0 NTU, 10 NTU e 500 NTU)
Disco de <i>Secchi</i>	Transparência (cm)	Corda graduada de 5 m de comprimento	1 cm	Operação manual	Não se aplica

Fonte: Manual de instruções medidor multiparâmetro (HI 98194), turbidímetro portátil (HI93703).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A calibração do medidor multiparâmetro com sonda e do turbidímetro foi realizada poucas horas antes da medição em campo. Foram utilizados reagentes

conforme os respectivos parâmetros físico-químicos. Para a calibração do phmetro foram utilizadas as soluções tampão de pH 4, pH 7 e pH 10; para o condutímetro foi utilizada a solução de condutividade 1.413 $\mu\text{S}/\text{cm}$; a solução padrão zero de oxigênio dissolvido a base de sulfito de sódio para calibração do oxímetro; e as soluções de 0 NTU e 100 NTU para calibração do medidor de turbidez.

3.2.2 Modelo Numérico do Terreno

A interpolação consiste no processo de definição de quais pontos amostrados são melhor relacionados entre si, para determinar os valores das áreas não amostradas, com base num método definido (MIRANDA, 2015, p. 242). O método empregado foi o inverso ponderado da distância, este estima um valor para uma área não amostrada como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança (MIRANDA, 2015, p. 258-259).

Os dados obtidos em campo foram tabulados por meio do programa Microsoft Office Excel 2016, para a organização dos dados em planilhas e cálculo da estatística descritiva (mínimo, máxima, média e desvio padrão). Por conseguinte, a planilha foi exportada para ambiente SIG, QGIS 2.18 Las Palmas, para espacialização dos dados com o auxílio do método de interpolação IDW (Inverse Distance Weighted) em português peso inverso ponderado da distância. Por fim, foram definidas as classes temáticas de acordo com a amplitude e resolução dos dados e a elaboração do layout final do mapa dos parâmetros de qualidade de água.

3.3 DADOS COMPLEMENTARES

Os dados complementares consistem nos dados coletados em campo ou secundários, que servem de suporte para a discussão dos dados principais. Alguns dados de fontes secundárias são os dados de chuva do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os dados hidrológicos e pluviométricos disponibilizados no HydroWeb (Sistema de Informações Hidrológicas), além de diferentes bases de dados geográficos, como do IBGE e BDGex. Em campo foram coletados dados referentes as condições do tempo, os usos da água e as características do canal.

3.3.1 Condições Atmosféricas

As informações de condições atmosféricas foram medidas e observada em campo, em todos os pontos amostrais. As variáveis consideradas foram temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e a cobertura de nuvens. A avaliação da nebulosidade foi feita a partir da observação direta do céu, no entanto as variáveis de tempo foram obtidas por meio do aparelho digital Termo-Higro-Anemômetro Luxímetro (LM-8000) (Quadro 14).

Quadro 14: Especificações sobre as variáveis de tempo medidas pelo aparelho Termo-Higro-Anemômetro Luxímetro (LM-8000).

Parâmetro	Unidade	Gama	Resolução	Precisão
Temperatura do Ar	°C	0,00 a 50°C	0,1°C	± 1,2°C
Velocidade do Vento	km/h	1,4 a 108,0 km/h	0,1 km/h	Menor que 20 km/h: ± 3% da escala completa; Maior que 20 km/h: ± 4% da escala completa
Umidade Relativa do Ar	%	10 a 95%	0,1%	Menor que 70%: ± 4%; Maior 70%: ± 4% da leitura + 1.2%.
Luminosidade	lux	0,00 a 20.000 Lux	1 Lux	± 5% da leitura

Fonte: Sonda terra equipamentos agrônômicos.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A partir dos dados complementares organizou-se uma síntese das variáveis de tempo medidas em campo. Para as variáveis quantitativas foram calculados média e desvio padrão, enquanto as variáveis qualitativas foram definidas com base na predominância na maioria dos pontos. A avaliação das condições atmosféricas foi realizada somente no campo de medições limnológicas, realizada no dia 29 de março de 2018.

3.3.2 Usos Múltiplos da Água e Macrófitas Aquáticas

Baseado na observação *in loco* foram analisadas as características do entorno amostral, visualizando os usos antrópicos da água, assim como os diferentes usos da terra e cobertura vegetal predominantes nas margens do rio (Mapa 01).

Mapa 01: Percursos e pontos percorridos durante os trabalhos de campo realizados na bacia do rio Miriti.



Fonte: Trabalho de campo.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Dois trabalhos de campo foram realizados para reconhecimento da área, os materiais de apoio utilizados foram câmera fotográfica, caderneta de campo e GPS (Sistema de Posicionamento Global) Garmin Map 64.

A primeira data 24 de fevereiro de 2017 foram onze pontos visitados nas sub-bacias hidrográficas da margem direita, onde está localizada a cidade de Manacapuru, verificou-se alguns pontos de ocupação nas margens do rio Miriti e em alguns dos seus afluentes. Foram identificados alguns pontos de usos antrópicos da água, como os locais de despejo de efluentes domésticos e de captação de água.

No dia 07 de julho de 2017, esse campo possuía o intuito de averiguar as condições de coletas de água, contudo o rio Miriti encontrava-se com seu nível muito baixo, com alguns dos seus afluentes inavegáveis. O campo foi realizado nas sub-bacias da margem esquerda, onde verificou-se os usos da terra e a cobertura vegetal além de pontos específicos dentro da cidade Manacapuru, como Balneário do Miriti e o complexo da Orla do Miriti.

Os usos múltiplos da água foram identificados e tipificados, a discussão desses usos foi baseada nos trabalhos elencados no Quadro 15.

Quadro 15: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o usos múltiplos da água realizados na bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).

Tema	Fontes Utilizadas
Usos Múltiplos da Água	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de usos consuntivos da água no Brasil (ANA, 2019); • Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno (ANA, 2017); • Usos múltiplos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Miriti (DAMASCENO, 2017); • Abastecimento público de água: um estudo na região metropolitana de Manaus-AM (SANTOS et al., 2017); • Água mineral: região metropolitana de Manaus (SILVA, 2016); • Geografia da saúde: o abastecimento de água e as doenças de veiculação hídrica na cidade de Manacapuru-AM (CRUZ, 2015); • O meio ambiente e os recursos hídricos (BENETTI; BIDONE, 2015); • Produção do espaço urbano e impactos socioambientais na cidade de Manacapuru-AM – o bairro do Biribiri (LIMA, 2011); • Percepção ambiental e sustentabilidade de agricultores familiares na localidade dos lagos do Paru e do Calado, Manacapuru/AM (Dário, 2011).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A identificação das macrófitas aquáticas foi realizada a partir de fotografias registradas em campo, focalizando a morfologia das espécies, principalmente de suas florescências, pois é o principal mecanismo para a identificação. Foram utilizados trabalhos recentes sobre as macrófitas aquáticas na Região Amazônica, preferencialmente com as espécies em ambiente de águas pretas, como Demarchi et al. (2018) e Lopes et al. (2015).

Em específico as espécies que ocorrem no rio Miriti, Santos e Liberato (2014) elaboraram cartilha sobre as macrófitas aquáticas encontradas próximas a áreas

antropizadas no rio Miriti, com o objetivo de esclarecer sobre a importância dessas plantas e seu papel no ambiente, bem como alertar sobre o aumento no crescimento de algumas espécies, como reflexo da poluição. As informações presentes nesse material foram fundamentais para a identificação das principais espécies encontradas ao longo dos trabalhos de campo.

3.3.3 Caracterização Geográfica da Bacia

Para caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Miriti, foram utilizadas bases de dados com informações sobre localização, área territorial, meios de acesso, processo de ocupação, população, economia, geologia, clima, geomorfologia, pedologia, hidrografia, vegetação, áreas protegidas, além de trabalhos e documentos referentes ao município onde está localizada a bacia. Esses temas foram divididos em três eixos temáticos, conforme as seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 dos resultados e discussão.

A primeira seção (4.1.1 Localização Geográfica e Processo de Ocupação) versa sobre a localização geográfica e o processo de ocupação na bacia hidrográfica do Miriti. Foi elaborado mapa de localização e foram gerados dados quantitativos referente a área territorial da bacia e das sub-bacias hidrográficas, bem como foi identificado a toponímia dos principais cursos d'água. Para entender o processo de ocupação foram consultados trabalhos referentes ao surgimento e desenvolvimento da cidade de Manacapuru, que ocupa parcialmente a bacia (Quadro 16).

Quadro 16: Temas e fontes utilizadas para entender o processo de ocupação da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).

Tema	Fontes Utilizadas
Processo de Ocupação	<ul style="list-style-type: none"> • Produção do espaço urbano e impactos socioambientais na cidade de Manacapuru-AM – o bairro do Biribiri (LIMA, 2011); • A vida e morte do rio Miriti: estudo da ação antrópica na cidade de Manacapuru (LIMA, 2005); • A ponte rio Negro e a reestruturação do espaço na região metropolitana de Manaus: um olhar a partir de Iranduba e Manacapuru (SOUSA, 2015).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Ao tratar da segunda seção (4.1.2 Sistema Populacional-Econômico), contemplou-se os temas referentes as questões populacionais e econômicas inerentes ao município de Manacapuru. A principal fonte de dados para esses temas foram o IBGE e o IDAM (Quadro 17).

Quadro 17: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o sistema populacional e econômico da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).

Tema	Fontes Utilizadas
População	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas dos municípios (IBGE, 2017a); • Estimativas da população 2018 (IBGE, 2018a); • Censo demográfico 1991, 2000, 2010 (IBGE, 2019); • Potenciais impactos do gasoduto Coari-Manaus no município de Manacapuru – AM (SOUSA, 2007).
Economia	<ul style="list-style-type: none"> • Produção agrícola municipal 2017 – lavoura permanentes (IBGE, 2018b); • Produção agrícola municipal 2017 – lavoura temporária (IBGE, 2018c); • Produção da pecuária municipal 2017 (IBGE, 2018d); • Produto interno bruto dos municípios (IBGE, 2018e); • Produção animal 2017 (IDAM, 2017a); • Relatório de atividades 2017 (IDAM, 2017b); • Produção do espaço urbano e impactos socioambientais na cidade de Manacapuru-AM – o bairro do Biribiri (LIMA, 2011); • A ponte rio Negro e a reestruturação do espaço na região metropolitana de Manaus: um olhar a partir de Iranduba e Manacapuru (SOUSA, 2015); • Das intervenções urbanas aos espaços de consumo em Manacapuru (SILVA, 2016); • Características socioambientais do município de Manacapuru (FVA, 2017).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Por fim, a terceira seção (4.1.3 Sistema Físico-Ambiental) sobre os aspectos físicos e ambientais da bacia hidrográfica do rio Miriti. Para todos os temas foram consultadas fontes bibliográficas e documentais (Quadro 18), em alguns casos como para a caracterização local da geomorfologia, clima, hidrologia e hidrografia foram gerados mapas, gráficos e tabelas para agregar as discussões sobre esses temas.

Quadro 18: Temas e fontes utilizadas para caracterizar o sistema físico-ambiental da bacia hidrográfica do rio Miriti (Manacapuru-AM).

Tema	Fontes Utilizadas
Geologia	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto RADAMBRASIL Folha SA.20 Manaus: geologia, geomorfologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra (BRASIL, 1978); • Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro (Domínio Baixo Solimões) (D’ANTONA et al., 2007); • Estudo biofísico, temporal e análise da vulnerabilidade natural à erosão dos solos no município de Manacapuru, Amazonas (OLIVEIRA, 2012).
Geomorfologia	<ul style="list-style-type: none"> • Compartimentação Geomorfológica (Geodiversidade do Estado do Amazonas) (DANTAS; MAIA, 2010) • Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro (Domínio Baixo Solimões) (D’ANTONA et al., 2007); • Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2014); • Manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009).
Pedologia	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto RADAMBRASIL Folha SA.20 Manaus: geologia, geomorfologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra (BRASIL, 1978); • Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2014); • Solos (Geodiversidade do Estado do Amazonas) (TEIXEIRA et al., 2014).

Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal (VELOSO et al., 1991); • Estado do Amazonas - Vegetação (IBGE, 2010); • Manual técnico da vegetação brasileira (IBGE, 2012); • Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da Floresta Amazônica (BRAGA, 1979); • As matas ciliares do rio Miriti em Manacapuru – AM: a importância de sua conservação (AQUINO, 2014).
Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Geoecologia: o clima, os solos e a biota (CONTI; FURLAN, 2014); • Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro (Domínio Baixo Solimões) (D'ANTONA et al., 2007); • Aplicação de sensoriamento remoto no estudo da influência da dinâmica sazonal do rio Amazonas sobre a morfologia dos sistemas lacustres. (SALATI, 1983 apud FRANÇA).
Hidrologia e Hidrografia	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Hídricos Superficiais (Geodiversidade do Estado do Amazonas) (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010); • Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia: o caso de Manacapuru e Óbidos (SAMPAIO et al., 2012); • Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais (SIOLI, 1985); • Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica (FILIZOLA, 2002); • Sensoriamento remoto e caracterização morfológica no baixo rio Solimões, com análise de suas rias fluviais (BERTANI, 2015); • Vales tectônicos na Planície Amazônica? (STERNBERG, 1950); • Geomorfologia Fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981); • Geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1980); • Geomorfologia Fluvial (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).
Áreas Protegidas	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo biofísico, temporal e análise da vulnerabilidade natural à erosão dos solos no município de Manacapuru, Amazonas (OLIVEIRA, 2012); • Decreto nº 16.498 de 02 de abril de 1995. Cria a área de Proteção Ambiental da Margem Direita do rio Negro... (AMAZONAS, 1995); • Diversidade de fauna na área de proteção ambiental do Miriti, município de Manacapuru, Amazonas (DAMASCENO, 2016).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Alguns produtos foram gerados com base no MDE Alos Palsar, como dados altimétricos, clinográficos e hierarquia fluvial; e outros em base de dados oficiais para alimentar a discussão sobre características locais da área de estudo, como: os dados fluviométricos e pluviométricos.

Referente aos dados hidrológicos, foram aproveitados dados fluviométricos de cota (cm) e vazão (m³/s) e pluviométricos (mm) das estações fluviométrica (14100000) (3°18'38,16"S e 60°36'33,84"W) e pluviométrica (00360001) (3°18'29,88"S e 60°36'33,84"W) de Manacapuru, localizadas a cerca de 1,5 km a montante da foz do rio Miriti. A estações são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operacionalizada pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), os dados obtidos são disponibilizados no portal HidroWeb (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf), de onde foram adquiridas as séries históricas.

Para a elaboração dos mapas hipsométrico e clinográfico foi utilizado a MDE Alos Palsar. Os dados altimétricos foram fatiados em oito classes, as duas primeiras com a amplitude de 5 metros e as demais de 10 metros, variando de 0 a 70 metros de altitude. Os dados de declividade foram obtidos por ferramenta específica do QGIS 2.18 Las Palmas com a transformação dos valores de inclinação do terreno para declividade em porcentagem, o fatiamento foi realizado com base na classificação da EMBRAPA (Quadro 19).

Quadro 19: Características das classes de declividade do terreno.

Classe	Declividade	Características	Tipo de Escoamento
Plano	00% a 03%.	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.	Escoamento superficial não visível, há perda de material pela ação da infiltração e do escoamento
Suave Ondulado	03% a 08%.	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 m a 100 m).	Escoamento subsuperficial provocando a perda de materiais finos, empobrecimento do solo, erosão laminar.
Ondulado	08% a 20%.	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados.	Escoamento superficial dos solos dando origem a canaletas.
Forte Ondulado	20% a 45%.	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de altitudes relativas de 50 m a 100 m e de 100 m a 200 m, respectivamente) e raramente colinas.	Escoamento superficial semi-concentrado e concentrado, remoção do horizonte A. formação de canaletas e sulcos profundos.
Montanhoso	45% a 75%.	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes.	Enxurradas e escoamento superficial concentrado, remoção total do horizonte A. Formação de ravinas e voçorocas, podendo ocorrer rastejamento, escorregamento e desmoronamento.
Escarpado	Superior a 75%	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes.	

Fonte: Santos et al. (2014); IBGE (2009).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Para a definição da hierarquia fluvial da bacia hidrográfica optou-se pela classificação proposta por Strahler (1952), presente em Christofolletti (1980, p. 106-107) e Novo (2008, p. 220). Nessa classificação, os canais de primeira ordem são aqueles que se estendem desde as nascentes e não possuem afluentes, normalmente são os mais numerosos na rede fluvial. Os canais considerados de segunda ordem são originados na confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem surgem do encontro de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem, e assim, sucessivamente para ordens superiores (4^a, 5^a, 6^a, 7^a...).

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados foram aplicadas diferentes técnicas estatísticas e de representação gráfica a fim de visualizar a dinâmica da qualidade da água medida em campo e dos constituintes opticamente ativos através de sensoriamento remoto orbital. A sequência metodológica para o diagnóstico dos dados limnológicos e espectrais estão elencados nas seções 3.4.1 e 3.4.2.

3.4.1 Dados Limnológicos

Inicialmente, para a avaliação da qualidade da água medida em campo, foi aplicada estatística descritiva para os sete parâmetros limnológicos medidos, esta abordagem se constitui em descrever, analisar e interpretar os dados numéricos das amostras (FONSECA; MARTINS, 2010, p. 101). Foram obtidos os valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo para as variáveis temperatura da água, turbidez, transparência, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e TDS. Também foram elaborados gráficos de linha para cada variável, representando o comportamento dos dados ao longo dos pontos de medição.

A segunda análise compete a interpretação dos modelos numéricos do terreno, para cada variável foi obtido uma representação. Com espacialização dos dados limnológicos é possível realizar correlações com o aporte de material em diferentes pontos da bacia hidrográfica, bem como a visualização de possíveis comportamentos similares em áreas vizinhas, culminando em compartimentos aquáticos. Ao fim dessa etapa, foi elaborado mapa síntese dos compartimentos aquáticos se baseando no comportamento espacial de cada parâmetro.

Por fim foi visualizada a relação entre os valores normalizados das variáveis de qualidade da água com os usos da terra predominante nas sub-bacias hidrográficas. O propósito da normalização é minimizar os problemas oriundos do uso de unidades e dispersões distintas entre as variáveis. A técnica escolhida foi a normalização linear, que ajusta a escala de valores dos atributos para o intervalo de 0 a 1, utilizando a equação 4:

$$f(X) = \frac{\bar{x} - \min}{\max - \min} \quad (4)$$

Onde: \bar{x} = média dos dados; **min** = valor mínimo; **max** = valor máximo.

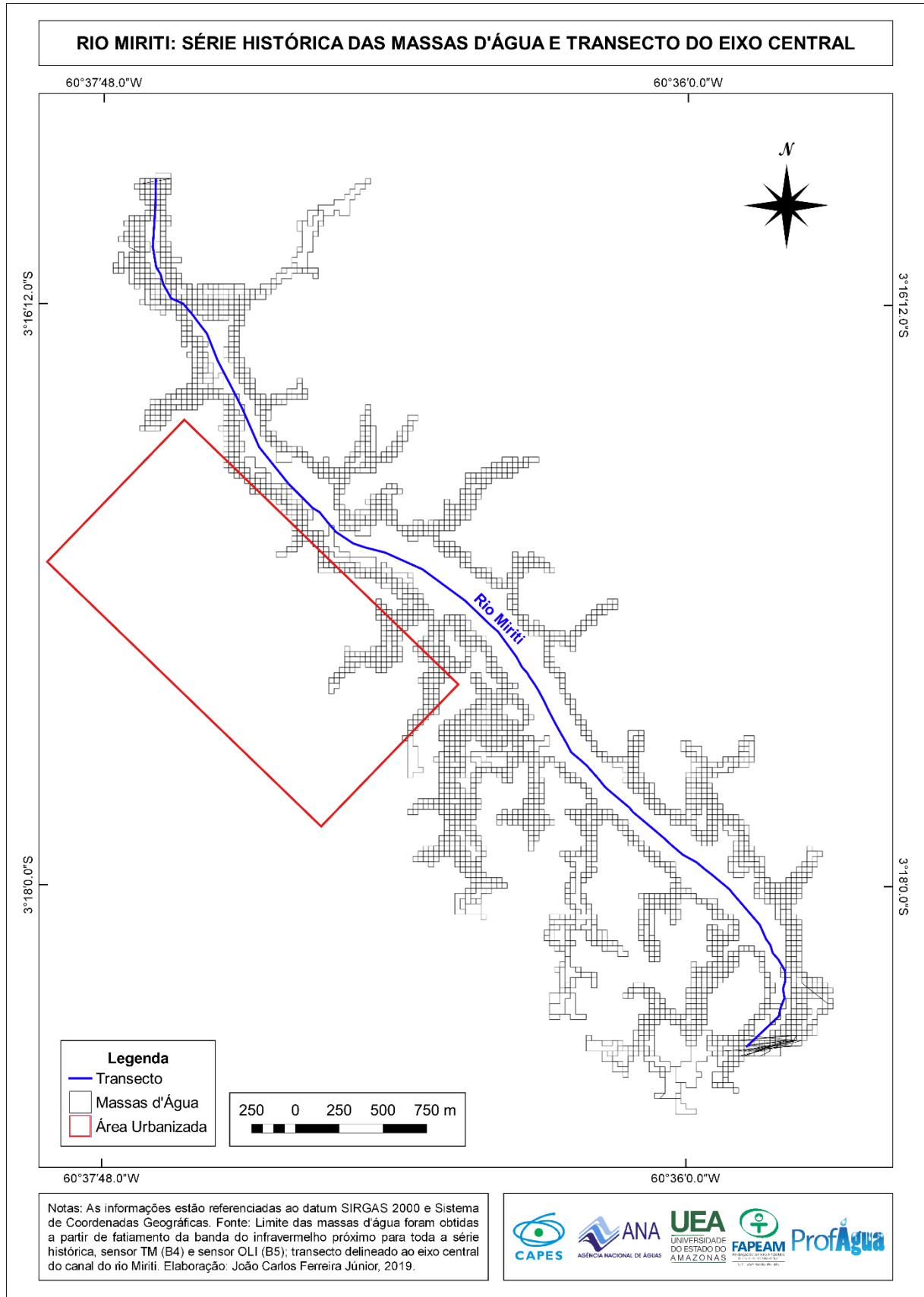
Após a transformação dos dados foi possível relacionar por meio de gráficos de linha o comportamento dos valores das variáveis de qualidade da água entre si ao longo da medição. Dois cenários foram destacados para a análise de correlação entre a qualidade da água e os usos da terra, no primeiro os pontos selecionados foram medidos no eixo central do rio Miriti e no segundo foram escolhidos os pontos localizados nos canais de sub-bacias com predomínio de uso pelas classes vegetação natural e áreas expostas.

3.4.2 Dados Espectrais

Os valores de reflectância da água foram trabalhados inicialmente generalizando os dados no recorte das massas d'água para cada data (Mapas 02), devido a sobreposição dos recortes é possível visualizar a área com água permanente. Foi obtido a estatística descritiva de cada limite, considerando as faixas do azul, verde e vermelho do espectro do visível. Os valores foram organizados em gráficos *boxplot* para cada uma das faixas.

A segunda análise consistiu em visualizar as mudanças não somente em escala temporal, mas também em escala espacial. Para isso, foram selecionadas sete datas (TM 04-08-1984, TM 21-08-1990, TM 20-07-1996, TM 01-09-2000, TM 29-07-2005, TM 27-07-2010 e OLI 30-07-2017) espaçadas temporalmente em mais ou menos cinco anos, para visualizar a dinâmica da reflectância da água ao longo do tempo e pelo curso d'água do rio Miriti. Por fim, os polígonos foram fatiados de acordo com as classes de reflectância, foram interpretados e discutidos com base nas representações temáticas para análise de possíveis compartimentos aquáticos.

Mapa 02: Série histórica das massas d'água do rio Miriti e transecto delineado no eixo central do canal do rio Miriti, com destaque para o trecho ocupado por área urbanizada.



Fonte: Fatiamento das imagens LANDSAT 5 TM (Banda 4) e imagens LANDSAT 8 OLI (Banda 5).
Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

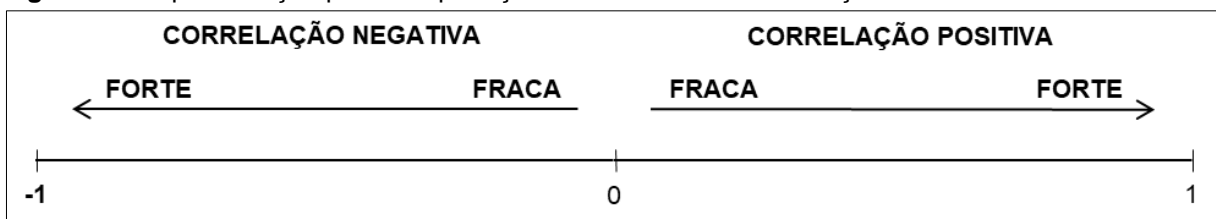
Por fim, foi realizada correlação linear simples (R) entre os dados espectrais do transecto no eixo central do rio Miriti (Mapa 02) considerando o fluxo da água, associando aos condicionantes da área de influência. A correlação linear simples também chamada de coeficiente de correlação Pearson, em homenagem a seu idealizador, refere-se a uma associação numérica entre dois produtos dentro de uma mesma escala, determinando a intensidade de relação que existe entre ambos (equação 5). O valor do coeficiente de correlação pode variar entre -1 (correlação inversa ou negativa) e 1 (correlação direta o positiva) (ANDRIOTTI, 2003, p. 68-69).

$$R = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Onde: \bar{x} e \bar{y} são as médias das amostras x e y.

As interpretações dos valores de correlação consistem em saber o grau de dependência de uma variável a outra. Se os valores forem próximos a 1 significam que existe correlação positiva entre as duas variáveis, ou seja, se os valores de uma delas aumentar a outra também sofre o mesmo efeito. Se os valores próximos a -1 significa que é perfeita negativa, ou seja, as variáveis são inversamente dependentes, enquanto os valores de uma diminuem os valores da outra variável aumentam. Se os valores obtidos forem próximo a 0 significa que as variáveis não dependem linearmente uma da outra (Figura 08).

Figura 08: Representação para interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.



Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Para as análises por transecto foram selecionados somente as datas com correlação significativa, para as faixas do azul, verde e vermelho do espectro do visível. Após a discussão dos dados foi aplicado aritmética de bandas, essa técnica consiste em realizar um processamento dos dados a partir da combinação de imagens, gerando como resultado uma nova imagem com dados completamente distintos dos dados de entrada (MENESES; ALMEIDA, 2012a, p. 138).

A primeira transformação foi realizada através da razão de bandas, essa técnica busca destacar exclusivamente as propriedades do alvo em detrimento de outros materiais presentes na cena, sem interesse (MENESES; ALMEIDA, 2012a, p. 143). A combinação escolhida foi pela divisão da banda do verde pela banda do vermelho, conforme a equação 6.

$$RB = \frac{\rho G}{\rho R} \quad (6)$$

Onde: ρG = reflectância do verde; ρR = reflectância do vermelho.

Por fim, foi obtido o NDVI da massa d'água, também correlacionado com o transecto. Na seção 3.1.3.1 são explicitados os procedimentos para a obtenção desse índice, bem como a interpretação desses dados em relação ao comportamento espectral da água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentadas as respostas aos objetivos do trabalho. Iniciando com uma concisa caracterização da bacia hidrográfica do rio Miriti, abordando sobre seus aspectos geográficos; em seguida são apresentados os dados dos usos da terra atuais e dos parâmetros de qualidade da água, realizando uma correlação espacial entre ambos; logo depois a análise espaço-temporal das características espectrais da água, associado as mudanças antrópicas nas sub-bacias hidrográficas; por fim, uma síntese do uso de ferramentas geotecnológicas como contribuição a gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MIRITI

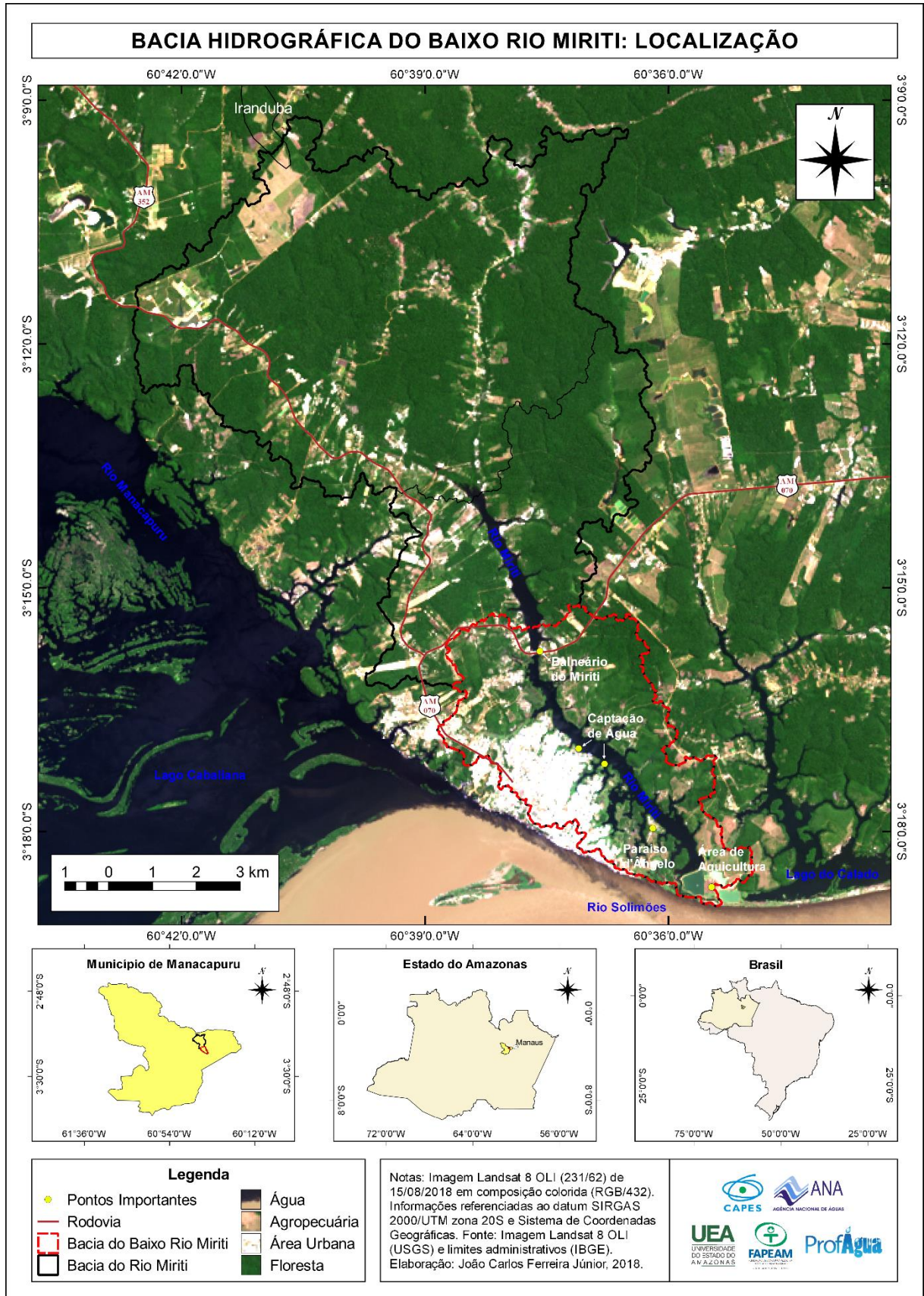
Dividida em três partes, a primeira referente à seção 4.1.1, trata da localização geográfica e processo de ocupação da bacia; em seguida intitulada Sistema Populacional-Econômico na seção 4.1.2, versa sobre o quantitativo populacional e as atividades econômicas desenvolvidas dentro da bacia; e por fim, a seção 4.1.3 Sistema Físico-Ambiental sobre as características físico geográficas e as áreas protegidas que englobam a bacia.

4.1.1 Localização Geográfica e Processo de Ocupação

Em termos administrativos a bacia hidrográfica do rio Miriti está localizada quase completamente no município de Manacapuru, cerca de 99,86% da área da bacia estão em seus limites, enquanto apenas 0,14% estão no município de Iranduba, ambos no estado do Amazonas (Mapa 03). Sua área territorial possui uma extensão de 112,86 km² e um perímetro de 100,21 km.

A área da pesquisa é o compartimento jusante do rio Miriti, compreendendo o trecho que drena desde a ponte na rodovia Manoel Urbano, até a foz onde encontra-se com o rio Solimões, esta área foi denominada de bacia hidrográfica do baixo rio Miriti. A bacia do baixo rio Miriti ocupa uma área de 25,67 km², cerca de 23% da área total da bacia e possui um perímetro de 34,18 km. O alto curso é o maior compartimento ocupa uma área de 62,99 km² ou 55,81% da área, enquanto o médio curso estende-se por 23,88 km² ou 21,16% da área da bacia.

Mapa 03: Localização da bacia de hidrográfica do baixo curso rio Miriti, município de Manacapuru, estado do Amazonas.



Fonte: Imagem LANDSAT 8 OLI (231/62), data de passagem 15/08/2017, composição RGB/432.
Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A bacia do baixo rio Miriti está fragmentada em dezenove sub-bacias hidrográficas, além das áreas de contribuição direta (Tabela 05), a toponímia de alguns cursos d'água formadores das sub-bacias foi obtida durante trabalho de campo.

Tabela 05: Dados descritivos das sub-bacias hidrográficas e áreas de contribuição direta do curso inferior do rio Miriti.

Sub-bacias e Áreas de Contribuição Direta		Curso d'Água Principal	Área	
			km ²	%
Margem Esquerda	ACD	Rio Miriti	4,51	17,57
	SB-01	Igarapé Paraíso d'Ângelo	1,39	5,40
	SB-02	Igarapé do Areal	1,54	5,99
	SB-03	Igarapé Paçoca	0,21	0,82
	SB-04	Igarapé do Cai n'Água	2,19	8,51
	SB-05	Igarapé da Feira	0,52	2,02
	SB-06	Igarapé Dente de Leite	0,54	2,10
	SB-07	Igarapé São Pedro	2,71	10,55
	SB-08	S/d	0,81	3,17
Margem Direita	SB-09	Igarapé Catolé	1,79	6,97
	SB-10	S/d	1,00	3,88
	SB-11	S/d	1,39	5,41
	SB-12	Igarapé Mija Onça	2,43	9,47
	SB-13	Igarapé Áurea	1,39	5,43
	SB-14	S/d	0,32	1,25
	SB-15	S/d	0,34	1,31
	SB-16	S/d	0,30	1,17
	SB-17	S/d	1,24	4,84
	SB-18	S/d	0,28	1,11
	SB-19	Furo Miriti/Calado	0,78	3,02
BACIA BAIXO RIO MIRITI			25,67	100,00

Fonte: Dados geradas a partir do MDE Alos Palsar (ASF, 2010). **Legenda:** S/d=sem dados.

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Lima (2005, p. 35) lista os nomes dos afluentes de ambas as margens, mas não traz identificação espacial, inviabilizando o uso como referência toponímica. Também foram consultadas as cartas topográficas disponíveis, contudo não traziam informações detalhadas da área.

Distante de Manaus cerca de 84 km em linha reta, a cidade de Manacapuru pode ser acessada por via terrestre, pela rodovia Manoel Urbano (AM-070), com um

percurso aproximado de 87 km e/ou por via aquática pelo rio Solimões, cerca de 157 km o trajeto (SILVA, Márcio, 2016, p. 136). Atualmente os meios de acesso a bacia são predominantemente terrestres, pelas rodovias estaduais AM-352 e AM-070.

A AM-070 (Manoel Urbano) estrada que atualmente liga a cidade Manacapuru à cidade Manaus, teve sua construção no ano de 1965, no contexto dos planos de integração e desenvolvimento da Amazônia, ligando Manacapuru à vila de Cacau Pirêra, seguindo através de balsas até Manaus. Atualmente o uso de balsas entrou em desuso devido a construção da ponte Jornalista Phelippe Daou, sobre rio Negro, inaugurada em 2011, permitindo a ligação direta por via terrestre até a capital.

A rodovia estadual AM-352 dá acesso à cidade de Novo Airão, partindo de Manacapuru, passando pelo oeste do município de Iranduba até o destino final, na margem direita do rio Negro. As duas rodovias são juntamente com o rio Miriti os responsáveis por delinear o processo de ocupação na bacia hidrográfica, contudo, a frente de ocupação na bacia iniciou as margens do rio Solimões, onde está assentada a cidade de Manacapuru.

Manacapuru foi fundada em 15 de fevereiro 1786, originada da “pacificação” da aldeia indígena dos Muras, estabelecidos nas proximidades da confluência dos rios Manacapuru e Solimões. No ano de 1865 foi criada a freguesia de Nossa Senhora de Manacapuru, em 1984 é elevada à categoria de vila e em 1985 foi criado o município, desmembrado do município de Manaus (LIMA, 2011, p. 6).

A construção do espaço urbano de Manacapuru teve forte influência do meio natural, pois segundo Lima (2011, p. 5) a expansão urbana da cidade acompanhou o delineamento dos igarapés que compõem a rede de drenagem do sítio urbano, inicialmente no sentido oeste e posteriormente para o norte e leste, encontrando como barreiras o rio Miriti e sua planície de inundação.

Atualmente, o crescimento da cidade se dá no sentido noroeste, acompanhando o percurso das rodovias AM-070 e AM-352. Com destaque para a construção de empreendimentos imobiliários, como o Conjunto Residencial Ataliba David Antônio, que faz parte do Programa Minha Casa, Minha Vida, do Governo Federal, com capacidade para 1.000 unidades habitacionais, construído no terreno do antigo aeroporto da cidade (SOUSA, 2015, p. 105-106). Além da criação de novos bairros, que surgiram a partir da iniciativa popular, por conta de ocupações ilegais como os bairros Nova Manacá, Vale Verde e Monte Cristo.

Essas transformações são em decorrência das políticas socioespaciais promovidas sobretudo pelas ações do Estado. Com maior relevância pode-se destacar: a criação política da Região Metropolitana de Manaus (RMM) em 2007; a implantação do gasoduto Coari-Manaus concluído em 2009; a construção da ponte Jornalista Phelippe Daou, inaugurada em 2011; e a duplicação da rodovia Manoel Urbano (AM-070), com trecho entre as vilas de Cacaú Pirêra e Ariaú inaugurado em 2015 e com frentes de trabalho atualmente entre o Ariaú e Manacapuru.

4.1.2 Sistema Populacional-Econômico

O município de Manacapuru possui uma área territorial de 7.336,579 km² (IBGE, 2017a), equivalentes a 733.657,9 ha. Os municípios limítrofes são: Iranduba e Novo Airão, ao norte; a oeste situam-se Caapiranga e Anamá; com Manaquiri a leste e ao sul; e a sudoeste limita-se com o município de Beruri.

O município faz parte da Mesorregião Centro Amazonense e da Microrregião de Manaus. É composto por três distritos: Manacapuru, onde está localizada a sede da municipalidade, além dos distritos de Caviana (MANACAPURU, 2015) e Campinas do Norte (MANACAPURU, 2017), onde encontram-se as vilas homônimas.

Segundo estimativas, no ano de 2018 o município possuía uma população de 96.236 habitantes (IBGE, 2018a), uma densidade demográfica de 13,12 habitantes por km², número 13,03% superior ao total de habitantes encontrado no recenseamento realizado em 2010. O crescimento demográfico demonstra-se moderado ao longo dos levantamentos censitários realizados nas últimas décadas (Tabela 06).

Tabela 06: População total do município de Manacapuru por ano de recenseamento censitário.

Ano	População Total	Crescimento Absoluto	Crescimento Relativo (%)	Densidade Demográfica (hab./km ²)
1970	49.469	s/d	s/d	s/d
1980	61.018	11.549	27,85	s/d
1991	57.173	-03.845	-06,30	7,79
2000	73.326	16.153	28,25	9,99
2010	85.141	11.815	16,11	11,61
2018	96.236	11.095	13,03	13,12

Fonte: Censo Demográfico 1991, 2000, 2010 (IBGE, 2019); IBGE (2018a); SOUSA (2007).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A evolução demográfica no município é visivelmente crescente, no recenseamento realizado em 1991 a população era de 57.173 habitantes, este número recebeu em média um incremento de mais de 3% ao ano até o recenseamento de 2000, passando para 73.326 habitantes. No censo de 2010 o crescimento relativo diminuiu, mas o absoluto manteve-se relativamente estável. Com as estimativas do ano de 2018, fica perceptível que estes números de crescimento absoluto tendem a permanecer positivos até o próximo recenseamento.

Como demonstrado na Tabela 06, os números de densidade demográfica são baixos, mas comparado aos demais municípios do Amazonas apresenta posição de destaque, pelo fato da maioria possuírem densidade demográfica bem inferior. Esse é um fato comum entre as municipalidades Amazônicas, mas se levarmos em consideração apenas núcleo urbano o cenário é outro (Tabela 07).

A cidade de Manacapuru está dividida em treze bairros: Centro, Aparecida, Biribiri, Correnteza, Liberdade, São Francisco, São José, Morada do Sol, Nova Manacá, Terra Preta, União (MANACAPURU, 2006), Vale Verde (MANACAPURU, 2011) e Monte Cristo (MANACAPURU, 2013). Os dois últimos foram criados após o, após o recenseamento censitário de 2010, por isso não existem dados oficiais da população dessas áreas.

Tabela 07: População urbana de Manacapuru por bairros no ano de 2010.

Bairros	Área (km ²)	População Total (2010)	Densidade Demográfica (hab./km ²)
Aparecida	0,46	5.141	11.176,09
Biribiri	1,81	3.092	1.708,29
Centro	0,91	5.870	6.450,55
Correnteza	0,90	4.702	5.224,44
Liberdade	1,05	11.101	10.572,38
Monte Cristo	-	-	-
Morada do Sol	6,98	3.439	492,69
Nova Manacá	4,80	2.872	598,33
São Francisco	1,40	4.650	3.321,43
São José	1,30	9.569	7.360,77
Terra Preta	1,62	5.389	3.326,54
União	0,82	4.349	5.303,66
Vale Verde	-	-	-
Sede Municipal	22,05	60.174	2.728,98

Fonte: Censo Demográfico 1991, 2000, 2010 (IBGE, 2019).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A partir do que é observado na Tabela 07, fica visível a discrepância entre as densidades demográficas quando se leva em consideração a área total do município comparando com os valores encontrados na área urbana, alguns bairros como Aparecida e Liberdade chegam a ultrapassar dez mil habitantes por quilometro quadrado, números esses muito próximos dos valores encontrados nos bairros de Manaus, que além de densamente povoados são populosos.

A cidade de Manacapuru é o terceiro maior núcleo urbano do Amazonas em número de habitantes, ficando atrás somente de Manaus e Parintins, e o sétimo em taxa de urbanização. Tratando-se da situação de domicílio, a maior parte da população encontra-se na zona urbana, conforme a Tabela 08.

Tabela 08: População residente por situação de domicílio no município de Manacapuru, série histórica dos recenseamentos demográficos.

Situação de Domicílio	1970		1980		1991		2000		2010	
	hab.	%	hab.	%	hab.	%	hab.	%	hab.	%
Urbano	7.247	14,65	18.230	29,88	36.019	63,00	47.292	64,50	60.174	70,68
Rural	42.222	85,35	42.788	70,12	21.154	37,00	26.034	35,50	24.967	29,32
Total	49.469	100	61.018	100	57.173	100	73.326	100	85.141	100

Fonte: Censo Demográfico 1991, 2000, 2010 (IBGE, 2019); SOUSA (2007).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

No censo de 2010 cerca de 70,68% da população viviam na zona urbana, número 2,4 vezes maior do que viviam na zona rural, cerca de 29,32%. Esses números ao longo dos recenseamentos sofreram variações de ordem absoluta e relativa, nas décadas de 1970 e 1980 a população vivia predominantemente na zona rural, a situação se inverteu a partir do censo de 1991. Houve incremento da população urbana entre os anos de 1991 e 2000, esses valores permaneceram crescentes entre os censos realizados nos anos 2000 e 2010, quando a população urbana passou a representar mais de dois terços da população municipal.

Baseando-se pelos setores censitários, apesar de não respeitarem fielmente os limites da bacia, pôde-se estimar a população da bacia hidrográfica do rio Miriti. O valor encontrado fica entorno de 52.000 habitantes, cerca de 61% da população do município em 2010. Quando se leva em consideração a situação de domicílio, observa-se uma elevada taxa de população urbana, com 96,86% vivendo em setores urbano, enquanto apenas 3,14% da população vivendo na zona rural.

Em termos econômicos, Manacapuru destaca-se de outros municípios do estado do Amazonas. Em 2016, o Produto Interno Bruto (PIB) do município acumulava um montante de R\$ 1.241.891.240, valor correspondente a apenas 1,4% do PIB do Estado, mas que lhe rendia o terceiro lugar entre as maiores economias dentre os municípios do Amazonas, perdendo somente para os acumulados, em bilhões de reais, de Manaus (70.296,36) e Itacoatiara (2.054,83). Seu PIB per capita era o décimo maior, com o valor a preços correntes de R\$ 13.027,29 (IBGE, 2018e).

As atividades desenvolvidas no município são diversas, os valores do PIB estão divididos em: os valores acumulados pelas atividades agropecuárias foram de 514,83 milhões de reais, valor que representa 41,46% do que é produzido do município; pelas atividades de serviços foram 612,76 milhões de reais, 49,34% do total produzido; pelas atividades industriais foram 70,22 milhões de reais, 5,65% do total produzido; e, 44,09 milhões de reais foram provenientes de impostos sobre produtos líquidos de subsídios, valor que representa 3,55% do PIB do município (IBGE, 2018e).

Em comparação aos outros municípios, Manacapuru é um importante polo na produção agrícola. É o maior produtor de mamão e maracujá e o segundo maior na produção de banana, perdendo apenas para o município de Manicoré. Nos cultivos temporários como mandioca, melancia e milho o município de Manacapuru ocupa o lugar de maior produtor estadual, sendo também o terceiro maior produtor nacional de mandioca (IBGE, 2018b; 2018c; IDAM, 2017b).

O setor primário é representativo na economia do município, com destaques além da agricultura. A pesca comercial é bastante desenvolvida, segundo a Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), no ano de 2017 a produção da piscicultura em barragens e tanques escavados somaram um total de 366,5 toneladas (t) de carne de pescado, numa área alagada de 81,42 hectares (ha) (IDAM, 2017a).

Na pecuária o município possui relevância no contexto da região metropolitana, com a criação de rebanhos bovinos e suínos, em especial na produção avícola com 162.357 cabeças de galináceos, terceiro maior rebanho do estado, atrás somente de Manaus e Iranduba. A produção de ovos é bastante expressiva, com cerca de 35.556 milhões de unidades produzidas, direcionada ao mercado da capital (IBGE, 2018d; IDAM, 2017b). Destacando assim a relevância desta atividade econômica não apenas para o município, mas como um dos maiores produtores do agropecuário do Amazonas.

O setor terciário é constituído por diversificados estabelecimentos comerciais. Destaca-se o comércio atacadista, estabelecido no centro da cidade, visando abastecer os municípios próximos, como Anori, Beruri, Caapiranga e Anamá, além das comunidades rurais (LIMA, 2011, p. 19-20). O comércio varejista busca atender o mercado interno, representados por empreendimentos que comercializam diversos produtos, como: gêneros alimentícios, movelaria, panificação, frigoríficos, serraria, eletrodomésticos, confecções e estivas em geral.

As atividades comerciais e sobretudo de serviços ganharam novo fôlego com as obras de integração e circulação viárias promovidas pelo Estado,

“O crescimento econômico advindo da inauguração da ponte Rio Negro mais perceptível é, sem dúvida, o que vem ocorrendo no setor de comércio e serviços, especialmente nos serviços pessoais. Os restaurantes, os cafés regionais, os postos de combustíveis e os balneários - foram estas as atividades comerciais e de serviços que surgiram ou se fortaleceram rapidamente nos municípios de Iranduba e Manacapuru” (SOUSA, 2015, p. 84).

Moisés Silva (2016, p. 30) destaca a influência da ponte como objeto geográfico que “incentiva transformações socioeconômicas nos municípios por ser espaço indutor do modo de vida urbano que estão mais evidentes no setor de comércio de bens e serviços”. Além disso, dá ênfase a importância adquirida pelo automóvel na realização de viagens a Manacapuru, por isso destaca o surgimento de estabelecimentos de comércio de combustível e de hotelaria, influenciados pela nova demanda de visitantes sobretudo da capital.

Como citado no último parágrafo da seção 4.1.1, o Estado juntamente com capital financeiro são os principais agentes de mudanças socioespaciais e socioeconômicas. A inauguração da Ponte Jornalista Phelippe Daou e a duplicação da rodovia Manoel Urbano, dentre outros fatores, são atrativos para maior fluxo de turistas e veículos vindos de Manaus ou até mesmo de fora do estado, aumentando a demanda por serviços e comércio nesses trajetos e destinos.

A cidade de Manacapuru é um polo turístico do Estado, conta com um Centro de Atendimento ao Turista (CAT), que fornece informações sobre os atrativos turísticos da cidade, hotéis e restaurante. O principal atrativo turístico de Manacapuru é o Festival de Cirandas, atraindo cerca de 60 mil turistas anualmente. Outro atrativo turístico são balneários, frequentados por visitantes locais e do entorno, principalmente de Manaus (FVA, 2017, p. 17).

O fluxo de visitantes e veículos é frequente nos feriados e fins de semana, contudo a infraestrutura oferecida pelos balneários ainda não é capaz de atender a demanda cada vez mais intensa. Por isso, deve haver planejamento para a conservação desses espaços, buscando manter em equilíbrio as condições naturais para a recreação, além de oferecer conforto e comodidade para os usuários. Em especial, a preservação dos recursos hídricos, pois sem o planejamento adequado e a boa gestão desses espaços, esses atrativos tendem a desaparecer.

4.1.3 Sistema Físico-Ambiental

Geologicamente a bacia do Miriti está totalmente implantada sobre área sedimentar da Bacia do Amazonas, com a superfície de afloramento da Formação Alter do Chão (Cretáceo Superior) que constitui o substrato geológico, produtos de origem fluvial e fluviolacustre (BRASIL, 1978).

D'Antona et al. (2007, p. 33-34) destacam que a Formação Alter do Chão, se revela em diferentes padrões morfológicos que definem diferentes níveis de dissecação, constituindo forte registro dos processos de intemperismos e da neotectônica.

A área onde está localizada a bacia do Miriti, configura-se em franca dissecação, onde é comum a presença de superfícies lateríticas geradoras de expressivos depósitos de piçarra, de areia, além de argila caulinítica e caulim. Predomina no perfil de alteração sedimentos arenoargilosos variegados, amarelados a avermelhados em padrão mosqueado (D'ANTONA et al., 2007, p. 38).

De acordo com Oliveira (2012, p. 57), “os depósitos argilosos provenientes do horizonte mosqueado e de alteração da Formação Alter do Chão confirma a potencialidade para o emprego na cerâmica vermelha”, especificamente na confecção de tijolos, constituindo a matéria-prima essencial ao polo oleiro instalados em Manacapuru e nos municípios limítrofes.

Quanto a configuração geomorfológica, segundo a classificação proposta por Dantas e Maia (2010, p. 29), o relevo da área de estudo encontra-se representado basicamente por duas unidades: os Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental e a Planície Amazônica.

Os baixos platôs caracterizam formas de relevo geradas por processos erosivos, são representadas por superfícies tabulares e colinosas, delimitadas por

ruptura de declive em diferentes níveis topográficos, com cotas menores a 200 metros. Constituem as áreas de terra firme, normalmente representadas por rochas sedimentares, em geral, intemperizadas e lateritizadas (D'ANTONA et al., 2007, p. 17; DANTAS; MAIA, 2010, p. 37).

Esta é a unidade geomorfológica predominante na área de estudo, com menor parte constituída pela Planície Amazônica, as áreas alagáveis do complexo fluvial Miriti-Solimões. As planícies fluviais constituem terrenos aplanados, susceptíveis ao acúmulo da sedimentação fluvial, configurando áreas sazonalmente inundáveis que formam as várzeas (DANTAS; MAIA, 2010, p. 34). As várzeas são sistemas complexos, com inúmeros componentes que ajudam a compor esta unidade, como os diques marginais, vários tipos de lagos, paranás e furos, igapós e ilhas (CARVALHO, 2006).

O mapa hipsométrico foi elaborado com base nas cotas que representam as altitudes na bacia do baixo rio Miriti, a fim de visualizar em níveis mais detalhados as características do relevo da área. As altitudes variam entre 0 e 67 m, com os valores das cotas mais baixas representada entre os tons de azul a verde e as cotas mais elevadas variando nos tons de marrom a preto (Mapa 04).

As maiores elevações da área de estudo foram verificadas no limite setentrional da sub-bacia SB-10, alcançando 67 m de altitude. As cotas mais elevadas variam entre 41 a 67 m (1,775 km²), estão nos divisores de água, sobretudo no nordeste e noroeste da bacia, nas áreas de aporte das sub-bacias SB-07, SB-08, SB-09, SB-10, SB-11 e SB-12, correspondendo a 6,91% da bacia (Tabela 09).

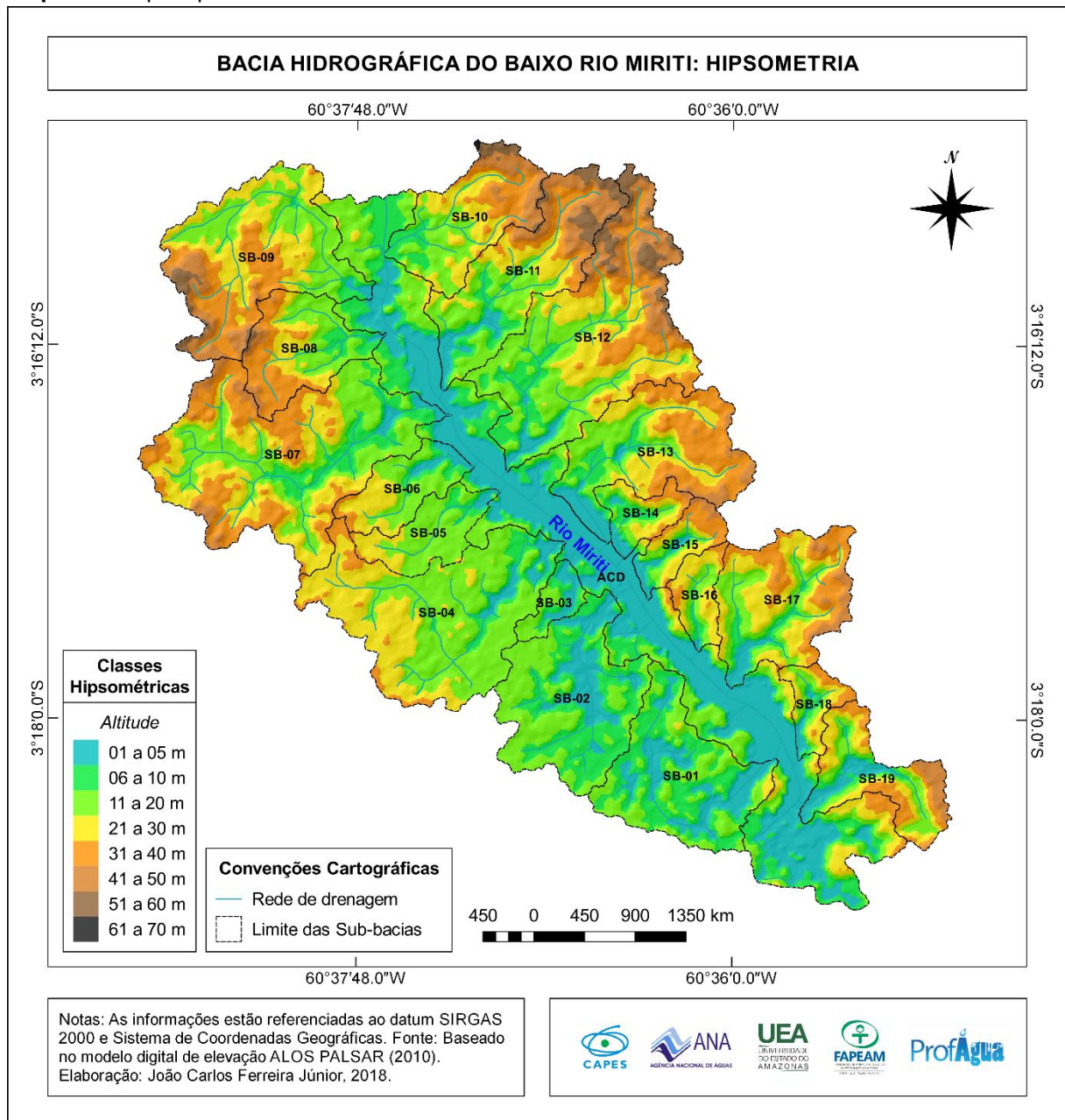
Tabela 09: Classes hipsométricas do relevo da bacia do baixo rio Miriti.

Classes Hipsométricas (m)	Área	
	km ²	%
00 – 05	3,832	14,924
06 – 10	3,838	14,947
11 – 20	7,728	30,098
21 – 30	5,044	19,645
31 – 40	3,459	13,472
41 – 50	1,333	5,192
51 – 60	0,439	1,710
61 – 70	0,003	0,012

Fonte: MDE Alos Palsar (ASF, 2010).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Mapa 04: Mapa hipsométrico da bacia do baixo rio Miriti.



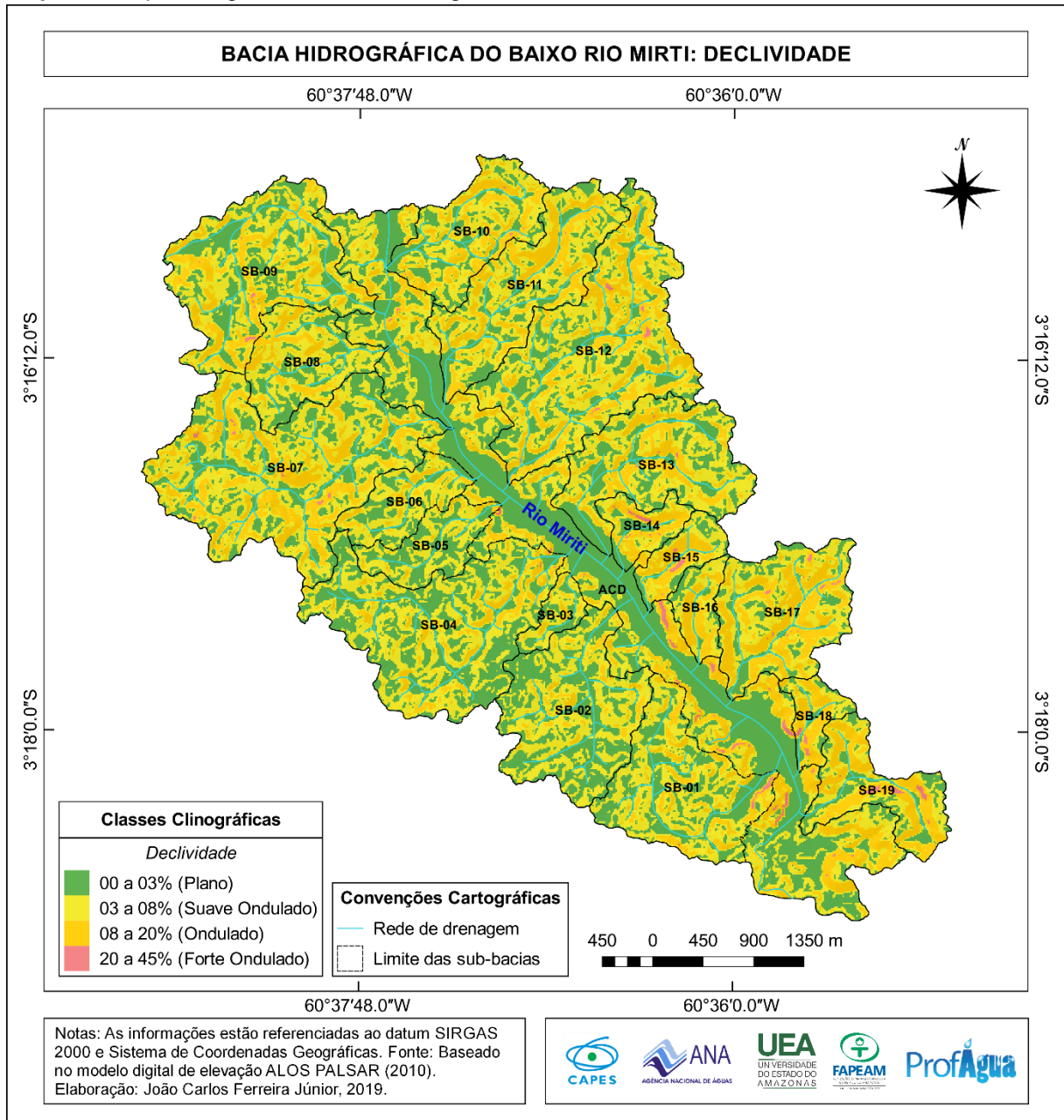
Fonte: MDE Alos Palsar (ASF, 2010).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A altitude média da bacia é de $19,11 \pm 12,78$ m, valor abrangido pela classe hipsométrica mais significava entre 11 a 20 m, recobrando 30,10% (7,728 km²) da área. Os vales inundados e as planícies de inundação do rio Miriti e seus afluentes apresentam cotas de baixa altitude, que variam entre 0 a 20 m. As regiões mais baixas do relevo correspondem as zonas fluviais, correspondendo a classe 1 a 5 metros, com 14,92% (3,832 km²) da área da bacia.

As declividades da bacia estão distribuídas entre as classes de 0 a 45 %, com média de $5,05 \pm 4,20$ %, que a caracteriza como suave ondulado (Mapa 05).

Mapa 05: Mapa clinográfico da bacia hidrográfica no baixo rio Miriti.



Fonte: MDE Alos Palsar (ASF, 2010).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

O mapa clinográfico foi elaborado de acordo com os parâmetros recomendados pela EMBRAPA (SANTOS et al., 2014), dividido em quatro classes de acordo com as declividades encontradas no terreno. As áreas mais planas estão representadas em verde, enquanto as maiores declividades estão em rosa.

As menores declividades correspondem principalmente as planícies de inundação, áreas que não ultrapassam 20 m de altitude. De acordo com o IBGE (2009), em áreas com essa característica o escoamento superficial não é visível, ocorre a perda de material pela ação da infiltração e do escoamento (Tabela 10).

Tabela 10: Classificação da declividade do relevo da bacia do baixo rio Miriti.

Classes de declividade (%)	Forma	Área	
		km ²	%
00 – 03	Plano	9,43	36,74
03 – 08	Suave Ondulado	10,89	42,43
08 – 20	Ondulado	5,23	20,38
20 – 45	Forte Ondulado	0,12	0,45

Fonte: MDE Alos Palsar (ASF, 2010).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A classe de 0 a 3% representa 36,74% (9,43 km²) e a classe de 3 a 8% corresponde 42,43% (10,89 km²) da bacia hidrográfica, que permite inferir que a declividade do relevo característico da área é predominantemente muito fraca a fraca, pois são as classes mais significativas.

Destaca-se que não foi encontrado valores superiores a 45%. As maiores declividades foram encontradas nas porções mais elevadas do leito do rio Miriti na margem direita, com desníveis abruptos do terreno e presença de perfis de vertentes íngremes. O valor máximo de declividade encontrado foi de 32% na ACD, além desta foram visualizadas áreas com declividade forte ondulado nas sub-bacias SB-01, SB-18 e SB-19, todas localizadas no setor jusante da bacia.

Quanto aos tipos de solo existentes na área de estudo, a bacia é completamente coberta por Latossolo Amarelo (BRASIL, 1978). Segundo a classificação Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2014) define a classificação dos solos em pelo menos quatro níveis hierárquicos, o primeiro nível categórico de classificação dos solos são as ordens, a partir delas que ocorrem as diversas subdivisões em classes, grandes grupos e subgrupos.

No caso dos solos da bacia do Miriti são encontrados dois tipos de latossolo amarelo: Latossolo Amarelo Distrófico típico e Latossolo Amarelo Ácrico típico. O primeiro recobre quase completamente a bacia, em terreno plano ou suave ondulado, possui textura argilosa a média argiloso. Enquanto o segundo, ocorre somente na parte superior da bacia, em relevo suave ondulado e com característica textural argilosa a muito argilosa (BRASIL, 1978).

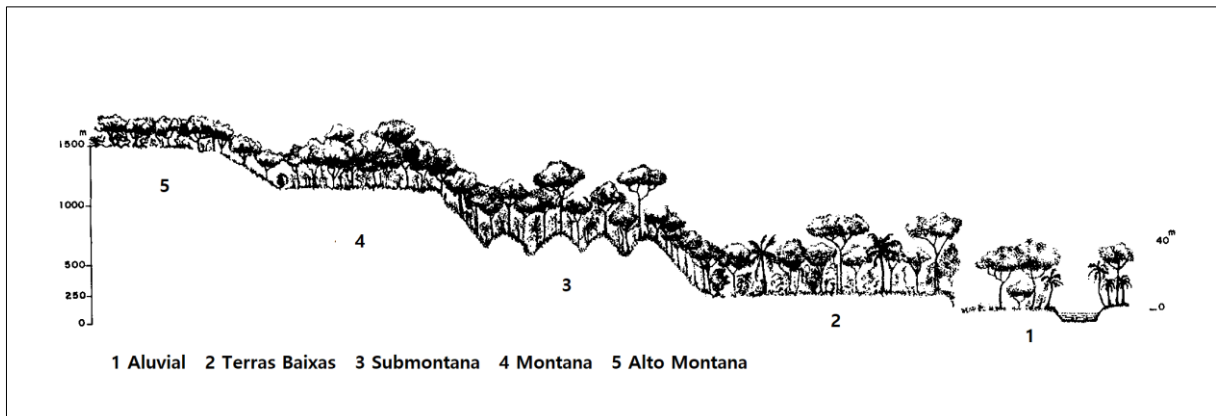
Quanto ao seu uso, apresentam baixa fertilidade natural, com teores muito reduzidos de bases trocáveis e fósforo. Contudo, possuem potencial de uso para a agricultura e a pecuária, face às boas propriedades físicas e ao relevo plano e suave ondulado, o que facilita seu manejo e mecanização. As limitações decorrentes da

baixa fertilidade e acidez elevada os tornam exigentes em corretivos e adubos químicos e orgânicos (TEIXEIRA et al., 2014, p. 79).

Segundo Sousa (2007, p. 51) o latossolo amarelo é muito utilizado pelas olarias para a fabricação de telhas e tijolos. Devido isso, existem diversas olarias em Manacapuru e nos municípios vizinhos. Ainda destaca, a importância econômica dessa atividade em escala local e regional, mas enfatiza os diversos danos ambientais provocados pela superexploração.

Tratando-se da vegetação, a unidade fitogeográfica predominante na área são as florestas ombrófilas densa, estende-se por vasta áreas da Amazônia e caracteriza-se pela necessidade de condições climáticas com mais de 2.300 mm chuvas anuais e temperaturas médias entre 22°C e 25°C (VELOSO et al, 1991, p. 63-64). A composição e estrutura dessa vegetação sofrem modificações de acordo com a variação edáfica e altimetria (Figura 09).

Figura 09: Perfil esquemático da floresta ombrófila densa.



Fonte: adaptado de Veloso et al. (1991).

Nas planícies a floresta ganha o predomínio aluvial, pois corresponde as matas de terrenos periodicamente ou permanentemente inundados, são as várzeas e os igapós. Na várzea há o predomínio de espécies de rápido crescimento e com uma série de adaptações morfológicas para este ambiente, como raízes aéreas ou tubulares. Enquanto nas matas de igapó, devido ao continuo encharcamento do solo, existe uma menor quantidade de espécies adaptadas (IBGE, 2010).

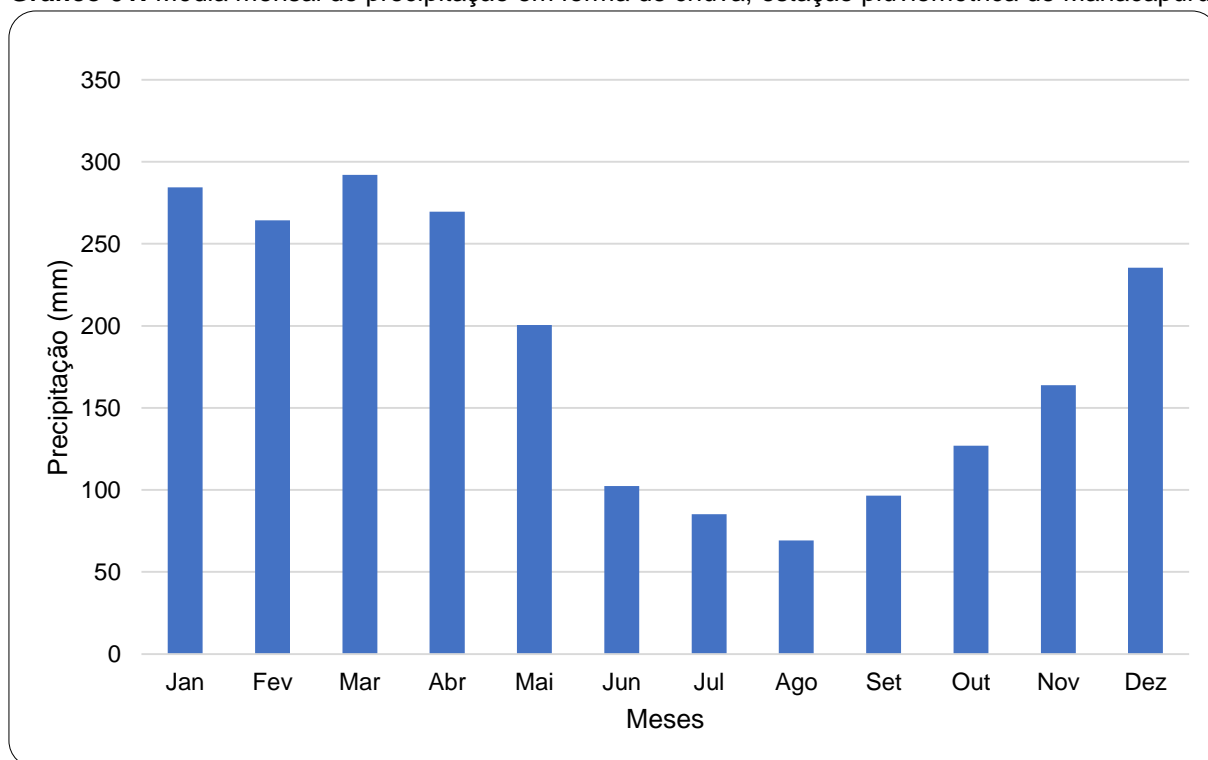
Em terra firme, em terrenos na alagáveis que não ultrapassam os 100 m, ocorrem como floresta ombrófila densa das terras baixas, com o predomínio de árvores de grande porte e emergentes. Além dessas, existem outros três tipos de floresta ombrófilas densas – a submontana, a montana e a alto-montana, estas não

ocorrem na área de estudos, pois se estabelecem em terrenos mais elevados, que ultrapassam os 100m (IBGE, 2010; VELOSO et al., 1991, p. 66-67).

Na Região Amazônica o clima predominante é o equatorial (quente e úmido), controlado pela oscilação da zona de convergência intertropical (ZCIT), pela ação dos ventos alísios e pela baixa pressão equatorial (CONTI; FURLAN, 2014, p. 101). No que concerne ao clima térmico as temperaturas médias anuais variam entre 22,0 a 31,7°C, a amplitude térmica pode ultrapassar os 10°C durante um dia, enquanto o comportamento da temperatura do ar mostra pequena variação em comparação as médias mensais (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010, p. 47; SIOLI, 1985, p. 22).

Em contexto local, segundo os dados pluviométricos da estação de Manacapuru, a média de precipitação anual é de 2.190 mm, considerando a série histórica de 1972 a 2018. As médias mensais podem ser vistas no Gráfico 01.

Gráfico 01: Média mensal de precipitação em forma de chuva, estação pluviométrica de Manacapuru.



Fonte: Estação pluviométrica de Manacapuru.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

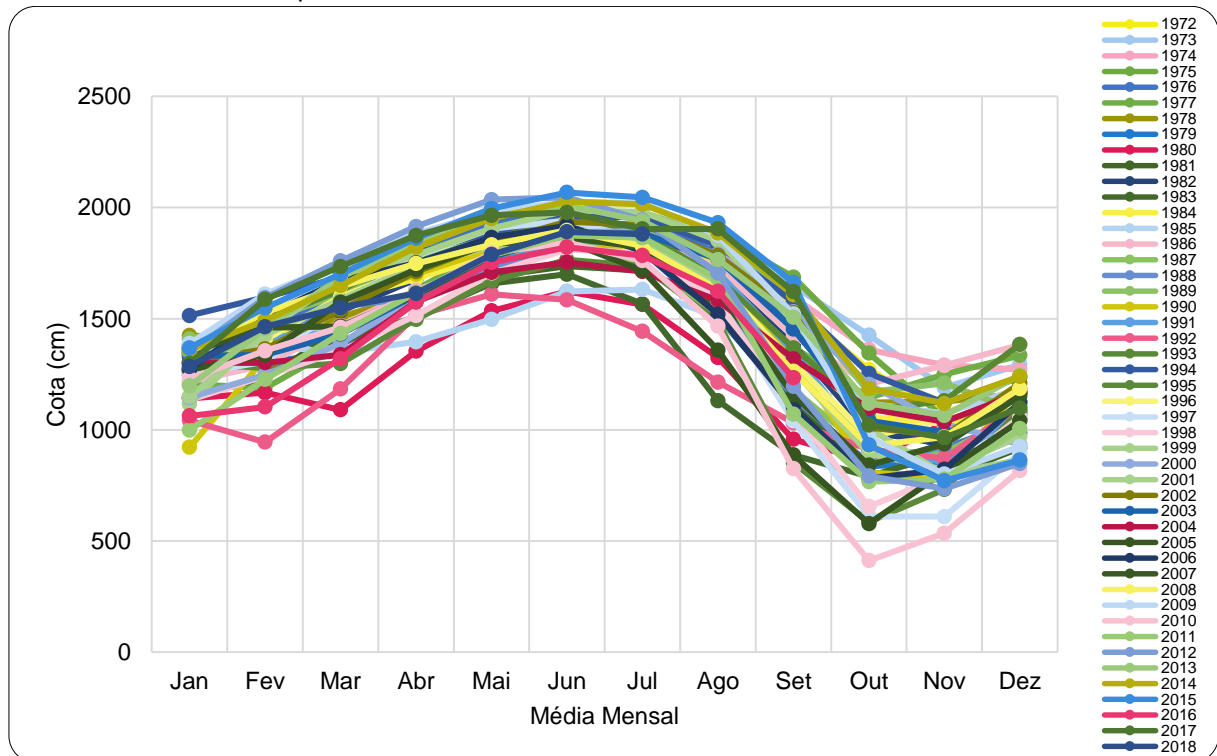
Possuindo duas estações bem definidas – o período mais chuvoso compreende os meses de dezembro a maio, resultado das constantes chuvas e as temperaturas são mais amenas. Enquanto o período de “seca” ocorre entre os meses de julho e novembro, pois há uma diminuição no volume de chuva.

A amplitude térmica ao longo dos meses do ano apresenta uma oscilação máxima de 5°C, com temperatura do ar média na ordem de 26,7°C chegando com pico máximo em agosto/setembro. A umidade relativa do ar se mantém elevada durante o ano inteiro, apresenta uma média mensal de 84%, com oscilações entre 77% e 88% (D'ANTONA et al., 2007, p. 15).

O regime climático da região, diretamente ou de forma adversa contribuem para a composição do cenário hidrológico amazônico, em especial nas cotas de nível fluvial dos rios (SALATI, 1983 apud FRANÇA, 2005, p. 56). A sazonalidade dos rios, alternam-se entre períodos de águas altas (cheia) e águas baixas (vazante), com períodos transicionais bem definidos, o que produz dinâmicas espaciais distintas no cenário amazônico (SAMPAIO et al., 2012, p. 02).

A subida das águas do rio Solimões na altura de Manacapuru, começa no final de novembro, continua até atingir o nível máximo entre maio e julho, pico de cheia. A vazante do rio começa no final de julho e início de agosto prosseguindo até setembro, quando a cota atinge o valor mais baixo entre outubro a novembro, época de águas baixas, conforme apresentado no Gráfico 02.

Gráfico 02: Cotagrama correspondente às cotas mensais da série histórica 1972-2018 da estação fluviométrica de Manacapuru, localizada no rio Solimões.



Fonte: Estação fluviométrica de Manacapuru (14100000).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

O cotograma apresenta as médias mensais das cotas entre os anos de 1972 e 2018 do rio Solimões, de acordo com estação fluviométrica de Manacapuru. No qual é possível identificar as cheias e vazantes extremas com médias mensais para quase cinco décadas. O fenômeno de maior cheia foi registrado no ano de 2015, com pico em 25 de junho, cota de 20,78 m. A menor cota corresponde aos dados registrados no dia 25 de outubro de 2010, com cota mínima de 2,89 m.

As medições da cota no rio Solimões mostram uma regularidade na frequência da cheia no mês de junho com 82,2%, enquanto que a vazante é mais irregular, com uma maior frequência nos meses de novembro com 53,3%, outubro 40,0% e dezembro 6,7%, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Cotas das cheias e vazantes do rio Solimões, medidas na estação fluviométrica de Manacapuru, de acordo com a frequência mensal de ocorrência, período de 1972 a 2017.

Cheia			Vazante		
Mês	Frequência		Mês	Frequência	
	Nº	%		Nº	%
Maio	01	2,22	Outubro	18	40,00
Junho	37	82,22	Novembro	24	53,33
Julho	07	15,56	Dezembro	03	6,67

Fonte: Estação fluviométrica de Manacapuru (14100000). Os anos de 2016 e 2018 foram desconsiderados, por não apresentarem série completa de dados.

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

O regime hidrológico apresentado no rio Miriti é condicionado pela dinâmica do rio Solimões, apresentando cheias entre junho e julho e período de vazante entre outubro e novembro. Guyot (1993, apud FILIZOLA et al., 2002, p. 43) observa que o “efeito de barramento hidráulico é largamente observado em todos os afluentes do rio Solimões-Amazonas”. Logo, as cotas registradas no rio Miriti, não correspondem necessariamente à sua vazão.

A partir dos registros de cota (Tabela 12), as maiores cheias na estação ocorreram na última década, todas com nível superior a 20 m, foram nos anos de 2015 (20,68 m), 2012 (20,46 m), 2009 (20,27 m), 2014 (20,27 m) e 2013 (20,10 m), em comum todas ocorreram no mês de junho. As maiores vazantes estão melhor distribuídas ao longo da série histórica, apesar das maiores serem mais recentes, ocorreram em 2010 (4,12 m), 2005 (5,78 m), 1995 (5,86 m), 1997 (6,10 m) e 1998 (6,55 m), com exceção da vazante de 1998 que ocorreu em novembro, as demais ocorreram em outubro.

Tabela 12: Cotas das cheias e vazantes do rio Solimões, medidas na estação fluviométrica de Manacapuru, de acordo com a frequência de pico máximo, no período de 1972 a 2017.

Cheia			Vazante		
Cota (m)	Frequência		Cota (m)	Frequência	
	Nº	%		Nº	%
> 20	5	11,11	< 05	1	2,22
19 a 20	13	28,89	05 a 06	2	4,44
18 a 19	20	44,44	06 a 07	2	4,44
17 a 18	4	8,89	07 a 08	7	15,56
16 a 17	3	6,67	08 a 09	10	22,22
			09 a 10	8	17,78
			10 a 11	8	17,78
			11 a 12	5	11,11
			12 a 13	2	4,44

Fonte: Estação fluviométrica de Manacapuru (14100000). Os anos de 2016 e 2018 foram desconsiderados, por não apresentarem série completa de dados.

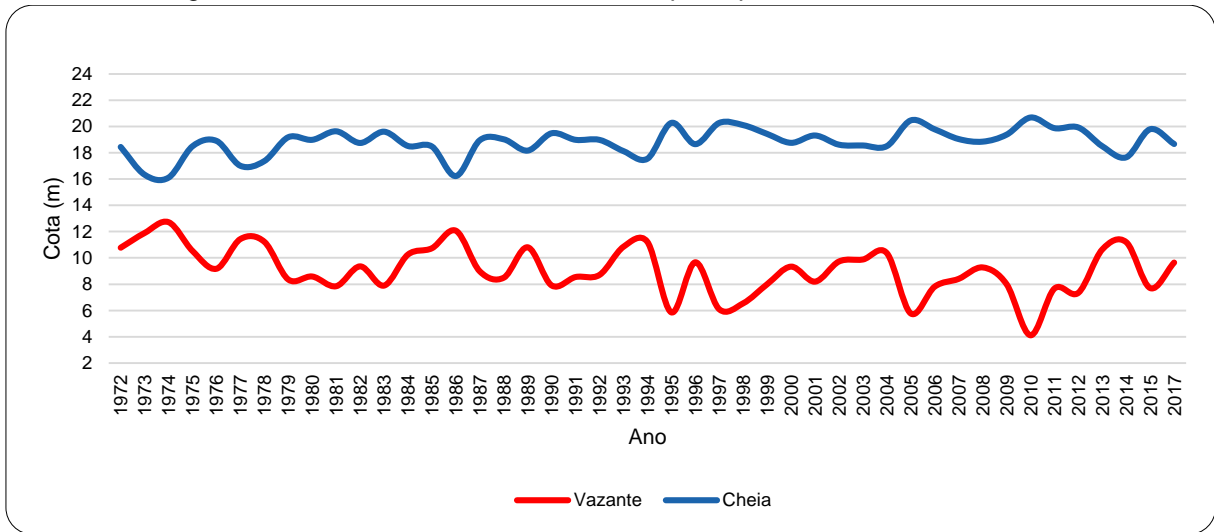
Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Outro fato a se destacar, são as cheias acima da cota de 19 m, ocorrendo com frequência em 40% do período analisado. Esse fato torna-se relevante, pois cerca de 60% da bacia do Miriti não alcança os 20 m de altitude, o que significa dizer que os moradores das áreas mais rebaixadas tiveram suas terras parcialmente ou totalmente transbordadas em 40% do período analisado, nos últimos anos vem tornando-se mais recorrente.

Nos 45 anos de medições, houve cinco cheias excepcionais (acima da cota de 20 m) o equivalente a 11,11%, também ocorreram cinco vazantes excepcionais (abaixo da cota de 07 m) o equivalente a 11,11%, com causas e consequências ainda pouco estudadas.

A oscilação do regime dos rios amazônicos, afeta diretamente os moradores das áreas ribeirinhas, dependentes do rio para a execução de suas atividades diárias. Contudo, com a ocorrência mais frequente de eventos extremos tem dificultado a harmonia do caboclo amazônico com essa dinâmica, ao qual estava acostumado, ocasionando mudanças significativas na paisagem ribeirinha (SAMPAIO et al., 2012, p. 02).

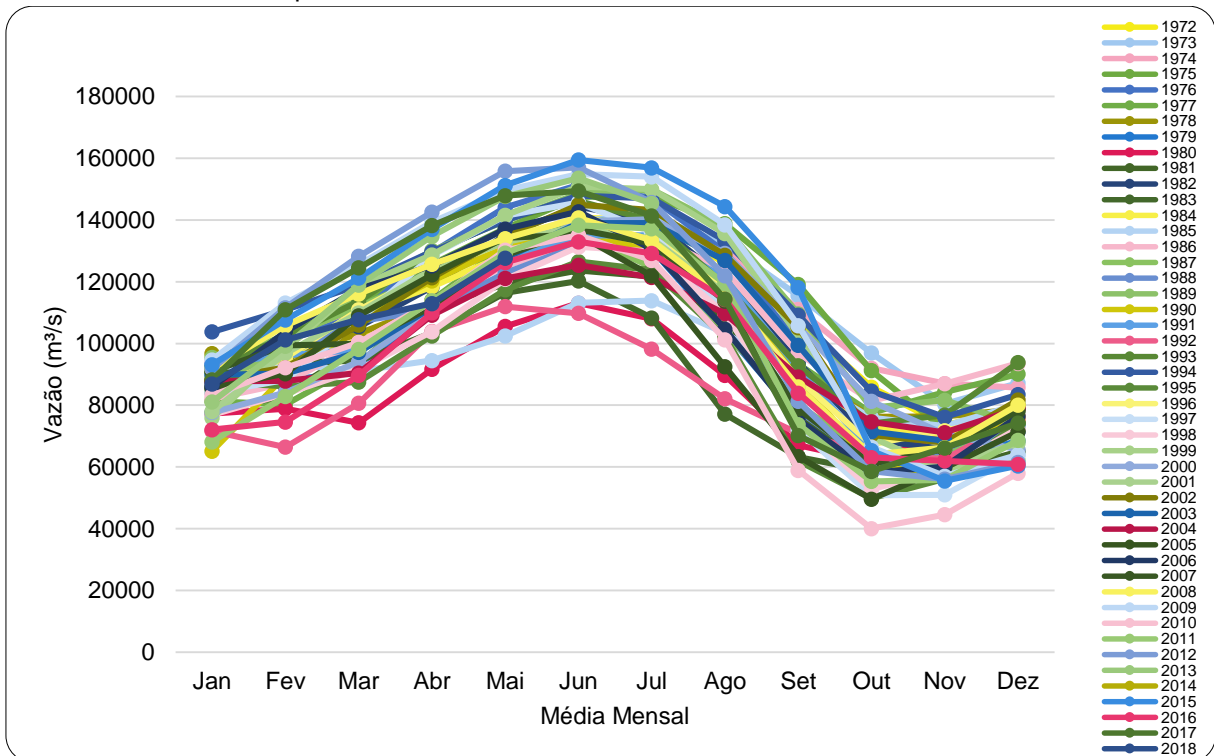
O Gráfico 03 permite observar o comportamento das cheias e vazantes desde 1972 até 2017. Percebe-se que a frequência das cheias é mais regular do que as vazantes que apresentam maior variação no seu gradiente, com tendência a vazantes cada vez menores.

Gráfico 03: Regime hídrico do rio Solimões em Manacapuru, período de 1972 a 2017.

Fonte: Estação fluviométrica de Manacapuru (14100000).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Do ponto de vista hidrológico, a estação de Manacapuru controla uma área de drenagem a montante, de aproximadamente 2.150.000 km², que corresponde em torno de 50% da água que o rio Solimões/Amazonas transporta para o Oceano Atlântico (SAMPAIO et al., 2012, p. 4) (Gráfico 04).

Gráfico 04: Série histórica (1972-2018) médias mensais de vazão do rio Solimões, estação fluviométrica de Manacapuru.

Fonte: Estação fluviométrica de Manacapuru (14100000).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Em seu baixo curso, as planícies de inundação do rio Miriti ficam expostas durante as vazantes, enquanto o canal principal em seu nível mais baixo divaga apenas em seu leito menor, seguindo o talvegue. Durante o período de cheia ocorre o transbordamento do leito menor, com a água avançando lateralmente sobre a planície, nesse período, que inicia com a subida do nível d'água no mês de dezembro indo até junho/julho, o rio Miriti apresenta comportamento lântico. Em agosto inicia a vazante, com os picos mínimos em outubro e novembro.

O leito do rio Miriti passou por transformações antrópicas que causaram mudanças na sua dinâmica hidrológica natural. A principal foi a construção da ponte sobre seu leito, ligando a rodovia Manoel Urbano (AM-070) até a cidade de Manacapuru, que causou o represamento do leito a jusante, com a inundação permanente das planícies de inundação.

A construção da ponte teve diversos episódios até chegar a atual configuração. A primeira tentativa foi no ano de 1965, com o aterramento das margens, foi construída em madeira, mas dois dias depois houve o rompimento do aterro. No mesmo ano, houve nova tentativa, mas poucas horas após a inauguração houve novo rompimento. Somente em meados de 1967/1970, novamente foi retomada a ideia de construção da ponte, desta vez removeram o aterro e a madeira das tentativas anteriores e utilizaram uma estrutura em aço, contudo mais uma vez a força da água derrubou a estrutura (LIMA, 2005, p. 36-38).

No ano de 1978 foi feito novo aterro e foi usado um bueiro com maior capacidade de dar vazão a água corrente, neste período também foi realizado o primeiro asfaltamento da rodovia, essa estrutura perdurou até o ano de 1988, quando novamente foi levada pela correnteza ocasionada por fortes enxurradas. Nesta época o fluxo de veículos e pessoas era acentuando por conta do comércio e do turismo. Então, com ajuda do governo estadual, a prefeitura construiu uma ponte de ferro com estrutura de concreto e asfalto, que dura até os dias atuais (LIMA, 2005, p. 39-40).

Os impactos sobre o corpo hídrico foram recorrentes durante esse período, tanto pelos diversos rompimentos que carregaram grandes quantidades de sedimentos para o leito do rio, quanto pelas possibilidades que a ligação com a capital proporcionou, atraindo um maior número de visitantes e abrindo a possibilidade de escoamento a um grande mercado consumidor. Além disso, houve o barramento da água a jusante da ponte, causado pelo estrangulamento do rio Miriti, levando a permanentes mudanças no ecossistema aquático desse trecho.

Damasceno et al. (2017, p. 04) afirmam que as águas a montante da ponte são consideradas lânticas, devido ao represamento do canal, enquanto a jusante da ponte, podem ser consideradas lóxicas. Vale a ressalva que no trecho a jusante à ponte, o rio Miriti possui comportamento lótico sobretudo durante o período da vazante, uma vez que a maior parte do ano possui trechos com características de ambiente lântico, assim como a montante da ponte. Essa configuração é imposta por controle estrutural associado ao rio Solimões, que atribui ao rio Miriti a característica de ria fluvial.

Rias fluviais são definidas como “lagos de formato alongado que foram originados pelo barramento de canais fluviais em seu baixo curso” (AB’SABER, 2001; HOWARD, 1967; STERNBERG, 1950 apud BERTANI, 2015, p. 25). O autor registra que as rias fluviais são comumente observadas em áreas litorâneas em todo o globo, contudo, estas feições são abundantes na Região Amazônica, principalmente associadas aos afluentes do rio Solimões/Amazonas, configurando-se como anomalias de drenagem.

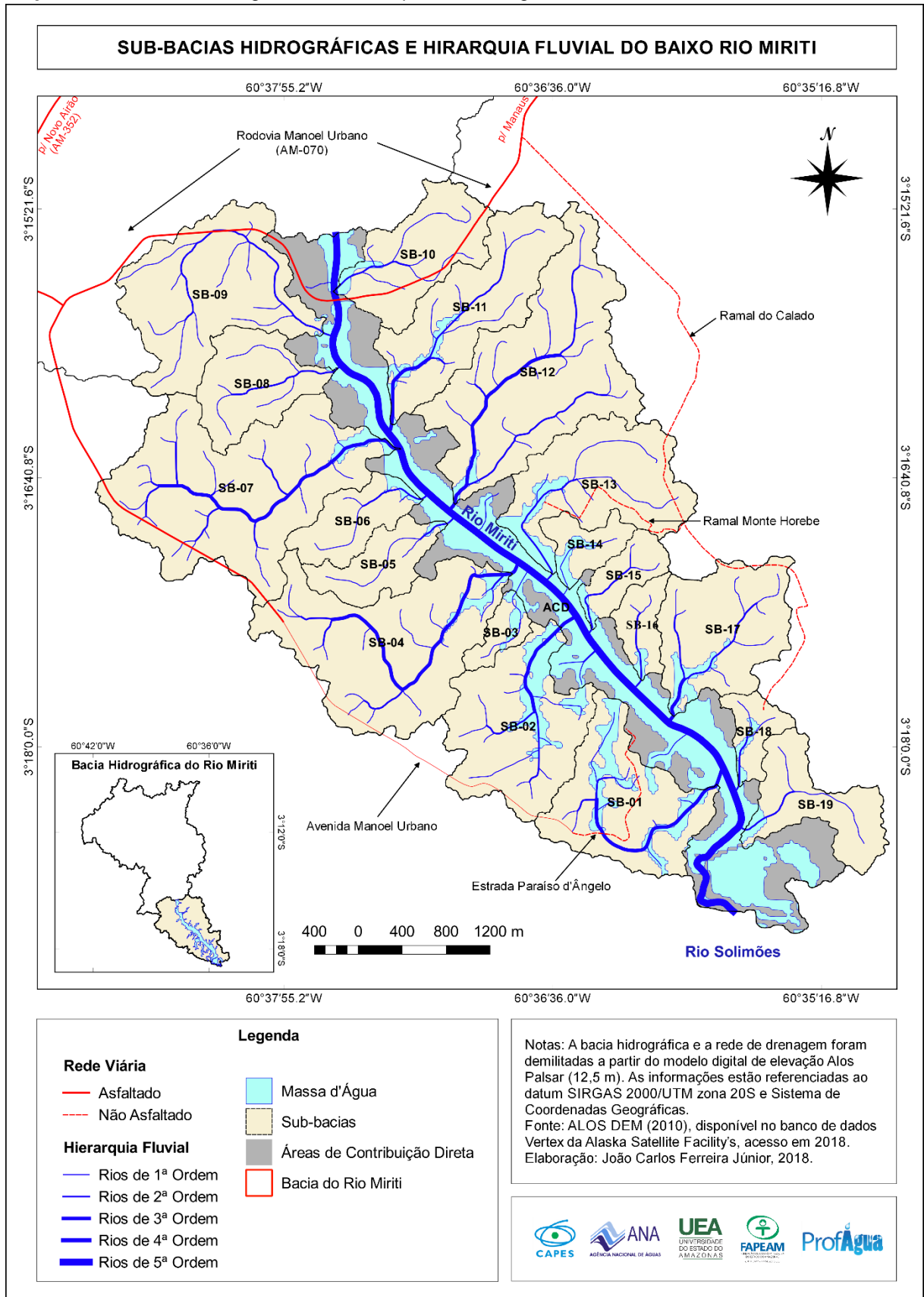
Bertani (2015, p. 27) com base em revisão bibliográfica, conclui que a distribuição geográfica das rias fluviais não parece ser aleatória, atribuindo a concentração dessas feições de drenagem associado ao canal do rio Solimões, ao controle estrutural. Porém, enfatiza que para um melhor entendimento da gênese desse processo, ainda são necessários estudos complementares que possam reconstituir a dinâmica associada a essas feições.

A ria fluvial do rio Miriti estende-se por cerca de 12 km e apresenta-se no sentido NW-SE, corroborando com Sternberg (1950, p. 511) quando afirma sobre o alinhamento dos lagos em afluentes da margem esquerda do rio Solimões/Amazonas dispendo-se com as estruturas tectônicas de direções NE-SW e NW-SE, sugerindo controle estrutural no seu processo de formação.

O rio Miriti apresenta canal do tipo retilíneo em seu baixo curso, com 1,05 de índice de sinuosidade, conforme a classificação de Shumm (1963) presente em Christofolletti (1981, p. 146) um canal é classificado como reto quando possui índice de sinuosidade inferior a 1,1. Normalmente, os canais retos estão associados ao controle tectônico, no entanto o talvegue não segue a retilinidade do canal, ele é sempre sinuoso (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 88).

A bacia do rio Miriti possui uma rede de drenagem com padrão dendrítico. Conforme Christofolletti (1980, p. 103) é um padrão onde os canais distribuem-se em todas as direções sobre o terreno e unem-se formando ângulos agudos (Mapa 06).

Mapa 06: Sub-bacias hidrográficas e hierarquia de drenagem no baixo curso do rio Miriti.



Fonte: Sub-bacias e rede de drenagem geradas a partir do MDE Alos Palsar (ASF, 2010).
Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Aplicando a hierarquização fluvial segundo Strahler (1952) presente em Stevaux e Latrubesse (2017, p. 62-63), foi possível mapear canais até a 5ª ordem, com um somatório de 83,89 km de canais fluviais (Tabela 13).

Tabela 13: Distribuição da drenagem conforme hierarquização, bacia do baixo curso do rio Miriti.

Ordem	Número de Canais	Comprimento dos Canais (km)
1ª	125	8,18
2ª	41	20,43
3ª	7	11,58
4ª	0	0
5ª	1	43,69
Total	174	83,89

Fonte: MDE Alos Palsar (ASF, 2010); conforme a classificação de Strahler (1952).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Como trata-se de uma bacia do curso inferior de um rio, existe toda uma rede de drenagem a montante que influencia o ordenamento do canal principal a jusante, por isso o rio Miriti ao alcançar o trecho em estudo encontra-se qualificado como de 5ª ordem. Em quantitativo de canais os de 1ª ordem correspondem a cerca de 72% do encontrados na bacia, enquanto não existem representantes de 4º ordem, pois estes se encontram na parte montante da bacia.

Stevaux e Latrubesse (2017, p. 62) destacam com base nos principais métodos de ordenamento de drenagem, os afluentes menores que nascem próximo aos interflúvios, de ordem inferior (1ª e 2ª ordem), à medida que avançam rumo a foz e conectam-se com outros, revelando ordens superiores. Na bacia do baixo rio Miriti, as principais redes de drenagem estão nas sub-bacias SB-01, SB-02, SB-04, SB-07, SB-11, SB-12 e SB-17, elas apresentam canais de primeira, segunda e terceira ordem.

Por fim, ao analisar o contexto ambiental que a bacia hidrográfica do rio Miriti está inserida, o município de Manacapuru é pioneiro no Amazonas pela implementação do Sistema Municipal de Unidades de Conservação (SMUC), instituído pela Lei Municipal 009, de 09 de junho de 1997, criando as Unidades de Conservação (UC) municipais: Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Piranha, as Áreas de Proteção Permanentes (APP) do Miriti e dos Lagos de Manutenção do Paru e Calado, além do Conselho de Desenvolvimento Sustentável, Meio Ambiente e Turismo (OLIVEIRA, 2012, p. 68).

A bacia do Miriti está parcialmente inserida na UC estadual Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro (APA Margem Direita do Rio Negro – Setor Paduari-Solimões), pertencente ao Corredor Central da Amazônia e também ao Mosaico Baixo Rio Negro. Foi criada pelo decreto nº 16.498, em 02 de abril de 1995, com o objetivo de proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, visando a melhoria da qualidade de vida da população local e a proteção dos ecossistemas regionais (AMAZONAS, 1995).

Segundo o ICMBIO (2011) as Áreas de Proteção Ambiental são áreas em geral extensas, com um certo grau de ocupação humana dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, notadamente importantes para a qualidade de vida e bem-estar das populações humanas e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar a ocupação humana e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

A APA Miriti possui a área total de 74,9 km², está inserida dentro da bacia homônima, ocupando as áreas circunvizinhas ao trecho em “lago” do canal principal do rio Miriti. Segundo Damasceno (2016, p. 24-26) existem dois compartimentos na APA Miriti, estabelecido no contexto da ocupação da bacia: o primeiro com áreas mais preservadas e características ainda primárias, a montante ao Balneário Miriti e outro, a jusante, mais impactado pela ação humana.

Sem sombra de dúvidas, a existência da APA Miriti é um indício indiscutível da relevância desse sistema ambiental no contexto municipal. Dentro dele se desenvolvem diversas atividades de relevância econômica, ambiental e social para a população manacapuruense. Contudo, quanto a atuação do poder público municipal percebe-se incipiente, isso deve ser mudado com ações mais contundentes, que priorizem maiores medidas de planejamento, importantes para a preservação dos mananciais de recursos hídricos e para o uso sustentável deste território que se apliquem as regionalidades.

Vale frisar que a bacia do Miriti, que inclui a APA Miriti, possui diferentes contextos de ocupação e usos no seu território, com diversos agentes atuando de múltiplas formas. Os impactos promovidos pelas ações estatais e privadas apresentam-se cada vez mais contundentes sobre a bacia, à medida que as obras em contexto regional se acentuam no município de Manacapuru. Entender quem são os atores que usufruem dos recursos do rio Miriti, sobretudo da água, é um passo fundamental para que ocorram medidas prioritárias à gestão dos recursos hídricos.

4.2 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO BAIXO RIO MIRITI

Diversos usos da água destacam-se ao longo do curso do rio Miriti, com maior importância podem ser citados: abastecimento humano urbano e rural, lançamento de efluentes, para o turismo e lazer, pela navegação, pesca, aquicultura e consumo animal. Esses usos refletem a ocupação na bacia, evidenciando a importância deste rio no contexto da população de Manacapuru.

Os usos apresentados podem ser configurados de acordo com suas demandas consultivas ou não consultivas, dependendo se ocorre ou não a retirada de água do corpo hídrico (ANA, 2019, p. 9). Dentre os usos encontrados na bacia, somente o abastecimento humano rural e urbano e consumo animal são demandas consultivas, enquanto os demais usos são classificados como de demanda não consultiva.

4.1.4 Abastecimento Humano Urbano e Rural

Segundo a ANA (2010, p. 20), no Amazonas, quarenta e quatro municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, dez por mananciais superficiais e oito de forma mista, inclusive a capital Manaus. Do total de 62 municípios, 12 são atendidos pela Companhia Saneamento do Amazonas (COSAMA), enquanto em Manaus a empresa privada Águas de Manaus é a responsável, os demais municípios são atendidos por serviços municipais de saneamento, normalmente prefeituras.

O sistema de abastecimento de água de Manacapuru é de responsabilidade da do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), única empresa de abastecimento de água do município, responsável pela captação, tratamento e distribuição de água à população (SANTOS et al., 2017, p. 4). A captação de água ocorre tanto superficialmente, tendo como manancial o rio Miriti, quanto por águas subterrâneas, através de poços tubulares (SILVA, Márcio, 2016, p. 136).

Segundo o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARN) em 2016 o volume total das águas superficiais captadas somava 2.004.800 de m³/ano, oriundas de captação em dois pontos no rio Miriti. Durante o período de cheia a captação ocorre normalmente, contudo no período de seca, o rio Miriti perde grande parte do seu volume, afetando a captação, a qualidade da água fica comprometida pela maior concentração de sólidos na água, provenientes principalmente de rejeitos domésticos.

No rio Miriti existem dois pontos de captação de água superficial, para distribuição à parte da população urbana (Figura 10). Os dois pontos de captação atendem duas estações de tratamentos, que estão ligadas a uma rede de abastecimento com 85 km de extensão que abastecem os bairros Liberdade e São Francisco (CRUZ, 2015, p. 6).

Figura 10: Estações de captação de água superficial no rio Miriti, os dois pontos possuem em comum, a proximidade com áreas de forte adensamento populacional, zona de despejo de efluentes domésticos e grande presença de macrófitas aquáticas no entorno . **A:** Captação realizada na Orla do Miriti, próximo à sede da SAAE, bairro Liberdade; **B:** Está localizado entre as fozes dos igarapés Paçoca e Cai n'Água, bairro São Francisco.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: Claudenei Sampaio da Silva, 29 mar. 2018.

As duas estações não suprem a demanda da cidade, por isso os poços públicos são responsáveis pelo abastecimento das demais residências, a maior parte da população é abastecida por poços públicos, espalhados em todos os bairros. De acordo o CNARH em 2016 foi captado um volume total de águas subterrâneas, entorno de 12.948.144,00 m³/ano em trinta e dois poços ativos.

No que concerne à adequação para o consumo humano, Cruz (2015, p. 6) cita três etapas de tratamento da água que antecedem a distribuição à população, são: a clarificação da água, para a remoção da cor por intermédio de processo químico com sulfato de alumínio; a desinfecção, responsável por tirar a insalubridade da água usando hipoclorito de sódio e a correção do pH da água bruta, corrigido com o uso de hidróxido de cálcio. Após passar pelas estações de tratamento de água, a água é destinada na rede de distribuição, com destino à população.

Tratando do abastecimento de água na zona rural dentro da bacia do Miriti, o abastecimento de água torna-se complicado, pois é individual e dependente da

sazonalidade do rio. Em campo, verificou-se a dificuldade de algumas famílias, que vivem à margem de um dos afluentes da margem esquerda do rio Miriti, em obter água durante a vazante, pois a bomba para captação água perde sua principal fonte, levando ao deslocarem-se a distâncias maiores para obter água para consumo.

4.1.5 Lançamento de Efluentes

Uma das principais fontes poluidoras da água são os esgotos sanitários, compreendem as águas pluviais da drenagem urbana e água utilizada nas atividades domésticas, na higiene pessoal, na cocção de alimentos e na lavagem de utensílios. Origina-se de prédios residenciais, comerciais, administrativos, hospitalares e industriais (BENETTI; BIDONE, 2015, p. 855).

Na cidade de Manacapuru, no que tange ao tratamento de esgoto, não existe nenhum sistema de tratamento, os rejeitos líquidos são diretamente lançados para o corpo hídrico mais próximo, que deságuam no rio Miriti e no rio Solimões (LIMA, 2011). Em alguns pontos da cidade o esgoto ocorre a céu aberto, como nas moradias em forma de palafitas localizadas nas margens dos igarapés urbanos (Figura 11).

Figura 11: Afluentes urbanos do rio Miriti, forte presença de ocupação das margens por moradias do tipo palafita. **A:** Próximo a foz do igarapé Dente de Leite (MIR7), os rejeitos domésticos são lançados diretamente na água; **B:** Trecho do igarapé da Feira (MIR6), além dos rejeitos líquidos, presença de resíduos sólidos.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 28 fev. 2017.

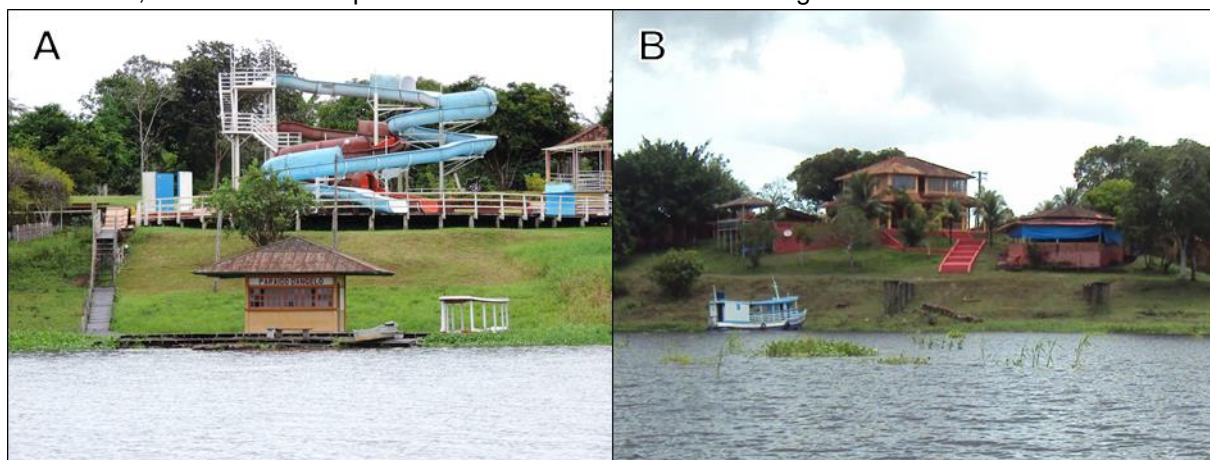
Esse tipo de ocupação é muito comum em toda a margem do rio Miriti e dos afluentes urbanos que são alcançados pela cidade de Manacapuru. Com o número crescente de habitantes e nenhum tratamento de esgoto, o meio aquático perde sua capacidade de auto recuperação e passam a ser esgotos a céu aberto.

4.1.6 Lazer e Turismo

A proximidade com Manaus e o fácil acesso a sede de Manacapuru por via terrestre, facilitam o turismo e lazer não somente da população local, mas de visitantes dos municípios limítrofes. Um dos principais atrativos na bacia são os balneários, em especial o balneário do Miriti, localizado na AM-070, atrai turistas durante os fins de semana e feriados, principalmente de Manaus.

O principal atrativo turístico do rio Miriti são seus atrativos naturais, alguns hotéis visando o turismo possuem áreas para recreação e lazer que evidenciam as graças do rio Miriti. O principal exemplo é o hotel fazenda, Complexo Turístico Paraíso D'Ângelo, empreendimento particular que oferece pesca esportiva, piscina com tubo água, áreas esportivas, lida com animais, dentre outros atrativos (Figura 12).

Figura 12: Hotéis turísticos construídos na margem do rio Miriti. **A:** Vista do Complexo Turístico Paraíso D'Ângelo, em destaque dois dos atrativos, o tubo água na área da piscina e uns dos pontos de pesca esportiva do hotel fazenda; **B:** Amazon Experience Hotel, como principal atrativo a vista contemplativa do rio Miriti, também oferece piscina e restaurante com comidas regionais.



Fonte: Trabalho de campo.

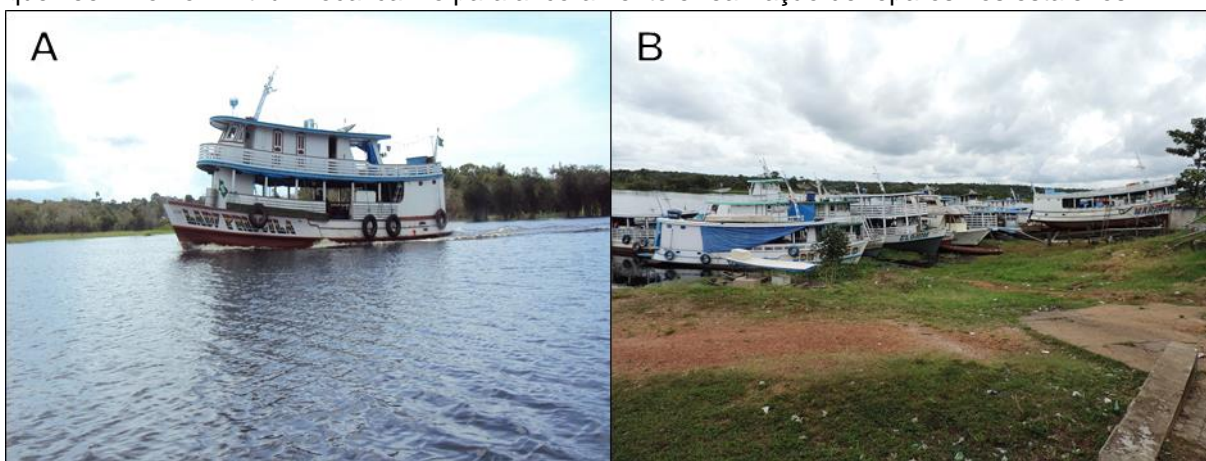
Fotografia: (A) Claudenei Sampaio da Silva, 29 mar. 2018 e (B) João Carlos Ferreira Jr, 07 mar. 2018.

O uso da água para a recreação pode ser classificado a partir do nível de contato com a água: contato direto, quando o espaço oferece locais para natação e recreação nas águas naturais; o contato indireto, durante pesca esportiva ou passeio a barco (BENETTI; BIDONE, 2015, p. 852). Principalmente quanto ao contato direto, as condições da qualidade da água devem ser mais restritivas, com acompanhamento periódico.

4.1.7 Navegação

Na Amazônia os rios são como estradas, permitem o deslocamento da população ribeirinha e o transporte de mercadorias. O rio Miriti é navegável durante a maior parte do ano por embarcações de diversos portes, seu único limitante é a ponte na rodovia Manoel Urbano, que impede a passagem de barco maiores para jusante. Ao longo do seu percurso é possível visualizar muitos barcos pesqueiros de diversos tamanhos, os menores pescam no próprio rio Miriti, enquanto os maiores utilizam suas margens para ancoramento (Figura 13).

Figura 13: Exemplos da ocorrência do uso para navegação no rio Miriti. **A:** Barco de médio porte navegando pelo rio Miriti; **B:** Orla do Miriti funciona também como área portuária de barcos pesqueiros, que veem no rio Miriti um local calmo para ancoramento e realização de reparos nos estaleiros.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, (A) 07 mar. 2018 e (B) 28 fev. 2017.

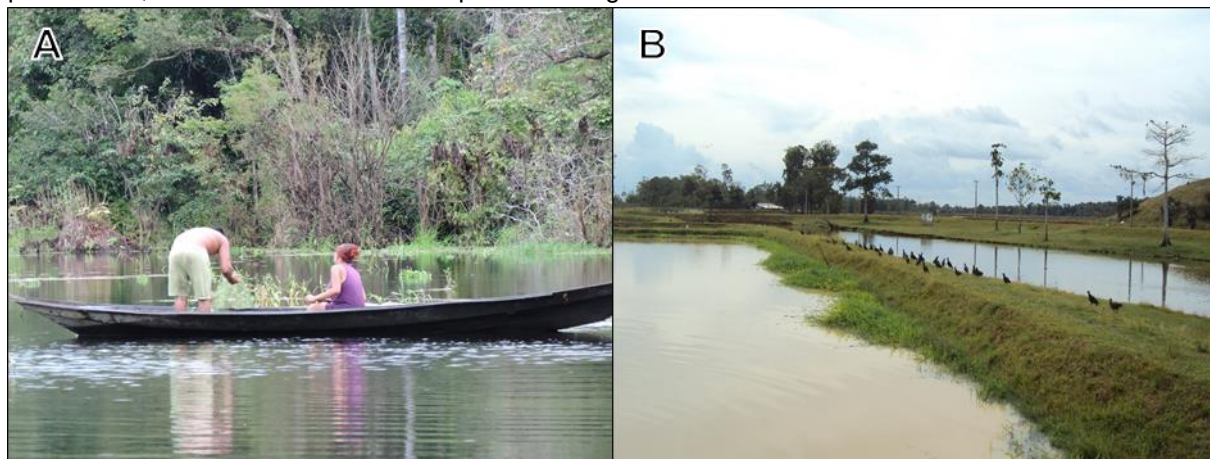
4.1.8 Pesca e Aquicultura

A biota aquática é uma das principais fontes de proteína animal da população. Exemplo de extrativismo animal, a pesca é uma das principais atividades desenvolvidas no rio Miriti. Essa unidade da paisagem constitui um componente importante na segurança alimentar, por fornecer parte representativa da alimentação ribeirinha.

A quantidade de peixes capturados é variável, obedecendo a sazonalidade hidrológica e a necessidade diária de consumo de unidade familiar, prevalecendo no rio Miriti a pesca de subsistência. De acordo com Dário (2011, p. 47-48) em estudo realizado nos lagos do Calado e Paru, sistemas aquáticos vizinhos ao Miriti, a

população ribeirinha utiliza como principais apetrechos para a pesca: a malhadeira, a linha de mão com anzol e a tarrafa (Figura 14).

Figura 14: Exemplificações dos usos para a pesca e aquicultura. **A:** Pesca para a subsistência, casal em embarcação do tipo canoa, pescando com auxílio de malhadeira. **B:** Tanques escavados para piscicultura, localizados na fazenda aquícola Seringal 25 de Dezembro.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 mar. 2018 (A) e 07 mar. 2018.

4.1.9 Consumo Animal

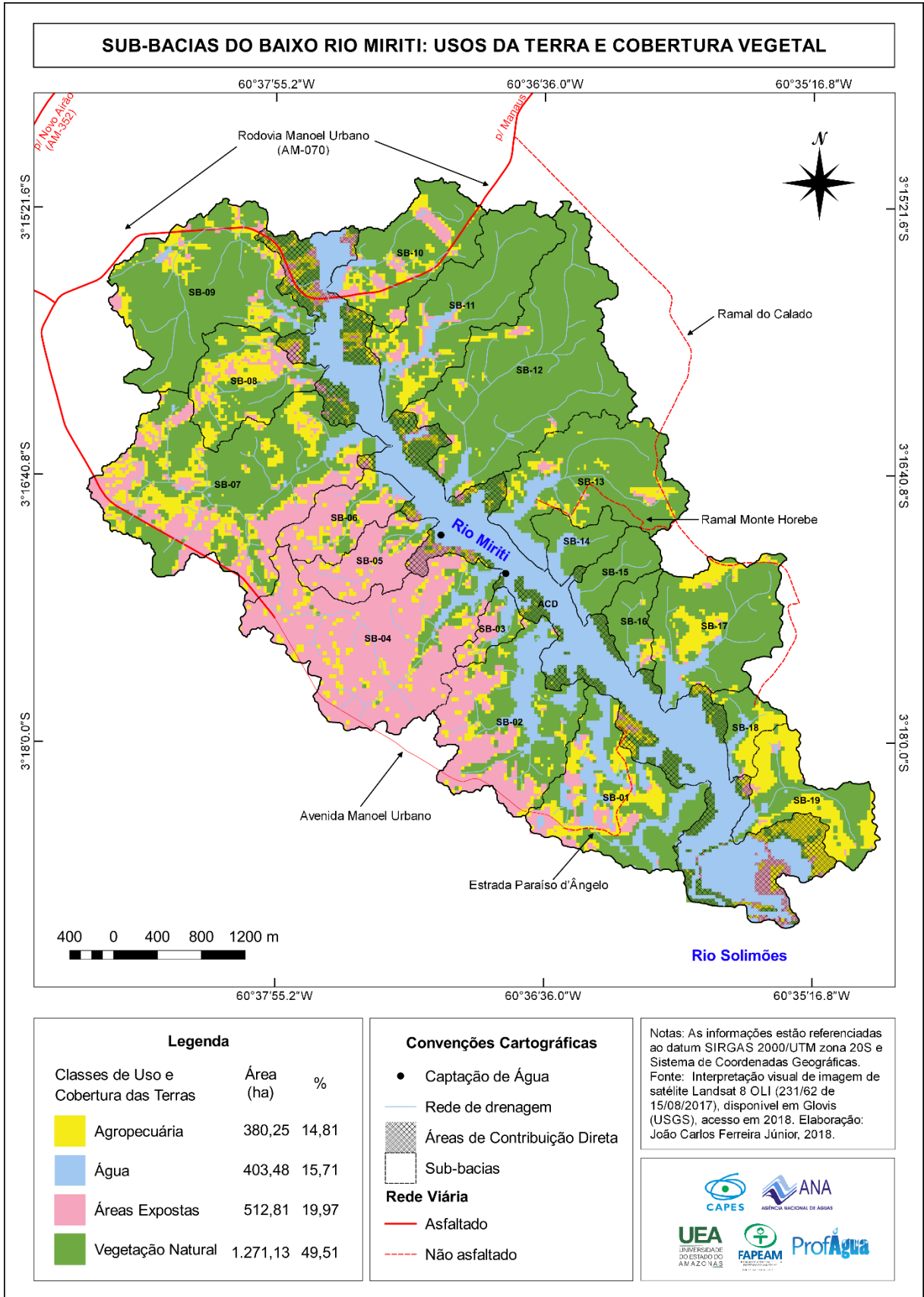
Segundo a ANA (2017), faz parte desse montante o abastecimento animal, que engloba a utilização de água em estruturas de dessedentação, criação e ambiência nos sistemas de criação de animais em confinamento ou livre em pastos. Na bacia do rio Miriti ocorre a criação de bovinos e equinos animais de grande porte, além de animais menores, como os suínos e os caprinos.

O consumo de água diário para pecuária varia significativamente em função da espécie animal. O tamanho e estágio de desenvolvimento fisiológico são fatores determinantes na demanda hídrica per capita, sendo ainda influenciados pelas condições ambientais e de manejo (ANA, 2019). O rebanho em maior quantidade são os bovinos, com destaque as extensas pastagens no sudeste da bacia.

4.3 USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO RIO MIRITI

Os usos da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas do baixo rio Miriti foram destacados em quatro classes distintas: agropecuária, água, áreas expostas e vegetação natural, conforme espacializado no Mapa 07.

Mapa 07: Usos da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas do baixo rio Miriti.

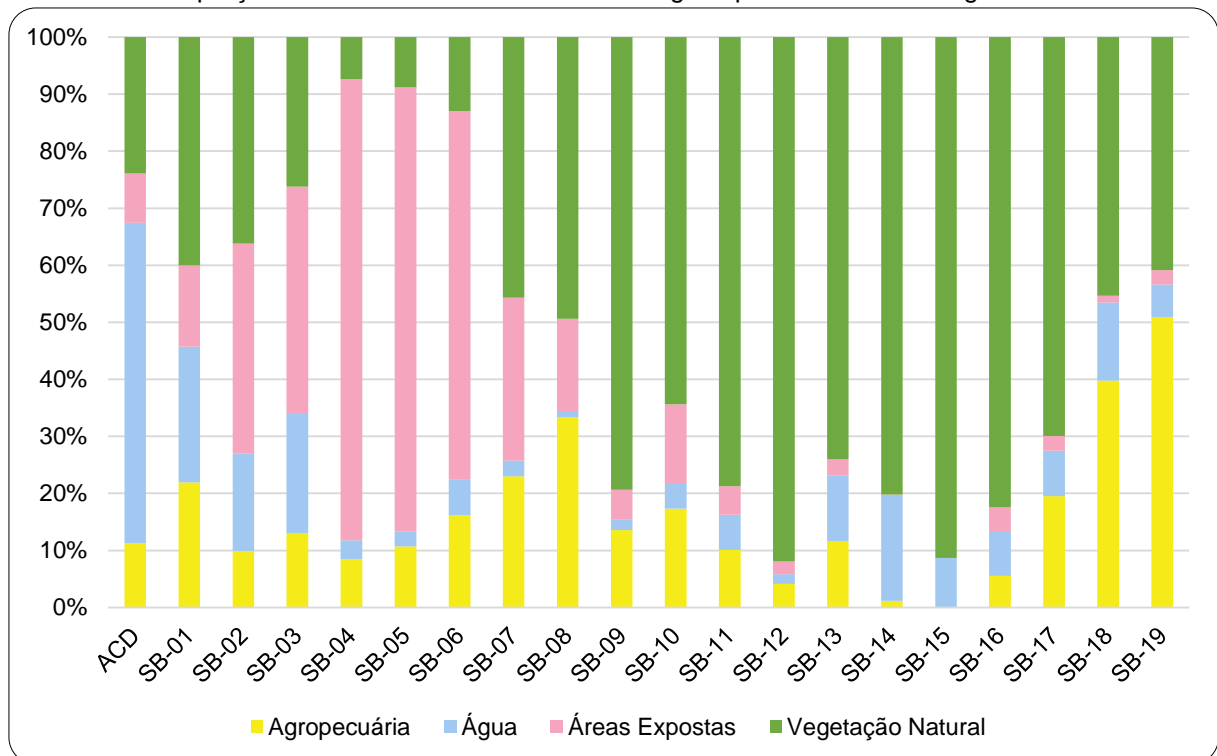


Fonte: Classificação supervisionada de imagem LANDSAT 8 OLI (231/62), data de passagem 15 de agosto de 2017.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Considerando a área total das sub-bacias hidrográficas, a classe de vegetação natural predomina sobre as demais classes, correspondendo a 49,51% da área total da bacia, com destaque para as sub-bacias SB-09, SB-11, SB-12, SB-13, SB-14, SB-15, SB-16 e SB-17, todas com mais de 70% de suas áreas com cobertura de vegetação natural (Gráfico 05), predominante principalmente nas regiões de cabeceiras das sub-bacias hidrográficas.

Gráfico 05: Proporção dos usos da terra e cobertura vegetal por sub-bacia hidrográfica.



Fonte: Quantificação do mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal para cada sub-bacia hidrográfica e áreas de contribuição direta, imagem LANDSAT 8 OLI (15/08/2017).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As áreas de vegetação natural são compostas em terra firme, por florestas do tipo ombrófila densa (floresta tropical pluvial) com formação em terras baixas com dossel emergente (IBGE, 2012, p. 65). Esse tipo de vegetação ocupa terrenos que não ultrapassam 100 m de altitude, não susceptíveis a inundações, apresenta uma paisagem muito uniforme sem nítida predominância de espécies quanto ao número de indivíduos ou quanto à biomassa (BRAGA, 1979, p. 54; IBGE, 2012, p. 66).

As áreas que bordeiam a massa d'água do rio Miriti podem ser entendidas como matas de igapó, pois segundo Braga (1979, p. 63) esse termo “designa áreas muito encharcadas, com alagação permanente ou não, águas paradas ou quase paradas”,

este último seria o caso do rio Miriti. Na bacia Amazônia essa vegetação está normalmente associada a rios de águas pretas ou claras.

Nas margens do rio Miriti há o predomínio de *Arecaceae*s conhecidas popularmente como palmeiras. Aquino (2014, p. 24) identificou as espécies vegetais predominantes na mata ciliar do rio Miriti, encontrando diversas espécies da família das *Aracaceae*, como o Janauari (*Astrocaryum jauary*), Murumuru (*Astrocaryum murumuru*) e o Buriti ou Miriti (*Mauritia flexuosa*), além de espécies de outras famílias, como a Piranha (*Piranhea trifoliata*) da família *Euphorbiaceae* e a Orelha de Cachorro (*Crudia amazonica*) das *Fabaceae*s.

Além da vegetação terrestre, espécies de macrófitas aquáticas formam verdadeiras ilhas flutuantes no rio Miriti. Esses aglomerados são de grande importância para esse ecossistema, pois atuam como produtores primários de matéria orgânica, além de fornecerem habitat e refúgio para pequenos animais (Figura 15).

Figura 15: Visão da margem esquerda do rio Miriti, na altura do complexo turístico Paraíso d'Ângelo, na margem direita. Em primeiro plano um bloco flutuante de macrófitas aquáticas e ao fundo na borda da massa d'água a vegetação arbórea, com destaque para as palmeiras.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 28 fev. 2017.

Ressalta-se que esse tipo de vegetação não é comum em grande quantidade em rios de águas pretas, devido ao pH ácido e a pobreza de nutrientes, que limitam o desenvolvimento dessas plantas. Porém, a proliferação e o aumento na ocorrência de algumas espécies como *Eichornnia crassipes* e *Pistia stratiotes* sugerem a entrada de nutrientes derivados da ação antrópica, sobretudo pelo lançamento de efluentes líquidos sem tratamento adequado ao corpo hídrico receptor, destacando o papel das macrófitas como um importante bioindicador.

Na sub-bacia SB-19 praticamente toda área da classe vegetação natural é composta por macrófitas aquáticas, esse era um dos furos de ligação superficial entre o rio Miriti e o lago do Calado, contudo, devido ao seu represamento artificial, sua dinâmica fluvial foi alterada, levando a concentração de grandes populações dessas vegetações aquáticas no seu leito (Figura 16).

Figura 16: Visão a partir de embarcação no rio Miriti da barragem no furo de ligação entre os sistemas aquáticos Miriti-Calado, construída para acesso terrestre, ligando o ramal do Calado até a área de aquicultura da Fazenda Seringal 25 de Dezembro.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 mar. 2018.

As sub-bacias hidrográficas com predomínio de vegetação natural encontram-se na margem esquerda do baixo rio Miriti, são áreas ainda bastante preservadas, com exceção das sub-bacias mais a jusante, onde o uso destinado a agropecuária se intensifica, fato observado nas sub-bacias hidrográficas mais próximas a foz do rio Miriti, em ambas as margens.

Ao longo do ramal do Calado vê-se pequenas áreas destinadas a agropecuária, encontradas por todo o percurso do ramal. Na Figura 17 observa-se o contraste da vegetação natural com as áreas desmatadas para finalidades agropastoris, os campos sujos, áreas abandonadas pela pecuária ou que ainda possuem uso, mas com baixa densidade de animais.

Figura 17: Áreas de vegetação natural e de agropecuária. Em primeiro plano área de campo sujo, ao fundo áreas florestais nas proximidades do ramal do Calado em terra firme.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 jul. 2017.

A agropecuária é a classe menos expressiva dentre os usos analisados, com 14,81% de área recoberta por esse uso antrópico. Vale ressaltar que esta classe não é composta somente por áreas agrícolas ou áreas de pastagem animal, mas também

por áreas de vegetação arbustiva espaçada ou com cobertura de gramíneas, encontradas nas áreas rurais ou urbanas.

As maiores áreas de agropecuária são encontradas nas sub-bacias SB-18 e SB-19, margem esquerda do rio Miriti, com 39,80% e 50,89% respectivamente de suas áreas correspondentes a este uso. Nelas foi possível observar grandes áreas de pastagens para uso extensivo de gado bovino, como observado na Figura 18.

Figura 18: Criação extensiva de bovinos em pastagem, fim do ramal do Calado na sub-bacia SB-18.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 jul. 2017.

Pastagens são áreas destinadas para a criação de animais, visando a produção econômica e de subsistência, estas áreas são dedicadas ao pastoreio de gado (IBGE, 2013, p. 79). Segundo o IBGE (2018d) o rebanho bovino do município de Manacapuru em 2017 correspondia a 11.298 cabeças, sendo 1.700 cabeças destinadas para ordenha. O rebanho de suíno é o segundo maior com um total de 3.953 cabeças, seguido pelos ovinos (454 cabeças), caprinos (399 cabeças), equinos (235 cabeças) e bubalinos (99 cabeças).

Na produção agrícola do município de Manacapuru destaca-se tanto no plantio de culturas permanentes e quanto nas culturas temporárias. As culturas permanentes compreendem os cultivos de ciclo vegetativo de longa duração, sendo possível manter a produção durante vários anos, sem a necessidade de novo plantio (IBGE, 2013, p. 70). Em Manacapuru no ano de 2017 a produção de banana ocupava o primeiro lugar em área destinada a colheita com 1.320 ha produzindo um montante de 13.800 t; seguida pela produção de mamão com 660 ha de área destinada a colheita e 16.000 t produzidas; e de maracujá, com 569 ha de área e 11.300 t de quantidade produzida (IBGE, 2018b) (Figura 19).

Figura 19: Plantação de mamoeiros na margem da rodovia AM-352, exemplo de cultura permanente.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 jul. 2017.

Dentre as culturas temporárias, cultivos de curta e média duração, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio (IBGE, 2013, p. 58), no ano de 2017 destacaram-se os cultivos de mandioca com uma produção de 200.000 t numa área plantada de 17.000 ha; seguido pelo milho com 747 ha plantados e apenas

1.770 t de produção; e o cultivo de melancia com uma quantidade produzida de 12.000 t numa área de 670 ha (IBGE, 2018c) (Figura 20).

Figura 20: Áreas de agricultura temporária na bacia hidrográfica do rio Miriti. **A:** Cultivo de mandioca próximo à AM-352 rodovia de ligação a Novo Airão; **B:** Estufas para a produção de hortaliças no ramal do Calado, sub-bacia SB-13.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 07 jul. 2017.

Na margem direita do rio Miriti, as sub-bacias SB-01, SB-07 e SB-08 são as que possuem maior destaque na classe agropecuária. As sub-bacias SB-07 e SB-08, encontram-se na área de expansão urbana da cidade de Manacapuru, então possuem um caráter misto quanto aos usos da terra, podendo visualizar elementos do modo de vida urbano, como a presença de novos loteamentos e construção de conjuntos habitacionais; e do modo de vida rural, com áreas de plantação de culturas permanentes.

Na SB-01 está localizado o Complexo Turístico Paraíso d'Ângelo, lugar que oferece hospedagem em hotel ou chalés, com atrativos sempre destacando os atrativos naturais da região. Porém, esta é uma das sub-bacias mais alteradas, possui a menor média de altitude dentre todas as sub-bacias, cerca de 8,9 m, o que a torna uma área de forte pressão antrópica sobre seu relevo, o ponto com maior altitude alcança 33 m, área onde está localizado o complexo turístico.

Suas baixas altitudes favoreceram mudanças no leito do canal principal da sub-bacia levando a sua fragmentação, pois parte do canal foi aterrado para construção da estrada Paraíso d'Ângelo de acesso ao complexo turístico e de outros empreendimentos, como a olaria Cerâmica Praiano, que produz tijolos, atendendo ao mercado local; o frigorífico Frigopesca, indústria de beneficiamento de pescado que

produz e vende filés e peixes congelados; e áreas de pastagem para a criação de animais de grande porte como bovinos e equinos (Figura 21).

Figura 21: Mosaico de fotografias de áreas da classe agropecuária na sub-bacia SB-01. **A:** Área de campo no complexo turístico Paraíso d'Ângelo, utilizado para lazer; **B:** Estrada Paraíso d'Ângelo, principal acesso ao complexo turístico encontra-se não asfaltada (área exposta), a esquerda criação de equinos; **C:** Pastagem com presença de bovinos a direita da estrada Paraíso d'Ângelo, ao fundo o rio Solimões.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 28 fev. 2017.

Nas sub-bacias hidrográficas da margem direita está localizada a cidade de Manacapuru, área em grande parte densamente urbanizada que corresponde a maior parte das áreas expostas, segunda classe mais significativa dentre as analisadas, compreendendo a uma fatia de 19,97% da área total da bacia.

A classe de áreas expostas é predominante nas sub-bacias SB-04, SB-05 e SB-06, com valores correspondentes de 80,91%, 77,81% e 64,53% respectivamente. Nas sub-bacias SB-02 e SB-03 as áreas expostas também é a classe mais

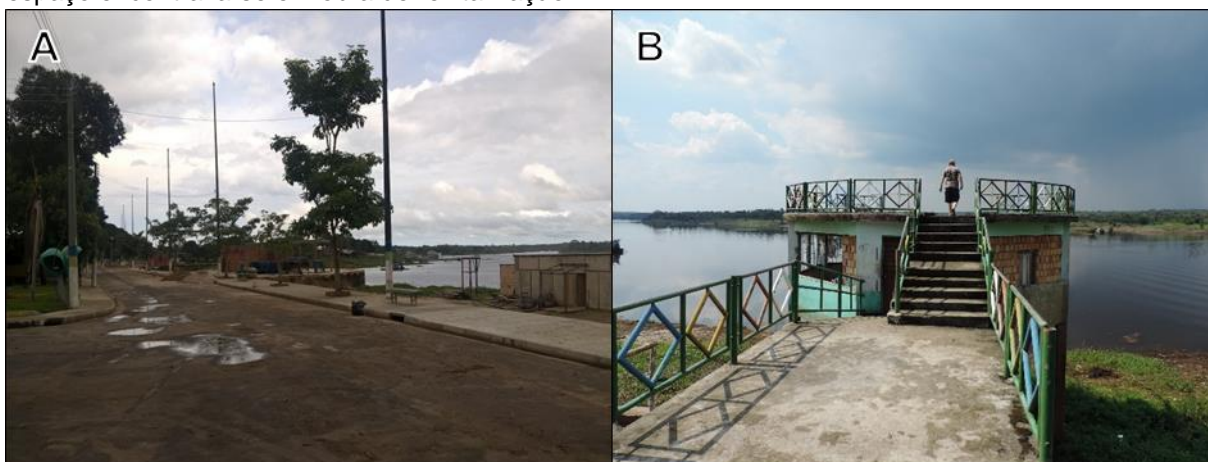
significativa 36,78% e 39,68% respectivamente, contudo comparada as sub-bacias citadas anteriormente, possuem maior equilíbrio entre as demais classes.

As áreas expostas correspondem ao que o IBGE (2013, p. 49) denomina de áreas antropizada não agrícolas, que inclui as áreas urbanizadas das cidades, vilas, comunidades, a rede viária, serviços, energia, comunicações, além das áreas destinadas a mineração. Neste trabalho também foram incluídas as áreas sem nenhum tipo de cobertura, com o solo exposto.

A zona urbana de Manacapuru caracteriza-se por concentrar a maior parte dos serviços, comércios, infraestrutura e equipamentos de saúde, educação e do município (FVA, 2017, p. 7). A cidade de Manacapuru é dividida em treze bairros, sendo oito deles localizados completamente ou parcialmente dentro da bacia hidrográfica do rio Miriti.

As áreas edificadas desses bairros são predominantemente residenciais, com casas em sua maioria em madeira ou alvenaria, com áreas comerciais e de serviços concentradas nas avenidas principais, nas áreas centrais e na Orla do Miriti (Figura 22). A maior parte das vias urbanas possuem pavimentação, abastecimento de água e energia elétrica, contudo o esgotamento sanitário é precário.

Figura 22: Passeio turístico da Orla do Miriti, rua Tancredo Neves (A), bairro Liberdade. Lugar de lazer e recreação da população, possui um almirante (B), além de bares e restaurantes. Na data da visita o espaço encontrava-se em obra de revitalização.

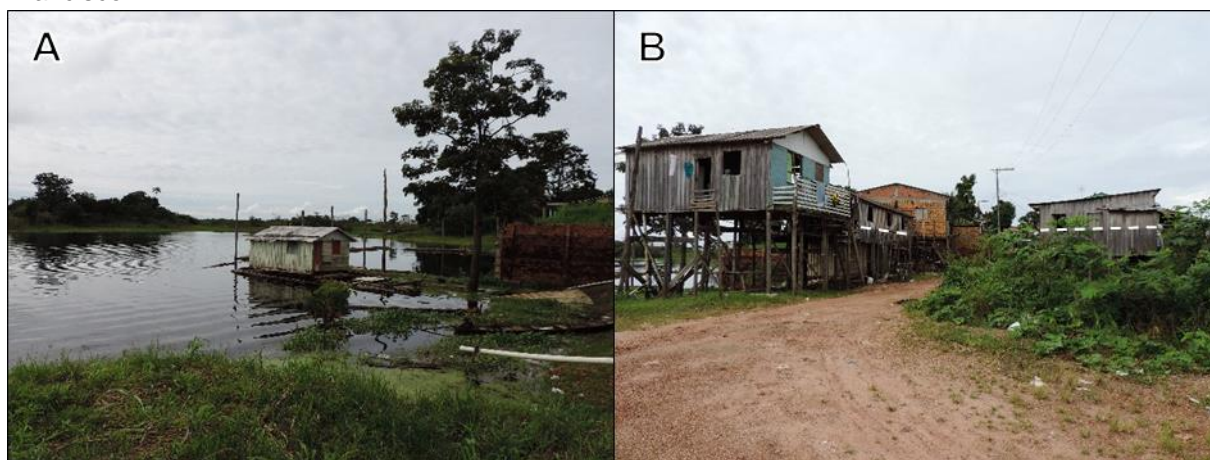


Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, (A) 07 mar. 2018 e (B) 07 jun. 2017.

Alguns desses bairros são limitados pelo próprio rio Miriti, nessas áreas a ocupação ocorre em residências do tipo palafita ou até flutuantes, tipos de moradias adaptadas ao regime hidrológico da região (Figura 23). Esse tipo de ocupação ocorre por vários bairros nas margens do rio Miriti e dos seus afluentes urbanos.

Figura 23: Moradias as margens do rio Miriti. **A:** moradia flutuante sobre as águas do rio Miriti; **B:** Moradias do tipo palafita, marcadas com linhas traçadas em branco no nível em que as águas atingem durante o período da cheia do rio Miriti, localizadas no fim da avenida Ribeiro Júnior, bairro São Francisco.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 28 fev. 2017.

Dentre as maiores construções na classe de áreas expostas destacam-se o estádio municipal Gilberto Mestrinho, com capacidade para quinze mil pessoas, localizado no bairro União; a rodoviária de Manacapuru, onde atuam as empresas EMTRAM e MASTER, com destinos a Manaus e a Novo Airão; o Núcleo de Ensino Superior de Manacapuru da Universidade do Estado do Amazonas; o Fórum de Justiça Doutor Giovanni Figliuolo; as instalações do SESC (Serviço Social do Comércio) e do SENAC (Serviço Nacional de Aprendizagem Nacional); além do Parque do Ingá, onde ocorrem as grandes festividades, como o aniversário da cidade e o famoso Festival de Cirandas, todos localizados numa grande quadra entre a avenida Manoel Urbano, a rua Waldemar Ventura e a alameda União, no bairro Aparecida.

A última classe a ser abordada é a água, correspondendo a 15,71% da área da bacia hidrográfica do baixo rio Miriti, sendo o próprio rio Miriti na extensão de sua lâmina d'água o maior contribuidor para a classe, mas não o único, visto que existem lagos destinados a aquicultura, sobretudo a piscicultura, localizados principalmente próximo a foz.

As áreas de contribuição direta (ACD) são áreas de drenagem que não chegam a formar uma bacia hidrográfica, as águas drenadas por essas áreas são direcionadas diretamente ao canal principal, ocorre pelo escoamento superficial ou subsuperficial, as vezes formando um canal intermitente, alimentado apenas por certo período do

ano. A ACD possui uma área de 451,06 ha sendo 56,23% composto por água, cerca de 253,81 ha, esse valor corresponde a 62,90% da classe água.

A ACD estende-se por toda a bacia, junto ao canal do rio Miriti, englobando a maior parte de sua lâmina d'água, além de pequenas áreas nas margens correspondentes as demais classes. Próximo a foz, sua extensão aumenta consideravelmente, quando inclui os lagos de aquicultura da Fazenda Seringal 25 de Dezembro, conforme pode ser observado na imagem a seguir (Figura 24).

Figura 24: Imagem dos lagos de aquicultura da Fazenda Seringal 25 de Dezembro, próximo a foz do rio Miriti, com destaque para as barragens artificiais que alteraram a dinâmica fluvial da área.



Fonte: Google Earth, 2017.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A fazenda Seringal 25 de Dezembro ocupa uma área de 3.000 ha, onde foram construídos barramentos para a formação de lagos destinados a aquicultura, além de tanques menores escavados. A empresa aquícola possui embarcações e um porto próprio para o transporte de pescado, destinado ao frigorífico Frigopesca, 3 km a montante pelo rio Solimões, ambos pertencentes ao mesmo proprietário. Vale salientar, no entorno do empreendimento a vegetação nativa foi praticamente toda substituída por gramíneas para a formação de pastagens.

Na fazenda a produção é predominante na modalidade piscicultura, com a criação de peixes e alevinos, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pirarucu (*Arapaima gigas*), mas também possui criações na modalidade quelonicultura, com a tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*). Segundo IBGE (2017b) no ano de 2016 a aquicultura em Manacapuru foi responsável por gerar um valor de R\$ 4.810.000,00 para o município, sobretudo pelo quantitativo da produção de peixes das espécies: tambaqui (525 t), seguindo pelo matrinxã (150 t) e pelo pirarucu com 20 t de peixe produzidos.

Apesar da importância econômica, a fazenda Seringal 25 de Dezembro causou profundas alterações no leito da foz do rio Miriti, modificando sua dinâmica fluvial. A construção das barragens desconectou o rio Miriti dos lagos naturais próximos a sua foz, que ganharam novos usos na aquicultura; possuía duas ligações com o lago do Calado, a jusante pelo rio Solimões, que integrava os sistemas aquáticos superficialmente durante a cheia; e a própria foz do rio Miriti que foi deslocada cerca de 600 m a montante do que era antes dos barramentos.

Essas alterações levaram a visíveis mudanças nas condições naturais da água nesse trecho do rio Miriti, tanto do ponto de vista fluvial, com o barramento da ligação superficial entre o rio Miriti e o lago do Calado e a mudança da foz; quanto na qualidade, evidenciado pela grande comunidade de macrófitas aquáticas, como indicador biológico de alteração do estado trófico deste ambiente.

Os diferentes usos da terra bem como a cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas do baixo rio Miriti possuem influência direta nas características físico-químicas da água. A importância desse tipo de mapeamento está em compreender como ocorrem a espacialização dos objetos na bacia hidrográfica, contribuir para o planejamento territorial; conhecer os agentes que atuam no espaço; além de indicar possíveis vetores, associados aos usos antrópicos, que influenciam diretamente na qualidade das águas, aos quais possuem significativa dependência.

4.4 CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA

A caracterização limnológica está segmentada em quatro seções, a primeira traz a seção 4.3.1 traz informações sobre os aspectos gerais nas medições das variáveis, como as condições de tempo e informações complementares, além de discutir sobre a ocorrência de algumas espécies de macrófitas aquáticas; a seção 4.3.2 traz a estatística descritiva de cada parâmetro limnológico; a terceira sobre a seção 4.3.3, engloba a análise da formação de possíveis compartimentos aquáticos; e a última seção 4.3.4, com as correlações dos usos da terra com as variáveis limnológicas.

4.4.1 Aspectos Gerais e Macrófitas Aquáticas

As mudanças climatológicas de uma região influenciam diretamente sobre o corpo hídrico, provocando sensíveis alterações na dinâmica aquática. Num período de maior precipitação pode ocorrer aumento na turbidez em função do aporte de material que é carregado das margens pelas chuvas. O vento por sua vez pode provocar movimentação na água, ocasionando mistura dos materiais das partes mais profundas (TUNDISI; TUNDISI, 2008, p. 74).

As características do tempo devem ser consideradas na análise dos parâmetros de qualidade (Quadro 20), assim como as características morfométricas, como a largura do canal, o volume da água e a movimentação da água.

Quadro 20: Condições do tempo durante o trabalho de campo para medição das variáveis limnológicas.

Variável	Matutino (9h23 as 12h42)	Vespertino (14h14 as 18h07)	Geral (9h23 as 18h07)
	14 pontos (01 ao 14)	27 pontos (15 ao 41)	41 pontos
Condições do céu	Parcialmente Nublado	Nublado c/ Chuvisco	Parcialmente Nublado
Luminosidade (Lux)	18.075±3.049	5.360±5.759	9.702±7.864
Umidade (%)	66,31±15,06	84,32±6,66	78,17±13,32
Temperatura do ar (°C)	35,56±3,89	26,75±1,28	29,76±4,89
Veloc. do vento (km/h)	2,16±2,68	8,67±5,40	6,45±5,57
Rugosidade da água	Nula	Baixa	Baixa

Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As condições de tempo durante a medição das variáveis limnológicas foram adversas, foi registrado um volume de chuva de 3,4 mm no dia do campo, cerca de 01% do total de 319,5 mm de precipitação no mês. Baseando-se nisso foram definidos dois momentos distintos ao longo do dia, com condições atmosféricas similares. Essa divisão contribui para visualizar as mudanças que ocorreram ao longo do trabalho de campo e a influência sobre as medições.

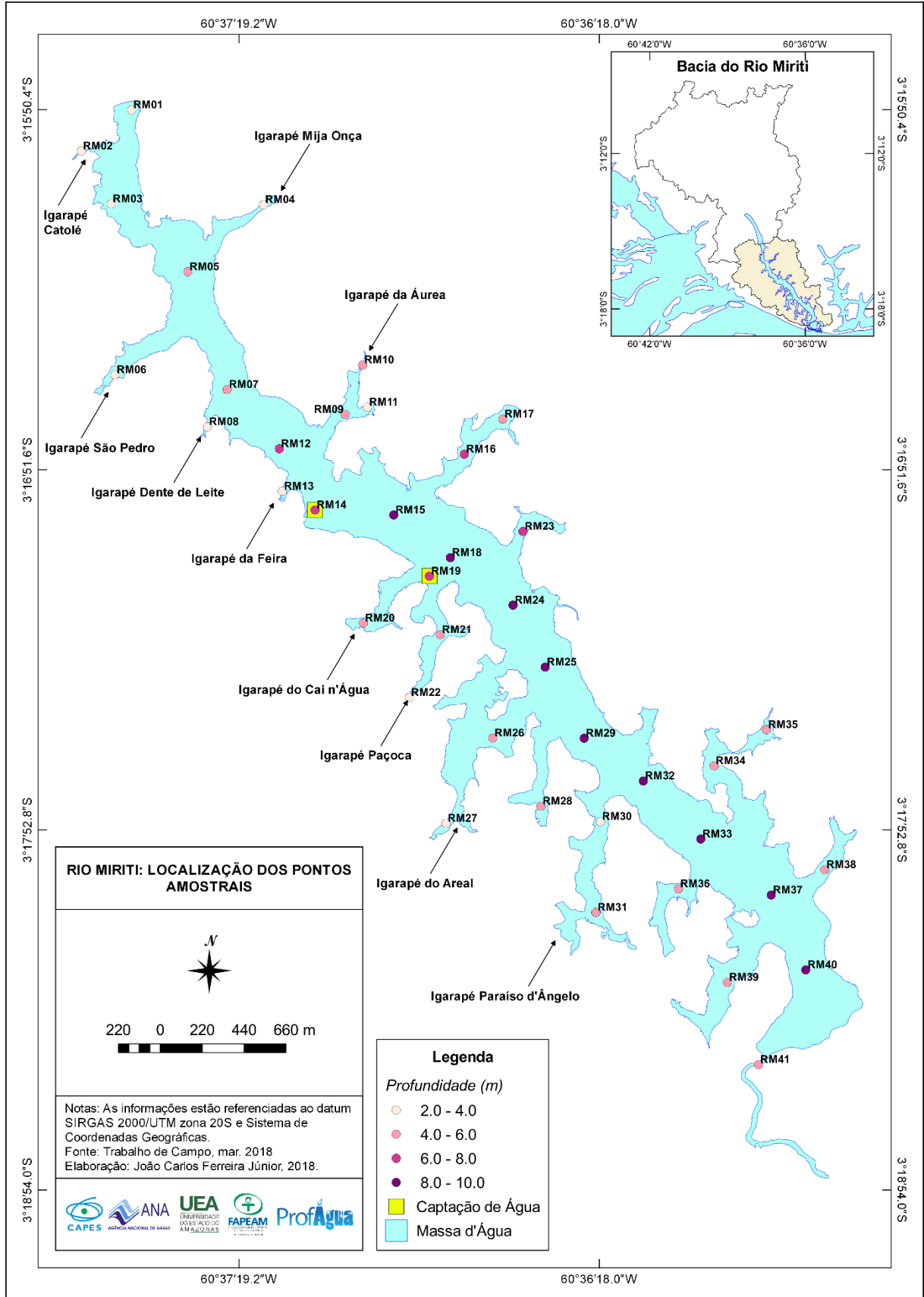
Na parte matutina as condições do tempo foram mais próximas ao ideal, apesar do céu parcialmente nublado a luminosidade permaneceu elevada, em oito pontos alcançou o valor máximo medido de 20.000 lux. Em dois pontos a temperatura do ar ultrapassou os 40,0°C, com máxima registrada de 45,2°C e a mínima geral de umidade com 43%. Os ventos foram pouco significativos durante a manhã, refletindo a nula rugosidade das águas.

Durante toda a parte vespertina das medições, as condições do céu variavam de nublado a nublado com chuvisco. Tais condições refletiram nas demais variáveis de tempo, a temperatura média caiu cerca de 9°C e umidade manteve-se acima dos 80% na maioria dos pontos. A rugosidade da água passou de nula para baixa devido ao aumento dos ventos e a luminosidade caiu consideravelmente, neste caso não apenas pelas mudanças no tempo, mas pelo fim do dia que se aproximava, no último ponto o valor medido foi de apenas 75 lux.

As condições tempo expressas podem de alguma forma influenciar na medição de algumas variáveis em determinados pontos. Para medição da transparência, por exemplo, o ideal é realizar em condições céu claro, à sombra e num local com pouca agitação da água (CETESB, 2011, p. 248). No caso da turbidez, a agitação da água pode desagregar partículas do fundo ou das margens e comprometer a medição. Visto isso, tomou-se os cuidados necessários para a determinação adequada das variáveis e não comprometimento dos dados.

A massa d'água do baixo rio Miriti estende-se por uma área de 2,77 km² (276,73 ha) de lâmina d'água, possui cerca de 7 km de comprimento desde a ponte até a foz e sua largura varia de aproximadamente 400 m nos trechos mais largos a menos de 10 m, no furo de ligação com o rio Solimões. O Mapa 08 apresenta a localização dos pontos amostrais onde foram medidos os parâmetros limnológicos, bem com a profundidade nos locais de medição.

Mapa 08: Espacialização e profundidade dos pontos amostrais no baixo rio Miriti, com a toponímia dos seus principais afluentes.



Fonte: Trabalho de campo.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Os pontos amostrais situados no eixo central nos setores intermediário e jusante possuem as maiores profundidades. A maior profundidade observada foi no ponto RM37 (9,6 m), seguido pelos pontos RM33 e RM40 com 9,5 m. Por outro lado, os pontos amostrais localizados no setor montante e nas reentrâncias apresentaram as menores profundidades, com destaque para os pontos RM04 (2,1 m) e RM08 (2,2 m). Áreas rasas são mais susceptíveis a serem influenciadas pelo material de fundo e pela diferença de nível da água.

As baixas profundidades e a morfometria do canal são fatores que podem deixar algumas áreas do corpo hídrico mais suscetíveis a sofrerem processo de eutrofização. Segundo Tundisi e Tundisi (2008, p. 511-513) a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes na água provenientes da bacia de drenagem, especialmente fósforo e nitrogênio, com conseqüentemente aumento do carbono particulado resultando no aumento acelerado de biomassa.

Esteves e Meirelles-Pereira (2011, p. 626) dizem que a eutrofização pode ocorrer por dois modos, natural ou artificial. Quando natural é um processo lento e contínuo, relacionado ao aporte dos nutrientes trazidos principalmente pela erosão por chuva nas margens. Quando artificial, os nutrientes são oriundos das atividades humanas, como o despejo de esgoto domésticos, resíduos industriais e pela agricultura.

Como conseqüência desse processo a água pode perder transparência e ganhar cor esverdeada pelo aumento das populações de algas. No estágio inicial do processo de eutrofização artificial há o favorecimento no desenvolvimento de diferentes espécies de macrófitas aquáticas (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011, p. 636).

No rio Miriti, a ocorrência de macrófitas aquáticas se dá sobretudo em sua margem direita, colonizando principalmente as áreas menos profundas e as reentrâncias dos afluentes, são áreas que possuem forte influência das atividades urbanas, pelo despejo de rejeitos doméstico sem qualquer tratamento, que aumenta disponibilidade de nutrientes.

Segundo Lopes (et al., 2015, p. 55) a ocorrência de macrófitas aquáticas em áreas inundadas por rios de água preta ou clara é inferior comparada as áreas alagadas por rios de água branca, este fato deve-se sobretudo pela riqueza em nutrientes e pelo pH próximo ao neutro das águas brancas. Contudo, apesar da

ocorrência natural, algumas espécies de macrófitas aquáticas sugerem alteração no estado trófico do ambiente, o que deve ser considerado com atenção.

A Orla do Miriti, ponto turístico e de lazer da população de Manacapuru, é uma das áreas com maior ocorrência de macrófitas aquáticas (Figura 25). Esse ponto recebe uma grande quantidade de nutrientes provenientes dos efluentes domésticos lançados pelo bairro Liberdade e pelos barcos aportados.

Figura 25: Grande ocorrência de macrófitas aquáticas na Orla do Miriti. **A:** Barcos pesqueiros de pequeno e médio porte aportados na Orla, com destaque para o tapete verde formado pela grande população de macrófitas no local. **B:** A floração da *Eichhornia crassipes*.



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 26 ago. 2016.

A espécie *Eichhornia crassipes* é uma macrófita aquática do tipo flutuante livre ou fixa em água rasas, nativa do Brasil, destaca-se por sua inflorescência lilás e pecíolos inflados (PÔMPEO, 2017, p. 106). Quando cultivado de forma correta pode atuar como agente despoluidor, capaz de remover inclusive metais pesados da água, contudo dependendo das concentrações não existe solução para o seu descarte, mas dentro de níveis específicos, pode ser ganhar novos usos, como para fertilizante orgânico, produção de biocombustíveis e alimentação animal (PITELLI et al., 2018, p. 124).

Na Figura 26 é possível visualizar pelo menos três tipos de macrófitas aquáticas, algumas delas são indicadores biológicos de alteração do estado trófico da água, ou seja, espécies que costumam ter um aumento no seu desenvolvimento em ambientes eutrofizados.

Figura 26: Algumas espécies de macrófitas aquáticas que ocorrem no baixo rio Miriti, nas proximidades do complexo turístico Paraíso d'Ângelo, igarapé Paraíso d'Ângelo. As espécies identificadas na fotografia são: *Paspalum repens* (A), *Pontederia rotundifolia* (B) e *Salvinia minima* (C).



Fonte: Trabalho de campo.

Fotografia: João Carlos Ferreira Júnior, 28 fev. 2017.

Nas áreas mais rasas e próximas a margem há a ocorrência *Paspalum repens*, macrófita aquática do tipo flutuante fixa que coloniza rapidamente as beiras dos rios e lagos no início da cheia; a *Pontederia rotundifolia*, espécie do tipo flutuante livre é considerada invasora em ambientes aquáticos poluídos; e a *Salvinia auriculata* do grupo flutuantes livre, possuem pelos hidrofóbicos que favorecem a sua flutuação, possuem crescimento vigoroso podendo formar grandes adensamentos (LOPES et al., 2015, p. 57-58; DEMARCHI et al., 2018, p. 19-24).

Em outros pontos do baixo rio Miriti são visualizadas outras espécies de macrófitas aquáticas, como a *Pistia stratiotes*, uma espécie com distribuição cosmopolita, popularmente chamada de alface d'água, possui hábito flutuante livre e emersa (TRAVELIN et al., 2007). Esta é considerada uma espécie daninha devido a sua alta capacidade de reprodução e rápido crescimento, podendo se transformar num problema ambiental, sendo indicadora de ambientes eutrofizados.

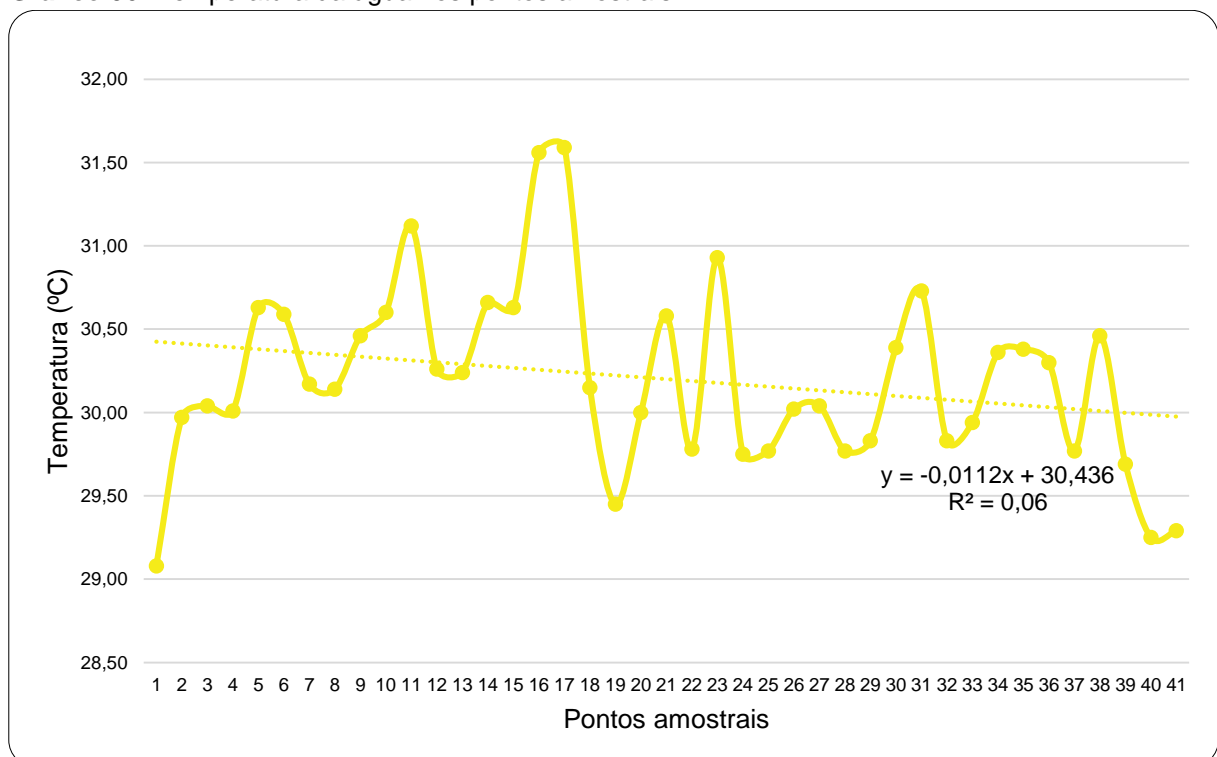
4.4.2 Variáveis Limnológicas

Os dados de análise da qualidade da água são fundamentais para a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, pois permitem compreender as condições ambientais da água e visualizar diferentes padrões nas variações limnológicas. Os parâmetros analisados foram: temperatura da água, turbidez, transparência, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e TDS.

4.4.2.1 Temperatura da Água

A temperatura da água oscilou entre 29,08°C de mínima a 31,59°C de máxima, com média de $30,20 \pm 0,55^\circ\text{C}$, a variação dos valores pode ser vista no Gráfico 06.

Gráfico 06: Temperatura da água nos pontos amostrais.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A variação dos valores de temperatura demonstra uma tendência a diminuição ao longo da medição, isso deve-se tanto pela redução da disponibilidade de energia solar ao longo do dia, quanto pelas nas condições atmosféricas, com céu aberto à parcialmente nublado num primeiro momento, passando para nublado com chuva na segunda parte do campo.

A amplitude dos dados foi de 2,51°C entre os pontos RM01 e RM17. Em três pontos, RM17, RM16 e RM11, a temperatura da água ultrapassou os 31°C, todos localizados em afluentes da margem esquerda, além disso por estarem próximo as margens possuem baixa profundidade, a movimentação da água encontrava-se nula ou muito baixa, o horário das medições nesses pontos foi realizada em período de céu aberto, na faixa do dia com maior disponibilidade de energia.

As temperaturas mais amenas foram encontradas nos pontos RM01, RM19, RM40 e RM 41, em todos a temperatura da água ficou abaixo dos 29,5°C. No RM01 e RM19 havia maior rugosidade na água, no primeiro causado pela fraca e constante correnteza que se forma pela passagem da água sob a ponte. Enquanto, no segundo ponto, local onde está localizada uma das estações de captação da cidade, havia um bombeamento da água mais profunda, movimentando a água ao redor. Nos pontos RM40 e RM41 as medições foram realizadas no fim do dia, com baixa disponibilidade de energia solar.

A temperatura média de rios de água preta é elevada, cuja a temperatura média é na ordem de 30 a 31°C (SIOLI, 1985, p. 31). Isso pode ser explicado pelo fato de ser um ambiente com características lênticas, a água tem menor movimentação, forma uma grande massa d'água de coloração definidas como preta, esses fatores favorecem absorção de maiores quantidades de energia solar. As matas ciliares têm pouca função para proteção a radiação, tanto pelo desmatamento, mas principalmente pela largura do canal, no período da cheia em alguns trechos podem alcançar 400m.

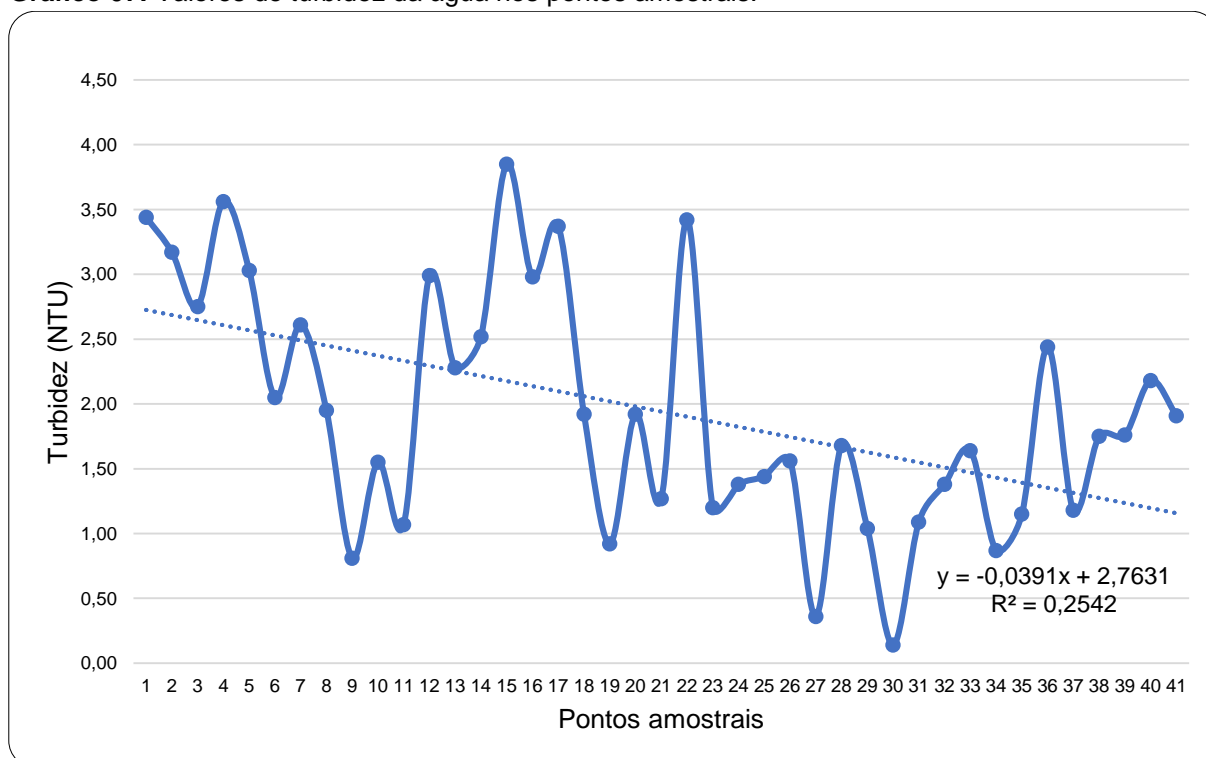
Percebon et al. (2005, p. 8) destacam diferentes processos que podem levar ao aquecimento ou resfriamento das águas, podendo ter origem em processos naturais, como as variações sazonais da temperatura no ambiente e da insolação, como também a redução da vazão. Destacam que também podem ocorrer por processos antrópicos, influenciado pela descarga de efluentes com temperatura diferente do corpo receptor, pelo calor liberado na oxidação de carga poluente; ou indiretamente, pelo represamento das águas e desmatamentos das margens.

No caso do baixo curso do rio Miriti existe um represamento natural, devido a condições pretéritas que lhe atribuíram características de ria fluvial, atualmente é represado pelo imponente rio Solimões e sua dinâmica fluvial. Em relação a sua mata ciliar, a margem direita está quase completamente desmatada, ocupada pela cidade de Manacapuru. A margem esquerda é parcialmente preservada, com pontos de ocupação rural para moradia e agropecuária.

4.4.2.2 Turbidez

A turbidez dos pontos medidos variou de 0,14 a 3,85 NTU, com média de $1,94 \pm 0,93$ NTU (Gráfico 07). O menor valor encontrado foi medido no ponto RM30, igarapé Paraíso d'Ângelo, afluente da margem direita do rio Miriti, enquanto o ponto com maior turbidez foi o RM15, no eixo central do rio Miriti, logo à frente da Orla do Miriti.

Gráfico 07: Valores de turbidez da água nos pontos amostrais.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A classe especial é mais rigorosa definida pela resolução CONAMA 357, nela os valores mínimos de turbidez da água, não devem ultrapassar 20 NTU (BRASIL, 2005). Devido as características naturais dos rios de água preta, a turbidez da água tende a valores muito baixos.

No caso do rio Miriti os valores encontrados não ultrapassaram 5 unidades nefelométricas. Com uma média de $1,94 \pm 0,93$ NTU esses valores podem ser comparados com os medidos em reservatórios, ambientes artificialmente lânticos. Ferreira Júnior et al. (2017, p. 4) encontraram o valor médio de turbidez no eixo central do reservatório Balbina na ordem de $1,5 \pm 0,3$ NTU, por influência sobretudo da menor velocidade de escoamento da água.

A turbidez é causada por materiais em suspensão na água, como matéria orgânica, inorgânica e organismos microscópicos (ANA, 2013, p. 7). Esses materiais são normalmente carregados em função dos ventos e das ondas nas partes mais rasas, desagregando os sedimentos do fundo e pelo carreamento dos sedimentos das margens pelo escoamento da chuva.

Apesar da ocorrência de chuva durante o trabalho de campo não houve casos de pontos com alta turbidez. Por ser um ambiente com características lênticas, o material transportado das margens para o curso d'água tendem a decantar, o tempo de retenção da água no sistema aquático torna-se maior, pois existe um gradativo represamento das águas.

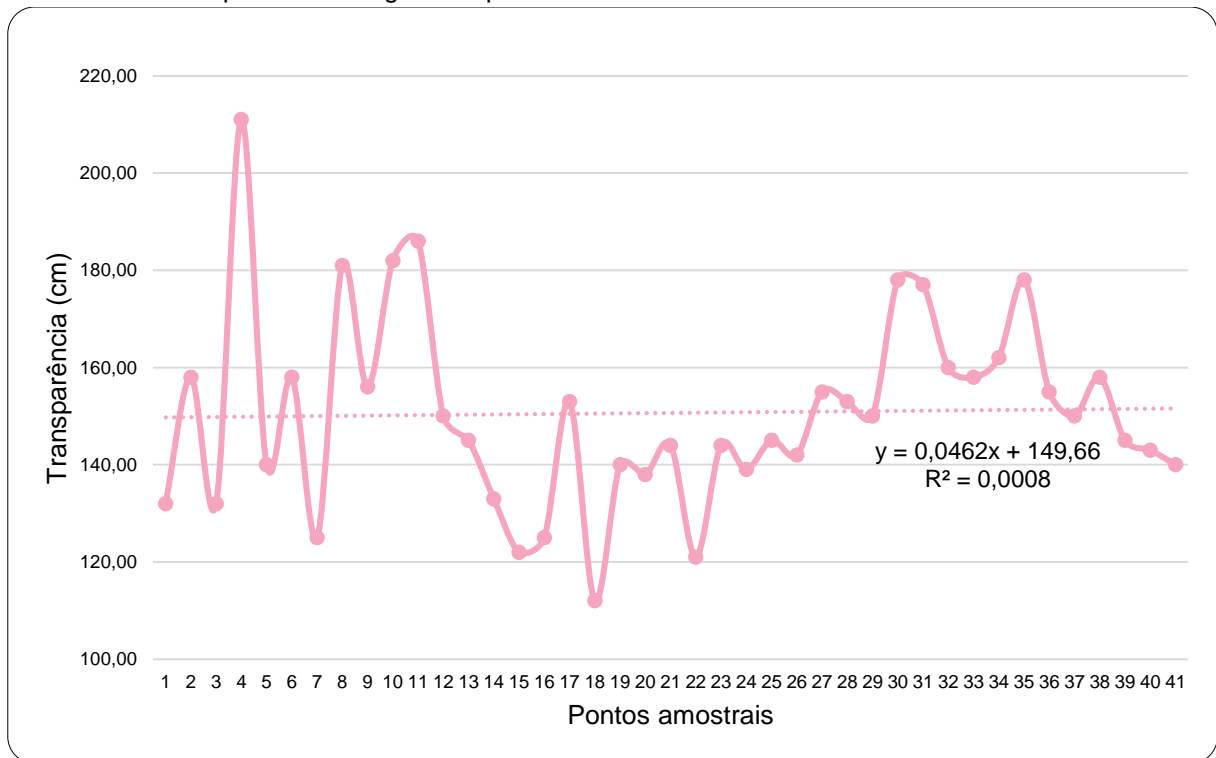
No ponto RM22 foi encontrado um dos maiores valores de turbidez (3,42 NTU), este ponto está localizado no igarapé Paçoca, que drena a zona urbana de Manacapuru, recebendo despejo de rejeitos orgânicos de uma das partes mais adensadas da cidade, sem qualquer tratamento prévio.

Em análise visual, o trecho do igarapé Paçoca apresentava uma coloração preta com tonalidade mais escura, aparentemente mais turva pela presença de partículas orgânicas, além do mau cheiro. Vale destacar que a medição foi realizada no máximo adentrável com a embarcação, impossibilitada pela grande quantidade de vegetação aquática.

4.4.2.3 Transparência

Com relação à transparência da água, observou-se variação entre 211 e 112 cm, com valor médio de $150,63 \pm 19,98$ cm (Gráfico 08). O local com maior transparência da água foi medido no ponto RM04, no igarapé Mija Onça, a maior transparência pode ser reflexo do represamento do canal. O ponto com menor transparência foi o RM18, eixo central do rio Miriti, local de passagem de embarcações de pequeno a médio porte.

O rio Solimões represa hidráulicamente o rio Miriti, conseqüentemente represando os seus afluentes, havendo assim um processo gradativo. A transparência está diretamente associada à turbidez da água, medida influenciada pela presença de componentes opticamente ativos na água, que podem diminuir a visibilidade na coluna d'água (FUNASA, 2014, p. 19).

Gráfico 08: Transparência da água nos pontos amostrais.

Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

De acordo com Zeidemann (2001, p. 67) a transparência média em rios de água preta varia de 130 a 230 cm, a exemplo o rio Negro. Os valores encontrados no rio Miriti estão em sua maioria dentro desse intervalo, com apenas um dos pontos ultrapassando os 2 m de transparência.

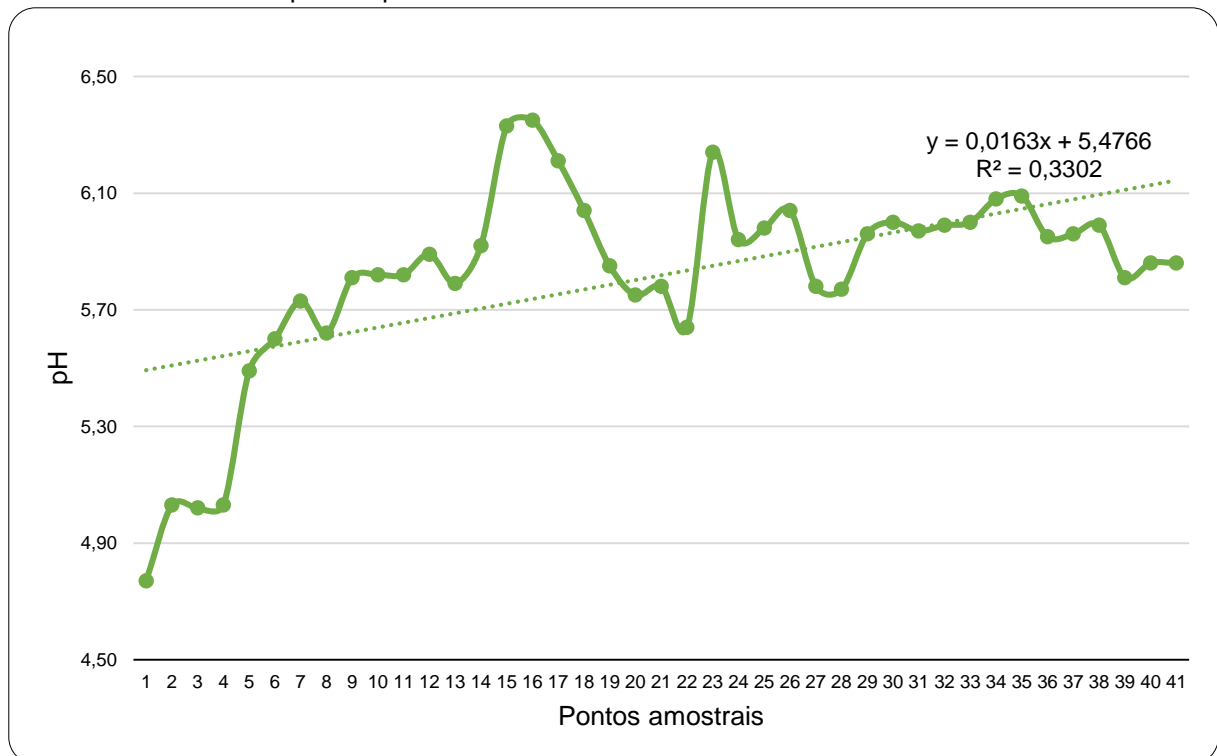
A ocorrência das menores transparências pode ser explicada pelos maiores índices pluviométricos no mês de coleta, fenômeno registrado também no campo. As chuvas atuam sobre a bacia de drenagem carregando sedimentos e materiais dissolvido até o canal de drenagem (COELHO NETTO, 2015, p. 97-98), agregando material particulado a água. Além disso, a maior movimentação na água provocado pelo pulso de inundação soltam as macrófitas aquáticas das margens e reentrâncias, que liberam de matéria orgânica, espalhando-se pela massa d'água.

4.4.2.4 Potencial Hidrogeniônico

O pH é um parâmetro importante em estudos sobre o meio ambiente, por isso são estabelecidas restrições de faixas de pH para as diversas classes de águas naturais.

O pH da água apresentou-se entre os valores 4,77 e 6,35, com valor médio de $5,82 \pm 1,58$ (Gráfico 09). Os menores valores de pH foram encontrados nos primeiros pontos medidos, sendo o mínimo no ponto RM01, enquanto o pH mais elevado, próximo a neutro foi medido no RM16, num igarapé da margem esquerda do rio Miriti. Estes valores de pH estão um pouco acima dos valores característicos para este tipo de água (JUNK, 1983; LAGES et al., 2013; PINTO et al., 2009; SIOLI, 1985).

Gráfico 09: Valores de pH nos pontos amostrais.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

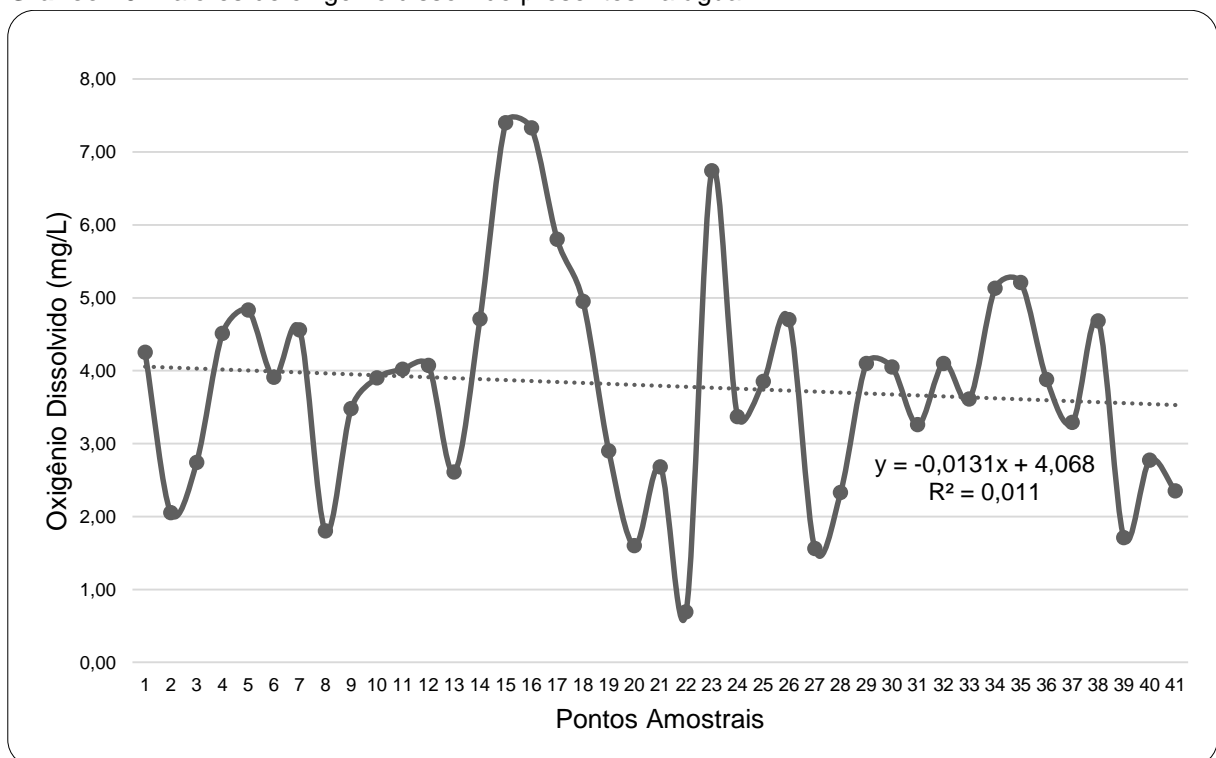
Ao analisar o contexto da medição, a precipitação em forma de chuva pode ter influência sobre esses valores medidos, pelos valores acumulados no mês da medição (março) dentro do período de maior quantitativo de chuvas nesta área. Outro fator a ser considerado são suas características lênticas, onde o processo de decomposição da matéria orgânica é moroso.

A maioria dos valores encontrados estão, ligeiramente, abaixo daqueles esperados para corpos d'água classificados como classe II pela Resolução CONAMA 357, onde os valores podem variar entre 6,0 a 9,0 para o potencial hidrogeniônico (BRASIL, 2005). Vale destacar que devido à grande quantidade de ácidos húmicos, provenientes da decomposição da vegetação, o pH apresenta-se com acidez.

4.4.2.5 Oxigênio Dissolvido.

No que se diz respeito ao parâmetro oxigênio dissolvido os valores variaram do mínimo de 0,69 mg/L até o valor máximo medido de 7,40mg/L, a média encontrada foi de $3,79 \pm 1,50$ mg/L. Os menores valores foram encontrados nos afluentes da margem urbanizada, nos pontos mais próximos aos lançamentos de esgoto, com destaque aos pontos RM22, RM27, RM20, RM39 e RM08, todos com menos de 2 mg/L de oxigênio dissolvido na água (Gráfico 10).

Gráfico 10: Valores de oxigênio dissolvido presentes na água.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Vale destacar que em todos esses pontos foram encontrados cardumes de peixes, isso pode ser explicado pelo volume de água, indicando uma maior alteração apenas superficialmente, com menor influência nas camadas mais profundas. Ou ainda, a seleção de espécies mais resistentes a ambientes alterados, apesar das mudanças nas propriedades da água, nestas áreas a disponibilidade de alimentos é abundante e constante.

O oxigênio dissolvido indica o grau de arejamento da água. É um importante indicativo da qualidade da água além de ser um dos parâmetros mais monitorados pelos órgãos ambientais (DARWICH, 2005, p. 22-23). A presença de oxigênio

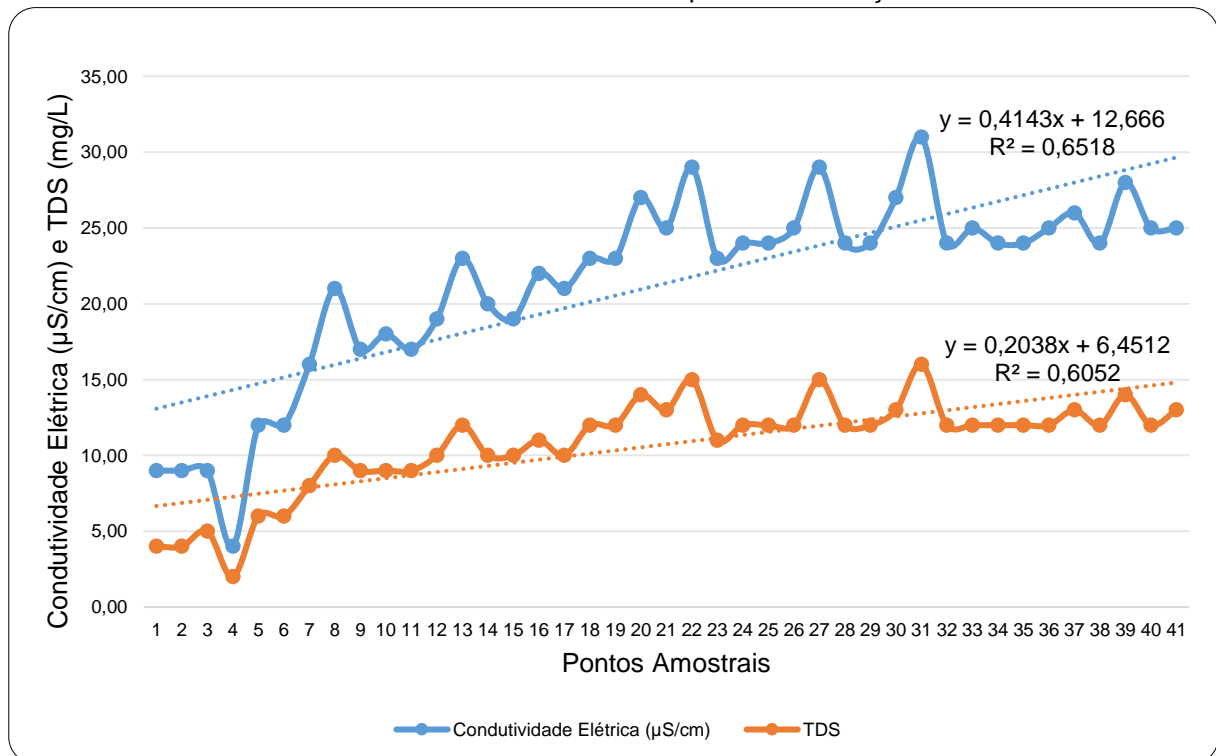
dissolvido nos ecossistemas aquáticos é vital para a manutenção da vida dos organismos aeróbios e o teor de oxigênio varia principalmente em função da temperatura e transparência.

4.4.2.6 TDS e Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é uma variável importante para o metabolismo dos mananciais, para a determinação de fontes poluidoras, bem como, na indicação de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Esta variável é importante por contribuir na identificação de possíveis impactos ambientais que ocorram na área de aporte da bacia hidrográfica ocasionados por lançamento de resíduos diversos.

A condutividade elétrica teve mínima e máxima de 4 e 31 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média dos valores de $21,37 \pm 6,15 \mu\text{S}/\text{cm}$. O TDS teve os valores entre 2 e 16 mg/L, com média de $10,73 \pm 3,14 \text{ mg}/\text{L}$ (Gráfico 11). Em ambos os casos, os menores valores foram observados nos pontos RM04, RM01, RM02 e RM03, com valores menores que 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no caso da condutividade elétrica e menores ou igual 5 mg/L no caso do TDS. O valor máximo encontrado para as duas variáveis foi no ponto RM31, igarapé Paraíso d'Ângelo.

Gráfico 11: Valores de TDS e condutividade elétrica nos pontos de medição.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018

Referente aos dois parâmetros, as unidades de medidas são diferentes, mas as causalidades para alterações na variável de condutividade na água são os mesmos. Não houve grandes discrepâncias nos valores encontrados, isto deve-se principalmente pelo grande volume de água do rio Miriti que dilui a quantidade de efluentes lançados. Havendo uma relação inversa entre o volume da água e esses dois parâmetros, quando menor o volume maior será a concentração de sólidos dissolvidos e conseqüentemente, maior será a capacidade de condução elétrica.

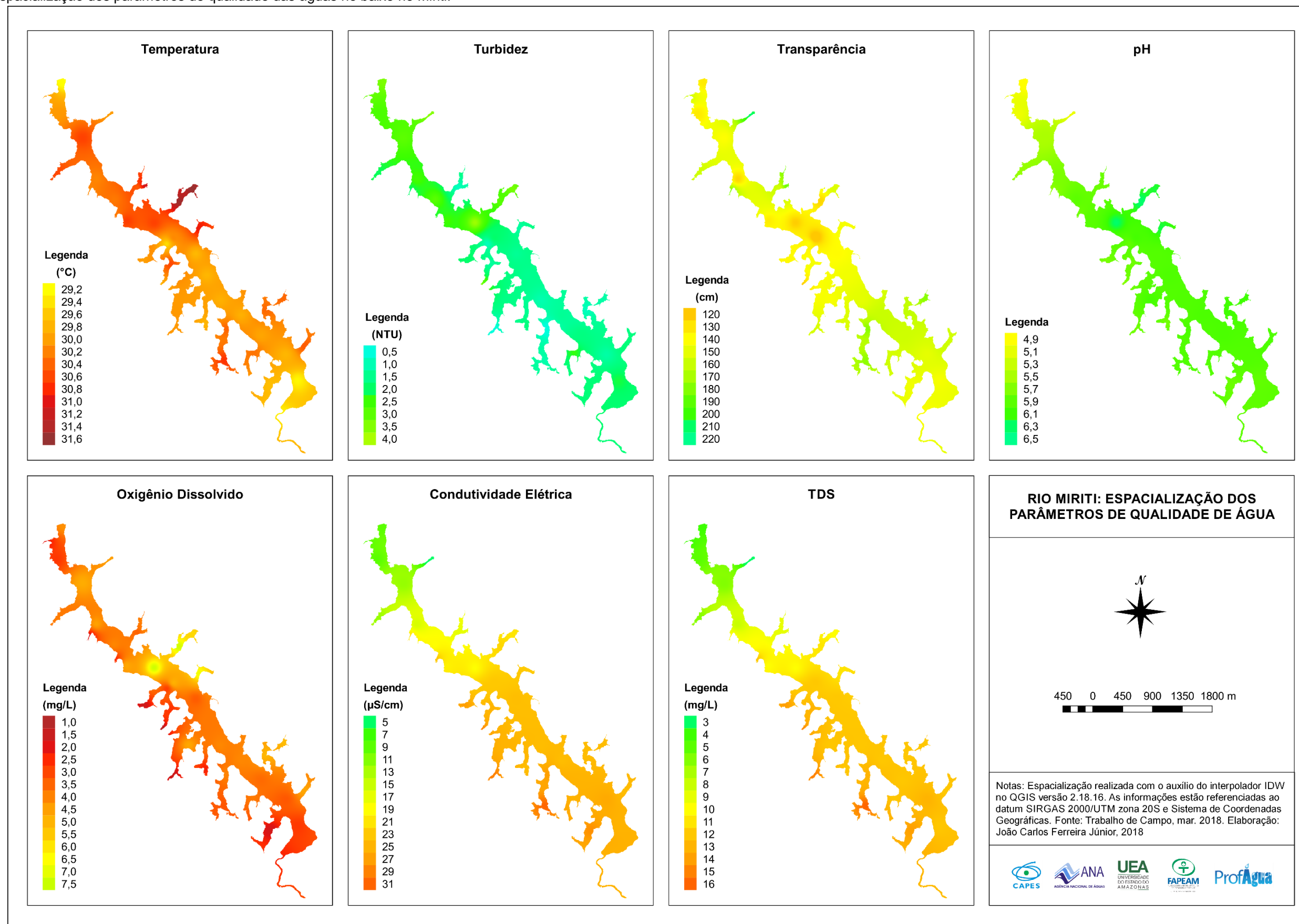
Outro fator que pode contribuir para a variabilidade da condutividade elétrica está na localização do ponto de coleta; em área de adensamento populacional e próximo a foz dos igarapés urbanos. Nas duas variáveis isso fica evidente, com picos de CE e TDS nos pontos: RM-08, RM-13, RM-20, RM-22, RM-27 e RM-31, nestes pontos, recebe-se a influência de grande parte das sub-bacias hidrográficas urbanas, ou seja, toda atividade antrópica localizada a montante deste ponto reflete em seus dados, seja ela natural ou carga poluente difusa.

A tendência de crescimento dos valores dessas variáveis é constante no sentido montante-jusante, com picos bem evidentes em pontos localizados próximos as fozes dos afluentes urbanos. A exceção é o ponto RM-39, assim como os demais pontos localizados mais próximos a foz do rio Miriti, pois a influência do rio Solimões é evidente, com entrada das águas brancas por canais secundários, durante os períodos de enchente.

4.4.3 Compartimentação das Variáveis Limnológicas

As propriedades limnológicas podem ser utilizadas na definição de compartimentos aquáticos, por compreender os processos físicos, químicos e biológicos no corpo hídrico. No Mapa 09, as variáveis limnológicas foram espacializadas utilizando técnicas de geoprocessamento, como o objetivo visualizar a formação de possíveis compartimentos aquáticos.

Mapa 09: Espacialização dos parâmetros de qualidade das águas no baixo rio Miriti.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Para a temperatura da água, os compartimentos aquáticos encontrados para essa variável estão relacionados a três fatores principais: a incidência solar ao longo do dia, a movimentação da água e a profundidade do canal. Considerando o eixo central do rio Miriti, é possível a identificação de pelo menos dois compartimentos: setor montante, considerando o primeiro turno do campo com maior incidência solar e; um a jusante, com menores temperaturas, realizado com tempo nublado e no fim do dia.

O mapa da variável turbidez nitidamente apresenta dois compartimentos bem definidos. Considerando um setor a montante, indo da ponte até a Orla do Miriti, com maiores quantidades de partículas em suspensão, fato que pode ser atribuído pela liberação de matéria orgânica na água pelas macrófitas aquáticas. Outro setor a ser considerado, inicia após a Orla do Miriti até a foz, esse setor possui os menores valores de turbidez. Vale resguarda os baixos valores de turbidez ao longo do rio Miriti e afluentes.

As maiores transparências ocorrem nos afluentes, por suas características lênticas, atribuída pelo barramento hidráulico que o rio Miriti exerce sobre os mesmos. Existem poucos agrupamentos de transparência, no mapa é possível visualizar pontos isolados que se destacam.

Apesar da pouca variação entre os valores podem ser considerados três compartimentos para a transparência: em trecho do setor jusante exhibe maior uniformidade nos dados coletados, apresentando transparências maiores; o setor intermediário, expõe menores transparências, esse setor é o mais movimentado de embarcações e onde desembocam os afluentes do sítio urbano; e o setor montante, com pontos de menores transparências e outros com maiores. Os setores montante e intermediário podem ser considerados um único compartimento, apesar das descontinuidades.

O mapa de pH, conforme apresentado permite identificar três compartimentos, demonstrando nitidamente a elevação dos valores dessa variável ao longo do curso d'água. No setor montante, percebe-se dois compartimentos, o primeiro com água mais ácidas e um segundo transacionando para valores levemente mais elevados. No setor jusante, correspondendo a maior parte do curso d'água, os valores apresentam-se bastante uniformes tanto no rio Miriti, quanto nos afluentes com influência antrópica por usos urbanos e rurais.

A espacialização dos dados de oxigênio dissolvido é praticamente uniforme em toda a extensão da área de estudo. O destaque fica no setor intermediário, com os maiores valores encontrados, sobretudo nos afluentes da margem esquerda, que possuem as bacias parcialmente conservadas. Os afluentes da margem direita podem ser agrupados, pois todos apresentam baixíssima concentração de oxigênio dissolvido na água.

As variáveis condutividade elétrica e TDS possuem alta correlação nos dados medidos, possuindo três compartimentos aquático bem nítidos e definidos. O primeiro no setor montante do rio Miriti os valores são mais baixos, enquanto no setor intermediário os valores demonstram uma transição para os valores mais elevados, encontrados no setor intermediário-jusante. As áreas em destaque ficam os afluentes urbanos com os maiores valores encontrados.

O setor jusante possui influência do lançamento de rejeitos líquidos da zona urbana, contudo o rio Solimões também contribui com a entrada de sólidos neste trecho do rio Miriti, influenciando na carga de TDS da água e conseqüentemente na capacidade de condução elétrica.

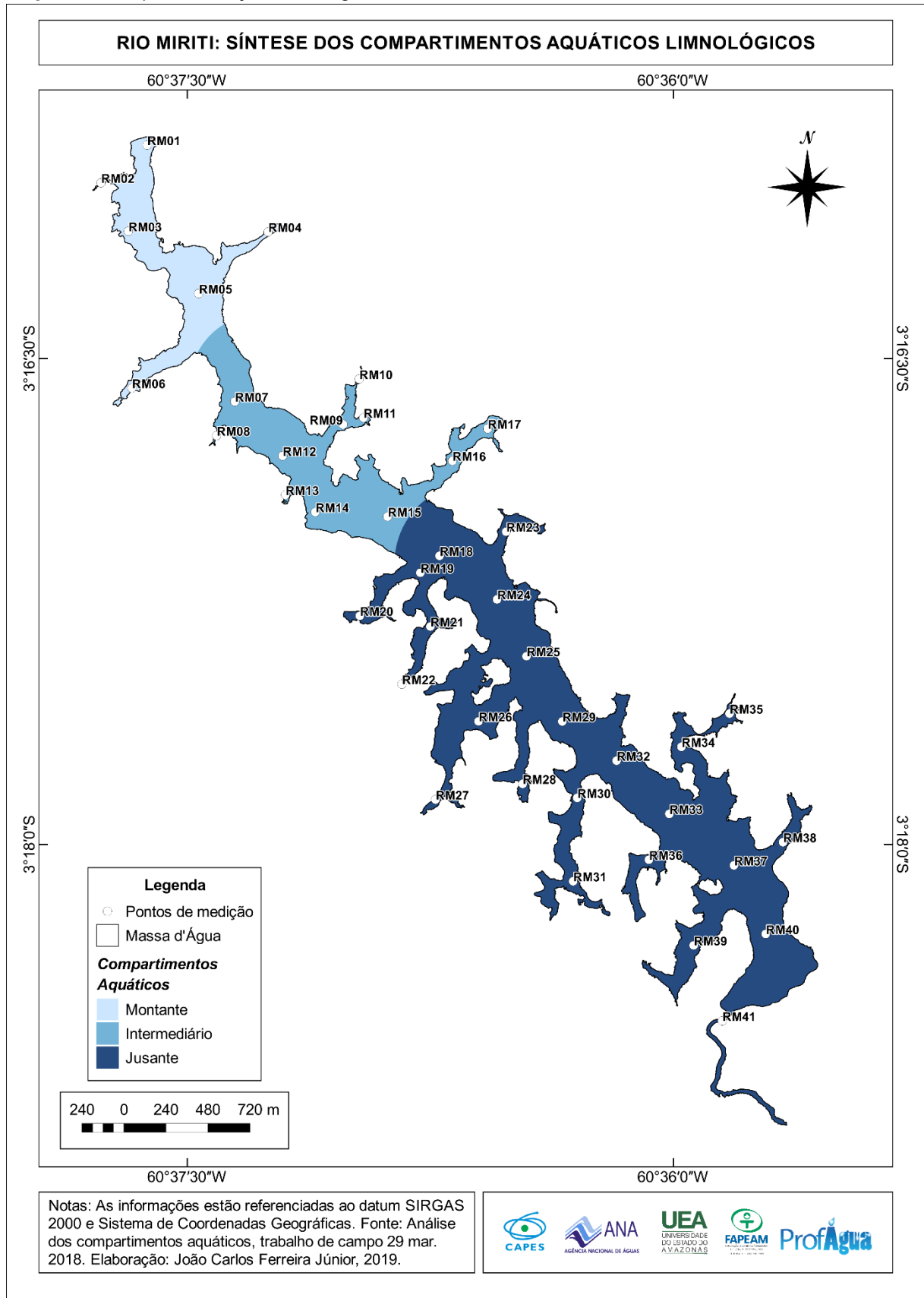
Vale o destaque para o ponto localizado nas proximidades da Orla do Miriti (RM15), em praticamente todas as representações temáticas das variáveis, este ponto destacou-se em relação aos demais que o rodeavam. Os afluentes urbanos também demonstraram um comportamento similar em todas as variáveis, assumindo uma nítida influência da ocupação urbana nas bacias destes igarapés.

As variáveis pH, condutividade elétrica e TDS formaram três compartimentos muito similares, dois no setor montante e um maior no setor jusante. Os mapas de turbidez e transparências, apresentam compartimentos semelhantes, apresentando valores inversamente proporcionais. Por fim, os compartimentos visualizados no mapa de oxigênio dissolvido, revela clara influência antrópica pelas sub-bacias hidrográficas.

4.4.3.1 Síntese dos Compartimentos Aquáticos Limnológicos

Com base no comportamento similar dos dados das variáveis limnológicas foi possível estabelecer três compartimentos aquáticos no baixo curso do rio Miriti, nomeados como: montante, intermediário e jusante (Mapa 10).

Mapa 10: Compartimentação limnológica do baixo curso do rio Miriti.



Fonte: Análise das interpolações dos dados limnológicos coletados em trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Os condicionantes à ocorrência dos compartimentos aquáticos estão relacionados à contribuição da bacia hidrográfica e às características específicas do corpo hídrico. A dinâmica associada a contribuição terrestre decorre de fatores naturais e antrópicos, enquanto as características inerentes ao corpo d'água são decorrentes da presença de macrófitas aquáticas, reentrâncias e a própria profundidade do canal. (WACHHOLZ, 2007, p. 87-88).

O comportamento limnológico medido através das variáveis de qualidade de água é heterogêneo ao longo do canal, embora apresente relativas semelhanças quando definidos os compartimentos aquáticos. A síntese dos dados limnológicos (Quadro 21) mostra pouca disparidade entre os valores encontrados para cada compartimento aquático, essa divisão acaba condicionada sobretudo pelas variáveis condutividade elétrica, TDS e pH.

Quadro 21: Síntese das medições das variáveis limnológicas por compartimento aquático do baixo rio Miriti.

Compartimentos Aquáticos	Pontos de Medição	Valores por compartimento						
		Temp. da água (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Transp. da água (cm)	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)
Montante	RM01, RM02 RM03, RM04 RM05, RM06	30,05	5,16	3,00	155,17	3,72	9,17	4,50
Intermediário	RM07, RM08 RM09, RM10 RM11, RM12 RM13, RM14 RM15, RM16 RM17	30,68	5,94	2,36	150,73	4,52	19,36	9,82
Jusante	RM18, RM19 RM20, RM21 RM22, RM23 RM24, RM25 RM26, RM27 RM28, RM29 RM30, RM31 RM32, RM33 RM34, RM35 RM36, RM37 RM38, RM39 RM40, RM41	30,02	5,93	1,48	149,46	3,48	25,33	12,71

Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Quando se leva em consideração os usos da terra e a cobertura vegetal predominantes nas sub-bacias que drenam para os compartimentos aquáticos, essa divisão é justificada pelo padrão de ocupação de ocupação, principalmente pelos usos das terras antrópicos (Quadro 22).

Quadro 22: Síntese dos usos e cobertura da terra nas sub-bacias hidrográficas que drenam os compartimentos aquáticos encontrados.

Compartimentos Aquáticos	Sub-bacias hidrográficas	Área (%)			
		Agropecuária	Água	Áreas Expostas	Vegetação Natural
Montante	SB-07, SB-08, SB-09, SB-10, SB-11	18,84	3,17	15,70	62,29
Intermediário	SB-05, SB-06, SB-12, SB-13	8,31	5,08	17,35	69,25
Jusante	SB-01, SB-02, SB-03, SB-04, SB-14, SB-15, SB-16, SB-17, SB-18, SB-19.	16,76	11,70	31,27	40,27

Fonte: Quantificação do mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal para cada compartimento aquático, imagem LANDSAT 8 OLI (15/08/2017).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

O primeiro compartimento, nomeado Montante, representa cerca de 12,53% da área da massa d'água do rio Miriti, enquanto o segundo compartimento, abarca cerca 20,30% da lâmina d'água. Ambos são os que mais possuem área ainda em estado de conservação, mais de 60% das áreas drenadas estão cobertas por vegetação natural. A área a montante possui maior área antropizada, mas são bens distribuídos entre as sub-bacias, enquanto o setor intermediário recebe material de duas sub-bacias altamente urbanizadas, SB-05 e SB-06.

O setor Jusante é o maior em extensão, tanto considerando a massa d'água com 67,34% da área, quanto a área de aporte, com mais da metade das sub-bacias convergindo para esse compartimento. Esse compartimento possui a qualidade de água mais comprometida, isso deve-se tanto pela influência do rio Solimões que altera as condições naturais esperadas, mas principalmente pela sub-bacia SB-04, drenando a maior parte da cidade de Manacapuru, transportando para o rio Miriti rejeitos domésticos sem tratamento prévio.

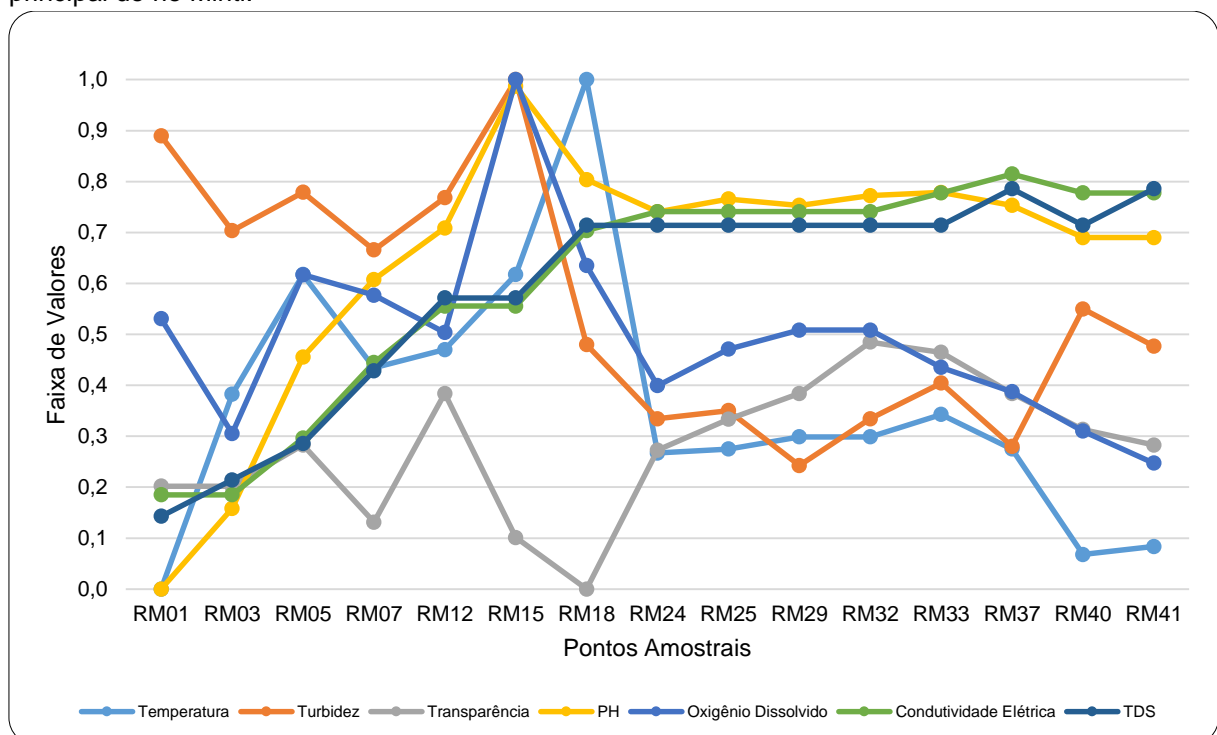
4.4.4 Correlações entre os Usos da Terra e os Parâmetros Limnológicos

Visando melhor representação das disparidades dos dados obtidos e identificação de possíveis semelhanças no comportamento das variáveis limnológicas em diferentes contextos espaciais, foi aplicada técnica de normalização de dados, que consiste na transformação dos dados para encaixá-los em numa mesma faixa de valores, possibilitando a representação em gráficos.

Esta técnica será empregada em dois contextos espaciais, visando obter possíveis agrupamentos amostrais e/ou a observação de tendências correlatas as sub-bacias hidrográficas. Nos dois casos são apresentados os dados normalizados das sete variáveis limnológicas analisadas: temperatura da água, turbidez, transparência, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e TDS (Apêndice C).

O primeiro contexto a ser analisado, baseia-se nos dados limnológicos em quinze pontos localizados no eixo central do canal principal do rio Miriti (Gráfico 12).

Gráfico 12: Representação do valores normalizados dos dados limnológicos no eixo central do canal principal do rio Miriti.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As variáveis condutividade elétrica e TDS apresentam-se com a mesma tendência, como esperado, o pH acompanha constante essas duas variáveis até o RM12, mas no RM15 o valor do pH aumenta bruscamente, este ponto está localizado

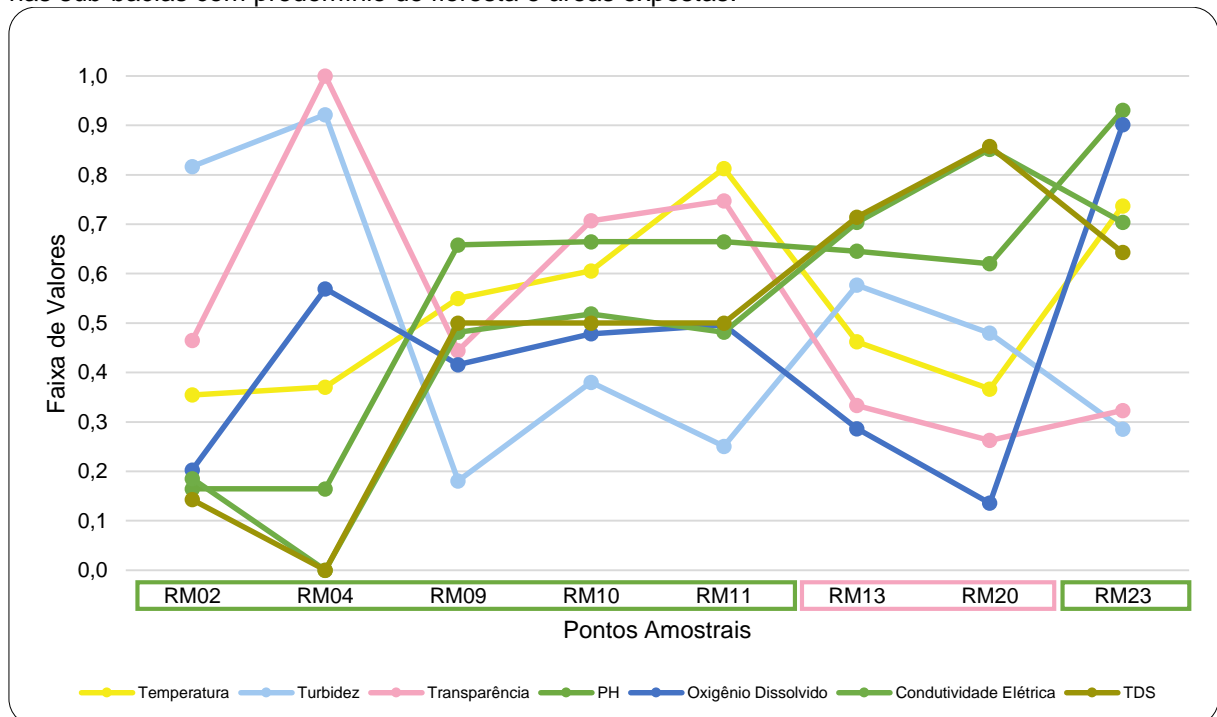
a frente da Orla do Miriti, onde existe grande entrada de efluentes domésticos, após esse pico a constância com as variáveis é retomada. Estas são as únicas variáveis que apresentam aumento ao longo do perfil central.

Os demais parâmetros, com exceção da transparência, configuram diminuição nos valores à medida que o rio desce. A única tendência que pode ser destacada ocorre a partir do ponto RM24, onde ocorre dois grupos com constância similar. Este ponto de interseção do limite da influência direta das sub-bacias urbana, apesar do fluxo da água seguir de encontro com este ponto, os dados acabam menos influenciados devido ao volume de água e baixa correnteza.

Conforme pôde ser observado, não existe grande encadeamento entre os dados expostos. Isso pode ser explicado por influência das margens, pois o trecho inicial do rio Miriti é mais estreito comparado aos trechos mais a jusante, além de apresentar características lóxicas.

O segundo contexto evidência os dados limnológicos em pontos de medição nas áreas sob influência direta das sub-bacias com predomínio de vegetação natural e de áreas expostas, foram escolhidas as sub-bacias com mais de 70% com estes usos e cobertura (Gráfico 13).

Gráfico 13: Representação do valores normalizados dos dados limnológicos nos pontos de medição nas sub-bacias com predomínio de floresta e áreas expostas.



Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018. **Legenda:** Os pontos com contorno verde são com predomínio de vegetação natural, enquanto os com contorno rosa possuem mais áreas expostas.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

O resultado esperado seria pouca variação nas áreas florestadas e variação mais acentuada nos pontos com predomínio de usos antrópicos, pela maior capacidade de degradação ambiental. No entanto, ao longo das áreas florestadas não se percebe uma constância entre as variáveis, apenas nos pontos RM09, RM10 e RM11 existe uma estabilidade com pouca ou nenhuma variação na maioria das variáveis.

Especificamente nos pontos das sub-bacias urbanas, percebe-se queda nos valores das variáveis OD, transparência, temperatura e pH, com retomada crescente no último ponto áreas florestadas. Com as variáveis turbidez, condutividade elétrica e TDS observa-se um aumento nos valores nos pontos RM13 e RM20, voltando a decrescer no último ponto. No caso da temperatura, as condições do tempo são as de maior influência, não sofrendo variações pelos usos da terra.

Apesar da tímida variação, fica perceptível a influência da entrada de materiais fruto de rejeitos humanos na água. Essas discrepâncias esperadas, provavelmente fiquem mais evidentes com medições no canal estreito desses afluentes, onde a concentração dos poluentes é maior ou durante o período de vazante/seca do rio Miriti, quando se perde volume de água.

A análise de campo para a averiguação da qualidade da água em um curso d'água é indispensável para a gestão dos recursos hídricos. O monitoramento sazonal é necessário para que os usos múltiplos da água possam ser atendidos de acordo com cada demanda de qualidade. A realidade atual da qualidade pode ser aferida em campo com coletas e medições dos diferentes parâmetros limnológicos, contudo há a necessidade de avaliar as mudanças no corpo hídrico ao longo do tempo, buscando reconhecer os agentes atuantes na bacia, bem como as modificações promovidas pelas atividades desenvolvidas por eles.

Nesta perspectiva, as séries históricas de imagens de sensoriamento remoto são uma alternativa para o reconhecimento dos cenários pretéritos do comportamento espectral da água, permitindo aferições sobre as condições limnológicas e associações aos usos das terras na bacia hidrográfica. Visto isso, a próxima seção traz diferentes aplicações de técnicas em imagens de sensoriamento remoto orbital, a fim de avaliar possíveis mudanças na composição dos constituintes óticamente ativos da água do baixo curso do rio Miriti.

4.5 DADOS ESPECTRAIS DA ÁGUA POR IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A análise dos dados espectrais seguiram algumas etapas, que estão apresentadas em três seções, a primeira referente a seção 4.4.1 traz informações sobre o comportamento dos dados de reflectância, levando em consideração a média espectral da massa d'água do rio Miriti; a segunda seção 4.4.2 traz a representação temática de algumas datas, a fim de identificar possíveis padrões espectrais e formação compartimentos; e a última sobre a seção 4.4.3, engloba a análise em transecto, considerando o eixo central do rio Miriti como referência, realizando inferências sobre os componentes óticamente ativos da água associados as bandas espectrais do visível.

4.5.1 Massa d'Água

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto associado a dados de campo é de grande valia levando em consideração a complexidade e a dimensão da Região Amazônica. Diante desse cenário, diferentes interações entre os dados de reflectância e os componentes físico-químicos óticamente ativos são fonte de informação a respeito do ecossistema aquático (BARBOSA et al. 2003).

A correlação entre as bandas do visível é positiva (Tabela 14), apresentam valores de média muito semelhantes nas datas analisadas, com variações em comum ao longo da série temporal.

Tabela 14: Matriz de correlação entre as bandas do visível ao longo da série temporal.

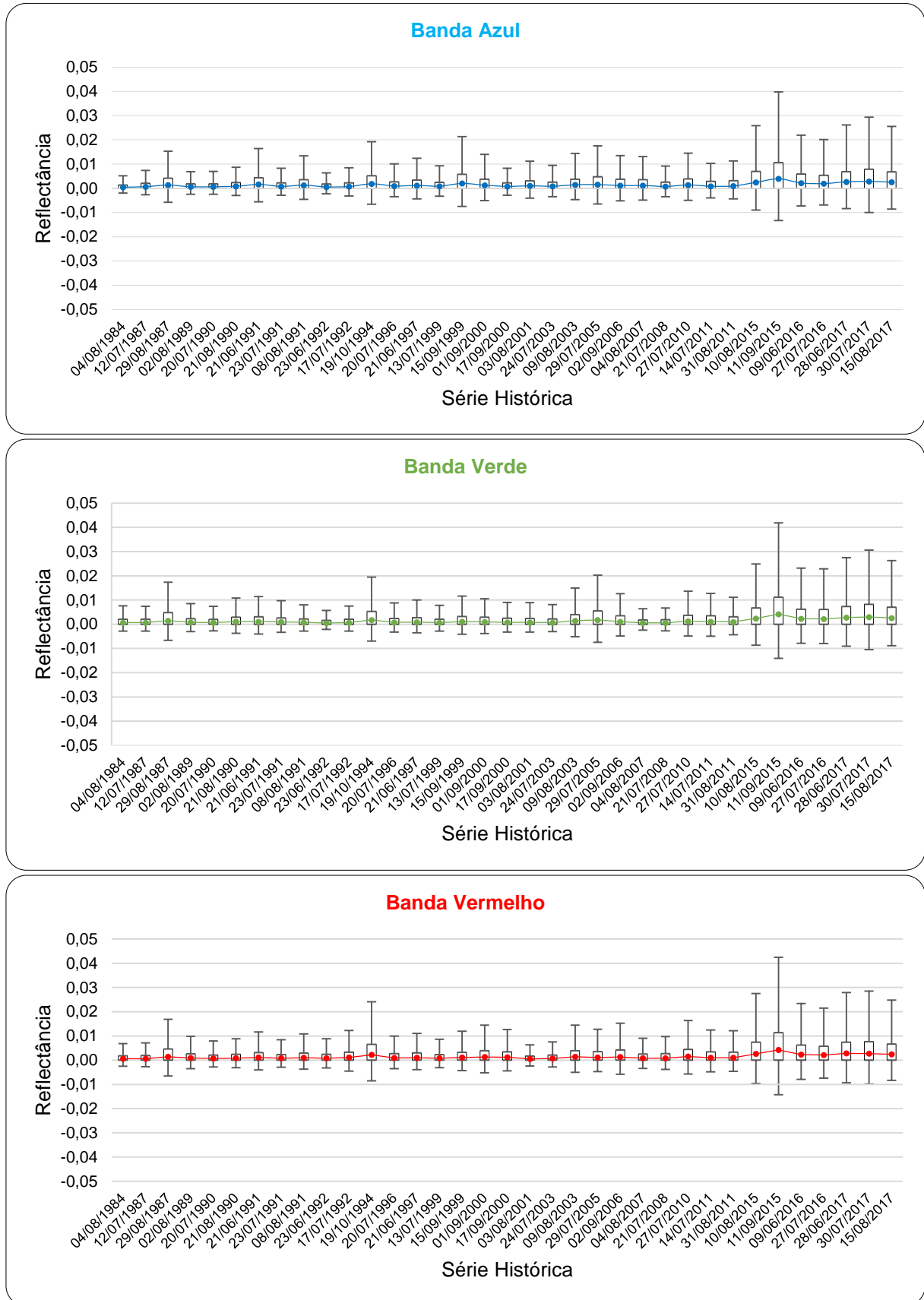
Bandas	B	G	R
B	1		
G	0,95	1	
R	0,94	0,96	1

Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Bandas 1, 2 e 3) e LANDSAT 8 OLI (Bandas 2, 3 e 4).

Elaborada por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

No Gráfico 14 pode ser observada a estatística descritiva dos dados espectrais nas bandas do visível (RGB), em toda a série temporal. Foi obtido a estatística descritiva dos valores de reflectância para cada ano, considerando a lâmina d'água do rio Miriti, em cada data analisada.

Gráfico 14: Estatística descritiva dos valores de reflectância da lâmina d'água do Rio Miriti, referente as bandas do visível ao longo da série temporal (1984-2017).



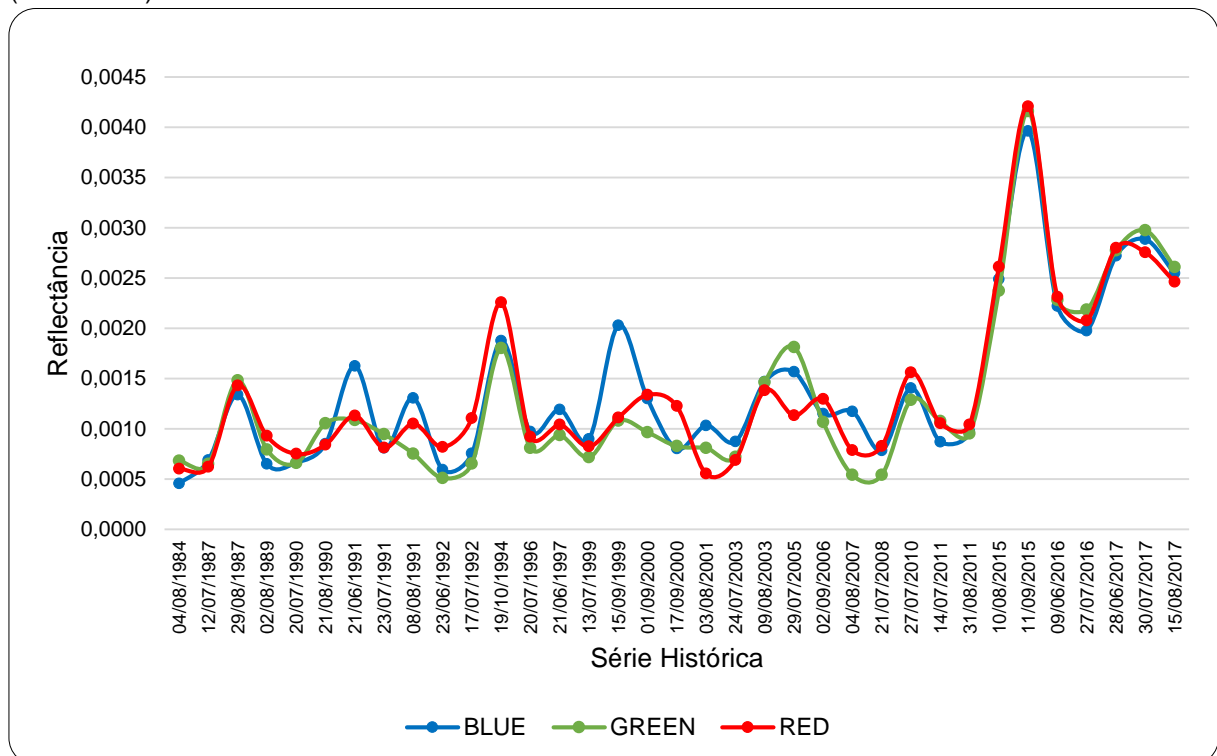
Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Bandas 1, 2 e 3) e LANDSAT 8 OLI (Bandas 2, 3 e 4).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

As águas do rio Miriti possuem elevada transparência, superior a 1 m, o que explicaria a baixa reflectância em todos os comprimentos de onda, essa caracteriza deve-se a alta concentração de matéria orgânica dissolvida água e baixíssima concentração de sedimentos, que favorece a coloração preta da água, conforme descrito por Barbosa et al. (2003).

O comportamento espectral nas três faixas é muito semelhante, tanto considerando as médias por data, quanto pela tendência ao longo da série histórica. Nas datas de 29/08/1987, 19/10/1994, 29/05/2005 e 27/07/2010 as três faixas espectrais apresentam picos de reflectância, enquanto nas datas 21/06/1991 e 15/09/1999 as médias da banda do azul destacaram-se em comparação as outras bandas, essas variações ao longo da série temporal podem ser explicadas pela entrada anormal de materiais em suspensão e/ou dissolvidos na água (Gráfico 15).

Gráfico 15: Média dos valores de reflectância da lâmina d'água do Rio Miriti ao longo da série temporal (1984-2017).



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Bandas 1, 2 e 3) e LANDSAT 8 OLI (Bandas 2, 3 e 4).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

O comportamento espectral das faixas se destaca a partir das datas de 2015, 2016 e 2017, essa elevação pode ter influência da intensificação do aporte de materiais com componentes opticamente ativos, provenientes de rejeitos orgânico, carga de sedimentos e liberação de matéria orgânica.

Apesar do comportamento crescente ao longo dos anos, as variações foram mínimas, sofrendo elevações mais acentuadas nos anos mais recentes, que coincidem com a mudança de sensor.

Ao analisar se haveria correlação entre as médias de reflectância e as cotas do rio Solimões, registradas nas datas de imageamento, foi encontrada fraca correlação entre os dados. Os valores encontrados foram $R=0,49$ para a banda do azul e para a verde, enquanto para a banda do vermelho a correlação além de quase inexistente foi negativa, com $R=-0,17$.

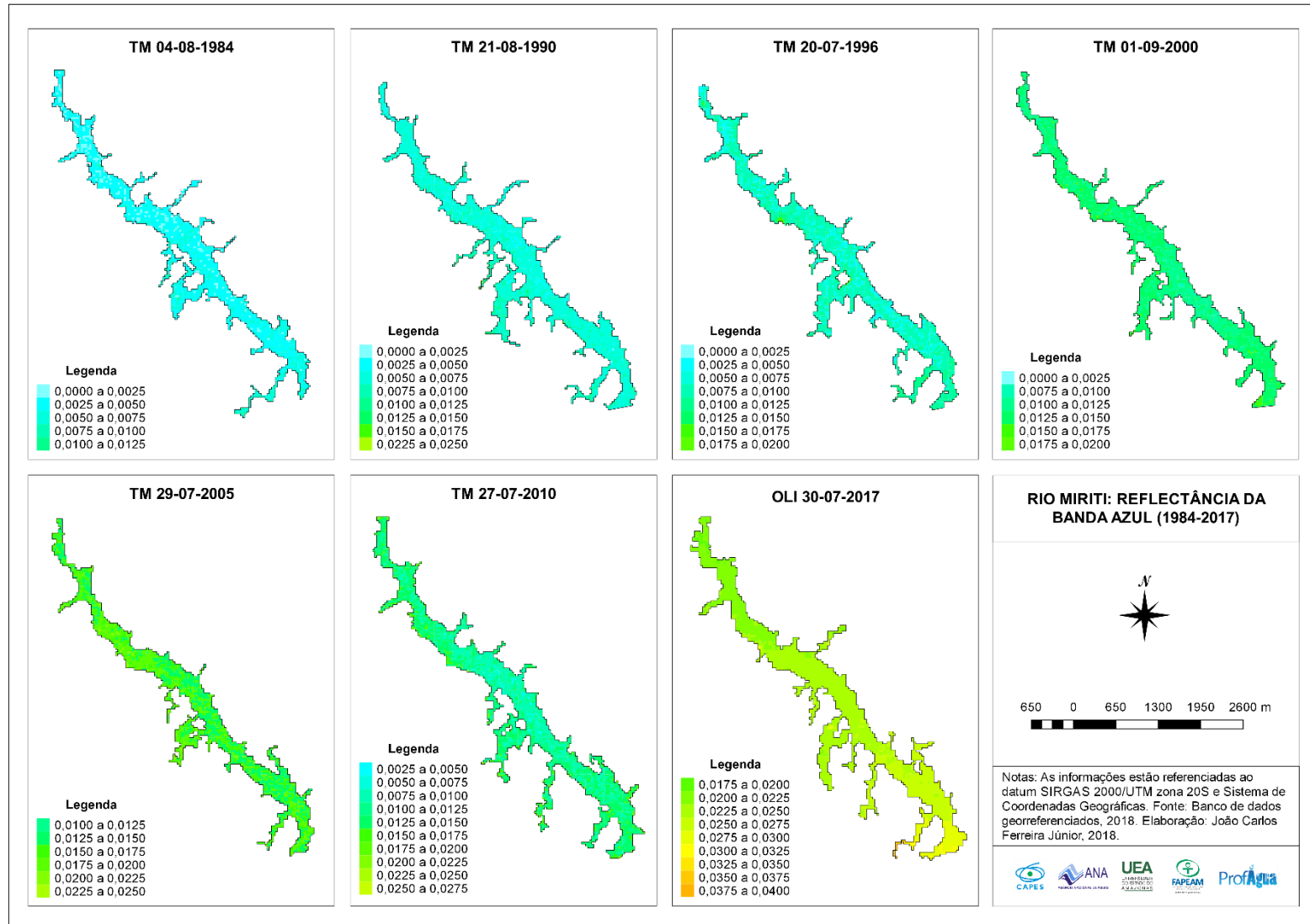
4.5.2 Compartimentos Aquáticos Espectrais

Outras formas de investigação tornam-se necessárias para que seja possível visualizar possíveis transformações em diferentes níveis espaciais. Para investigação de possíveis compartimentos espectrais na água foram separadas sete datas, num intervalo de mais ou menos cinco anos de diferença entre cada uma, contemplando toda a série temporal, as datas e respectivos sensores são: TM 04-08-1984, TM 21-08-1990, TM 20-07-1996, TM 01-09-2000, TM 29-07-2005, TM 27-07-2010 e OLI 30-07-2017.

Influenciado pela alta concentração de matéria orgânica dissolvida, que atribuem a coloração das águas do rio Miriti, característica não impeditiva de considerável transparência nas águas pretas. Segundo Novo (2010, p. 264) este componente opticamente ativo possui elevado coeficiente de absorção da luz na faixa do azul, conseqüentemente, quanto maiores as concentrações orgânicas dissolvidas na água, menor será a reflectância no azul.

No Mapa 11 é possível visualizar as representações temáticas da reflectância da faixa do azul no rio Miriti. Na data TM 04-08-1984 as classes de reflectância eram apenas quatro classes de reflectância, na data seguinte TM 21-08-1990 as classes dobraram, passando para oito, mantiveram-se na mesma quantidade em TM 20-07-1996, em TM 01-09-2000 eram seis, na data de TM 29-07-2005 continuaram as seis classes, até que na data TM 27-07-2010 subiram para dez classes, fatiamento com maior número de classes, e na data de OLI 30-07-2017 foram nove classes mapeadas.

Mapa 11: Variação espaço-temporal da reflectância da banda azul no baixo curso do rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 1) e Imagem LANDSAT 8 OLI (Banda 2).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Apesar da flutuação do número de classes ao longo da série temporal, as mudanças são perceptíveis quando se leva em consideração a predominância de determinada classe de reflectância. Entre as primeiras datas as mudanças são mais tímidas, mas revelam um aumento na reflectância média de todo o curso d'água. Nas últimas datas ainda é perceptível as mudanças globais na área, mas na última aparecem claramente três compartimentos.

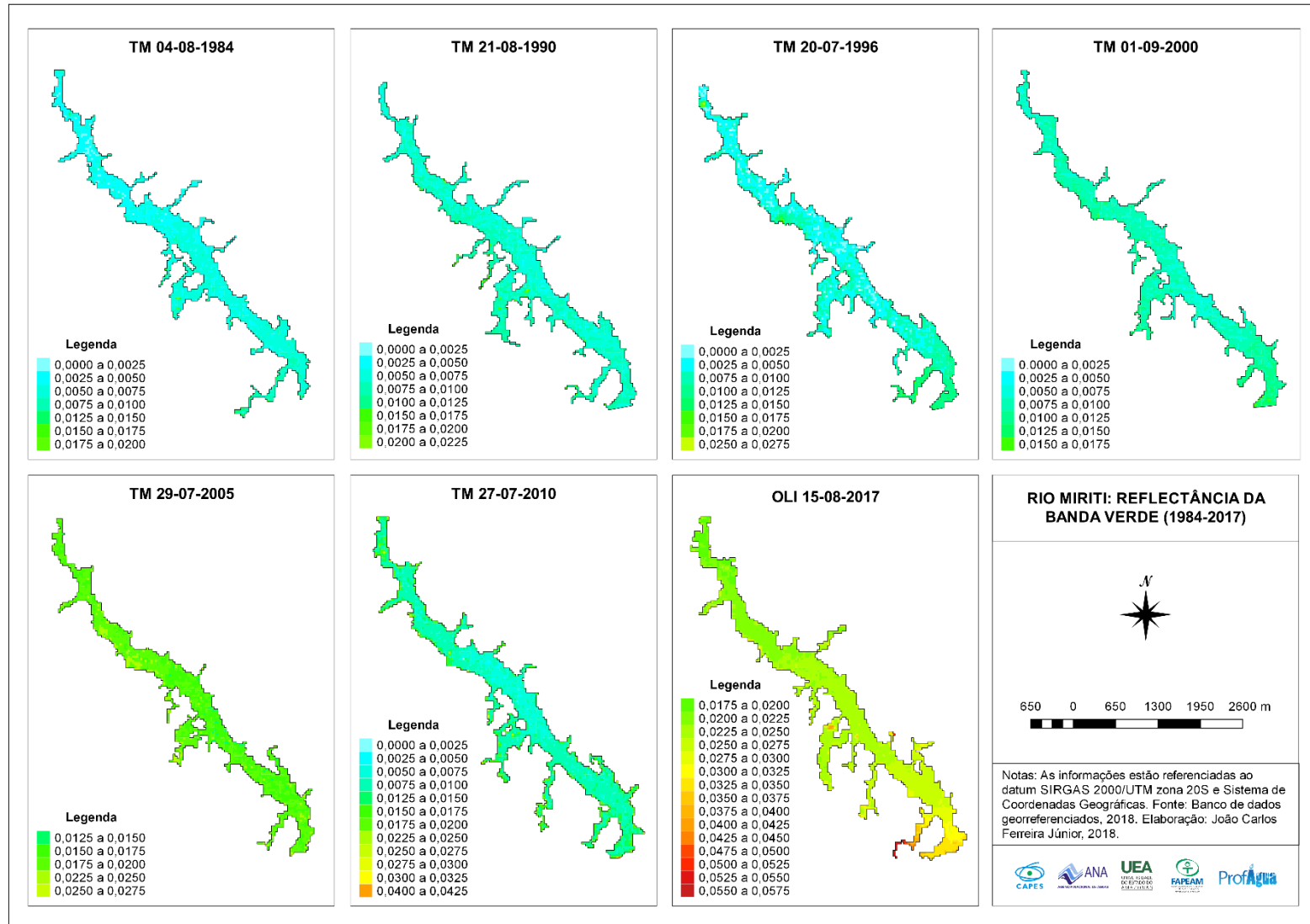
Na data OLI 30-07-2017 além da extinção das cinco menores classes, percebe-se a divisão dos compartimentos. No setor montante estão as menores reflectâncias, no setor intermediários ocorrem as reflectâncias intermediárias e no setor jusante estão as maiores reflectâncias. As mudanças ao longo do canal são sensíveis, mas graduais.

Os compartimentos aquáticos encontrados na banda azul das imagens LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI, revelam maior influência das águas brancas do rio Solimões ao longo dos anos. Esta maior influência pode ser explicada pelas diversas alterações que ocorreram na foz do rio Miriti, como o represamento dos lagos próximos a sua foz, a construção de estradas, somado ao maior adensamento populacional que produz maiores quantidades de resíduos.

Referente a banda verde dos sensores TM e OLI, o fatiamento resultou em um número similar de classes da banda azul. Em contexto espaço-temporal as mudanças nos níveis de reflectância ao longo dos anos é crescente, as classes de maior reflectância estão relacionadas ao espalhamento da radiação eletromagnética com as maiores concentrações de clorofila (Mapa 12).

Na data TM 04-08-1984 eram cinco classes de reflectância, na data seguinte TM 21-08-1990 subiram para nove classes, mantiveram-se praticamente com a mesma quantidade em TM 20-07-1996 e TM 01-09-2000, enquanto na data de TM 29-07-2005 haviam cinco classes, mas a média dos valores apresentados superaram todas as datas anteriores, na data de TM 27-07-2010 as classes aumentaram para doze, e por fim, na data de OLI 30-07-2017 foram quinze classes mapeadas, fatiamento com maior número de classes.

Mapa 12: Variação espaço-temporal da reflectância da banda verde no baixo curso do rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 2) e Imagem LANDSAT 8 OLI (Banda 3).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

O mapa da TM 04-08-1984 apresenta um único compartimento, os mapas de TM 21-08-1990, TM 20-07-1996 e TM 01-09-2000 também possuem um único compartimento, mas demonstram certo crescimento na reflectância nas bordas próximo ao núcleo urbano. Nos mapas de TM 20-07-2005 e TM 27-07-2010 visualiza-se a formação de dois compartimentos, um no setor montante e outro no setor jusante. Na última data forma-se um novo compartimento, totalizando em três compartimentos, as áreas a montante da área urbana apresentam menor reflectância, o setor intermediário com influência direta do núcleo urbano e o último, a jusante com as maiores reflectâncias.

A formação desses compartimentos na faixa do verde, pode ser relacionado com os constituintes fotossintetizantes, atribuídos aos fitoplânctons e até mesmo aos aglomerados de macrófitas aquáticas. Os fatiamentos apresentados demonstram crescimento tanto em perspectiva temporal quanto espacial.

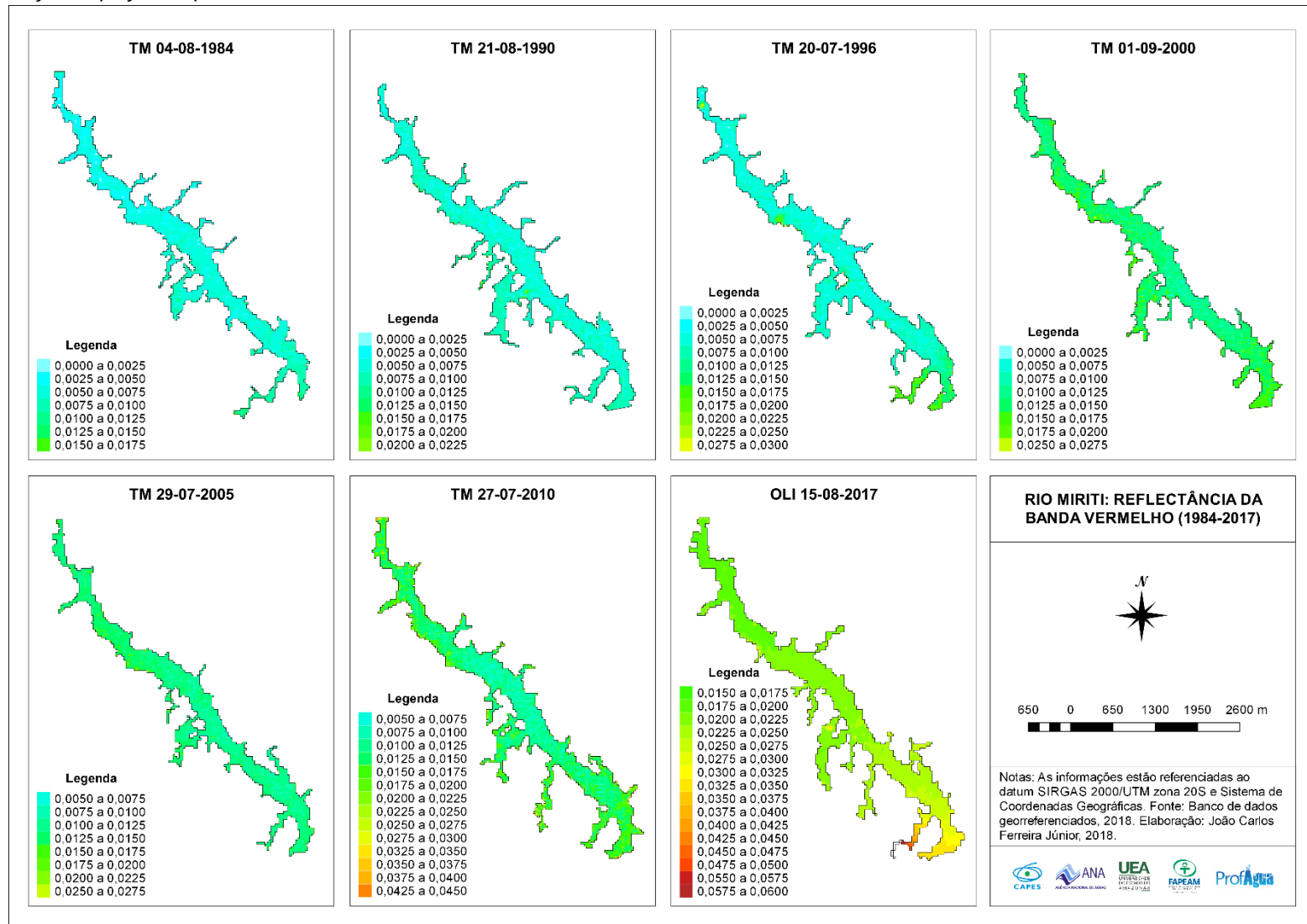
O fatiamento da reflectância da banda vermelho pode ser relacionado com a presença de sólidos totais em suspensão. Os mapas apresentados para essa banda, são muito similares aos anteriores, contudo com destaque ainda maior para influência do rio Solimões próximo a foz, local no qual atingiram os maiores valores de reflectância encontrados, podendo atingir 6% de energia refletida, o que demonstra clara influência dos sólidos em suspensão do rio Solimões (Mapa 13).

Considerado a abordagem anterior de quantificar as classes de reflectância na série de mapas apresentados. O mapa de TM 04-08-1984 apresenta sete classes, na data seguinte subiu para nove classes e doze classes em TM 20-07-1996, no mapa de TM 01-09-2000 decresce para oito classes, mantendo o mesmo em TM 20-07-2005, as últimas datas apresentam, respectivamente, 14 e 16 classes de reflectância.

Compartimentos aquáticos podem ser definidos com essa banda em algumas datas. Aferindo os mapas das datas de TM 20-07-1996, TM 01-09-2000 e TM 29-07-2005 pode-se admitir pelo menos dois compartimentos aquáticos, o mapa da data TM 27-07-2010 possui três compartimentos, enquanto o OLI 30-07-2017 possui quatro, maior número de compartimento encontrados em todas as bandas analisadas.

A última data dos mapas da banda do vermelho, foi a imagem que apresentou o maior número de fatiamentos, 16 no total, sendo que um trecho do último afluente da margem direita do rio Miriti, não foi classificado, extrapolando as classes definidas inicialmente. Essa configuração demonstra influência da água do rio Solimões, pois durante o período de cheia os dois possuem ligação direta.

Mapa 13: Variação espaço-temporal da reflectância da banda vermelho no baixo curso do rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 3) e Imagem LANDSAT 8 OLI (Banda 4).

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Em síntese, foi possível perceber uma concentração maior de número de classes nos mapas da banda do vermelho, com média de 10,6 classes por mapa, demonstrando maior variação de energia refletida nesta faixa, nela também foram encontrados os maiores valores de reflectância. A média de classes dos mapas da banda azul foi de 7,4, a menor variação encontrada, nos mapas da banda verde a média foi de 8,9 classes.

Tomando como perspectiva as datas selecionadas para ilustrar as variações de reflectância ao longo da série temporal, os anos mais recentes destacaram-se em número de classes de reflectância, em 2010 foram em média 12 classes, enquanto em 2017, data do sensor OLI, foram em média 13,7 classes de reflectância. Os anos de 1984 (6,3), 1990 (8,3) e 1996 (9,0) apresentaram um comportamento crescente em relação aos números de classes, no entanto nos anos 2000 (7,0) e 2005 (6,3) houve decréscimos na quantidade de classes, apesar do nítido crescimento da reflectância.

A compartimentação aquática permite visualizar em linhas gerais como se dá a reflectância da água em diferentes pontos do curso d'água, permitindo aferir sobre eventuais associações com a ocupações da bacia hidrográfica. Contudo, outras formas de visualizar os dados são necessárias para perceber diferentes interações, por isso, as análises da reflectância também foram abordadas usando um transecto seguindo o eixo central do canal do baixo rio Miriti.

4.5.3 Transectos

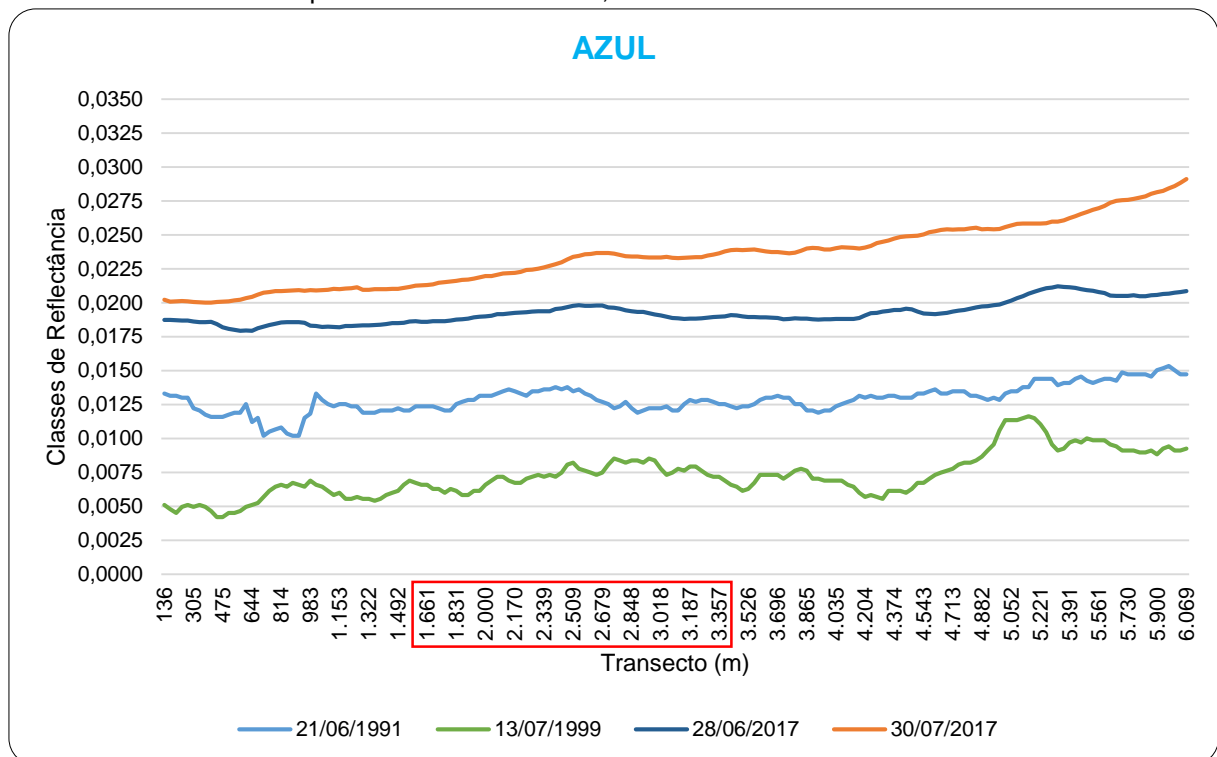
Em águas naturais, os componentes opticamente ativos presentes na água são determinantes na reflectância dos corpos hídricos. Segundo Mobley (1994), sedimentos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e matéria orgânica dissolvida são os principais responsáveis pelo comportamento espectral da água, podendo ser atrelados as três bandas do visível.

Os transectos foram definidos com base no eixo central do canal do rio Miriti, obtendo-se os valores dos pixels por onde passava, foi considerado apenas o trecho compreendido até o limite da influência do rio Solimões, para evitar grande influência nos dados. Para suavizar o lineamento dos dados optou-se pelo uso da média móvel, onde foram consideradas a média de nove valores para obtenção de valores mais uniformes e diminuição dos ruídos.

A seleção das datas apresentadas nos gráficos baseou-se nas correlações obtidas, com base no cálculo do valor da probabilidade de significância (P), que está associado ao coeficiente de correlação, o valor obtido foi 99%. A primeira análise baseia-se na reflectância medida nas três bandas do visível, nas datas com melhores correlações positivas, superiores a 0,7. Esta correlação foi obtida entre os valores de reflectância de cada banda do visível e o transecto do eixo central do rio Miriti.

Analisando a banda azul, foram selecionadas quatro transectos de reflectância (Gráfico 16). De imediato é possível destacar duas datas, 28/06/2017 e 30/07/2017 ambas do sensor OLI, com valores de reflectância mais elevados e melhor lineamento ao longo do canal, indicando menor quantidade ruídos, comparado as duas imagens do sensor TM.

Gráfico 16: Transecto espectral da banda do azul, eixo central do rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 1) e LANDSAT 8 OLI (Banda 2). **Legenda:** O trecho destacado em vermelho compreende as áreas densamente urbanizadas.

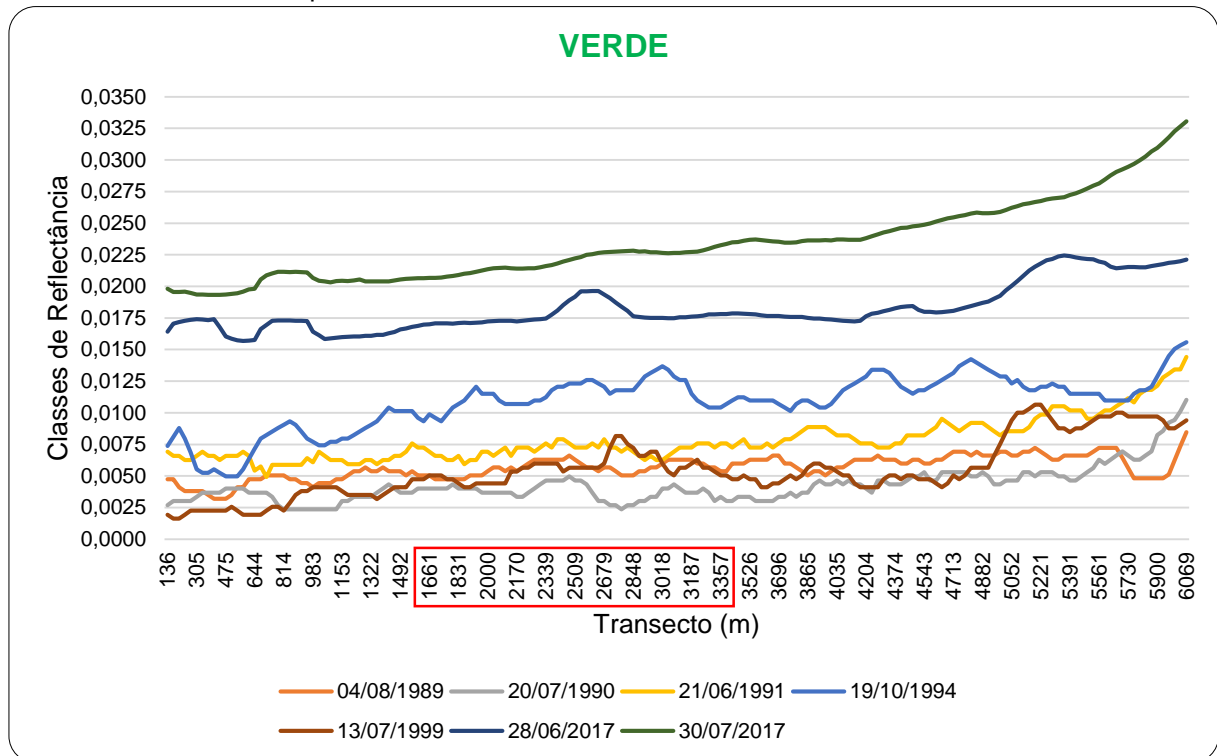
Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

A resposta a banda azul pode ser associada a matéria orgânica dissolvida na água, o transecto de 30/07/2017 possui comportamento crescente no sentido montante-jusante, iniciando seu traçado com 2% de reflectância na água, chegando a quase alcançar 2,75% de reflectância no fim do transecto, percorrendo três classes. A outra data do sensor OLI possui comportamento mais linear, flutuando dentro da

mesma classe por quase todo o transecto, destacando para uma classe superior apenas no fim do traçado.

Referente a banda verde, no Gráfico 17 são apresentados os transectos selecionados, sendo sete os que obtiveram correlação positiva entre os valores de reflectância e o transecto, com R maior que 0,7.

Gráfico 17: Transecto espectral da banda do verde, eixo central do rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 2) e LANDSAT 8 OLI (Banda 3). **Legenda:** O trecho destacado em vermelho compreende as áreas densamente urbanizadas.

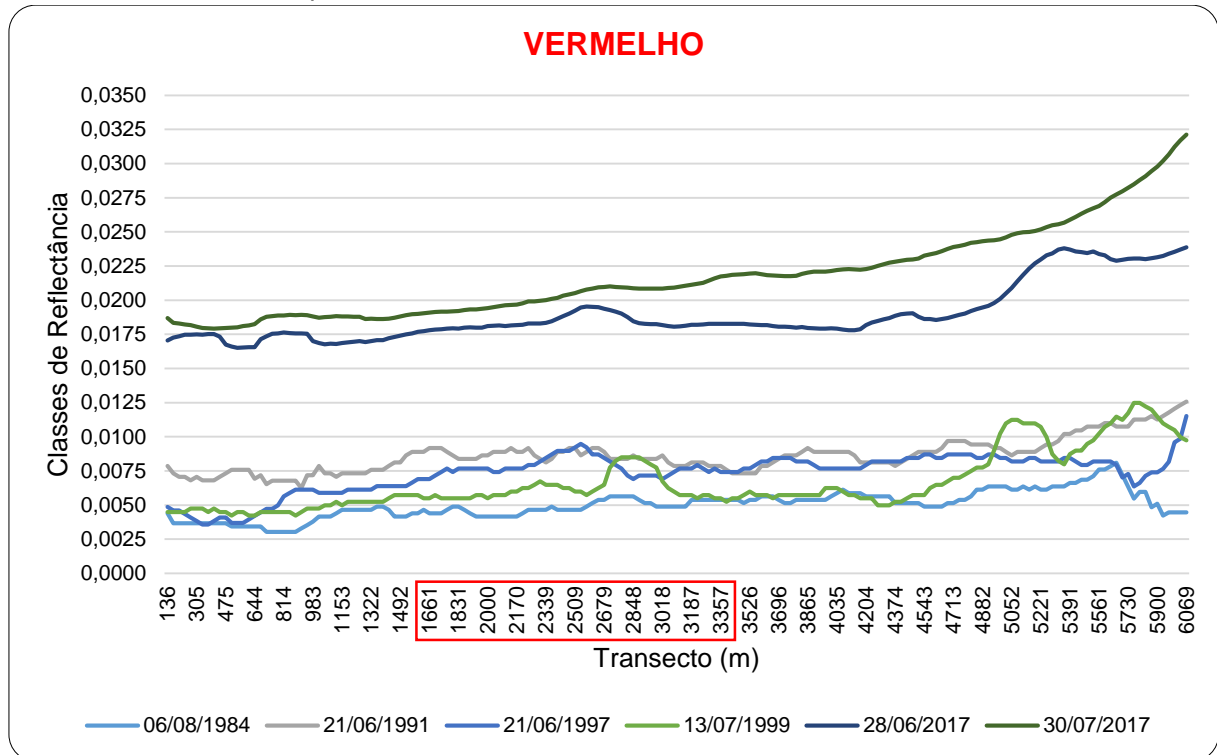
Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Na banda verde a reflectância da água alcança classes um pouco mais elevadas, as datas que se destacam quanto a média de reflectância são 28/06/2017 e 30/07/2017, assim como na banda azul. A data de 19/10/1994 também se destaca das demais, comportamento não esperado que se limita somente a banda verde, sugerindo maior presença de fitoplânctons na ocasião.

As distâncias destacadas em vermelho compreendem trecho do transecto que recebe a drenagem de área densamente urbanizadas. Em algumas datas é possível observar um abaulamento no transecto, indicando indícios da entrada de materiais de rejeitos urbano. Esses aumentos não ocorrem nos mesmos locais em comparação com as datas, mas estão dentro do trecho de influência urbana.

Referente a banda vermelho, foram destacados seis transectos que correlacionaram positivamente ($>0,7$) os valores de reflectância e o comportamento ao longo do transecto (Gráfico 18).

Gráfico 18: Transecto espectral da banda do vermelho, eixo central do rio Miriti.

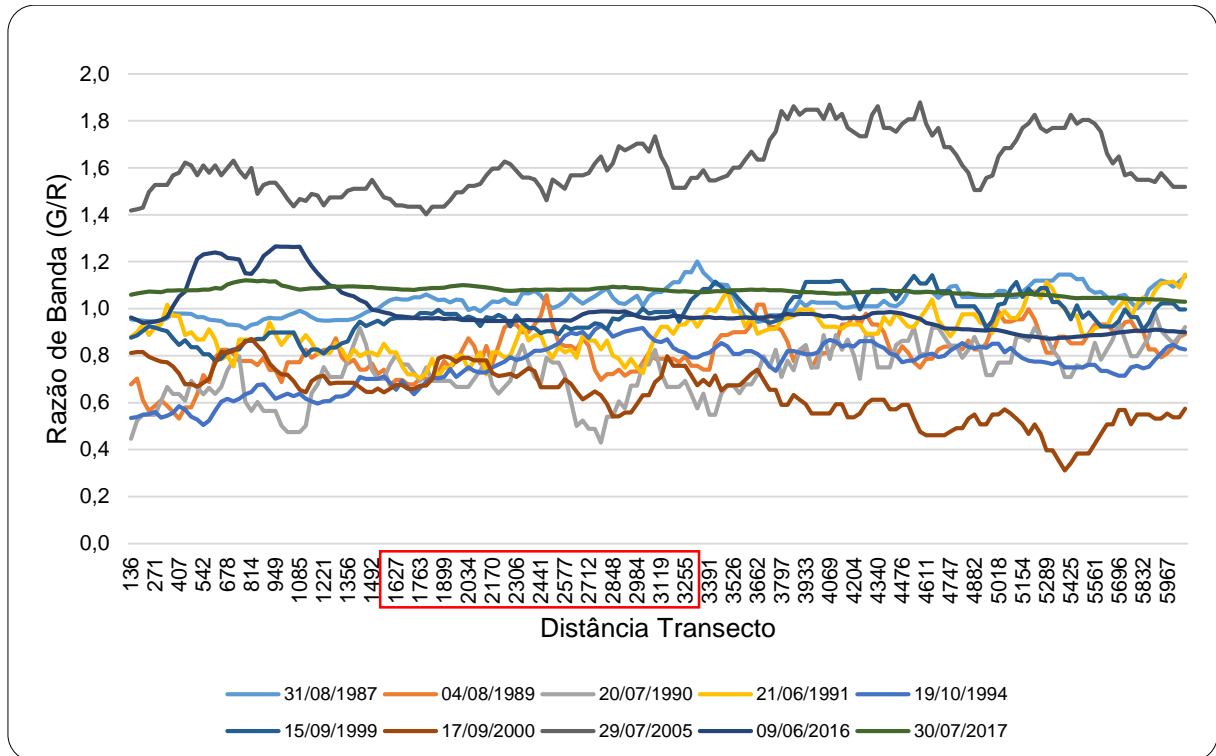


Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Banda 3) e LANDSAT 8 OLI (Banda 4). **Legenda:** O trecho destacado em vermelho compreende as áreas urbanizadas.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Assim como nas bandas do azul e verde, na banda do vermelho as datas de 2017 se destacam das demais. A que possui maior reflectância, flutua entre áreas que refletem 1,75% de energia até quase 3%. As datas de 06/08/1984, 21/06/1991, 21/06/1997 e 13/07/1999 variam entre as classes 0,25% e menos de 1,25% de energia refletida, esses valores são significativos no contexto geral de análise entre todas as datas, mas são muito baixos, mesmo priorizando os dados mais elevados.

Outra técnica aplicada foi a razão de bandas, obtida a partir da divisão da banda verde pela a banda do vermelho. As datas seleccionadas foram as que obtiveram correlação positivas superiores a 0,6 e as correlações negativas inferiores a -0,6 com o fluxo do canal fluvial, representado pelo transecto. Os valores superiores a 1 indicam maior concentração de TSS, enquanto valores inferiores a 1 indicam menor concentração de TSS e provável presença de fitoplânctons na água (Gráfico 19).

Gráfico 19: Razão de bandas entre as bandas verde e vermelho.

Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM (Bandas 2 e 3) e LANDSAT 8 OLI (Bandas 3 e 4). **Legenda:** O trecho destacado em vermelho compreende as áreas urbanizadas.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

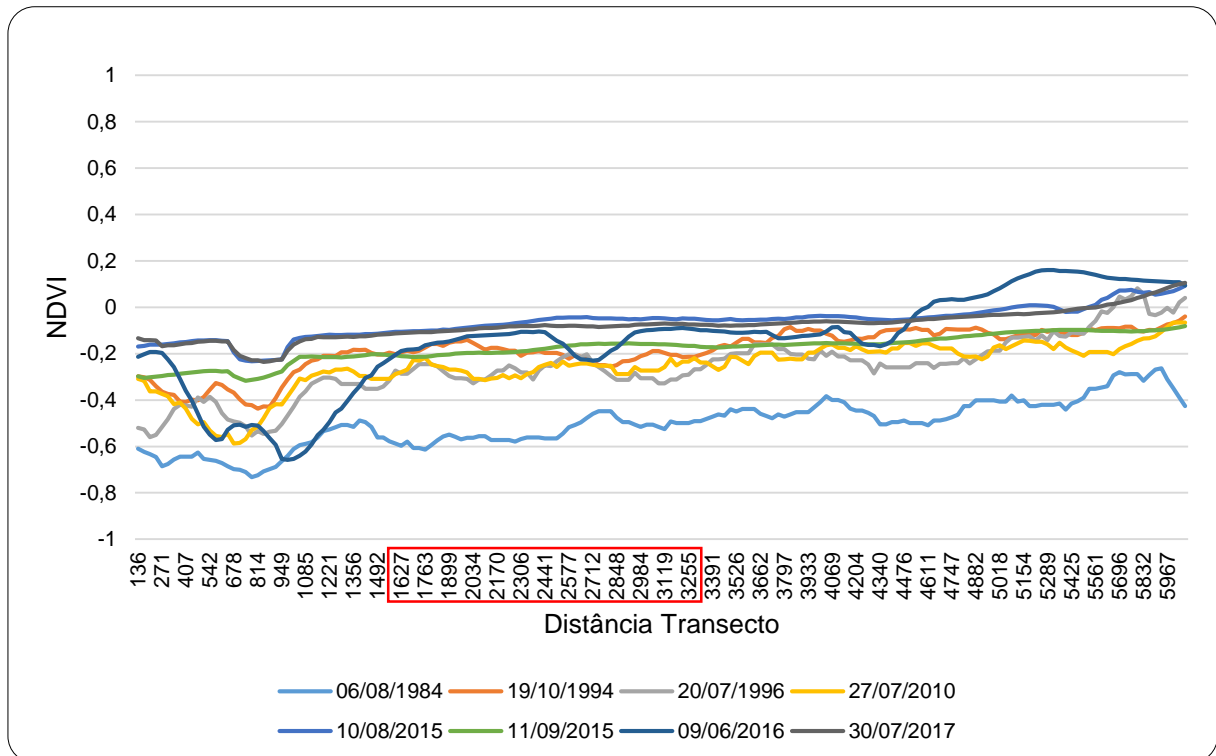
Das dez datas selecionadas, sete apresentaram correlação positiva com o transecto (31/08/1987, 04/08/1989, 20/07/1990, 21/06/1991, 19/10/1994, 15/09/1999 e 29/07/2005), ou seja, indicativo de entrada de materiais ao longo do canal, enquanto em três datas a correlação foi negativa (17/09/2000, 09/06/2016 e 30/07/2017), desassociando a entrada de materiais com o fluxo do rio. Pelo predomínio de datas com correlação positiva, pressupõe-se a influência de entrada de material particulado oriundo das sub-bacias que drenam a zona urbana.

Dentre as correlações positivas, o destaque fica pela data 29/07/2005 com os valores mais elevados registrados, vale a ressalva de que os valores desta data destoam bastante dos demais, essa variação deve ser vista com cautela, uma vez que a refletância da água preta é muito baixa e a calibração do sensor deve estar afinada. Contudo, se os valores forem verdadeiros estão indicando forte presença de materiais fotossintetizantes na água, alusivo à presença de fitoplânctons e macrófitas aquáticas.

Outra técnica empregada a partir da transformação de bandas é o NDVI, que permite aferir sobre a presença de plantas aquáticas na água. Um transecto também foi traçado sobre as imagens transformadas em NDVI, destacadas as que

apresentaram valores superiores a 0,85 de correlação, todas positivas (Gráfico 20). Foram selecionadas oito datas, conforme os requisitos apresentados, mas destaca-se que vinte e quatro imagens apresentaram forte correlação com o transecto, igual ou superior a 0,7.

Gráfico 20: Índice de vegetação da diferença normalizada, o NDVI encontrado no transecto no eixo central do baixo rio Miriti.



Fonte: Imagens LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI. **Legenda:** O trecho destacado em vermelho compreende as áreas urbanizadas.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

Em todas as datas selecionadas o comportamento do NDVI na água ocorre com valores negativos, como esperando pela resposta da água em estado líquido. Nas datas 10/08/2015, 09/06/2016 e 30/07/2017 no fim do transecto apresentaram aumento suficiente para tornarem-se valores do índice positivos. Na data de 09/06/2016 esse valor extrapola um pouco além, indicando a presença de vegetação na água, corroborando com Liu (2006) quando afirma que as vegetações submersas e emersas podem alterar as características espectrais da água.

As diferentes abordagens apresentadas são apenas algumas das várias possibilidades que os dados espectrais oferecem. A possibilidade de conhecer o comportamento da água ao longo do tempo, contribui para entender o cenário atual. Essa contribuição dos dados de sensoriamento remoto e demais técnicas de

geoprocessamento são indiscutivelmente agregadores na gestão dos recursos hídricos.

4.6 CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O uso de ferramenta geotecnológicas é um importante aliado na gestão territorial, não sendo diferente tratando-se dos recursos hídricos. A possibilidade de utilizar diferentes produtos e técnicas, permite entender os diferentes processos inerentes a meio físico-ambiental. No Quadro 23 estão elencados os principais recursos geotecnológicos utilizados no trabalho, com ênfase nos produtos gerados que servem de contribuição a gestão dos recursos hídricos.

Quadro 23: Síntese das técnicas e recursos geotecnológicos utilizados, como contribuição a gestão dos recursos hídricos.

RECURSO GEOTECNOLÓGICO	CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
Modelo digital de elevação	<ul style="list-style-type: none"> • Delimitação de bacia e sub-bacias hidrográficas; • Delineamento da rede de drenagem linear; • Hierarquização da drenagem; • Extração de curvas de nível; • Mapeamento hipsométrico; • Mapeamento clinográfico; • Análise morfométrica na bacia e da rede de drenagem (área, perímetro, densidade de drenagem, comprimento dos canais); • Estatística dos componentes associados.
Mapeamento dos usos da terra e cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação dos agentes modificadores do espaço; • Evolução em escala temporal das modificações espaciais; • Identificação dos usos múltiplos da água; • Monitoramento da cobertura vegetal; • Estatística das classes de uso.
Interpolação de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Extrapolação de dados; • Compartimentação aquática; • Estatística descritiva e por classe.
Dados espectrais	<ul style="list-style-type: none"> • Delineamento da rede fluvial poligonal; • Aferição da energia refletida pelo corpo hídrico; • Compartimentação espectral da água; • Análises espaciais, lineares e pontuais; • Transformação de dados (razão de banda, NDVI e outros índices); • Estatística descritiva.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2019.

A gestão em linhas gerais refere-se ao planejamento e ação dos agentes sociais, econômicos e ambientais em um determinado espaço. O modelo de gestão de recursos hídricos instituído pela Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, a Lei das Águas, utiliza a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão territorial, em perspectiva descentralizada, contando com a participação do poder público, dos usuários e da população em geral.

A identificação e delimitação das bacias hidrográficas é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, pois delimita as áreas de influência do corpo d'água (EMBRAPA, 2014, p. 127). Um dos primeiros passos para que ocorra a gestão dos recursos hídricos é conhecer a área que compreende a bacia, para visualizar quais os usos preponderantes da água e identificar os conflitos.

Para que isso ocorra é preciso entender onde começa e onde termina toda a rede fluvial e os sistemas associados, como os divisores de água que delimitam as bacias hidrográficas. As bacias ainda podem ser fragmentadas em bacias menores ligadas ao canal principal, as sub-bacias hidrográficas, além das menores áreas de contribuição, as microbacias hidrográficas e áreas de contribuição direta.

O entendimento sobre a rede de drenagem e suas características, como o comprimento dos canais, a hierarquia de drenagem e o padrão de drenagem, dão indícios do funcionamento hidrológico dentro da bacia. Associado a isso, as informações de padrão de forma, área e perímetro da bacia são informações que contribuem para o dimensionamento das interações com os demais componentes fisiográficos.

O uso de MDE permite uma infinidade de recursos relacionados geomorfometria da bacia hidrográfica. O mapeamento hipsométrico, por exemplo, está atrelado as cotas altimétricas do relevo, que permite a visualização das cotas mais baixas do terreno, que associados aos dados de cota fluviométrica durante os picos de cheia, torna possível a delimitação das áreas com forte probabilidade a inundação. Quando atrelado ao mapa clinográfico, relacionado a declividade do terreno, possibilita entender o funcionamento do escoamento na bacia, dado importante para mitigar possíveis áreas de risco para ocupação humana.

Analisando as técnicas aplicadas ao MDE, correlacionando-os ou não, é possível compartimentar as áreas de acordo com classes definidas, fazendo isso, pode-se aplicar estatística descritiva e analisar os diferentes setores de altimetria ou

declividade, mapeando as áreas que mereçam maior atenção dos gestores, do poder público, dos usuários e da população.

Buscando atender diretamente um dos instrumentos das políticas nacional e estadual de recursos hídricos, sobretudo a bacia hidrográfica, os planos de recursos hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade, mais particularmente a atuação dos gestores, a respeito dos usos, recuperação, proteção, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos (ANA, 2013, p. 13).

Os planos de recursos hídricos, independente da escala gestora, é o primeiro passo para implementação dos instrumentos previstos na Lei das Águas. Segundo ANA (2013, p. 20) o plano deve atender as peculiaridades de ordem social, cultural, ambiental e econômico, o que atribui uma necessidade de entender as especificidades desse território em questão.

Uma das melhores formas de iniciar a identificação dos principais atores envolvidos nas relações peculiares citadas anteriormente, se dá pelo mapeamento dos usos da terra, obviamente não limitados ao espaço habitado, mas incluindo as áreas de aporte de recursos, incluindo também a água.

O mapeamento dos usos da bacia é norteador para definição de pontos de intervenção, além de permitir a identificação dos usos múltiplos dos recursos hídricos, agregando uma perspectiva vertical de visualização do espaço. Permite o monitoramento têmporo-espacial das constantes mudanças, além de possibilitar a visualização de cenários passados, especificando o cenário atual da bacia como reflexo histórico-geográfico.

Como destacado anteriormente o plano de recursos hídricos é orientador para a implementação dos demais instrumentos. O enquadramento dos corpos d'água é um dos instrumentos previsto na Lei das Águas, a classificação ocorre segundo os usos preponderantes da água em cada trecho do corpo hídrico, com metas de qualidade da água a serem alcançadas ou mantidas, de acordo com os usos pretendidos (ANA, 2013, p. 39).

O enquadramento é um instrumento que tem forte relação com as políticas de uso e ocupação da terra e de saneamento. Sua fase inicial de implementação prevê diagnóstico, nele pressupõe-se o reconhecimento dos usos preponderantes e das fontes poluidoras na bacia e como elas interferem na qualidade da água (ANA, 2013, p. 48). Nesta fase ocorrem medições e coletas de água para a avaliação da qualidade

da água, os dados numéricos gerados permitem a aplicação de técnicas de extrapolação e associação dos valores encontrados.

A interpolação de dados numéricos, consiste na espacialização dos valores medidos gerando um modelo numérico do terreno, permitindo aferir associações com os usos da terra. Após a classificação temática do MNT, facilita-se a visualização do comportamento das diferentes variáveis limnológicas ao longo do curso d'água, possibilitando aferições quanto a eventuais entradas de poluentes ou outros materiais provenientes da bacia, que alteram as condições naturais da água.

Caso haja comportamento similar entre os dados ao longo do canal possibilita-se o estabelecimento de compartimentos aquáticos. Os mapas gerados para cada variável podem ser sobrepostos e com base na legislação de enquadramento, a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que classifica os corpos hídricos de acordo com o uso preponderante, pode-se ter um prelúdio da situação da qualidade da água. Destaca-se a necessidade de medições dos diferentes parâmetros limnológicos, considerando todo o regime hidrológico do sistema aquático, pois dependendo do período pode ter maior ou menor capacidade de assimilação de cargas poluentes ao longo do ano.

Magalhães Júnior (2011, p. 154-155) enfatiza a evolução da informática no desenvolvimento de técnicas para o tratamento de dados geoespaciais, agilizando o processamento de dados hidrológicos. Destaca seis técnicas digitais para atuação na aquisição e monitoramento de dados sobre os recursos hídricos: cartografia digital, sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica, modelos digitais de terreno e conversão/modelagem de dados.

Novo (2017, p. 3-4) destaca a existência de diversas redes de monitoramento de dados no Brasil, coletando sobre qualidade e quantidade de água, contudo não existe um protocolo unificado referente aos procedimentos de coleta e medição, o que dificulta a análise no contexto da gestão dos recursos hídricos. Magalhães Júnior (2011, p. 157-160) elenca as principais instituições federais de monitoramento dos recursos hídricos no Brasil, com destaque para: ANA, ANEEL, CPRM, INMET, INPE, EMPRABA, CODEVAST, IBAMA, FUNASA, entre outras.

Nessa conjuntura a tecnologia de sensoriamento remoto se insere como fonte de informação a ser integrada às convencionais, contudo o uso desse recurso pela comunidade gestora de recursos hídricos ainda é tímido, mesmo com o potencial de aplicabilidades, demonstrando diversas vantagens no seu uso. Jensen (2009, p. 8)

destaca a característica não intrusiva dos sensores remotos passivos, pois esses não perturbam o alvo a ser imageado. Além disso, possuem coleta sistemática de dados, podem conter informações da assinatura espectral de diferentes alvos, localização geográfica, elevação ou profundidade, temperatura, entre outros atributos.

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no trabalho permitiram o delineamento da rede fluvial, para esse resultado foi realizado o fatiamento da banda do infravermelho vermelho próximo. O fatiamento das bandas do visível possibilitaram uma gama de informações que foram trabalhadas em diversos contextos espaciais, a fim de exprimir o comportamento espectral das águas pretas do rio Miriti e reentrâncias de seus principais afluentes.

Esse tipo de aplicação permite visualizar possíveis entradas de materiais com constituintes óticamente ativos na água, que se relacionam com as três bandas do visível, possibilitando visualizar eventuais contribuições ao longo do tempo e espaço. A abordagem utilizando os limites da massa d'água generalizam os dados de todo o curso d'água, mas facilita a compreensão de mudanças ao longo de série temporal, além visualizar a formação de compartimentos espectrais, ou seja, regiões do corpo hídrico que possuam comportamento espectral similar, evidenciando um padrão natural ou de influência antrópica.

A abordagem utilizando transecto, configura-se em uma análise linear, possibilitando a visualização de alterações ao longo do canal, limitando a influência ao eixo central do canal. Como resultado obtêm-se gráficos em linhas, onde é possível correlacionar positivamente ou negativamente os dados espectrais com o fluxo da água, podendo aferir interações com as sub-bacias hidrográficas e/ou outras influências. Também pode-se utilizar pontos chaves, relacionados a entrada de materiais ou algum uso importante, para verificar mudanças ao longo do tempo.

As técnicas razão de banda e NDVI, transformam os dados originais, com base na combinação de bandas, evidenciando diferentes alvos. No caso do NDVI, a normalização dos dados atribui valores entre 1 e -1, para água os valores são negativos, a ocorrência de pixel com valores positivos dentro d'água são indicativos da presença de pigmentos fotossintetizantes, como fitoplânctons ou vegetações aquáticas maiores.

A principal vantagem do uso de produtos de sensoriamento remoto são as series temporais de dados, tanto permitem avaliar as condições pretéritas da água, quanto o monitoramento da água, devido a sazonalidade de captura de imagens.

Esses dados podem complementar as análises *in loco*, nunca substituindo, pois existem algumas limitações dos sensores, como os diferentes valores de resolução e as condições atmosféricas ao longo do ano. No caso na bacia do rio Miriti, as imagens orbitais utilizadas estão concentradas em apenas dois meses, julho e agosto.

O uso dessas técnicas e produtos geoespaciais aplicados ao ambiente aquático e no ordenamento territorial da bacia hidrográfica dão importantes contribuições para a gestão dos recursos hídricos. Permitindo um diálogo das informações: atuais, com os levantamentos de campo e aplicações; pretéritas, utilizando documentos históricos que possibilitam visualizar a evolução das dinâmicas territoriais e; futuras, com modelagem espacial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do rio do Miriti é estratégica no município de Manacapuru, nela estão inseridos a maior parte do sítio urbano da cidade, as áreas periurbanas de expansão e uma dinâmica área rural. O eixo principal de expansão da cidade é a rodovia Manoel Urbano, que se encontra em duplicação, além disso a proximidade com Manaus favoreceu a implementação de políticas estatais de grande porte no município, principalmente após a criação da RMM, como o gasoduto Coari-Manaus (2009) e a construção da ponte Jornalista Phelippe Daou (2011), ligando diretamente por via terrestre a cidade com a capital.

Essas obras apresentam importância na irradiação da metropolização da capital, que se faz cada vez mais visível em Manacapuru. O fluxo de pessoas e veículos cresceu nesse período, o setor de comércio e serviços são os mais favorecidos, contudo o setor primário possui grande relevância, destacado pelos cultivos agrícolas, a produção oleira, a criação de galináceos e a piscicultura, importantes no contexto metropolitano e estadual. O turismo também é destaque, principalmente recebendo visitantes de Manaus.

Por estar inserida na Amazônia Central e as margens do maior rio do mundo, a dinâmica físico-geográfica da bacia é fortemente influenciada por essa totalidade regional. Com ênfase local, o uso de MDE possibilitou a delimitação dos limites da bacia, extração da rede de drenagem e além dos fatores geomorfométricos associados, que permitiram visualizar uma forte influência do regime hidrológico, das baixas altitudes e fracas declividades do terreno. Os picos máximos de cheia ocorrem entre maio e julho, com nível máximo superior a 18 m, a altitude predominante na bacia estão abaixo dos 20 m, associadas a fracas declividades, condicionam a ocorrência de áreas com potencial risco a ocupação humana por influência fluvial.

No contexto da gestão territorial, a bacia está inserida na APA do Miriti, importante iniciativa do poder público municipal para a conservação dessa área, que evidencia os diversos usos múltiplos da água que ocorrem neste manancial. Destacam-se os usos consultivos e não consultivos no rio Miriti, como manancial de abastecimento humano urbano e rural, como corpo receptor de lançamento de efluentes, área de grande beleza cênica favorecendo o turismo e recreação, pela navegação associadas principalmente a pesca, na aquicultura e para consumo animal, revelando conflitos pelo uso da água que precisam ser gerenciados.

Quanto aos usos e cobertura da terra as sub-bacias da margem esquerda do rio Miriti encontram-se mais conservadas, em algumas superam os 70% de áreas de vegetação natural. Nas sub-bacias da margem direita a expansão urbana só foi limitada pelo próprio rio Miriti, funcionando como barreira natural. As áreas de agropecuária estão localizadas principalmente nas sub-bacias próximas a foz, cerca de 15% da bacia corresponde a áreas agrícolas e pastoris.

Todo esse contexto é importante para entender as influências que a bacia hidrografia exerce sobre as características físico-químicas da água. Em contexto espacial foi possível visualizar compartimentos aquáticos influenciados pelos usos da terra e pela dinâmica natural da região, nas classes pH, condutividade elétrica e TDS foram perceptíveis três compartimentos ao longo do curso d'água, sobretudo influenciados pelo rio Solimões que possui características limnológicas bem diferentes. As influências antrópicas são mais evidentes pontualmente, com compartimentos associados as reentrâncias dos afluentes, com destaque pela entrada de rejeitos líquidos provenientes das sub-bacias urbanas.

A técnica de interpolação IDW foi satisfatória, o mapa síntese dos dados limnológicos destaca três compartimentos aquáticos condicionados pelas condições de uso e ocupação das sub-bacias hidrográficas associadas e a afluência do rio Solimões. A compartimentação síntese dos dados limnológicos apresentou resultados similares aos compartimentos aquáticos encontrados por meio de dados de reflectância da água através sensoriamento remoto orbital.

Referentes aos dados espectrais, foi visível o aumento dos valores de reflectância da assinatura espectral da água tanto em contexto espacial quanto temporal na análise dos compartimentos espectral. O comportamento espectral nas faixas do visível analisadas é muito semelhante, influenciadas pela concentração de diferentes constituintes óticamente ativos presentes na água, como a matéria orgânica dissolvida, pigmentos fotossintetizantes e sólidos totais orgânicos e inorgânicos em suspensão.

A visualização de compartimentos espectrais é perceptível em todas as bandas do visível, ficando mais evidentes nas datas mais recentes, sobretudo na imagem do sensor OLI que possui melhor resolução radiométrica. Contudo, mesmo nas imagens TM os dados revelam aumento da reflectância da água associados a influências antrópicas e naturais.

A faixa do azul pode ser relacionada a matéria orgânica dissolvidos na água, de alta concentração em águas pretas, o que aumenta a capacidade de absorção da água, esta faixa possui menor variação entre as classes de reflectância ao longo do tempo. A banda verde revela o crescimento da presença de organismos fotossintetizantes na água, influência dos fitoplânctons e macrófitas aquáticas que ocorrem principalmente nas margens do rio Miriti e reentrâncias dos afluentes, devido as menores profundidades e menor correnteza.

A banda do vermelho apresenta maior crescimento de reflectância ao longo da série temporal, apresentando a maior amplitude de classes na data do sensor OLI. Essa banda pode ser relacionada com sólidos totais em suspensão, que deixa evidente a influência do rio Solimões com entrada de material particulado.

Na análise por transectos em algumas datas são encontradas forte correlação positiva com o fluxo da água. Com a transformação dos dados espectrais pela razão de banda e NDVI, pôde-se aferir sobre a presença de fitoplânctons na água. A presença de macrófitas aquáticas é um importante indicador biológicos, pois a ocorrência desse tipo de vegetação é limitada em rios de água preta, o que põe em evidência a entrada de nutrientes na água, associados aos rejeitos domésticos urbanos.

Sobre o monitoramento por sensoriamento remoto, vale destacar a limitação do uso desses dados em apenas dois meses do ano (julho e agosto), devido a intensa cobertura de nuvens durante o restante do ano. Além disso, percebe-se a necessidade de sensores mais sensíveis as águas continentais, em especial as águas pretas, sobretudo em relação a resolução radiométrica.

As diferentes técnicas aplicadas trazem várias formas de entender os distintos processos inerentes ao meio físico-ambiental. O uso de dados altimétricos é importante para entender o funcionamento da bacia, que contribui para o planejamento e ordenamento territorial e determinação de áreas de risco. A interpolação de dados possibilita correlações diretas com os usos da terra, com associações a entrada matérias de origem natural ou antrópicos. Enquanto os dados de sensoriamento remoto contribuem como dados complementares na análise da qualidade da água, permitindo a visualização de dados históricos, além do monitoramento dos constituintes óticamente ativos.

Aplicados aos recursos hídricos essas ferramentas são importantes aliados para o identificação e gerenciamento dos conflitos pela água. Os dados põem em

evidencia a importância da bacia no contexto municipal, atualmente ocorrem diferentes usos conflitantes pela água, além de uma crescente demanda devido à irradiação do eixo metropolitano para os municípios da borda sul da RMM, aqui representado por Manacapuru.

As considerações expostas revelam a necessidade de medidas mais efetivas de gestão na bacia hidrográfica, como a criação do comitê de bacia do rio Miriti, fórum de discussão e decisão para o manejo dos recursos hídricos, envolvendo o poder público, a sociedade civil, os usuários de água e a população em geral da bacia do rio Miriti.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Visto todas as condições apresentadas sobre a situação atual dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Miriti é possível indicar algumas recomendações ao poder público, usuários de água e a população em geral, para a manutenção desse importante manancial. Quanto aos usos múltiplos da água, a preservação ambiental, ao monitoramento da qualidade de água e intervenções relacionadas a gestão desse recurso:

- a) Estabelecer áreas adequadas para a ocupação, respeitando os compartimentos geomorfológicos associando com as cotas fluviométricas e mapeamento das áreas que ofereçam risco geográfico;
- b) Readequação das margens desflorestadas, buscando conservar as áreas marginais, mais susceptíveis a inundações sazonais, para mitigação de eventuais problemas relacionados a ocupação humana;
- c) Preservação das vegetações ciliares existentes, respeitando a legislação vigente, como o novo Código Florestal, estabelecido pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012;
- d) Preservação dos mananciais de aporte de água, como as nascentes e as áreas de recarga subterrânea;
- e) Monitoramento da qualidade da água em toda a bacia, para o estabelecimento das classes conforme os usos preponderantes da água, com o enquadramento do corpo hídrico;

- f) Políticas relacionadas ao turismo e recreação, para que não venham comprometer a qualidade ambiental nas áreas de lazer, como os balneários, com constantes avaliações das condições de uso;
- g) Estabelecimento de políticas para a navegação para barcos de médio e grande porte, que não perturbem o ambiente e nem as populações locais que dependem da navegação de pequeno porte, principalmente para a pesca de subsistência;
- h) Políticas mais efetivas de saneamento, principalmente relacionadas ao tratamento de esgoto, incipiente na bacia. Essas medidas são importantes tanto para a conservação dos corpos hídricos, quanto em função das doenças de veiculação hídrica e pelo consumo de organismos contaminados;
- i) O restabelecimento dos pontos de captação de água superficial para o abastecimento público da cidade de Manacapuru, principalmente durante a vazante, quando a vazão de água é diminuta e há maior concentração de poluentes;
- j) Realizar o monitoramento das macrófitas aquáticas, com a identificação do ciclo de vida e ocorrência, pois influenciam nas variáveis limnológicas e dependendo da fase de desenvolvimento, apresentam influência na formação de compartimentos aquáticos;

6 REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Enner et al. Integração de dados de alta frequência temporal e imagens MODIS/TERRA para o estudo da turbidez na planície de Curuaí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 6549-6556.

AMAZONAS. **Decreto nº 16.498 de 02 de abril de 1995**. Cria a área de Proteção Ambiental da Margem Direita do rio Negro... 02 abr. 1995, Manaus. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/anexos/3514_20180613_180631.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

AMAZONAS. **Lei nº 3.167**, de 28 de agosto de 2007. Reformula as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos... 29 ago. 2007, Manaus. Disponível em: <<http://meioambiente.am.gov.br/legislacao-2/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água, resultado por estado. 2. v. Brasília: ANA, Engecorps/Cobrape, 2010. 92p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017. 169 p.

ANA – Agência Nacional das Águas. **HidroWeb**. Estação Manacapuru. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso: 15 fev. 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA). **Portal da qualidade das águas**. s/d. Disponível em: <<https://goo.gl/DHmuYH>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **pH da água**: Qual o ideal para consumo?. 2017. Altura: 502 pixels. Largura: 960 pixels. 104 kilobytes. Formato PNG. Disponível em: <<https://www.facebook.com/anagovbr/posts/voc%C3%AA-j%C3%A1-deve-ter-escutado-falar-em-ph-que-%C3%A9-uma-medida-de-acidez-ou-basicidade-o/1119854128115497/>>. Acesso em: 08 set. 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília: ANA, 2013. 68 p. (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos; v.5).

ANA – Agência Nacional de Águas. Unidade 2: Qualidade de Água em Reservatórios. In: **Qualidade da água em reservatórios**. ANA, 2012. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/74>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas. Unidade 3: Variáveis e Parâmetros de Qualidade de Água em Rios e Reservatórios. In: **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. ANA, 2013. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/76>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165 p.

AQUINO, Walkerdon Flores de. **As matas ciliares do rio Miriti em Manacapuru – AM: a importância de sua conservação**. 2014. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Geografia) – Núcleo de Ensino Superior de Manacapuru, Universidade do Estado do Amazonas, Manacapuru, 2014.

ASF – Alaska Satellite Facility. **About ALOS PALSAR**. 2018a. Disponível em: <<https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/about-palsar/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

ASF – Alaska Satellite Facility. **Terrain Corrected (RTC)**. 2018b. Disponível em: <<https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BERTANI, Thiago de Castilho. **Sensoriamento remoto e caracterização morfológica no baixo rio Solimões, com análise de suas rias fluviais**. 2015. 132 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L46AM8>> Acesso em: 27 jan. 2019.

BIELENKI JÚNIOR, Cláudio; BARBASSA, Ademir Paceli. **Geoprocessamento e recursos hídricos: Aplicações e Práticas**. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 257 p.

BINETTI, Antônio; BIDONE, Francisco. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015. cap. 22. p. 849-876.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água: origem, uso e preservação**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 96 p.

BRAGA, Pedro Ivo Soares. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da Floresta Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 9, n. 4, p. 53-80, dec. 1979. Disponível em: <<http://ref.scielo.org/p8qws2>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos Corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões

de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. 17 mar. 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.20 Manaus**: geologia, geomorfologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. 628 p.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos... 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 15 fev. 2019.

CARVALHO, José Alberto Lima de. **Terras caídas e consequências sociais: costa do Miracauera, paraná da Trindade, município de Itacoatiara-AM**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Instituto de Ciências Humanas e Letras. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

CHAVEZ JUNIOR, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. In: **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimentos, comunidades aquáticas, efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 187 p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 187 p.

COMAPE, Rosenilce dos Santos. **Degradação ambiental na Orla do rio Miriti em Manacapuru – AM e os reflexos na qualidade da água**. 2014. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Geografia) – Núcleo de Ensino Superior de Manacapuru, Universidade do Estado do Amazonas, Manacapuru, 2014.

CONTI, José Bueno; FURLAN, Sueli Angelo. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, Jurandyr L. Sanches (Org.). 6. ed. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2014. cap. 2; p. 67-208.

CRUZ, Jaqueline Braga. Geografia da saúde: o abastecimento de água e as doenças de veiculação hídrica na cidade de Manacapuru-AM. In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2015, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão

Preto: UNAERP, 2015. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/anais-conic.php?ano=2015&idautor=00297382292&act=pesquisar>>. Acesso: 15 fev. 2019.

CUNHA, Hillândia Brandão da; PASCOALOTO, Domitila. **Hidroquímica dos rios da Amazônia**. Manaus: SEC-AM, 2009. 48 p.

CUNHA, Sandra Baptista da. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. cap. 6, p. 229-272.

DÁCIO, Dirceu da Silva. **Percepção ambiental e sustentabilidade de agricultores familiares na localidade dos lagos do Paru e do Calado, Manacapuru/AM**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) – Centro de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

DAMASCENO, Solange Batista. **Diversidade de fauna na área de proteção ambiental do Miriti, município de Manacapuru, Amazonas**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Auditorias Ambientais) – Fundação Universitária Ibero-americana (FUNIBER), Manaus, 2016.

DAMASCENO, Solange Batista et al. Usos múltiplos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Miriti. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://evoluedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-806_usos-multiplos-dos-recursos-hidricos-na-bacia-hidrografica-do-rio-miriti>. Acesso: 15 fev. 2019.

D'ANTONA, Raimundo de Jesus Gato; REIS, Nelson Joaquim; MAIA, Maria Adelaide Mancini; ROSA, Sebastião Ferreira; NAVA, Daniel Borges. **Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro (Domínio Baixo Solimões)**. Manaus: CPRM, 2007. 185 p. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1737>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

DANTAS Marcelo Eduardo; MAIA, Maria Adelaide Mansini. Compartimentação Geomorfológica. In: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz (Org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 3, p. 27-44.

DARWICH, Assad José; APRILE, Fábio Marques; ROBERTSON, Barbara Ann. Variáveis Limnológicas: contribuição ao estudo espaço-temporal de águas pretas amazônicas. In: SANTOS-SILVA, Edinaldo Nelson dos et al. (Org.). **BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural**. Manaus: INPA, 2005. cap. 02, p. 19-34.

DEMARCHI, Layon Oreste; LOPES, Aline; FERREIRA, Aurélia Bentes; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. **Ecologia e guia de identificação: macrófitas aquáticas do Lago Amazônico**. Manaus: INPA, 2018. 44 p.

DOURADO JUNIOR, Octavio Cascaes. **Águas na Amazônia: gestão dos recursos hídricos nos países da Bacia Amazônica**. Curitiba: Júrua Editora, 2014. 228 p.

DREW, David. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Tradução João Alves dos Santos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 220 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Alos**. 2013b. Disponível em: <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html>. Acesso em: 15 fev. 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Geotecnologias e Geoinformação**: o produtor pergunta a Embrapa responde. TÔSTO, Sérgio Gomes et al. (ed. tec.). Brasília: Embrapa, 2014. 248 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. 2013a. Disponível em: <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ESTEVES, Francisco de Assis. Considerações históricas sobre a ciência da Limnologia. In: _____ (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 01, p. 01-24.

ESTEVES, Francisco de Assis; FURTADO, André Luiz dos Santos. Oxigênio dissolvido. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 10, p. 167-192.

ESTEVES, Francisco de Assis; MEIRELLES-PEREIRA, Frederico. Eutrofização artificial. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 27, p. 624-656.

FERREIRA JÚNIOR, João Carlos; SANTOS, Robson Graças dos; WACHHOLZ, Flávio; DOMINGUES, André Luís. Caracterização limnológica do eixo central do reservatório Balbina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://evoluedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-955_caracterizacao-limnologica-do-eixo-central-do-reservatorio-balbina>. Acesso: 15 fev. 2019.

FILIZOLA Naziano et al. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, Alexandre; FREITAS, Carlos Edwar de Carvalho. (Org.). **Amazônia**: uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: Editora UFAM, 2002. cap. 2, p. 33-53.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123 p.

FONSECA, Ana Duarte; FERNANDES, João Cordeiro. **Detecção Remota**. Lisboa: LIDEL, 2004. 224 p.

FONSECA, Jairo Saimon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. Curso de estatística. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 328 p.

FRANÇA, Andreia Maria da Silva. **Aplicação de sensoriamento remoto no estudo da influência da dinâmica sazonal do rio Amazonas sobre a morfologia dos**

sistemas lacustres. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014. 116 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/saude-ambiental/-/asset_publisher/G0cYh3ZvWCm9/content/manual-de-controle-da-qualidade-da-agua-para-tecnicos-que-trabalham-em-etas?inheritRedirect=false>. Acesso em: 28 jan. 2018.

FVA – Fundação Vitória Amazônica. **Características socioambientais do município de Manacapuru**. IWANAGA, Simone; MOREIRA, Marcelo Paustein (Elab.). Manaus: FVA, 2017. 30 p. Disponível em: <https://issuu.com/fvaamazonas/docs/fva_sdt03_2017_ccecedbe5b0f6f>. Acesso em: 15 fev. 2019.

GOULDING, Michael; BARTHEM, Ronaldo; FERREIRA, Efrem. **The Smithsonian Atlas of the Amazon**. Washington, D.C: Smithsonian Institution. 2003. 253 p.

HANNA INSTRUMENTS. **Manual de instruções HI98194, HI98195, HI98196 Medidores multiparâmetro**. Disponível em: <https://hannainst.com.br/?page_id=3276&q=HI+98194&catid=1105>. Acesso: 16 jan. 2019.

HANNA INSTRUMENTS. **Manual de instruções HI93703C Turbidímetro portátil**. Disponível em: <https://hannainst.com.br/?page_id=3276&q=HI+98194&catid=1105>. Acesso: 16 jan. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas dos municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=1302504>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 1991, 2000, 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9773&t=downloads>>. Acesso: 15 fev. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estado do Amazonas - Vegetação**. 2010. 1 mapa, color. Escala 1:1.800.000. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa657>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. In: Manuais Técnicos de Geociências. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. In: Manuais Técnicos de Geociências. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. In: Manuais Técnicos de Geociências. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal 2016 - aquicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/pesquisa/18/16459?ano=2016>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2017 - lavoura permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/pesquisa/15/11863?ano=2017>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2017 - lavoura temporária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/pesquisa/14/10193?ano=2017>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018d. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/pesquisa/18/16459?ano=2017> >. Acesso em: 12 dez. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto interno bruto dos municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018e. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/pesquisa/38/46996?indicador=47006&ano=2016>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Diferença entre APA e APP não é clara para todos, diz artigo**. ICMBIO, 2011. Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/889-diferenca-entre-apa-e-app-nao-e-clara-para-todos-diz-artigo>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IDAM – Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. **Produção animal 2017**. Manaus: IDAM, 2017a. Disponível em: <<http://www.idam.am.gov.br/nossa-biblioteca/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IDAM – Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. **Relatório de atividades 2017**. Manaus: IDAM, 2017b. 73 p. Disponível em: <<http://www.idam.am.gov.br/nossa-biblioteca/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Estudo do INPE indica que o rio Amazonas é 140 km mais extenso do que o Nilo. **INPE**, São José dos Campos, 01 jul. 2008. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1501>. Acesso em: 28 jan. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Os satélites LANDSAT 5 e 7**. 2009. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 15 mar. 2019.

INPE– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **LANDSAT**. INPE, São José dos Campos. 2019. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphânio (coord.). São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JUNK, Wolfgang Johannes. As águas da Região Amazônica. In: **Amazônia**: Desenvolvimento Integração Ecologia. São Paulo: Brasiliense; (Brasília) CNPq, 1983. cap. 2. 45-100 p.

LAGES, Anderson da Silva; HORBE, Adriana Maria Coimbra; MOQUET, Jean-Sébastien. Geoquímica de rios de água preta do sudeste do Amazonas: origem, fluxo dos elementos e consumo de CO₂. **Acta Amazonica**. 2013, vol. 43, n. 3, p. 343-352. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000300010>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**. 1977, vol. 33, n. 1, p. 159-174.

LIMA, Maria Eliane Feitosa. **Produção do espaço urbano e impactos socioambientais na cidade de Manacapuru-AM – o bairro do Biribiri**. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LIMA, Maria Rosalinda da Silva. **A vida e morte do rio Miriti**: estudo da ação antrópica na cidade de Manacapuru. 2005. 50 f. Monografia – Universidade Federal do Amazonas, Manacapuru, 2005.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. Uniderp, 2006. 908 p.

LOLLO, José Augusto. A influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. In: AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pine; MIRANTE, Maria Helena Pereira; BENINI, Sandra Medina (Org.). **Gestão e qualidade dos recursos hídricos**: conceitos e experiências em bacia hidrográficas. Tupã: ANAP, 2016, cap. 2, p. 20-39. 95 p.

LOPES, Aline et al. Conhecendo as macrófitas aquáticas da Amazônia. In: LOPES, Aline; PIEDEDE, Maria Teresa Fernandez (Ed.). **Conhecendo as áreas úmidas amazônicas**: uma viagem pelas várzeas e igapós. Manaus: INPA, 2015. cap. 5, p. 53-62.

LORENZZETI, João Antônio. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015. 293 p.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. **Indicadores ambientais e recursos hídricos**: Realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 688 p.

MANACAPURU. Lei Municipal Complementar Nº 053 de 10 out. 2006. **Dispõe sobre ampliação do perímetro urbano e expansão da cidade...** Manacapuru, AM, 10 out. 2006. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/leis-municipais/perimetro-urbano-e-logradouros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MANACAPURU. Lei Municipal nº 005, de 05 abr. 1990 e reformada pela Lei Municipal nº 238, dez. 2013a. **Lei orgânica do município de Manacapuru**. Manacapuru, AM, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/lei-organica/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MANACAPURU. Lei Municipal Nº 051, de 04 jun. 2003. **Código ambiental de Manacapuru**. Manacapuru, AM, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/codigos/>>. Acesso em: maio de 2017.

MANACAPURU. Lei Municipal Nº 158 de 04 jul. 2011. **Cria e regulamenta o bairro Vale Verde...** Manacapuru, AM, 04 jul. 2011. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/leis-municipais/perimetro-urbano-e-logradouros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MANACAPURU. Lei Municipal Nº 210 de 04 jun. 2013. **Cria e regulamenta o bairro Monte Cristo...** Manacapuru, AM, 04 jun. 2013b. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/leis-municipais/perimetro-urbano-e-logradouros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MANACAPURU. Lei Municipal Nº 343 de 06 nov. 2015. **Cria no município de Manacapuru, o distrito de Caviana**. Manacapuru, AM, 06 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/leis-municipais/perimetro-urbano-e-logradouros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MANACAPURU. Lei Municipal Nº 390 de 29 jun. 2017. **Cria no município de Manacapuru, o distrito de Campinas do Norte**. Manacapuru, AM, 29 jun. 2017. Disponível em: <<http://www.ale.am.gov.br/manacapuru/legislacao/leis-municipais/perimetro-urbano-e-logradouros/>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MARINHO, Thiago Pimentel. **Concentração de sedimentos em suspensão na região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazônia, Brasil**. 2014. 75f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

MARTINS, Alessandra da Silva. **Avaliação das águas superficiais sob uso e ocupação na sub-bacia do rio Candeias/RO - Amazônia Ocidental**. 2009. 123f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2009.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: ABRH, 2013. 576 p.

MENESES, Paulo Roberto. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012a. cap. 1. p. 1-33.

MENESES, Paulo Roberto. Sensores imageadores multiespectrais na faixa óptica (0,45 – 2,5 μm). In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012b. cap. 2. p. 34-46.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. Aritmética de banda. In: _____ (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012a. cap. 9. p. 138-153.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. Distorções e correções dos dados da imagem. In: _____ (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012b. cap. 6. p. 82-102.

MENESES, Paulo Roberto; SATO, Edson Eyji. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012. cap. 12. p. 191-208.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 4. ed. rev. e atual. Brasília: EMBRAPA, 2015. 399 p.

MOBLEY, C. D. **Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters**. San Diego. Academic Press. 1994.

MOLINIER, Michel; GUYOT, J. L. Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents. In: CHEVALLIER P. & POUYAUD B. (Ed.) **L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement**. Paris: IAHS, 1996. p. 209-222.

MOLINIER, Michel et al. Hidrologia da bacia do rio Amazonas. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, ano II, n. 3, p. 31-36, 1994.

COELHO NETTO, Ana Luiza. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da.

Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. cap. 03, p. 93-148.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia:** conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Monitoramento de quantidade e qualidade da água e sensoriamento remoto.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017. 20 p.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto:** princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

OKAWA, Christiane Michiko Passos; POLETO, Cristiano. Gerenciamento de recursos hídricos. In: POLETO, Cristiano (Org.). **Bacias hidrográficas e recursos hídricos.** Rio de Janeiro: Interciência, 2014. cap. 01, p. 01-28.

OLIVEIRA, Daniel de; ANDRADE, Nailde Martins. Recursos Hídricos Superficiais. In: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz (Org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas.** Manaus: CPRM, 2010. cap. 4, p. 45-58.

OLIVEIRA, Maria Antônia Falcão de. **Estudo biofísico, temporal e análise da vulnerabilidade natural à erosão dos solos no município de Manacapuru, Amazonas.** 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

PERCEBON, Claudete Massuchin et al. Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 56, p. 7-19, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/geo.v56i0.4904>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

PERES, Renato Bovo; SILVA, Ricardo Siloto. Interfaces da gestão ambiental urbana e gestão regional: análise da relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia Hidrográfica. Urbe, **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 13-25, jul./dez. 2013. Disponível em: <<http://ref.scielo.org/fn8zc9>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

PINTO, Antônia Gomes Neta et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica** [online]. 2009, vol. 39, n. 3, p. 627-638. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300018>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

PITELLI, Robinson Antônio et al. Avaliação das concentrações de nutrientes e metais pesados nas principais macrófitas aquáticas do reservatório de Santana – RJ no período de três anos. **Semioses:** Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade, v. 12, n. 2, p. 112-126, 27 jul. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.15202/1981996x.2018v12n2p112>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

POLETO, Cristiano. Bacias hidrográficas urbanas. In: _____ (Org.). **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. cap. 02, p. 29-48.

POMPÊO, Marcelo. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: IB USP, 2017. 138 p.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. at. e amp. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009. 352 p.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Chemistry of Different Amazonian Water Types for River Classification: A Preliminary Review. **Water And Society**, v. 178, p.17-28, set. 2014. Disponível em: <<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/178/25051>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

RODRIGUES, Cleide; ADAMI, Samuel. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas. In: DANTAS, Eugênia; BURITI, Iranilson (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROSA, Roberto. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento, 2013. 142 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/pos-graduacao/turma-1/cartografia-aplicada-a-analise-ambiental/introducao-ao-geoprocessamento-roberto-rosa/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 240 p.

RUDORFF, Conrado de Moraes. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/eo-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, 2006.

SAMPAIO, Pauline Ribeiro et al. Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia: o caso de Manacapuru e Óbidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SELPER, 15., 2012, Caiena – Guiana Francesa. **Anais...** Caiena: SELPER, 2012. Disponível em: <<http://www.selperbrasil.org.br/selper2012/index.htm>>. Acesso: 15 fev. 2019.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.

SANTOS, Izaías Nascimento dos; BATISTA, Ieda Hortêncio; ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho de. Abastecimento público de água: um estudo na região metropolitana de Manaus-AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://evoluedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-946_abastecimento-publico-de-agua-um-estudo-na-regiao-metropolitana-de-manaus-am>. Acesso: 15 fev. 2019.

SANTOS, Ketellen Freitas dos. **Macrófitas aquáticas flutuantes do rio Miriti**. 2015. 32 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas) – Núcleo de Ensino Superior de Manacapuru, Universidade do Estado do Amazonas, Manacapuru, 2015.

SANTOS, Ketellen Freitas dos; LIBERATO, Maria Astrid Rocha. **Plantas aquáticas flutuantes do rio Miriti**. Cartilha. Núcleo de Ensino Superior de Manacapuru, Universidade do Estado do Amazonas, Manacapuru, 2015.

SEPLAN – Secretaria de Estado de Planejamento do Desenvolvimento Econômico. **Perfil da região metropolitana de Manaus**. Manaus: SEPLAN, 2015. 183 p.

SILVA, Márcio Luiz da. Região Metropolitana de Manaus. In: _____. **Água mineral: região metropolitana de Manaus**. Manaus: Valer, 2016. cap. 05, p. 129-154.

SILVA, Moisés Barbosa da. **Das intervenções urbanas aos espaços de consumo em Manacapuru**. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

SILVA, Márcio Luiz da; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno. Recursos Hídricos. In: SILVA, Márcio Luiz da. **Água mineral: região metropolitana de Manaus**. Manaus: Valer, 2016. cap. 01, p. 19-48.

SIOLI, Harald. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 1985. 72 p.

SIOLI, Harald. **Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flüsse**. Amazoniana 1. 1965, p. 74-83.

SOARES, Silva Leonardo. **Planejamento ambiental integrado: subsídios para o desenvolvimento sustentável das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do rio Itapecuru, Maranhão**. 2017. 203 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

SOUSA, Isaque dos Santos. **A ponte rio Negro e a reestruturação do espaço na região metropolitana de Manaus: um olhar a partir de Iranduba e Manacapuru**. Manaus: Reggo/UEA Edições, 2015. 176 p.

SOUSA, Isaque dos Santos. **Potenciais impactos do gasoduto Coari-Manaus no município de Manacapuru – AM**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

STERNBERG, Hilgard O'Reilly. Vales tectônicos na Planície Amazônica? **Revista Brasileira de Geografia**. v. 12, n. 4. p. 513-533, 1950.

STEVAUX, José Candido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336 p.

STRAŠKRABRA, Milan; TUNDISI, José Galizia. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. 9 v. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 300 p.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; et al. Solos. In: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz (Org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86.

TERAMATSU, Gustavo Henrique Beraldino. **Mapeamento do uso atual da terra na região metropolitana da Baixada Santista**. 2012. 86 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SONDA TERRA EQUIPAMENTOS AGRONÔMICOS. **LM-8000 Thermo-Hidro-Anemômetro-Luxímetro Digital**. Disponível em: <<http://sondaterra.com/produto-152-Termo-Hidro%20Anem%C3%B4metro-LM800.xhtml>>. Acesso: 16 de janeiro de 2019.

THOMAZ, Sidinei Magela; ESTEVES, Francisco de Assis. Comunidades de macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 23, p. 461-522.

TREVELIN, Leonardo C. et al. Diversidade local de macrófitas aquáticas em águas brancas e pretas na Amazônia Central. **Ecologia da Floresta Amazônica**-Curso de Campo. PBDFF-INPA, Manaus, p. 1-6, 2007.

TUNDISI, José Galizia. Recursos Hídricos. In: O Futuro dos Recursos. **Revista Multiciência**. Campinas, v. 1 (O Futuro dos Recursos), n. 3, out. 2003. Disponível em: <<https://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

USGS – United States Geological Survey. **Question**: What are the band designations for the Landsat satellites? Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

VELOSO, Henrique Pimenta; RANGEL FILHO, Antônio Lourenço Rosa; LIMA, Jorge Carlos Alves. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472 p.

WACHHOLZ, Flávio. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

WACHHOLZ, Flávio. **Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí - RS**. 2011. 196 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2011.

WRUBLACK, Suzana Costa; MERCANTE, Erivelton; BOAS, Márcio Antônio Vilas. Caracterização dos uso e ocupação do solo e qualidade da água com utilização das técnicas de geoprocessamento. In: POLETO, Cristiano (Org.). **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. cap. 08, p. 179-218.

ZEIDEMANN, Vivian Karina. O Rio das Águas Negras. In: VARELLA, Dráuzio (Org.). **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: UNIP, 2001. cap. 2. p. 61-88. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/guiaigapo/florestas.html>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

APÊNDICES

Apêndice A – Ficha utilizada para registro dos dados coletados em campo.

FICHA DE CAMPO RIO MIRITI, MANACAPURU-AM RESPONSÁVEL: João Carlos Ferreira Júnior			
Local:			
Data: ____/____/____			Hora: ____:____
Coordenadas Geográficas	Latitude:		
	Longitude:		
USO E COBERTURA DA TERRA NAS MARGENS			
Tipo de Cobertura Vegetal:		Presença de Mata Ciliar:	
Presença de Erosão:		Ação Antrópica:	
USOS MULTIPLOS DA ÁGUA			
Pesca:	Navegação:	Recreação:	Captação:
Aquicultura:	Veg. Aquática:	Despejo de Efluentes:	
CONDIÇÕES DO TEMPO			
Temperatura do ar (°C):		Velocidade do Vento (km/h):	
Umidade (%):		Condições do Céu:	
QUALIDADE DA ÁGUA			
Temperatura (°C):		Transparência (m):	
pH:		Cond. Elétrica (µS/cm):	
Turbidez (NTU):		Oxigênio Dissol. (mg/L):	
Cor:	Odor:	TSS:	
CARACTERÍSTICAS DO CANAL			
Largura:	Profundidade:	Correnteza:	
Sinuosidade:		Material de fundo:	

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Apêndice B – Valores dos parâmetros limnológicos, organizados de acordo com a sub-bacia hidrográfica de coleta. Medição realizada no canal principal e reentrância de afluentes do rio Miriti.

Sub-bacias	Pontos	Variáveis Limnológicas						
		Temperatura	Transparência	Turbidez	pH	OD	CE	TDS
ACD	RM01	29,08	132	3,44	4,77	4,25	9	4
	RM03	30,04	132	2,75	5,02	2,74	9	5
	RM05	30,63	140	3,03	5,49	4,83	12	6
	RM07	30,17	125	2,61	5,73	4,56	16	8
	RM12	30,26	150	2,99	5,89	4,07	19	10
	RM14	30,66	133	2,52	5,92	4,71	20	10
	RM15	30,63	122	3,85	6,33	7,40	19	10
	RM18	30,15	112	1,92	6,04	4,95	23	12
	RM19	29,45	140	0,92	5,85	2,90	23	12
	RM24	29,75	139	1,38	5,94	3,37	24	12
	RM25	29,77	145	1,44	5,98	3,85	24	12
	RM29	29,83	150	1,04	5,96	4,10	24	12
	RM32	29,83	160	1,38	5,99	4,10	24	12
	RM33	29,94	158	1,64	6,00	3,61	25	12
	RM37	29,77	150	1,18	5,96	3,29	26	13
RM40	29,25	143	2,18	5,86	2,77	25	12	
RM41	29,29	140	1,91	5,86	2,35	25	13	
SB-01	RM30	30,39	178	0,14	6,00	4,05	27	13
	RM31	30,73	177	1,09	5,97	3,26	31	16
	RM36	30,30	155	2,44	5,95	3,88	25	12
	RM39	29,69	145	1,76	5,81	1,71	28	14
SB-02	RM26	30,02	142	1,56	6,04	4,70	25	12
	RM27	30,04	155	0,36	5,78	1,56	29	15
	RM28	29,77	153	1,68	5,77	2,33	24	12
SB-03	RM21	30,58	144	1,27	5,78	2,68	25	13
	RM22	29,78	121	3,42	5,64	0,69	29	15
SB-04	RM20	30,00	138	1,92	5,75	1,60	27	14
SB-05	RM13	30,24	145	2,28	5,79	2,61	23	12
SB-06	RM08	30,14	181	1,95	5,62	1,80	21	10
SB-07	RM06	30,59	158	2,05	5,60	3,91	12	6
SB-08	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
SB-09	RM02	29,97	158	3,17	5,03	2,05	9	4
SB-10	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
SB-11	RM04	30,01	211	3,56	5,03	4,51	4	2
SB-12	RM09	30,46	156	0,81	5,81	3,48	17	9
	RM10	30,60	182	1,55	5,82	3,90	18	9
	RM11	31,12	186	1,07	5,82	4,02	17	9
SB-13	RM16	31,56	125	2,98	6,35	7,33	22	11
	RM17	31,59	153	3,37	6,21	5,80	21	10
SB-14	RM23	30,93	144	1,20	6,24	6,74	23	11
SB-15	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
SB-16	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
SB-17	RM34	30,36	162	0,87	6,08	5,13	24	12
	RM35	30,38	178	1,15	6,09	5,21	24	12
SB-18	RM38	30,46	158	1,75	5,99	4,68	24	12
SB-19	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.

Apêndice C – Dados dos parâmetros limnológicos transformados utilizando técnica estatística de normalização linear.

Ponto	Temperatura	Turbidez	Transparência	pH	Oxigênio Dissolvido	Condutividade Elétrica	TDS
RM01	0,00	0,89	0,20	0,00	0,53	0,19	0,14
RM02	0,35	0,82	0,46	0,16	0,20	0,19	0,14
RM03	0,38	0,70	0,20	0,16	0,31	0,19	0,21
RM04	0,37	0,92	1,00	0,16	0,57	0,00	0,00
RM05	0,62	0,78	0,28	0,46	0,62	0,30	0,29
RM06	0,60	0,51	0,46	0,53	0,48	0,30	0,29
RM07	0,43	0,67	0,13	0,61	0,58	0,44	0,43
RM08	0,42	0,49	0,70	0,54	0,17	0,63	0,57
RM09	0,55	0,18	0,44	0,66	0,42	0,48	0,50
RM10	0,61	0,38	0,71	0,66	0,48	0,52	0,50
RM11	0,81	0,25	0,75	0,66	0,50	0,48	0,50
RM12	0,47	0,77	0,38	0,71	0,50	0,56	0,57
RM13	0,46	0,58	0,33	0,65	0,29	0,70	0,71
RM14	0,63	0,64	0,21	0,73	0,60	0,59	0,57
RM15	0,62	1,00	0,10	0,99	1,00	0,56	0,57
RM16	0,99	0,77	0,13	1,00	0,99	0,67	0,64
RM17	1,00	0,87	0,41	0,91	0,76	0,63	0,57
RM18	0,43	0,48	0,00	0,80	0,63	0,70	0,71
RM19	0,15	0,21	0,28	0,68	0,33	0,70	0,71
RM20	0,37	0,48	0,26	0,62	0,14	0,85	0,86
RM21	0,60	0,30	0,32	0,64	0,30	0,78	0,79
RM22	0,28	0,88	0,09	0,55	0,00	0,93	0,93
RM23	0,74	0,29	0,32	0,93	0,90	0,70	0,64
RM24	0,27	0,33	0,27	0,74	0,40	0,74	0,71
RM25	0,27	0,35	0,33	0,77	0,47	0,74	0,71
RM26	0,37	0,38	0,30	0,80	0,60	0,78	0,71
RM27	0,38	0,06	0,43	0,64	0,13	0,93	0,93
RM28	0,27	0,42	0,41	0,63	0,24	0,74	0,71
RM29	0,30	0,24	0,38	0,75	0,51	0,74	0,71
RM30	0,52	0,00	0,67	0,78	0,50	0,85	0,79
RM31	0,66	0,26	0,66	0,76	0,38	1,00	1,00
RM32	0,30	0,33	0,48	0,77	0,51	0,74	0,71
RM33	0,34	0,40	0,46	0,78	0,44	0,78	0,71
RM34	0,51	0,20	0,51	0,83	0,66	0,74	0,71
RM35	0,52	0,27	0,67	0,84	0,67	0,74	0,71
RM36	0,49	0,62	0,43	0,75	0,48	0,78	0,71
RM37	0,27	0,28	0,38	0,75	0,39	0,81	0,79
RM38	0,55	0,43	0,46	0,77	0,59	0,74	0,71
RM39	0,24	0,44	0,33	0,66	0,15	0,89	0,86
RM40	0,07	0,55	0,31	0,69	0,31	0,78	0,71
RM41	0,08	0,48	0,28	0,69	0,25	0,78	0,79

Fonte: Trabalho de campo, 29 mar. 2018.

Elaborado por: João Carlos Ferreira Júnior, 2018.