

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

ELTON ALVES DE SOUZA FILHO

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ DO MINDU E
CRIAÇÃO DE PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE
DADOS EM MANAUS-AM

MANAUS – AM

2018

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

ELTON ALVES DE SOUZA FILHO

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ DO MINDU E
CRIAÇÃO DE PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE
DADOS EM MANAUS-AM

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, na área de concentração; Instrumentos de Recursos Hídricos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ieda Hortêncio Batista

Co-orientador: Prof. Dr. Carlossandro Carvalho de Albuquerque

MANAUS – AM

2018

ELTON ALVES DE SOUZA FILHO

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ DO MINDU E
CRIAÇÃO DE PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE
DADOS EM MANAUS-AM**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, na área de concentração; Instrumentos de Recursos Hídricos, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Aprovada em 02 de Agosto de 2018.

Banca examinadora composta pelos professores:



Profa. Dra. Ieda Hortêncio Batista
Presidente – UEA



Profa. Dra. Maria Astrid Rocha Liberato
Membro Interno – UEA



Prof. Dr. Prof. Dr. José Camilo Ramos de Souza
Membro Interno UEA

DEDICATÓRIA

Dedico a presente dissertação a Deus e ao Senhor Jesus Cristo, desde o momento em que clamei por um Mestrado como esse, o Senhor me ouviu e me atendeu. Devolvo a honra e a glória de finalizar este curso a Ti Senhor, tudo é para Ele, a minha glória seja reduzida a pó.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS, a Ele seja dados toda a honra, glória e louvor. Todas as coisas foram feitas através dele, e sem Ele, nada do que existe teria sido feito. Este trabalho foi escrito inteiramente por intermédio de sua vontade e muitas das horas aplicadas para realização deste trabalho foram feitas com sua fiel permissão.

Agradeço em especial a mulher da minha vida, minha esposa, nas muitas horas de compreensão, companheirismo, pelas palavras de sabedoria e amor nas horas mais difíceis. Em diversos momentos ela me incentivou e esteve ao meu lado sempre.

Aos meus pais e minha irmãs por centralizarem em minha vida a importância da família, disciplina e respeito, sou muito grato a cada um deles por sempre me incentivarem a estudar e a lutar por meus objetivos. Agradeço a minha mãe pelas orações, paciência, amor e dedicação para cuidar de mim.

A Dona Zurlande, ao Sr. Afrânio, Amanda, Fernanda, ao Sr. Ageu, e Samuel, por me colocarem em suas orações, e por representarem pra mim exemplo de caráter e dedicação a Deus, sou grato a Ele pela vida de cada um de vocês.

Agradeço a minha orientadora, Prof.^a. Dr.^a Ieda Hortêncio, por toda sua dedicação, amizade e incentivo para realização deste trabalho. Nos momentos mais delicados, ela soube com toda sabedoria indicar o melhor caminho para continuarmos a pesquisa.

Agradeço ao Coordenador Dr. Carlossandro Carvalho que abraçou a ideia deste trabalho completamente, ele representa um grande alicerce para o desenvolvimento da Gestão de águas no estado do Amazonas. Pelos momentos de dedicação e amizade, agradeço a ele por acreditar no meu potencial.

Ao Mestrado Prof.^aÁgua, ao nosso Coord. Geral Dr. Jefferson de Oliveira, ao Alex nosso administrador do pólo, a Universidade do Estado do Amazonas, a Agência Nacional de Águas, e ao CAPES, meus sinceros agradecimentos pela oportunidade de realização deste curso sobre Gestão de Águas. Por seu caráter imprescindível, intrigante e apaixonante, a água tem essa capacidade de agregar tantas experiências e instituições parceiras, a pensar e discutir sobre um bem comum em nosso país.

A todos os professores do Mestrado Prof^ãgua, pólo UEA por acreditarem a construir novos horizontes para a gestão de águas do Amazonas, em especial meus agradecimentos a Prof^a. Dr^a Astrid Rocha, em toda sua sabedoria e paciência, nos auxiliou desde o início para a escrita deste trabalho desde a disciplina de Metodologia Científica e de Seminário local.

Ao Alacy do CPD da UEA/ENS por toda sua paciência e dedicação na construção e arquitetura de nosso aplicativo QualiMindu, mesmo em momentos de dificuldades, ele se dispôs a concluímos com afinco. Meus sinceros agradecimentos.

A todos os meus colegas de curso, em especial da UEA, por me ajudarem e acreditarem na realização deste trabalho. Pelos amigos que fizemos, Renato, Izaías, Luciani, Solange, e aos demais, a caminhada foi árdua, mas até aqui nos ajudou o Senhor.

“Ouvi, Senhor, a tua palavra, e temi; aviva, ó Senhor, a tua obra no meio dos anos, no meio dos anos faze-a conhecida; na tua ira lembra-te da misericórdia”.

(Habacuque 3:2)

RESUMO

Nos últimos anos tem sido notório e recorrente o quanto processos de poluição e de contaminação têm degradado os corpos hídricos receptores da zona urbana da cidade de Manaus-AM. Destaca-se como objeto deste estudo o Igarapé do Mindu que recorta a cidade em seus mais de 22 km de extensão percorrendo toda a zona urbana e entrecortando-se pelos principais bairros da cidade até desaguar no Rio Negro. Neste cenário verifica-se a importância do monitoramento da qualidade das águas para mitigação e diagnóstico da situação presente. Também é essencial a existência de mecanismos de disponibilização desses dados para que ações efetivas de gestão possam ser direcionadas. Assim é apresentado nessa dissertação o desenvolvimento de um protótipo de aplicativo móvel que tenha como função principal a articulação entre os dados que são gerados no monitoramento da qualidade das águas e a disponibilização destes dados para gestores de recursos hídricos, sejam secretarias de meio ambiente estadual ou municipal, companhias de saneamento público, comitês de bacia e agências de água constituídas, ou ainda a disponibilidade destas informações para os usuários de recursos hídricos da cidade de Manaus-AM e para o público em geral. O formato do software escolhido foi através da elaboração de um aplicativo móvel construído com características de Web App, ou seja, que possui interface de site e aplicativo ao mesmo tempo. A plataforma android foi escolhida por apresentar uma gama de recursos intuitivos de criação de aplicativos e possuir a maior quantidade de usuários do sistema operacional instalado em seus smartphones. O trabalho de coleta de amostra e levantamento dos aspectos físico-químicos e nutricionais das águas foi realizado a cada três meses, no período de um ano, com pontos de amostragem localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu, conforme períodos sazonais de vazante e cheia das águas. As análises foram realizadas com equipamento de campo e em laboratório. Foram analisados os seguintes parâmetros; pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, temperatura, sulfetos, turbidez, nitrogênio amoniacal e fosfato total. Os resultados, excetuando as águas próximas as nascentes que possuem características naturais preservadas, indicaram que o igarapé apresenta forte influência antrópica com modificações de suas características naturais, com diversos trechos em assoreamento recente, remoção de suas matas ciliares, disposição de efluentes domésticos e industriais nas águas, grande quantidade de resíduos sólidos, além de apresentarem modificações em suas características físicas e químicas com forte odor, coloração marrom-esverdeada das águas, pH com valores básicos, sendo sua característica natural apresentar-se ácido, alta condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, indícios de contaminação recente por esgotos com concentrações acima do limite para nitrogênio amoniacal, sulfetos e fosfato total. Estes dados gerados durante o período de estudo foram plotados em gráficos e detalhados em figuras e textos explicativos sobre o diagnóstico do igarapé do Mindu no protótipo de aplicativo móvel que recebeu como nome “Qualimindu”. Neste aplicativo são reunidos dados de qualidade das águas do igarapé que podem representar subsídios para gestores de recursos hídricos e informar o público em geral sobre os recursos hídricos da cidade de Manaus-AM.

Palavras-chave: Qualimindu, gestão, recursos hídricos.

ABSTRACT

In the last years it has been notorious and recurrent how much processes of contamination and contamination have degraded the receiving water bodies of the urban zone of the city of Manaus-AM. The object of this study is the Igarapé do Mindu, which cuts the city in its more than 22 km of length, traveling throughout the urban area and intersecting through the main districts of the city until it empties into the Rio Negro. In this scenario it is verified the importance of the monitoring of water quality for mitigation and diagnosis of the present situation. It is also essential to have mechanisms to make this data available so that effective management actions can be directed. Thus, it is presented in this dissertation the development of a prototype of mobile application whose main function is the articulation between the data that are generated in the monitoring of water quality and the availability of this data for water resource managers, whether state secretaries of the environment or municipal water companies, public sanitation companies, basin committees and established water agencies, or the availability of this information to users of water resources in the city of Manaus-AM and to the general public. The format of the software chosen was through the elaboration of a mobile application built with Web App features, that is, it has a website and application interface at the same time. The android platform was chosen for presenting a range of intuitive application creation features and having the most users of the operating system installed on their smartphones. The work of collecting samples and surveying the physical-chemical and nutritional aspects of the waters was carried out every three months, in a period of one year, with sampling points located in the upper, middle and lower reaches of the Mindu Igarapé, according to seasonal periods dry and full of water. The analyzes were performed with field and laboratory equipment. The following parameters were analyzed; pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, chemical oxygen demand, temperature, sulfides, turbidity, ammoniacal nitrogen and total phosphate. The results, except for the waters near the springs that have preserved natural characteristics, indicated that the igarapé presents strong antropic influence with modifications of its natural characteristics, with several sections in recent silting, removal of its riparian forests, disposition of domestic and industrial effluents in the water, a large amount of solid residues, in addition to presenting changes in its physical and chemical characteristics with strong odor, brown-green coloration of the waters, pH with basic values, being its natural characteristic to present acid, high electrical conductivity and dissolved total solids, evidence of recent contamination by sewers with concentrations above the limit for ammoniacal nitrogen, sulfides and total phosphate. These data generated during the study period were plotted in graphs and detailed in figures and explanatory texts about the diagnosis of the Mindu igarapé in the mobile application prototype that was named "Qualimindu". In this application, water quality data from the igarapé are collected, which can represent subsidies for water resource managers and inform the general public about the water resources of the city of Manaus-AM.

Key words: Qualimindu, management, water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização da área urbana de Manaus.	21
Figura 2 - Evolução do desmatamento na cidade de Manaus de 1986 a 2004.	25
Figura 3 – Bacias hidrográficas da cidade de Manaus-AM.	26
Figura 4 - Modelo 3-D SRTM da NASA. As superfícies mais altas, em torno de 100 metros, estão situadas a norte da área de estudo, na região de cabeceira das drenagens da bacia do São Raimundo.	29
Figura 5 - Igarapé do Mindu e sua localização no mapa da cidade de Manaus.	30
Figura 6 – Águas do Igarapé do Mindu no balneário do Parque Dez.	31
Figura 7 – Águas com características naturais e preservadas das nascentes do Igarapé do Mindu.	31
Figura 8 – Contribuição da foz dos igarapés Mindu e São Raimundo em trecho do rio Negro.	32
Figura 9 – Grande quantidade de resíduos sólidos acumulados no Parque Municipal do Mindu.	33
Figura 10 – Grande quantidade de resíduos sólidos acumulados no Parque Municipal dos Bilhares. Em (B) águas do Igarapé do Mindu no Conjunto Petros.	33
Figura 11 - Mapa de uso do solo urbano e cobertura da vegetação da microbacia do Igarapé do Mindu.	34
Figura 12 – Mapa da divisão dos cursos do Igarapé do Mindu em alto, médio e baixo.	34
Figura 13 – Mapa do alto curso do Igarapé do Mindu.	35
Figura 14 – Registro de ocupações irregulares das margens do Igarapé do Mindu no bairro Jorge Teixeira. Em (B) águas do Igarapé no bairro Novo Aleixo.	36
Figura 15 – Mapa do médio curso do Igarapé do Mindu.	36
Figura 16 – Registro dos insistentes jacarés que sobrevivem em meio ao acúmulo de lixo do Parque Municipal de Manaus, no médio curso.	37
Figura 17 – Mapa do baixo curso do Igarapé do Mindu.	38
Figura 18 – Trecho do curso baixo do Igarapé do Mindu nas proximidades do shopping Milenium.	38
Figura 19 – Trecho do curso baixo do Igarapé do Mindu com grande quantidade de resíduos sólidos acumulados.	39
Figura 20 - Interface amigável do software Hidroweb permite fácil acesso as informações sobre dados Hidrometeorológicos e de qualidade das águas.	52
Figura 21 - Densidades das redes estaduais de monitoramento de qualidade das águas.	57
Figura 22 - Frequências de coleta de amostras das Unidades da Federação antes da elaboração do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.	58_Toc522631267
Figura 23 - Aplicativo da CAESB disponível para usuários no Google Play Store.	60
Figura 24 - Aplicativo da CAESB fornece várias funcionalidades para usuário e integração no compartilhamento de responsabilidades da cidade.	61
Figura 25 - Aplicativo do Comitê de bacia do Rio Paraíba do Sul fornece informações para os usuários da bacia e organiza ações administrativas do comitê.	62
Figura 26 - Fluxograma de desenvolvimento de aplicativo móvel Web App.	63
Figura 27 – Manipulação de dados do aplicativo pelo usuário final.	63
Figura 28 - Organização em camadas da plataforma Android.	65

Figura 29 - Tela do aplicativo App inventor possibilita incluir instruções no desenvolvimento do aplicativo para smartphone.	66
Figura 30 - Mapa dos pontos de amostragem delimitados no Igarapé do Mindu.....	67
Figura 31 - As nascentes dos contribuintes do Igarapé do Mindu apresentam-se sob degradação.....	68
Figura 32 - Pontos de amostragem do Igarapé Mindu selecionados com a ferramenta Google Maps.	69
Figura 33 - Ponto de amostragem P8 selecionado com auxílio da ferramenta do Google Maps a partir de imagens de satélite e identificação com “Google Street View”.....	70
Figura 34 - Modelo de vista utilizada na etapa de planejamento com o Google Street View para acessar o local de amostragem P6 – Conjunto Petros.....	71
Figura 35 - Pontos de amostragem de P1 a P4; P1 – saída das nascentes do Mindu; P2 – localizado nas proximidades da Avenida Itaúba; P3 – ao lado do Supermercado DB na Avenida Autaz Mirim; P4 – localizado na Avenida Nathan Xavier no bairro Novo Aleixo.	71
Figura 36 - Pontos de coleta do curso médio; P5- localizado na Avenida Cosme Ferreira, proximidades do clube do trabalhador (SESI); P6 - Ponto de coleta no conjunto Petros; P7 - Ponto de coleta no Parque Municipal do Mindu; P8 - Ponto de coleta no Passeio do Mindu.....	72
Figura 37 - Pontos de amostragem P9 - localizado nas adjacências da Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST); P10 - No Parque dos Bilhares; P11 - localizado nas proximidades do bairro São Jorge, na confluência com o Igarapé do São Raimundo.	73
Figura 38 - Sonda multiparamétrica em (A) e (B) e em (C) medidor de turbidez utilizados para medição das variáveis físico-química de campo.	73
Figura 39 - Vista interna da sonda (A), display ou tela de registro de dados do equipamento multiparâmetro (B) e exemplo de medição realizada com o equipamento no campo (C).....	74
Figura 40 - Amostra coletada com balde da zona superficial no Parque Municipal do Mindu (P7).....	75
Figura 41 - Modelo de balde inox utilizado na coleta de amostras.	76
Figura 42 - A manutenção da sonda multiparamétrica e a calibração das variáveis foram acompanhadas conforme especificações do fabricante contido no manual do equipamento.	76
Figura 43 - Equipamentos de laboratório utilizados na pesquisa; (A) - Analisador de nitrogênio amoniacal (amônia) por íon seletivo; (B) - Espectrofotômetro para análise de DQO, Sulfetos e Fosfato Total; (C) - Reator DQO para digestão das amostras a 150°C.....	78
Figura 44 - Modelo de organização dos dados de pH e cálculos estatísticos dos dados levantados nas análises de campo e de laboratório.	79
Figura 45 - Modelo da logo do aplicativo “QualiMindu”.	79
Figura 46 - Algoritmo da tela de abertura do aplicativo “Qualimindu”, detalhando as etapas de criação de títulos e responsividade (propriedade) da tela ao abrir em celular smartphone.	80
Figura 47 – Detalhamento da programação para a construção dos gráficos na página web e captura dos dados pelo aplicativo móvel.	81
Figura 48 - Botões elaborados na página “www.qualimindu.com”.....	81
Figura 49 - Interface do aplicativo foi concebida a partir de ferramentas do MIT App Inventor.....	83
Figura 50 - Gráfico da chuva acumulada mensal x chuva (normal climatológica 61-90) para os anos de 2017 e 2018 em Manaus-AM.....	84

Figura 51 - Gráfico do pH com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	85
Figura 52 - Gráfico da condutividade elétrica com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	87
Figura 53 - Gráfico de sólidos dissolvidos totais (STD) com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	88
Figura 54 - Gráfico do oxigênio dissolvido (OD) com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	89
Figura 55 - Gráfico da temperatura e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	90
Figura 56 - Gráfico da turbidez e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	92
Figura 57 - Gráfico do parâmetro sulfetos e desvio padrão avaliados no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	93
Figura 58 - Gráfico do parâmetro DQO avaliado no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	94
Figura 59 - Gráfico do parâmetro nitrogênio amoniacal e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	95
Figura 60 - Gráfico do parâmetro fosfato total avaliado no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.....	96
Figura 61 - Ícone do aplicativo “Qualimindu” no smartphone de teste (círculo vermelho) e tela de abertura a direita da figura.....	97
Figura 62 - Tela de informação inicial do aplicativo “Qualimindu”	98
Figura 63 - Mapa de localização dos pontos de amostragem acessado a partir do botão mapas.....	98
Figura 64 - Os resultados no aplicativo foram dispostos na forma gráfica e também por resultados exatos ao aproximar o cursor do ponto de cada coluna do gráfico.....	99
Figura 65 - Tela do aplicativo móvel com informações sobre o igarapé do Mindu.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento da população da cidade de Manaus-AM.....	24
Tabela 2 - Condições dos parâmetros para as classes de 1 a 4 da resolução CONAMA nº357/2005.	54
Tabela 3 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.	69
Tabela 4 – Metodologias utilizadas em análises de laboratório.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO	Demanda química de oxigênio
EST	Escola Superior de Tecnologia - UEA
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts - EUA
N/A	Não Aplicável
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMM	Prefeitura Municipal de Manaus
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPM	Partes por milhão ou mg/L
PROSAMIM	Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus
RIMA	Relatório de impacto ambiental
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
STD	Sólidos Dissolvidos Totais
UEA	Universidade do Estado do Amazonas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	20
1.1.1 Objetivo geral	20
1.1.2 Objetivos específicos	20
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 A cidade de Manaus-AM	21
2.2 Hidrografia da cidade de Manaus	25
2.3 Bacia Hidrográfica do São Raimundo	27
2.4 Características da Microbacia do Igarapé do Mindu	29
2.4.1 Alto curso do Igarapé Mindu	35
2.4.2 Médio Curso do Igarapé do Mindu	36
2.4.3 Baixo Curso do Igarapé do Mindu	37
2.5 Qualidade das Águas	39
2.5.1 Definição de Monitoramento da qualidade das águas	39
2.5.2 Tipos de monitoramento das águas	40
2.5.3 Redes de monitoramento e planejamento da amostragem	41
2.5.4 Parâmetros de avaliação da qualidade das águas	42
2.5.5 Parâmetros físico-químicos e nutricionais de avaliação das águas	43
2.6 Gestão de Recursos Hídricos	47
2.6.1 Instrumentos de Gestão	49
2.7 Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)	56
2.8 Desenvolvimento de Aplicativos Móveis	59
2.8.1 Construção de Aplicativos WEB APP	62
2.8.2 Desenvolvimento Android	64
2.8.3 Criação de Aplicativos no MIT App Inventor	66
3. MATERIAL E MÉTODOS	67
3.1 Caracterização da Área de Estudo	67
3.2 Planejamento da Amostragem	68
3.3 Análises de Campo	73

3.4 Análises de Laboratório.....	76
3.5 Análise Estatística	78
3.6 Construção do Protótipo de Aplicativo Móvel	79
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.1 Dados de Precipitação	84
4.2 Parâmetros físico-químicos	85
4.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	85
4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)	86
4.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	87
4.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD).....	88
4.2.5 Temperatura.....	90
4.2.6 Turbidez.....	91
4.2.7 Sulfetos.....	92
4.2.8 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	93
4.3 Parâmetros Nutricionais	94
4.3.1 Nitrogênio Amoniacal	94
4.3.2 Fosfato Total.....	95
4.4 Aplicativo Qualimindu	97
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental em nosso planeta, sem o qual não existiria a vida. Este recurso está no centro de praticamente todas as atividades humanas. Seja para atividades domésticas, lazer, indústria, navegação, irrigação, ou para gerar hidroeletricidade, a água é imprescindível. Ela faz parte das reações metabólicas de nosso organismo, participa da fotossíntese e possui um enorme valor econômico, ambiental e social. A degradação deste recurso natural modifica completamente o cenário em que se vive, comprometendo, entre outros aspectos, o abastecimento de água e a saúde humana. Este cenário de preservação e manejo da água instiga a refletir acerca de sua disponibilidade, pois ainda que exista em grande quantidade, ela necessita ter qualidade compatível com cada uso.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) o Brasil possui 12% da disponibilidade de água doce superficial do mundo. Apesar do aspecto quantitativo, o aspecto qualitativo representa um fator limitante para o aproveitamento da água, uma vez que os diversos usos da água requerem requisitos de qualidade que podem ou não serem atendidos, o que torna claro que conhecer a qualidade da água é um fator primordial para sua gestão. Desse modo, o monitoramento e avaliação das águas superficiais são fatores essenciais para uma gestão adequada dos recursos hídricos, permitindo a análise e caracterização das bacias hidrográficas.

O diagnóstico da qualidade da água é fator preponderante para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui, no Art. 5º, os instrumentos de gestão de recursos hídricos: I – os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga; a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o sistema de informações de recursos hídricos. Cabe destacar que o Sistema de Informação sobre os Recursos Hídricos inclui coletar e disponibilizar informações referentes à qualidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos a fim de orientar a preservação e o uso dos mesmos.

Atualmente a tecnologia tem atrelado papel fundamental no aporte de decisões e oferecido ferramentas valiosas para gerenciamento de ações e prognóstico sobre inúmeros problemas. A tomada de decisão de gestores de recursos hídricos alimentando-se de dados de qualidade de água vem a internalizar um controle efetivo sobre o ambiente de estudo, correlação de dados de quantidade e qualidade de água, levantamento de necessidades, melhoria na qualidade de serviços e ações de conscientização ambiental, redução de custos, ações preventivas, e apoio ao enquadramento de rios urbanos da cidade de Manaus.

A qualidade das águas tem se transformado em um dos pilares de ações e tomada de decisão de órgãos gestores de recursos hídricos, seja pela importância de distinguir usos e estabelecer classes de qualidade para usuários de recursos hídricos, seja pela necessidade de avaliação e prognóstico de subsídios de informações. Tais fatos são elencados como ferramentas essenciais no desenvolvimento e discussão de ações por atores envolvidos na gestão de recursos hídricos; comitês de bacia, companhias de abastecimento, sociedade civil, secretarias e órgãos públicos de meio ambiente.

Entre as ações que podem ser tomadas por estes atores a partir da mitigação e diagnóstico da qualidade das águas, inclui-se a efetivação de políticas públicas e investimentos voltados para a caracterização de tendências em bacias hidrográficas, ampliação da rede de coleta e tratamento de esgoto, despoluição de rios e córregos, melhoria na coleta e disposição de resíduos sólidos, prevenção e metodologia de ações para atuação em eventos hidrológicos extremos, fortalecimento de ações de educação ambiental, contribuições para desenvolvimento dos instrumentos de outorga e cobrança dos recursos hídricos, implementação de controle e vigilância dos recursos hídricos e etc.

Dentro deste escopo, a Agência Nacional de Águas (2017) descreve que a oferta da água é determinada pela dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias, além das condições de qualidade da água. O conhecimento dessa oferta depende do monitoramento, tanto da quantidade quanto da qualidade da água da bacia. No monitoramento da qualidade das águas superficiais brasileiras existem alguns fatores de dificuldade como: as proporções continentais do Brasil, a ausência de redes estaduais de monitoramento em alguns Estados, além da heterogeneidade dos métodos de análise e avaliação nas redes de monitoramento existentes (ANA, 2014). Embora haja mecanismos por força de Lei para levantar estes dados, em muitos casos não são realizados por falta de infraestrutura (laboratórios e equipamentos de campo), profissionais especializados, ausência de redes integradas de monitoramento, e ausência de diagnóstico de diversos rios urbanos, que são praticamente utilizados apenas como receptores de esgoto, águas pluviais e de efluentes industriais.

Na etapa de avaliação da qualidade da água são necessários a análise de parâmetros físicos (turbidez, temperatura, resíduo total, condutividade elétrica), químicos (oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, alcalinidade total), biológicos (coliformes tolerantes, clorofila, fitoplâncton) e nutricionais (fósforo total, nitrogênio total). Essas análises requerem expedições de corpo técnico dotados de sondas e amostradores que coletam amostras e as avaliam em laboratório (ANA, 2012). Como há diversas formas de utilização das águas, estes parâmetros serão importantes para caracterizar os níveis e quantidades dos

compostos dissolvidos nas águas, com finalidade de enquadrá-la dentro dos limites estabelecidos pela legislação e também para auxiliar no trabalho de gestores, podendo ser no abastecimento, meio ambiente, comitês de bacia, tratamento de esgoto e etc.

Segundo a CETESB (2011) entre os desafios da área ambiental do país, o conhecimento sobre a qualidade das águas está entre os mais relevantes e emblemáticos. Informações esparsas ou inexistentes, ausência de redes de monitoramento adequadas em termos de frequência, parâmetros e representatividade em números de pontos de amostragem dificultam um diagnóstico mais preciso sobre a realidade da condição da qualidade dos corpos hídricos brasileiros. Para realizar o levantamento de dados de qualidade de água, é necessário um planejamento prévio do local de amostragem, organização dos equipamentos e materiais de consumo de laboratório, além da logística previamente agendada para acessar o campo e retornar ao laboratório para realização das análises restantes.

Somados a estas dificuldades, muitos trabalhos de diagnóstico da qualidade das águas e caracterização de áreas de estudo são realizados, seja na pesquisa científica (Teses, dissertações e artigos), relatórios de impacto ambiental, órgãos ambientais e de abastecimento público, mas as informações levantadas não são reunidas em uma plataforma ou banco de dados, ou seja, muitas informações ficam esparsas e distribuídas irregularmente no decorrer dos anos. Os atores localizados nas bacias hidrográficas fazem uso dela, mas às vezes não tem informação acerca de sua qualidade, ou no que isso pode impactar em cenários futuros, ou ainda não podem propor mecanismos de despoluição, ações de educação ambiental, preservação dos recursos hídricos, por que justamente não tem conhecimento o suficiente sobre ela.

Frente a esta expectativa, é proposto caracterizar o cenário atual de níveis de poluição e contaminação das águas de um rio urbano de Manaus-AM, através da avaliação de parâmetros físicos, químicos e nutricionais. Também é discutido o desenvolvimento de um protótipo de aplicativo móvel para centralizar estes dados e fornecer uma ferramenta acessível para usuários de recursos hídricos e órgãos gestores discutirem a visão participativa da gestão das águas, através de um diagnóstico prévio e capacidade de propor ações de despoluição e pontos prioritários na gestão de águas da bacia estudada.

O ponto de monitoramento escolhido foi o Igarapé do Mindu que é um dos principais cursos d'água de Manaus-AM, e atualmente encontra-se com grande parte de seu leito comprometido pela poluição. No decorrer dos últimos anos os corpos receptores da cidade de Manaus têm sofrido as consequências da expansão desenfreada da zona urbana e o crescimento abrupto da população, tais fatos têm acarretado uma grande pressão sobre os

recursos hídricos da cidade, e suas consequências são distintas com o desenvolvimento do assoreamento do leito de diversos destes rios, erosão, remoção da mata ciliar, ocupação das margens, descarte de resíduos sólidos, lançamentos de efluentes industriais e domésticos supostamente despejados parcialmente ou sem tratamento nas águas.

O desenvolvimento de um protótipo de aplicativo móvel vem com a expectativa de estabelecer um sistema de informações de recursos hídricos como ferramenta de diagnóstico e planejamento para fornecer dados representativos da área de estudo para usuários de recursos hídricos, sejam a população em geral, a sociedade civil organizada ou órgãos gestores de recursos hídricos como secretarias de meio ambiente a nível federal, estadual e municipal. Visa ainda alcançar a atuação de comitês e agências de bacia que possam vir a ser criados na área urbana de Manaus, como por exemplo; a criação do comitê de bacia hidrográfica do São Raimundo. Os dados serão levantados a partir do principal rio urbano da cidade, o Igarapé Mindu, que se entrelaça por toda a cidade, possuindo mais de 22 km de extensão e sendo impactado fortemente pela ação antrópica com o despejo de efluentes industriais e domésticos, descarte de resíduos sólidos, remoção de sua vegetação ciliar, assoreamento, e demais impactos no entorno do seu leito.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Realizar diagnóstico da qualidade das águas do Igarapé do Mindu e desenvolver um aplicativo móvel para disponibilizar os dados levantados no estudo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar análises de parâmetros físico-químicos em onze pontos de amostragem do Igarapé do Mindu, na bacia hidrográfica do São Raimundo.
- Realizar o levantamento dos dados nos períodos de vazante e cheia dos rios.
- Discutir os dados de qualidade das águas a luz do preconizado pela resolução CONAMA 357/2005.
- Desenvolver protótipo de Aplicativo móvel baseado na plataforma Android.

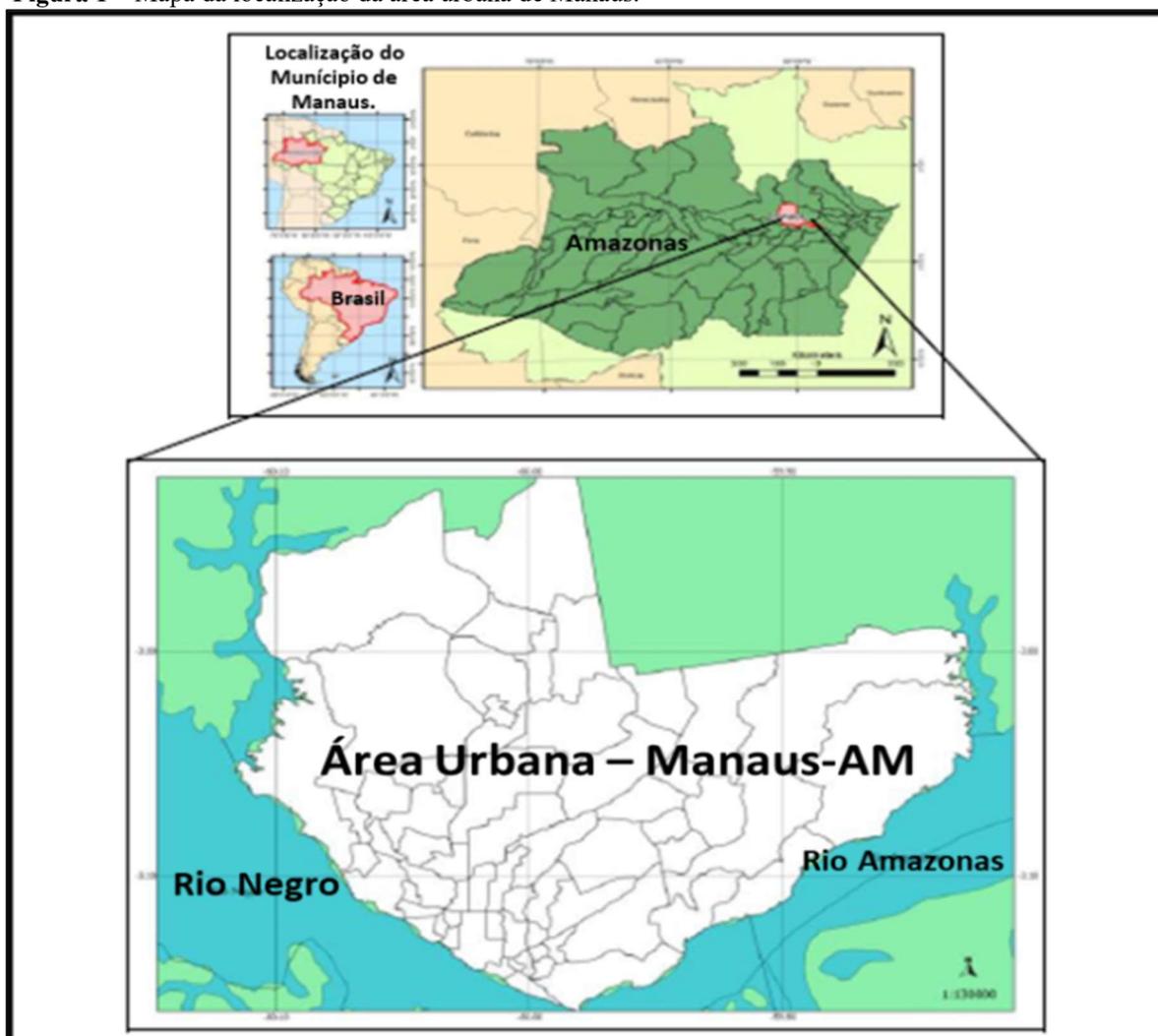
2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são descritos: a situação dos rios urbanos da cidade de Manaus, a bacia hidrográfica do São Raimundo, as características da microbacia do Igarapé do Mindu onde o monitoramento foi adotado, o detalhamento dos parâmetros de qualidade da água avaliados, a discussão deste estudo a luz da gestão de recursos hídricos a nível federal e estadual, e também os alicerces da construção do protótipo de aplicativo móvel para disponibilização dos dados gerados.

2.1 A cidade de Manaus-AM

A cidade de Manaus, capital do Amazonas, está localizada no norte do Brasil, praticamente inserida no coração da floresta Amazônica, próximo à confluência do Rio Negro com o Rio Solimões, dando origem ao Rio Amazonas (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da localização da área urbana de Manaus.



Fonte: Cassiano (2013).

A orla da cidade de Manaus é banhada pelo rio Negro, o maior e mais importante sistema aquático de água preta na Amazônia, com nascentes localizadas na região do Escudo das Guianas (Serra do Junaí, Planalto Colombiano), cerca de 1.660 metros acima do nível do mar. Das cabeceiras até sua foz, na confluência com o rio Solimões, perfaz uma extensão total de aproximadamente 1.700 km, sendo cerca de 1.200 km em território brasileiro (GOULDING et al., 1988).

A cidade embora esteja às margens de dois dos maiores rios do mundo, o Amazonas e o Negro e estar entrecortada por uma vasta rede hidrográfica de igarapés por toda a cidade, apresenta um quadro caótico de contaminação das águas em seu trecho urbano, ainda que possua abundância de água por todos os lados. As condições de saneamento e infraestrutura de rede e coleta de esgoto são precárias, estando a cidade, inclusive, entre as piores do Brasil em saneamento básico e esgotamento sanitário. A cidade ocupa o 96º lugar no ranking de saneamento realizado entre os 100 (cem) maiores municípios brasileiros conforme o Instituto Trata Brasil (2018), entre as características deste ranking a cidade foi destacada entre os 10 (dez) municípios com mais deficiência na coleta de esgoto com apenas 10,18% de atendimento, ou seja, o restante que não é coletado para tratamento “Manaus lança diretamente 89,82% de esgoto in natura nas águas”, com predominância nos córregos urbanos da cidade, o que culmina por apresentar alta contaminação e poluição destes rios da cidade, o que supostamente vem a colocar uma ótica de resultados insatisfatórios encontrados para a qualidade das águas de inúmeros córregos urbanos estudados durante o decorrer dos últimos anos (MELO et al., 2005; PINTO et al., 2009; FERREIRA et al, 2012; ALMEIDA et al., 2017).

Para reforçar esta característica Ferreira et al. (2012) destaca ainda que a expansão urbana de Manaus tem ocorrido de forma horizontal;

A partir da região central metropolitana, nas direções norte, leste e oeste, a expansão urbana é contida apenas por barreiras naturais, no caso, o rio Negro, rio Amazonas e Tarumã, ou por áreas públicas de grande relevância destacadas para fins específicos, como a Reserva Florestal Adolpho Ducke e as terras do Exército brasileiro. Esta tem sido a forma de expansão urbana do município. Em espaço de tempo relativamente curto, a cidade viu seu imenso número de igarapés tornarem-se visivelmente degradados (FERREIRA et al., 2012, p.534).

A contaminação dos principais igarapés ou córregos da zona urbana de Manaus é reflexo de um crescimento desenfreado que ocorreu a partir da década de 1970, onde a cidade passou por um acentuado processo de crescimento demográfico, vinculado, principalmente, à implantação da Zona Franca de Manaus (ZFM) ou Distrito Industrial como é comumente chamado. A cidade ingressou numa intensa expansão e devido a este fato muitas áreas que

apresentavam densa cobertura vegetal nativa foram totalmente destruídas, dando lugar a loteamentos e ocupações, principalmente nas zonas leste e norte (VIEIRA, 2008). É neste cenário que surgem vários bairros do qual inclusive foram monitorados neste trabalho; Jorge Teixeira, Novo Aleixo, São José, Cidade Nova e entre outros. Conforme este autor estas instalações periurbanas se constituíram;

Sem infraestrutura adequada e em áreas que foram tornadas vulneráveis, como moradias em margens de igarapés e encostas susceptíveis aos processos erosivos, que vêm provocando danos ambientais e urbanos significativos nos últimos anos, destacando-se a perda de áreas para ocupação, assoreamento de canais, destruição e inutilização de parte de vias de comunicação (calçadas, ruas, avenidas, etc.) e de outros aparelhos urbanos (tubulações de esgoto, água servida e canais pluviais), (VIEIRA, 2008, p.22).

Cassiano (2013) descreve que a partir da década de 1970 (mais intensamente na década de 1980), surgem os vários conjuntos habitacionais, predominantes nas zonas Norte e Leste. Alguns promovidos pelo poder público, outros por capital privado. Paralelos a este processo, ocorrem também às ocupações de terra, popularmente denominadas “invasões”. Ribeiro Filho (1999) no século passado afirmou que;

Muitos “bairros” foram criados às custas das ocupações, sem qualquer forma de planejamento. Multiplicaram-se as ocupações dos igarapés e dos interflúvios, agravando o problema ambiental e as condições de habitação da população. A cidade esparrama-se pelos extensos platôs avançando floresta adentro e, cada vez mais, distanciando-se do rio Negro (RIBEIRO FILHO, 1999, p.41).

A cidade cresceu rapidamente, tanto em contingente populacional (Tabela 1), quanto da quantidade de resíduos gerados, o reflexo disso, foi uma grande pressão antrópica sobre os recursos hídricos da cidade. Houve acréscimo do esgotamento sanitário, lançamento de efluentes industriais, carência de abastecimento público em diversos pontos da cidade, e modificação das características naturais de diversos corpos hídricos, sobretudo na zona urbana. Nestes locais houve crescimento da deposição de resíduos sólidos e intensa ocupação das margens destes rios, que conseqüentemente sofreram modificações drásticas, com erosão em diversos trechos, assoreamento do leito, remoção da mata ciliar, e ocorrências de alagamentos e inundações recorrentes por sua deficiência em infraestrutura e no planejamento público da cidade. Na Tabela 1 verifica-se a evolução do crescimento da população de Manaus a partir do advento da Zona Franca de Manaus na década de 1960 até o último censo realizado pelo IBGE em 2017.

Tabela 1: Crescimento da população da cidade de Manaus-AM.

Censo	População
1960	173.703
1970	311.622
1980	633.383
1991	1.011.501
1996	1.157.357
2000	1.405.835
2007	1.646.602
2010	1.802.014
2017	2.130.264

Fonte: IBGE – Censo demográfico e contagem da população.

Entre os fatores que proporcionam a transformação ambiental destacam-se o desmatamento e a ocupação das margens dos cursos d'água urbanos para fins de habitação, constituindo-se em fatores de degradação ambiental, acelerando o processo de erosão do solo e conseqüente assoreamento dos igarapés, gerando com isso uma diminuição no nível de qualidade de vida da parcela populacional que habita aqueles locais (SANTOS, 2005).

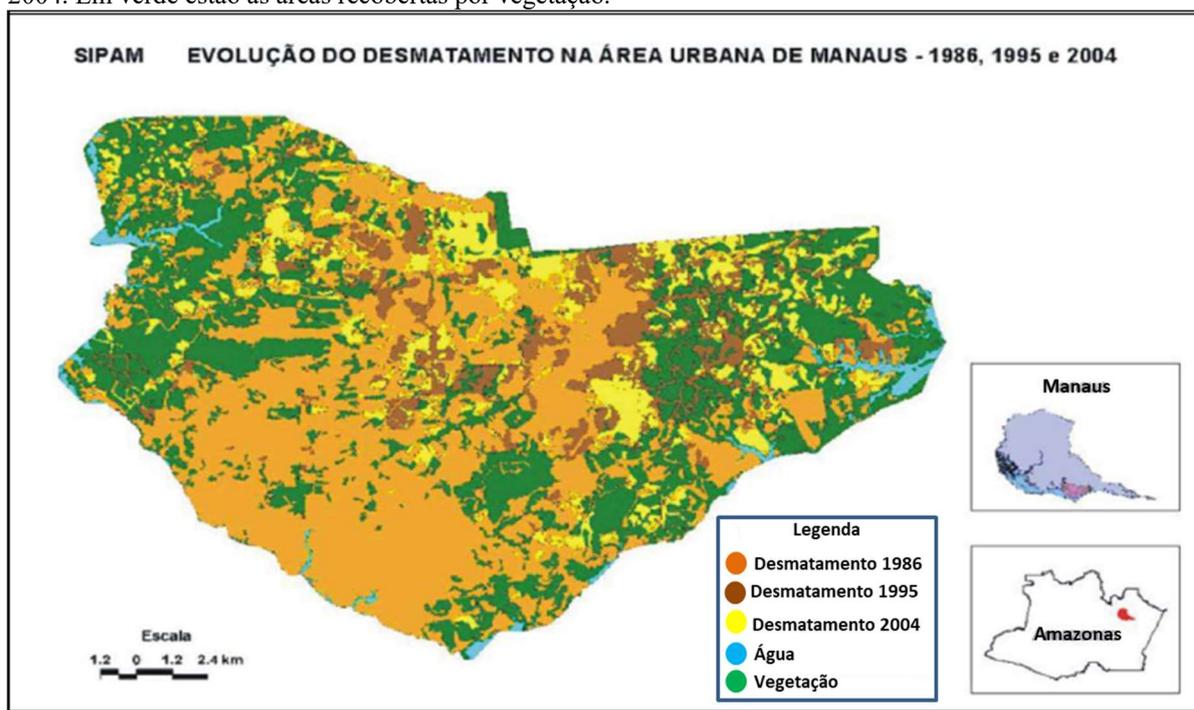
Nogueira et al. (2007) destacaram que as pressões ambientais decorrentes do crescimento da população na área urbana de Manaus ocasionaram grandes alterações em seu espaço físico. Grande parte da poluição dos igarapés e perda da biodiversidade é ocasionada pela dinâmica da expansão urbana da cidade. A ocupação urbana desordenada ocasionou significativa redução das áreas florestadas em Manaus, a ocupação e o desmatamento vêm ocorrendo com mais intensidade em direção ao norte. Hoje a cidade possui um corredor norte – sul praticamente desprovido de cobertura vegetal. As áreas verdes estão dispersas e constituem fragmentos florestais impactados pela intervenção humana ainda assim, são os mais expressivos de Manaus em termos de área e biodiversidade. Dentre os mais importantes estão:

- Corredor Ecológico do Mindu;
- Fragmento florestal do igarapé do Bindá;
- Fragmento florestal do igarapé do Goiabinha;
- Parque Estadual Sumaúma;
- Parque Municipal do Mindu;
- Parque Municipal Nascentes do Mindu;
- Parque Municipal dos Bilhares;

- Centro de Instruções de Guerra na Selva (CIGS);
- Fragmento florestal da Universidade do Amazonas;
- Reserva Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Conforme Nogueira et al. (2007) vale mencionar que no limite nordeste da sub-bacia, em área de tensão por ocupação (expansão do Distrito Industrial) situa-se a Reserva Florestal Adolpho Ducke/Jardim Botânico de Manaus, que abriga pequenos olhos d'água que alimentam as cabeceiras de igarapés como o Quarenta (sub-bacia hidrográfica dos Educandos), Mindu (sub-bacia do São Raimundo) e da Bolívia (sub-bacia do Tarumã). Na Figura 2 se apresenta a evolução do desmatamento da área urbana de Manaus com consequentes impactos sobre a vegetação e os recursos hídricos da cidade.

Figura 2 - Evolução do desmatamento na cidade de Manaus de 1986 a 2004. A cor laranja corresponde a áreas ocupadas até 1986. A cor marrom corresponde ao desmatamento em 1995 e a amarela ao desmatamento em 2004. Em verde estão as áreas recobertas por vegetação.



Fonte: RIMA-PROSAMIM, 2012.

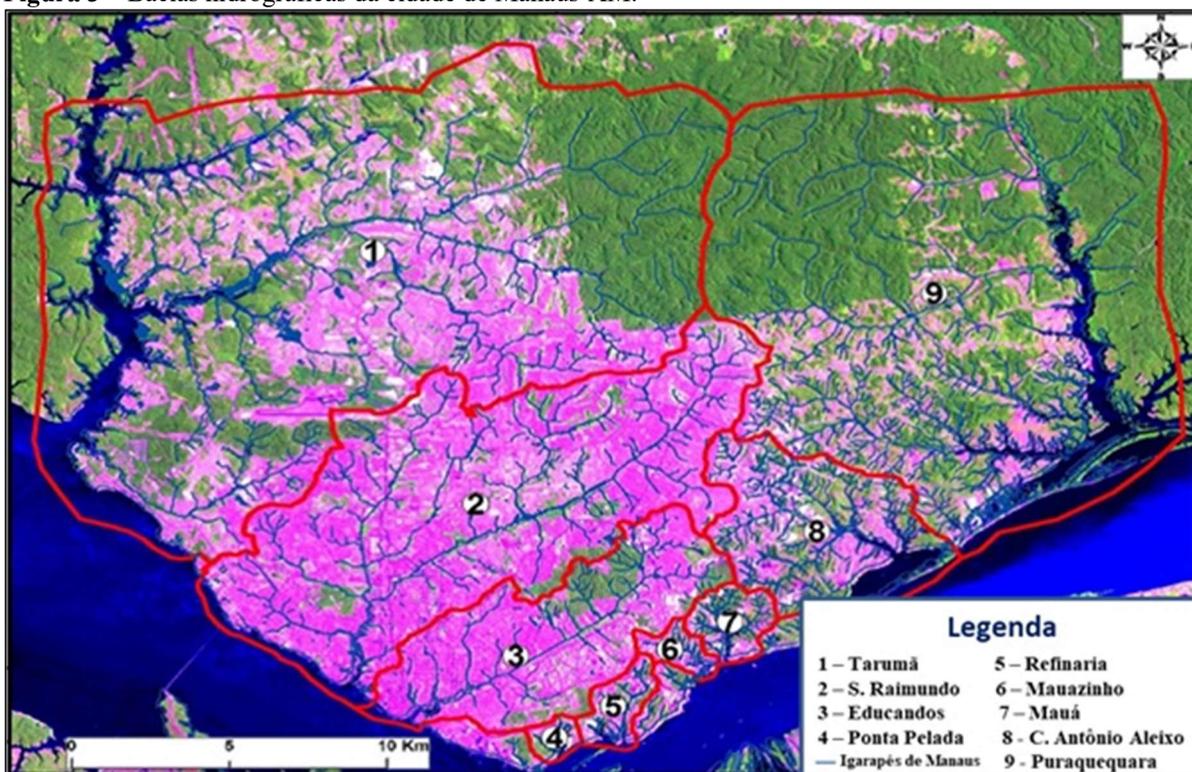
2.2 Hidrografia da cidade de Manaus

Manaus possui uma vasta densidade hidrográfica, onde diversos rios urbanos recortam a cidade, que comumente são chamados na região, por “igarapé”, termo de origem indígena que significa “rio ou canal que é estreito”, ou ainda “riacho que nasce na mata e deságua em um rio”, algo bem característico dos igarapés urbanos de Manaus, que possuem suas nascentes localizadas em trechos da floresta amazônica, tomando como exemplo o igarapé do Mindu,

cujas nascentes estão localizadas nas proximidades da Reserva Florestal Adolpho Ducke e deságuam no grande Rio Negro (FERREIRA et al., 2012).

A cidade de Manaus é constituída por grandes bacias hidrográficas (Figura 1), sendo as principais bacias urbanas, a bacia hidrográfica do São Raimundo, Educandos, Tarumã-Açu e Puraquequara, e as demais sub-bacias da Ponta Pelada, Refinaria, Mauzinho, Mauá e Colônia Antônio Aleixo (Figura 3).

Figura 3 – Bacias hidrográficas da cidade de Manaus-AM.



Fonte: MACENA, L.S.L; DONALD, A.R. (2016).

Destas, as três primeiras constituem microbacias do rio Negro e, portanto, têm sua hidrodinâmica condicionada ao comportamento de cheias e vazantes desse tributário do rio Amazonas, apresentando águas de cor escura, pH na faixa ácida devido a presença de ácidos orgânicos, e carga de sedimentos reduzida. À exceção da bacia do Tarumã-Açu, que ainda preserva trechos de sua configuração original, as demais se encontram quase inteiramente descaracterizadas por ocupação urbana irregular, falta de efetividade de políticas de saneamento básico, e acumulam sérios problemas ambientais como diversos igarapés assoreados e mata ciliar seriamente impactadas. Como consequências as águas possuem características distintas as suas nascentes, com coloração variando de esverdeada a marrom, apresentando odor desagradável e grande quantidade de sedimentos acumulados (MELO et al., 2005; PINTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2017).

2.3 Bacia Hidrográfica do São Raimundo

Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias, que são entendidas como áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Por sua vez, cada sub-bacia é constituída por microbacias (RIMA-PROSAMIM, 2012).

Conforme o RIMA-PROSAMIM (2012) a bacia hidrográfica do São Raimundo apresenta-se totalmente inserida na área urbana da cidade de Manaus, a sub-bacia hidrográfica do São Raimundo abrange 16 bairros, estende-se pelas zonas norte, leste, oeste e centro-oeste da cidade e tem como escoadouro final o rio Negro. Seus principais integrantes são os igarapés dos Franceses situado na zona centro-oeste, drenando os bairros Alvorada I, Alvorada II, D, Pedro I e D. Pedro II; o Igarapé do Bindá, que tem origem (nascente) na zona norte, percorre os bairros Cidade Nova, Parque 10 de Novembro e da União e o Igarapé do Mindu.

O Igarapé do Mindu, objeto de estudo deste trabalho, é o principal tributário da bacia do São Raimundo, possuindo o maior curso d'água em extensão (aproximadamente 22 km), tem uma de suas nascentes localizada na zona leste, proximidades do Jardim Botânico Adolpho Ducke; cruza a cidade no sentido nordeste-sudoeste, percorrendo e delimitando os bairros Jorge Teixeira, Tancredo Neves, Cidade Nova, Aleixo, Parque 10 de Novembro, Nossa Senhora das Graças e São Geraldo, altura em que deságua no igarapé dos Franceses, que prossegue pelo bairro São Jorge com a denominação da Cachoeira Grande até a confluência com o igarapé do Franco, de onde escoam até a foz, no rio Negro, com o igarapé do São Raimundo (RIMA-PROSAMIM, 2012).

Conforme estudo do RIMA-PROSAMIM (2012) a bacia hidrográfica do São Raimundo se limita a sudoeste com o Rio Negro, sendo composta pelos igarapés São Vicente, São Raimundo, Cachoeira Grande, Castelhana, Franceses, Vitória Régia, Mindú, canal do São Jorge, do Franco e do Bis. Dentre os tributários de maior porte da bacia do São Raimundo apenas os igarapés do Mindu e Bindá possuem uma fração de suas nascentes preservadas. Os demais, tanto quanto seus afluentes sofreram intervenções ao longo de toda a área de preservação permanente (mata ciliar/ nascente) e mantêm um regime de escoamento hídrico inteiramente dependente das chuvas e descargas sanitárias.

Segundo este estudo os períodos climáticos interferem no volume de águas dos igarapés que compõem o mosaico hidrográfico da cidade e também na recarga de água subterrânea:

Isto equivale a afirmar que as zonas de recarga dos aquíferos que abastecem as nascentes, bem como as de infiltração ao longo das margens, que regulam o runoff, inexistem ou são insuficientes para cumprir suas funções. O resultado nestes igarapés é uma descarga líquida incipiente durante a estação de seca e excessiva

durante a de chuvas intensas quando o rio Negro atinge seu nível máximo, em julho, as precipitações estão próximas das mínimas. Entretanto, no período compreendido entre novembro a julho (cheia do rio Negro) ocorre uma interseção dos dois fenômenos, aumentando consideravelmente a capacidade volumétrica dos igarapés, bem como do próprio Negro na orla de Manaus e arredores (RIMA-PROSAMIM, 2012, p.165).

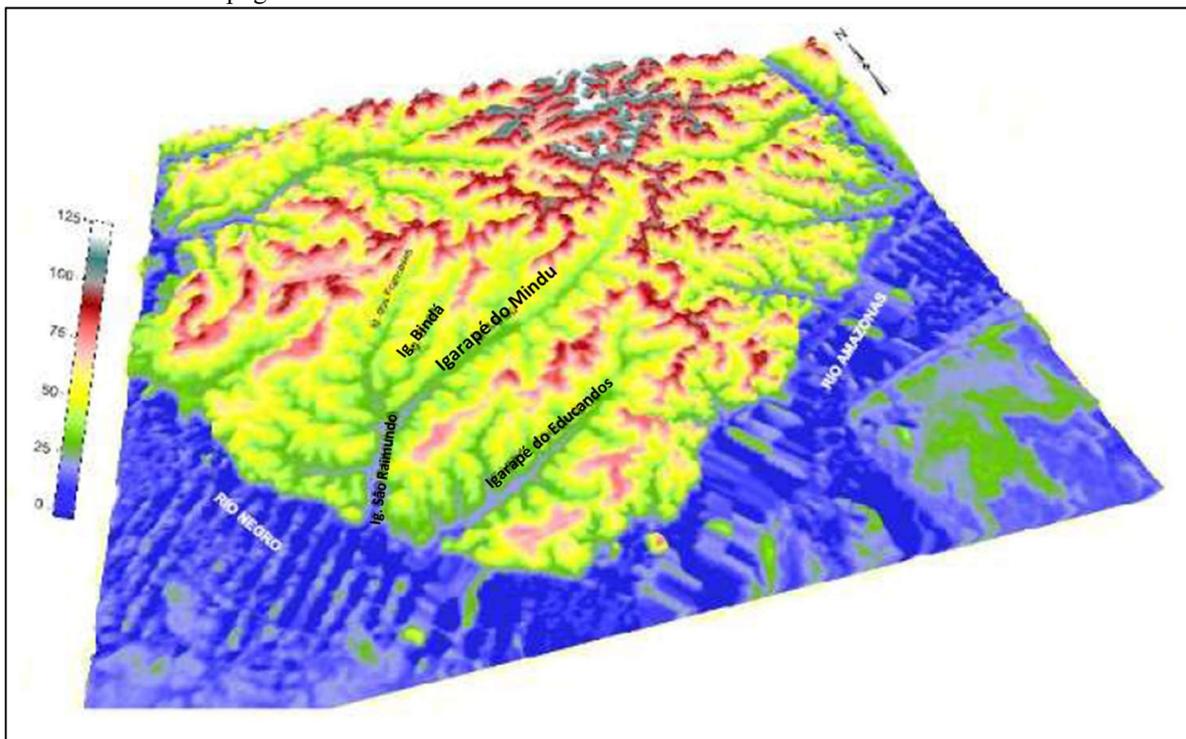
Conforme o RIMA-PROSAMIM (2012) em sua estrutura geomorfológica a bacia do São Raimundo se caracteriza por relevo ondulado, com desníveis acentuados em toda sua extensão e áreas escarpadas nas proximidades da orla do rio Negro. Os solos são pouco ou mal consolidados, constituindo pacotes sedimentares de grande amplitude. O sistema de drenagem apresenta predominância de padrão dendrítico - retangular, com canais principais extensos e bem definidos, encaixados em vales pouco abertos (exceção da foz – igarapé do São Raimundo) coincidentes com lineamentos geológicos de direção predominante nordeste/sudoeste (pequenas falhas e fraturas).

A capacidade de transporte desses cursos d'água é elevada, em decorrência dos desníveis verificados entre as nascentes e as desembocaduras, resultando em trechos encachoeirados, onde afloram arenitos da formação Alter do Chão (Arenito Manaus). De acordo com esse mapa, declividades com baixos valores percentuais (até 20%) totalizam quase 95 % de toda a área da bacia. As mais baixas declividades correspondem ao vale aberto do igarapé São Raimundo (RIMA-PROSAMIM, 2012).

Como consequência pode-se supor que a quantidade de resíduos sólidos e resíduos orgânicos (efluentes) lançados a montante destes igarapés tem sérios impactos sob os cursos mais baixos, pela capacidade ampliada de dissolução de sedimentos e ganho de velocidade das águas ao atingir os cursos mais baixos, com as áreas de foz sendo mais seriamente comprometidas pelas condições desfavoráveis e maior capacidade de mistura dos poluentes em suas águas. O Igarapé do Mindu, com divisão do seu curso em alto, médio e baixo, possui declividade e sua foz vai de encontro com as águas do igarapé do São Raimundo, que por sua vez se mistura com as águas do rio Negro (RIMA-PROSAMIM, 2012).

Conforme o mapa da Figura 4 se apresenta a diferença de declividade dos igarapés; do Mindu, Bindá, São Raimundo e igarapé do Educandos e suas consequentes contribuições para o rio Negro, que possui as mais baixas declividades.

Figura 4 - Modelo 3-D SRTM da NASA. As superfícies mais altas, em torno de 100 metros, estão situadas a norte da área de estudo, na região de cabeceira das drenagens da bacia do São Raimundo. Na área da foz desse rio domina o nível topográfico de 50 metros.



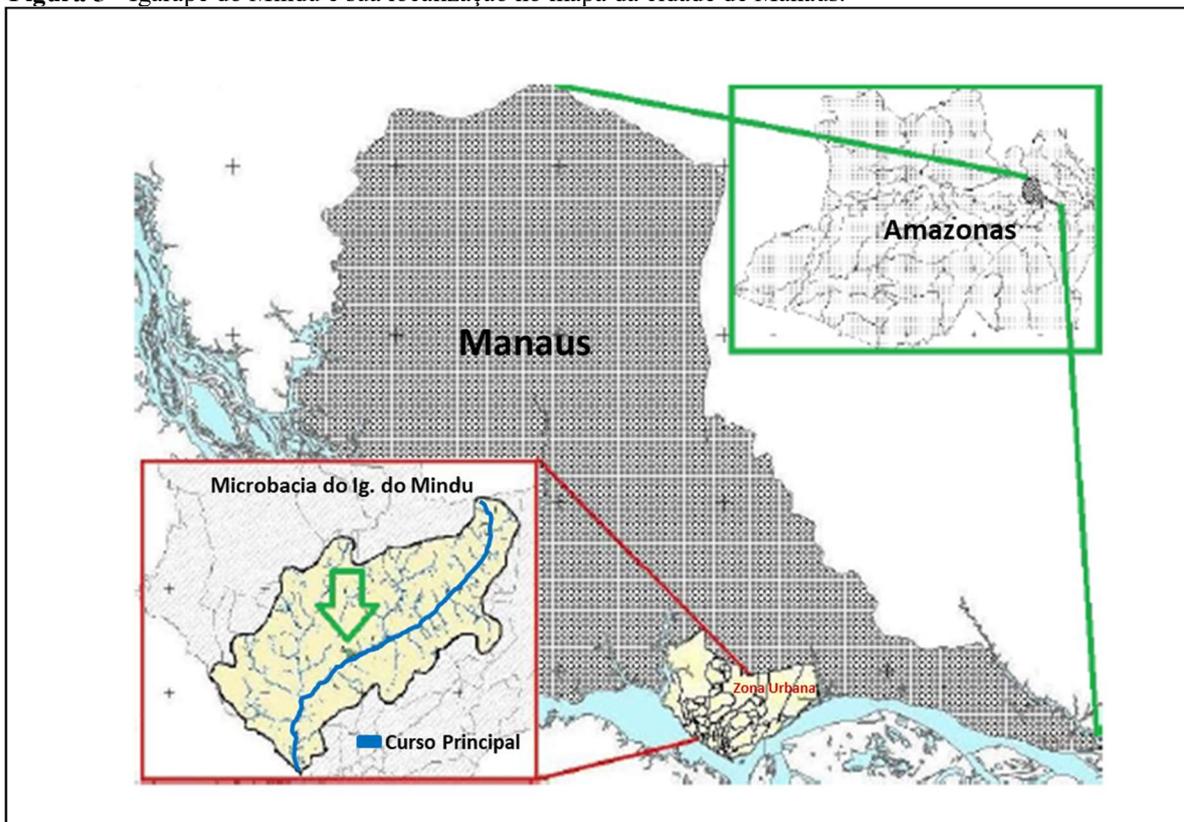
Fonte: RIMA-PROSAMIM (2012).

Conforme o RIMA-PROSAMIM (2012) além da poluição de suas águas a combinação dos atributos naturais (relevo/solo/drenagem) com a ocupação desordenada e modificação do uso do solo transformou esta sub-bacia na maior detentora de áreas de risco geotécnico de toda capital, possuindo durante as estações de cheia dos rios, diversos trechos em área de risco (erosão) e vulneráveis a eventos hidrológicos extremos (enchentes, inundações e deslizamentos) realidade corroborada pela Defesa Civil-AM e pelo Serviço Geológico Nacional (CPRM).

2.4 Características da microbacia do Igarapé do Mindu

A microbacia do Igarapé do Mindu possui uma superfície de 66,02 Km² (PMM, 2008), e seu curso principal representa o canal fluvial mais extenso da cidade de Manaus. O igarapé do Mindu é o maior igarapé em extensão da cidade de Manaus e cruza a cidade no sentido nordeste-sudoeste, pertence a maior sub-bacia hidrográfica em área urbana, a sub-bacia do São Raimundo. Na Figura 5 se verifica o mapa da microbacia do Igarapé do Mindu em recorte na zona urbana de Manaus-AM.

Figura 5 - Igarapé do Mindu e sua localização no mapa da cidade de Manaus.



Fonte: Fonseca et. al. (2012).

Conforme Macena (2016) o Igarapé do Mindu que no século XX até a década de 80 servia de balneário e de entretenimento para os manauaras, atualmente não possui capacidade de diluição para o quantitativo de poluentes, que diariamente são despejados no seu leito, apesar da existência das áreas verdes e de preservação supracitadas. Além disso, é densamente habitada, e as residências que ocupam esses setores apresentam perfis palafíticos e construções com baixa infraestrutura. Na Figura 6 o retrato do balneário do Parque Dez, reduto dos manauaras nos fins de semana.

Figura 6 – Águas do Igarapé do Mindu no balneário do Parque Dez.



Fonte: Corrêa Lima (1983).

Uma das nascentes do Igarapé do Mindu está localizada no bairro Jorge Teixeira, nas proximidades da Reserva Florestal Adolpho Ducke, onde através de decreto municipal nº 8.531/2006 foi criado o Parque Nascentes do Mindu, cuja finalidade foi de proteger e oferecer vigilância as águas das nascentes. Deste ponto à jusante, o Igarapé do Mindu tem sua foz no encontro com o Igarapé dos Franceses os quais, formam o Igarapé da Cachoeira Grande que por fim, deságua no bairro São Raimundo. Na Figura 7 são apresentadas as águas das nascentes do Igarapé do Mindu, que possuem suas características preservadas com águas de cor escura e aspecto transparente.

Figura 7 – Em (A) e (B) águas com características naturais e preservadas das nascentes do Igarapé do Mindu.



Fonte: SEMMAS (2013).

O Igarapé do Mindu da área de montante até sua foz no encontro com o Igarapé do São Raimundo (que neste ponto tem a configuração de uma ria fluvial) ainda percorre 2,5 km, e por findar neste bairro, esta unidade geossistêmica recebe a nomenclatura bacia hidrográfica do São Raimundo, de acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS (EPIA-MINDU, 2008; MACHADO, 2012). Na figura 8 se destaca uma mancha na zona de mistura das águas dos igarapés com o rio Negro, reflexo da contribuição da poluição dos igarapés neste trecho do rio negro.

Figura 8 – Contribuição da foz dos igarapés Mindu e São Raimundo em trecho do rio Negro.



Fonte: RIMA-PROSAMIM (2012).

No curso do Igarapé do Mindu existem vários pontos de áreas verdes urbanas; Parque Municipal Nascentes do Mindu, Parque Municipal do Mindu, Parque dos Bilhares, Jardim Botânico, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cachoeira Grande e o Corredor Ecológico Urbano do Mindu (EPIA-MINDU, 2008; MACHADO, 2012). Na Figura 9 os impactos significativos de lixo acumulado nas margens do Igarapé do Mindu no trecho limitado pelo Parque Municipal do Mindu, praticamente no centro do curso do igarapé.

Figura 9 – Em (A) grande quantidade de resíduos sólidos acumulados no Parque Municipal do Mindu. Em (B) águas do Igarapé do Mindu no bairro Novo Aleixo.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

O mesmo problema é apresentado na Figura 10 nos limites do Parque Municipal dos Bilhares, onde o lixo acumulado nas margens avança sobre as águas e é despejado em sua foz no encontro com o Igarapé do São Raimundo.

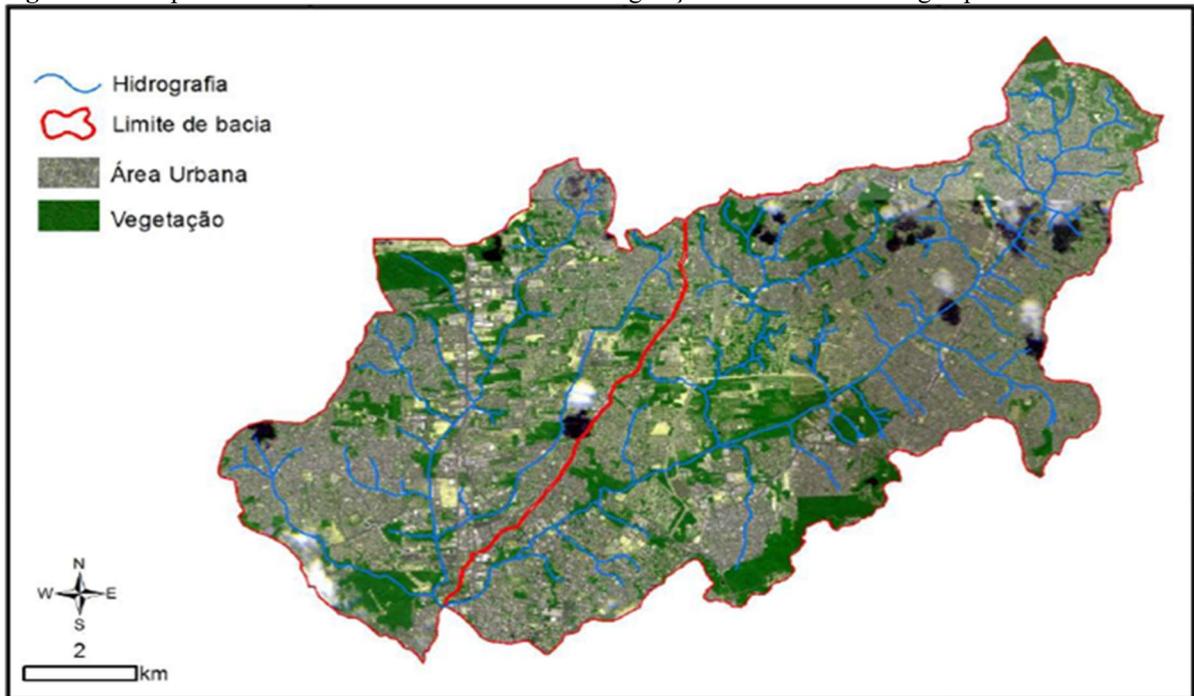
Figura 10 – Em (A) grande quantidade de resíduos sólidos acumulados no Parque Municipal dos Bilhares. Em (B) águas do Igarapé do Mindu no Conjunto Petros.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

No decorrer dos anos com o avanço da população em busca de moradia e o acréscimo de resíduos sólidos e lançamentos de efluentes domésticos e industriais sobre as águas os fragmentos de área verde que compunham as margens e a vegetação ciliar do igarapé, foram diminuindo drasticamente, e dando lugar a ocupações irregulares através do desmatamento e assoreamento de diversos trechos do igarapé. A ocupação do solo e a crescente urbanização contribuíram para a remoção da proteção das águas, a sua área verde, e com a construção inclusive de grandes condomínios residenciais e empreendimentos comerciais como o shopping Milenium e o shopping Manuara nas margens do igarapé, já com seu curso bastante modificado pela urbanização. Na Figura 11 apresentam-se os fragmentos de vegetação ainda restantes da microbacia do Igarapé do Mindu e o avanço da área urbana em seus limites.

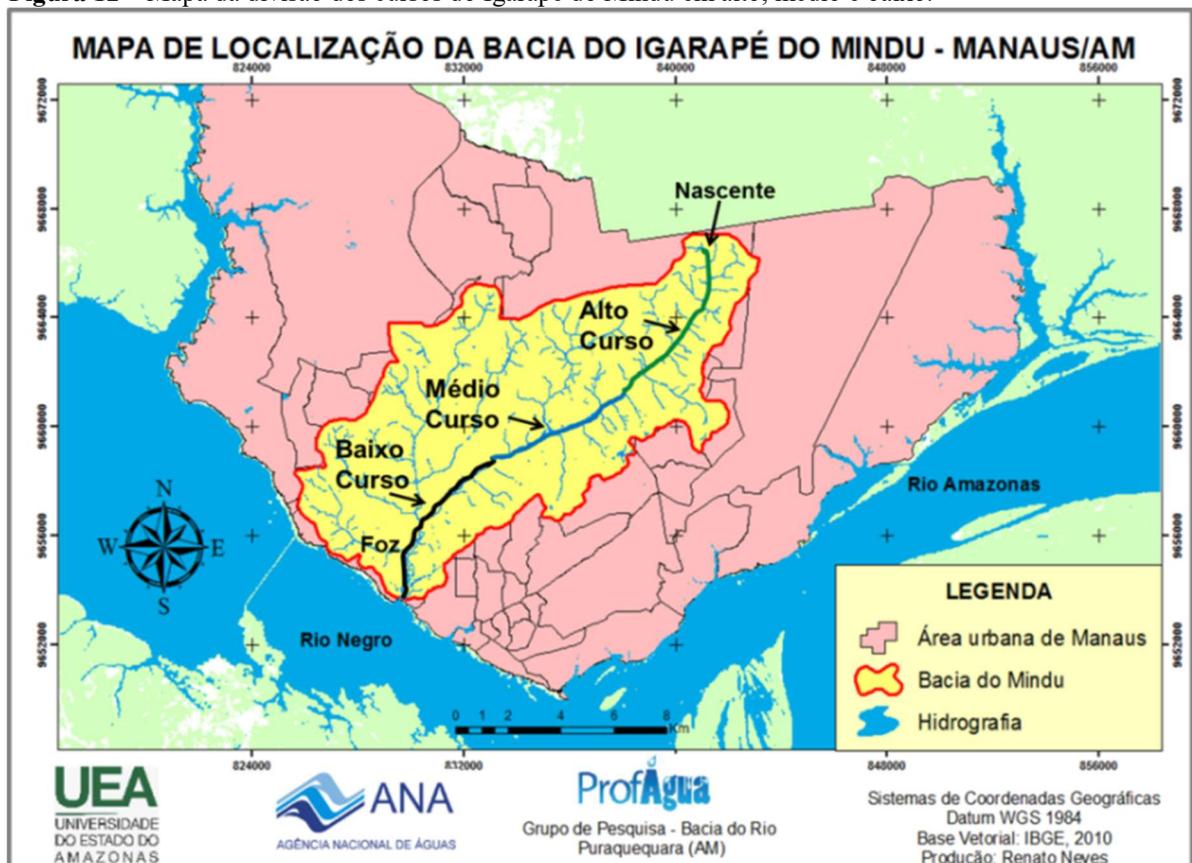
Figura 11 - Mapa de uso do solo urbano e cobertura da vegetação da microbacia do Igarapé do Mindu.



Fonte: Marinho e Silva (2016).

Em sua divisão física o Igarapé do Mindu é dividido por três trechos distintos: curso alto, médio curso e baixo curso (Figura 12).

Figura 12 – Mapa da divisão dos cursos do Igarapé do Mindu em alto, médio e baixo.

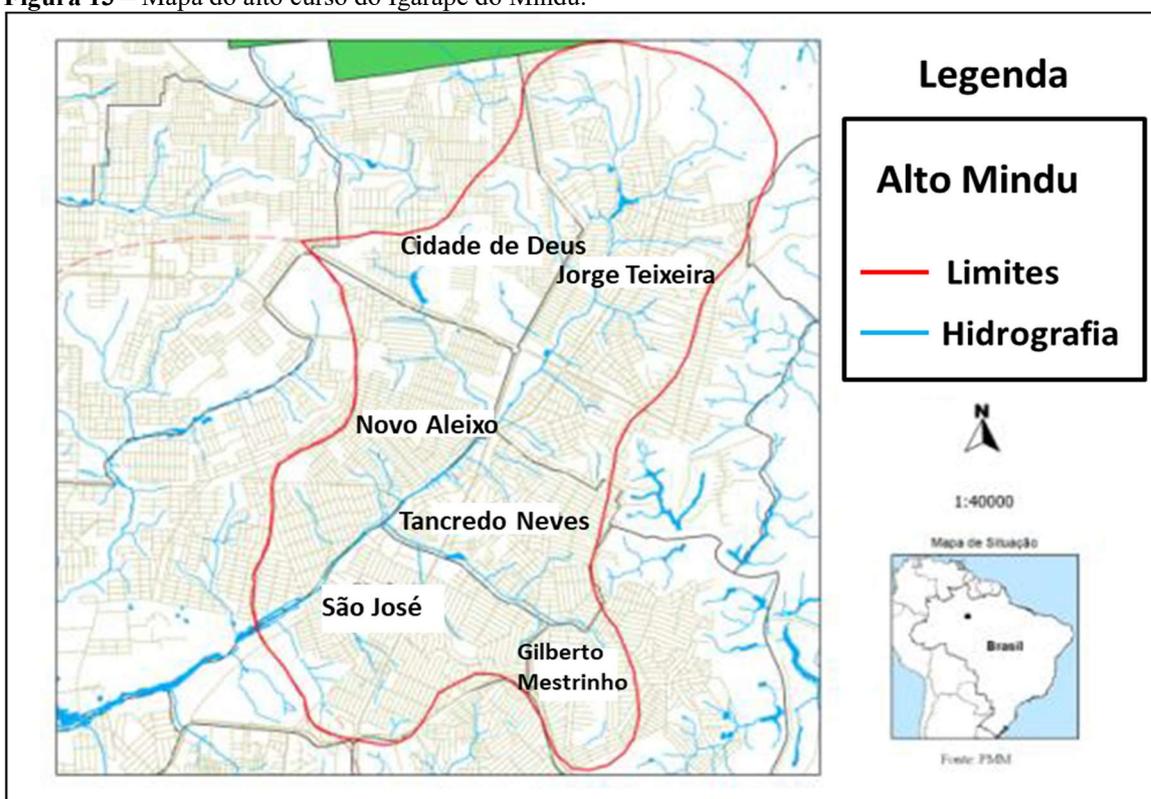


Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

2.4.1 Alto curso do Igarapé Mindu

As áreas do leito do Alto Mindu têm as cotas altimétricas entre 40 e 47 m e planície de 2 a 10 m (RODRIGUES e COSTA, 2015). Compõem esse trecho os bairros: Cidade de Deus, Jorge Teixeira, Novo Aleixo (zona leste); São José Operário, Tancredo Neves e Gilberto Mestrinho (zona norte). Ab'Sáber (2004) acrescenta que fazem parte desse quadro os bairros mais atuais da cidade procedentes da expansão urbana após implantação da Zona Franca de Manaus. Na Figura 13 é apresentado o mapa do alto curso do igarapé.

Figura 13 – Mapa do alto curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Cassiano (2013).

Segundo Oliveira e Costa (2007), o conjunto Cidade Nova foi construído no período de 1982 até 1990 que ampliou a expansão da cidade para a Zona Norte, vindo a receber status de bairro posteriormente. Tratava-se de uma nova fase na construção de unidades habitacionais populares em Manaus.

O Bairro Novo Aleixo surgiu como um desmembramento do bairro Cidade Nova em 1990, bem como da criação do loteamento por incentivo de capital privado. Todos os outros bairros que compõem o Alto Mindu tiveram sua origem vinculada a invasões, especialmente na Zona Leste, que, como afirma Nava (1999), tem sido palco de ocupações irregulares com reflexo direto no ambiente, como desmatamento, acúmulo de lixo, assoreamento dos cursos

d'água e áreas de risco. Na figura 14 são apresentadas fotografias da condição atual dos impactos sobre as águas do Igarapé do Mindu nos bairros Jorge Teixeira e Novo Aleixo.

Figura 14 – Em (A) registro de ocupações irregulares das margens do Igarapé do Mindu no bairro Jorge Teixeira. Em (B) águas do Igarapé no bairro Novo Aleixo.

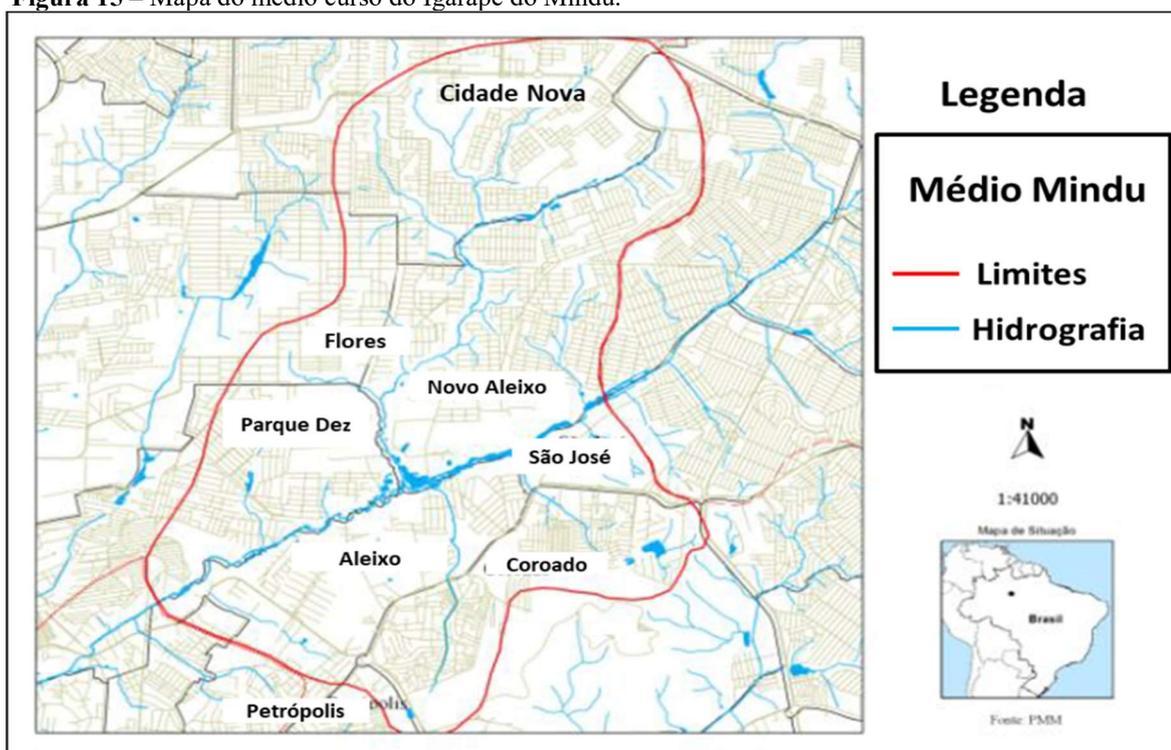


Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

2.4.2 Médio Curso do Igarapé do Mindu

O Médio Mindu possui cotas altimétricas entre 60 e 80 m, menos declivoso, e com o leito entre 28 e 29 m, se amplia na margem direita, quando recebe a vazão de seus tributários: Igarapé dos Franceses, com nascente no Novo Israel e Igarapé do Bindá, com nascente nos bairros Cidade Nova e Flores (RODRIGUES e COSTA, 2015). Na Figura 15 se destaca o mapa do médio curso do Igarapé do Mindu.

Figura 15 – Mapa do médio curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Cassiano (2013).

O Médio Mindu engloba partes dos bairros Coroado, Cidade Nova, Redenção, Novo Israel, Novo Aleixo e São José Operário – os dois últimos também pertencentes ao Alto Mindu (CASSIANO, 2013). Além desses bairros já citados existe mais cinco que são os bairros: Flores, Parque Dez de Novembro, Adrianópolis, Aleixo e Petrópolis. Na Figura 16 é apresentado o estado atual do Igarapé do Mindu no trecho do Parque Municipal do Mindu.

Figura 16 – Em (A) registro dos insistentes jacarés que sobrevivem em meio ao acúmulo de lixo do Parque Municipal de Manaus, no médio curso. Em (B) verifica-se grande quantidade de espuma nas águas neste trecho.

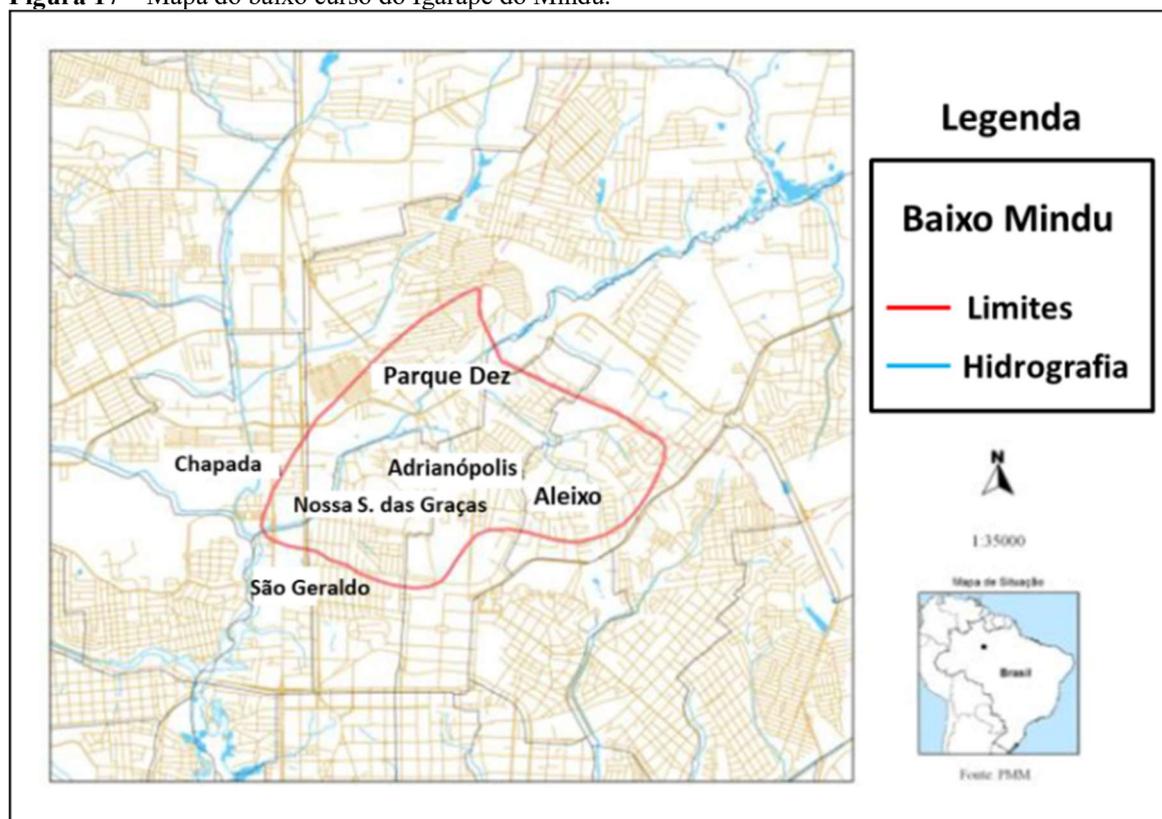


Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

2.4.3 Baixo Curso do Igarapé do Mindu

Conforme Macena (2016) o Baixo Mindu apresenta altimetrias com variações de 50 m a 70 m, e engloba os bairros: Planalto, Nova Esperança, Glória, São Raimundo, Presidente Vargas, Aparecida, Educandos e São Jorge. O Igarapé do Franco e Cachoeira Grande são os principais tributários do Baixo Mindu e drena áreas dos bairros Compensa, Santo Agostinho, Vila da Prata. No Baixo Mindu também se encontram duas das principais vias de circulação da cidade, a Avenida Djalma Batista e a Avenida Constantino Nery, que estão interligadas pelo Millennium Shopping. O lugar foi construído sobre a área de várzea do Igarapé do Mindu estando também sujeito às oscilações sazonais fluviais (CASSIANO, 2013). Na Figura 17 se destaca o mapa do baixo curso do igarapé.

Figura 17 – Mapa do baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Cassiano (2013).

O baixo curso do Igarapé do Mindu possui diversos condomínios residenciais e empreendimentos comerciais, como por exemplo, o shopping Milenium, praticamente inserido as margens do igarapé ao lado do Parque Municipal dos Bilhares. Na Figura 18 o registro da localização do shopping Milenium e sua respectiva diluição de efluentes sobre as águas.

Figura 18 – Em (A) e (B) trecho do curso baixo do Igarapé do Mindu nas proximidades do shopping Milenium.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

O baixo curso do Igarapé do Mindu é caracterizado por alocar grande quantidade de resíduos sólidos acumulados que são lançados sobre as águas, oriundos do alto e médio curso

do igarapé e também contribuições do baixo curso. Nos trechos do Igarapé do Mindu no Parque dos Bilhares e nas proximidades da foz, no São Jorge são removidos toneladas de lixo durante o ano com o devido intuito de possibilitar o devido escoamento das águas, haja visto que os impactos decorrentes da impermeabilização do solo contribuem consideravelmente para possibilidade de alagamentos e enchentes nas áreas mais baixas. Na Figura 19 é apresentado grande quantidade de resíduos sólidos removidos das águas nos trechos do Parque dos Bilhares e proximidade da Ponte São Jorge, curso baixo do Igarapé do Mindu.

Figura 19 – Em (A) e (B) trecho do curso baixo do Igarapé do Mindu com grande quantidade de resíduos sólidos acumulados.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

2.5 Qualidade das Águas

2.5.1 Definição de Monitoramento da qualidade das águas

Para se obter um diagnóstico adequado de algo, é preciso conhecê-lo, aplicar testes, realizar exames, avaliar da mesma forma que um médico trata um paciente. Com as águas é realizado da mesma forma, a avaliação da qualidade das águas visa estabelecer que parâmetros serão avaliados de modo a conhecer suas características físicas, químicas, nutricionais e biológicas de um manancial, seja ele superficial (rios, igarapés, lagos), subterrâneos, ou para fins diversos (indústria, navegação, abastecimento). Conhecer o nível da qualidade das águas é imprescindível para realizar ações de diagnóstico, ou seja, pode-se dizer que um manancial apresenta interferentes que causam poluição ou contaminação de suas águas, pois, as águas possuem suas características naturais, forjadas sob sua formação geoquímica, geomorfológica, climáticas e etc. Dentro desta finalidade é necessário acompanhar ou monitorar a qualidade das águas.

Dentro deste contexto é salutar realizar campanhas de monitoramento ou de avaliação destes parâmetros que indicam o nível de qualidade das águas, seja qual for a finalidade. Conforme definição da Agência Nacional de Águas (2014) entende-se que;

O monitoramento é o conjunto de práticas que visam o acompanhamento de determinadas características de um sistema, sempre associado a um objetivo. No monitoramento da qualidade das águas naturais, são acompanhadas as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais (ANA, 2014).

As práticas relacionadas ao monitoramento de qualidade de água incluem a coleta de dados e de amostras de água em locais específicos (geo-referenciados), feita em intervalos regulares de tempo, de modo a gerar informações que possam ser utilizadas para a definição das condições presentes de qualidade da água (ANA, 2014). Ou seja, este acompanhamento vai ser realizado sob uma frequência definida e previamente planejada, onde será necessário definir o local, através do sensoriamento remoto e com a disposição das tecnologias disponíveis, e posteriormente acessar o local de estudo para realizar as análises da água in situ, ou realizar a coleta desta água para análise de determinados parâmetros em um laboratório especializado.

2.5.2 Tipos de monitoramento das águas

Através da escolha do local de monitoramento e do planejamento prévio, será necessário identificar a finalidade para o qual está sendo realizado. A Agência Nacional de Águas (2014) destaca os principais tipos de monitoramento das águas;

- I. Monitoramento básico – Realizado em pontos estratégicos para acompanhamento da evolução da qualidade das águas, identificação de tendências e apoio a elaboração de diagnósticos. Além disso, os resultados obtidos no monitoramento permitem a identificação de locais onde é necessário um maior detalhamento. A frequência deste tipo de monitoramento acompanha os ciclos hidrológicos, ou seja, geralmente varia de uma frequência mínima trimestral até uma frequência mensal. Os parâmetros monitorados nesta modalidade devem estar relacionados com o tipo de uso e ocupação da bacia contribuinte a estação e com os objetivos da rede. Sendo assim, tanto a localização das estações quanto os parâmetros monitorados devem ser reavaliados periodicamente.
- II. Inventários – Esta modalidade compreende observações associadas à avaliação intensiva de um espectro mais ou menos amplo de parâmetros com o objetivo de

estabelecer um diagnóstico da qualidade das águas de um trecho específico de curso d'água. Esta avaliação pode estar associada ao acompanhamento de ações limitadas no tempo (por exemplo, implantação de empreendimentos hidrelétricos). No inventário a frequência de amostragem é alta, variando de diária até mensal, por um período de tempo determinado.

- III. **Vigilância** – Nesta modalidade incluem-se as observações efetuadas em locais onde a qualidade das águas é de fundamental importância para um determinado uso (especialmente para consumo humano) ou em locais críticos em termos de poluição associada ao uso da água. Neste caso é necessário um monitoramento praticamente em tempo real, o que pressupõe a utilização de aparelhos automáticos de medição, o que limita os tipos de parâmetros monitorados. Entretanto, um bom acompanhamento dos parâmetros pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, já permitem identificar alterações associadas a ações antrópicas, configurando um alerta para a tomada de providências.
- IV. **De Conformidade** – Nesta modalidade incluem-se as observações feitas pelos usuários dos recursos hídricos (auto-monitoramento) em atendimento a requisitos legais presentes nos marcos regulatórios (Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, Resolução nº 357 do CONAMA), nas condicionantes das licenças ambientais e nos termos de outorga. Tanto a periodicidade quanto os parâmetros monitorados são determinados pelos órgãos competentes.

Neste trabalho é executado o monitoramento básico, onde foram determinados pontos para realização da análise da água *in situ* e também coleta de amostra para execução de análises em laboratório, dentro da periodicidade trimestral, haja visto o acompanhamento do ciclo hidrológico e climático de nossa região.

2.5.3 Redes de monitoramento e planejamento da amostragem

De posse das informações sobre o local de estudo, da frequência (mensal, bimestral, semestral e etc.) em que se pretende avaliar e também da finalidade para o qual será avaliado as águas, então é necessário estabelecer a estratégia de acesso ao local de estudo e demais insumos para realização das análises, seja logísticos, reagentes de laboratórios, frascarias, ou equipamentos de campo. A Agência Nacional de Águas (2014) caracteriza em detalhes o planejamento e os insumos necessários para uma boa avaliação no campo, como por exemplo definir:

- Pontos de coleta, denominados estações de monitoramento, definidos em função dos objetivos da rede e identificados pelas coordenadas geográficas.
- Conjunto de instrumentos (equipamentos de campo e de laboratório) utilizados na determinação de parâmetros em campo e em laboratório.
- Conjunto de equipamentos de apoio utilizados na coleta: baldes; amostradores em profundidade (garrafa de Van Dorn); corda; frascos, caixa térmica, veículos; barcos; e motores de popa.
- Protocolos (roteiro) para a determinação de parâmetros em campo; para a coleta e preservação das amostras, para análise laboratorial dos parâmetros de qualidade; e para identificação das amostras. Entre outras palavras, seguir uma metodologia para determinação destes parâmetros.
- Estrutura logística de envio das amostras: locais para o envio das amostras; disponibilidade de transporte; logística de recebimento e encaminhamento das amostras para laboratório. Caso seja necessário enviar amostras para análise do qual não possua estrutura para realização, então pode ser enviado a um laboratório externo.

2.5.4 Parâmetros de avaliação da qualidade das águas

Partindo da premissa que os objetivos foram traçados com a definição do tipo de monitoramento empregado, planejamento da amostragem no local de estudo, planejamento logístico, aporte de equipamentos para análise de campo e laboratório, definição da metodologia a ser empregada, então é necessário definir os parâmetros físicos, químicos, biológicos e nutricionais para avaliação da qualidade das águas. A Agência Nacional de águas (2012) norteia acerca das principais análises realizadas para caracterização das águas;

A avaliação da qualidade da água em sua integridade inclui a análise de parâmetros físicos (turbidez, temperatura, resíduo total, condutividade elétrica), químicos (oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, alcalinidade total), biológicos (coliformes tolerantes, clorofila, fitoplâncton) e nutricionais (fósforo total, nitrogênio total). Essas análises requerem expedições de corpo técnico dotados de sondas e amostradores que coletam amostras e as avaliam em laboratório (ANA, 2012).

De posse destas informações, onde cada parâmetro avaliado representa uma característica na água, seja para distinguir; cor, odor, aspecto visual, sólidos, poluentes ou turbidez, o certo é que estes parâmetros vão permitir realizar estudos mais amplos, a nível de caracterização de tendências em bacias hidrográficas, estabelecimento e diretrizes para despoluição de um trecho superficial (rio, lago, igarapé e etc.), modificação do cenário de

lançamento de efluentes domésticos e industriais lançados irregularmente nas águas, promover ações de reflexão e sensibilização ambiental para usuários de recursos hídricos localizados na bacia, definir critérios para implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos preconizados na Lei nº 9433/97; os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Ou seja, através da avaliação da qualidade das águas é possível definir os critérios prioritários da utilização dos recursos hídricos e buscar sua preservação para futuras gerações.

2.5.5 Parâmetros físico-químicos e nutricionais de avaliação das águas

O conhecimento da água é importante, pois, a água é uma molécula que tem grande capacidade de dissolver outras substâncias e propiciar reações, sejam elas desejáveis ou indesejáveis. Dentre estes parâmetros avaliados foram selecionados para este estudo; pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, turbidez, temperatura da água, nitrogênio amoniacal, fosfato total, sulfetos e demanda química de oxigênio (DQO). Estes parâmetros fornecem dados qualitativos e quantitativos do nível da qualidade das águas no ambiente em estudo, onde cada um destes, diz algo sobre ela, ou o quanto pode estar solubilizado, fornecer aspectos visuais (cor, odor, sólidos depositados), favorecer reações químicas ou biológicas, reduzir ou acelerar uma reação (autodepuração de poluentes, por exemplo), diagnosticar acerca de um ambiente poluído e contaminado, ou ainda determinar as causas e os efeitos que determinado interferente pode acarretar no seu estado atual e futuro.

2.5.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa uma escala de 0 a 14 que define se uma solução é ácida ($\text{pH} < 7,0$) neutra ($\text{pH} = 7,0$), alcalina ou básica ($\text{pH} > 7,0$), tal atividade é apresentada pela presença dos íons H^+ em uma solução. Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados (ANA, 2014). A fauna aquática que vive nas águas é bastante sensível a alterações de pH acima ou abaixo de suas características naturais, haja visto que mudanças drásticas acarretam a solubilidade de íons e nutrientes indesejáveis nas águas. Como por exemplo, podemos citar os efluentes domésticos que alteram o pH para valores básicos e dificultam o processo de autodepuração nas águas em virtude da alteração no metabolismo de

microrganismos que possuem pH ótimo e constante na reação de quebra das moléculas dos poluentes.

2.5.5.2 Temperatura da Água

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, tais como a tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos (peixes, plantas, fitoplâncton e etc.) são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução. Todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água (ANA, 2014).

Carvalho et al. (2000) verificou a existência de uma significativa relação entre o aumento da temperatura da água e dos sólidos suspensos com a condutividade elétrica na água, que pode ocorrer a partir de reações desencadeadas na fauna aquática frente ao aumento da temperatura. Ou seja, a temperatura além de interferir no equilíbrio do ecossistema e metabolismo dos organismos aquáticos, ainda causa interferência em outros parâmetros físico-químicos, como por exemplo, o oxigênio dissolvido e a quantidade de sólidos dissolvidos e suspensos nas águas.

2.5.5.3 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é vital para a preservação da vida aquática, já que vários organismos (peixes) precisam de oxigênio para respiração e realização da fotossíntese (plantas e fitoplâncton). As águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg.L^{-1} , exceto se houverem condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro. As águas eutrofizadas (ricas em nutrientes fósforo e nitrogênio) podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg.L^{-1} , situação conhecida como supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos e represas em que o excessivo crescimento das algas faz com que durante o dia, devido a fotossíntese, os valores de oxigênio fiquem mais elevados. Por outro lado, durante a noite não ocorre a fotossíntese, e a respiração dos organismos faz com que as concentrações de oxigênio diminuam bastante, podendo causar mortandades de peixes (ANA, 2014).

Efeitos sobre a remoção da mata ciliar e descaracterização das características naturais das águas tem causado impactos na redução da concentração de oxigênio dissolvido.

Plamondona et al. (1991) em seu trabalho em regiões de Oxapampa no Peru observou um significativo aumento na temperatura da água e modificações nas concentrações de pH e oxigênio dissolvido em locais onde ocorreu remoção de floresta.

2.5.5.4 Condutividade Elétrica

Conforme a CETESB (2014) a condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade das águas em conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados.

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição das águas, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2014).

2.5.5.5 Turbidez

Conforme a CETESB (2014) a turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes.

Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2014).

2.5.5.6 Sólidos Dissolvidos Totais

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Para os recursos hídricos, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2014).

2.5.5.7 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da $DBO_{5,20}$, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos (CETESB, 2014).

2.5.5.8 Sulfetos

A principal fonte de sulfeto em águas naturais é oriunda de lançamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais que contenham sulfato, em condições anaeróbias. Como visto, devido à ação biológica, ocorre à redução do sulfato. Em menor proporção, o íon sulfeto pode também ser gerado da decomposição biológica de matéria orgânica contendo enxofre, notadamente as proteínas albuminóides (PIVELI, 2001).

2.5.5.9 Nitrogênio Amoniacal (Amônia)

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal

nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. Pela legislação federal em vigor, o nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg.L⁻¹ (CETESB, 2014).

2.5.5.10 Fosfato Total

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais. O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos representam a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais (CETESB, 2014).

2.6 Gestão de Recursos Hídricos

O diagnóstico da qualidade da água é fator preponderante para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui, no Art. 5º, os instrumentos de gestão de recursos hídricos: I – os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga; a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o sistema de informações de recursos hídricos. Cabe destacar que o Sistema de Informação sobre os Recursos Hídricos inclui coletar e disponibilizar informações referentes à qualidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos a fim de orientar a preservar e o uso dos mesmos.

A nível estadual a gestão dos recursos hídricos é concebida a partir da estruturação da Lei estadual nº 3.167, de 28 de agosto de 2007 que estabeleceu praticamente os mesmos princípios e instrumentos da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estando apenas seus reflexos atrelados a aspectos regionais, que incluiu os instrumentos de Zoneamento Ecológico-

Econômico, que é um instrumento de apoio à elaboração, revisão e alteração dos Planos de Bacia e do Plano Estadual de Recursos Hídricos, ensejando sua organização a observância das seguintes regras, e o Plano Ambiental do estado do Amazonas que é um instrumento de apoio à revisão e implementação dos Planos de Bacia e do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos foi concebido no Art. 57 da Lei estadual nº 3.167/2007 com os seguintes integrantes;

I – o Conselho Estadual de Recursos Hídricos;

II – os Comitês de Bacia Hidrográfica;

III – a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), na qualidade de órgão gestor e coordenador;

IV – o Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas – IPAAM, na condição de órgão executor;

V – As agências de água, ou, enquanto estas não forem constituídos, as organizações civis de recursos hídricos legalmente constituídas.

A nível municipal, o que abrange a cidade de Manaus e os demais municípios do estado do Amazonas, a esfera de atuação foi caracterizada no Art. 55 desta lei que define;

Na implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, o Poder Executivo Municipal promoverá a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e do meio ambiente com as políticas federal e estadual de recursos hídricos (Art. 55 da Lei estadual nº 3.167/2007).

Quanto à atuação dos comitês de bacia, o estado do Amazonas possui apenas dois, instalados na cidade de Manaus, o comitê de bacia do Puraquequara e o comitê de bacia do Tarumã-Açu. Em suma importância seria a implantação de dois comitês de bacia complementares para a malha urbana de Manaus, que seria um comitê de bacia abrangendo a bacia hidrográfica do São Raimundo, cujo rio principal é o Igarapé do Mindu já fortemente impactado por ser grande receptor de poluição de resíduos sólidos e contaminação orgânica oriundas majoritariamente da absorção de efluentes domésticos e industriais lançados em seu curso de montante a jusante. Também destaca-se a implantação do comitê de bacia do Educandos, que possui como rio principal o Igarapé do Quarenta, grande receptor de efluentes industriais pela sua localização dentro do raio de abrangência do distrito industrial de Manaus, e que apresenta como principais impactos a caracterização de metais pesados em suas águas, fato já conotado em pesquisas anteriores por diversos autores (MELO et al., 2005; PINTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2012).

2.6.1 Instrumentos de Gestão

A Lei das Águas definiu os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) com o objetivo de orientar a gestão dos recursos hídricos e regular seus usos. Estes instrumentos são reproduzidos nas legislações estaduais.

- Os planos de bacia e os planos diretores estaduais e nacionais de recursos hídricos: Estabelecem objetivos, metas e diretrizes, a partir de possíveis cenários analisados para implementação do PNRH e gerenciamento dos recursos hídricos.
- A outorga de direito de uso: um ato administrativo que concede uma autorização aos usuários, por prazo determinado, que tem como objetivo ordenar e regularizar o uso da água, o direito de acesso à água e garantir o seu controle quantitativo e qualitativo (FERREIRA, 2008).
- A cobrança pelo uso da água: Conforme Ferreira (2008) ela visa financiar a implantação do sistema de gestão de recursos hídricos e das ações definidas pelos planos de bacia. Além disso, é também um instrumento econômico, ao induzir a sociedade ao uso racional dos recursos hídricos; A cobrança pelo uso dos recursos hídricos pode encontrar diversas dificuldades para viabilizar sua regulamentação e implantação. Algumas delas, de caráter técnico, relacionadas à inexistência de dados sobre:
 - i. A qualidade das águas, que deverão ser monitoradas sistematicamente;
 - ii. Os usuários da bacia,
 - iii. Os usos atuais e futuro;
 - iv. Os problemas ambientais que afetam direta e indiretamente a qualidade das águas;
 - v. As necessidades de investimentos para recuperação dos recursos hídricos.
- O enquadramento das águas: um dispositivo importante para assegurar qualidade de água compatível com os usos a que é destinada para o combate à poluição; O enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes, tem dependência aos planos de recursos hídricos ou de estudos específicos que deverá ser elaborado para esta finalidade; e do funcionamento de comitês de bacia e de sua respectiva agência; pois segundo o PNRH, a agência é que deverá elaborar os estudos e propor o enquadramento (FERREIRA, 2008).

- O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: ele reúne dados físicos e socioeconômicos sobre o uso da água e da disponibilidade hídrica, integrando as inúmeras variáveis necessárias ao gerenciamento das águas das bacias.

Cada instrumento tem sua importância no desenvolvimento da gestão de Recursos Hídricos seja a nível federal, estadual ou municipal. Eles são importantes para deliberar acerca de conflitos, diagnóstico, avaliação de tendências em bacias hidrográficas, criação de comitês de bacia, preservação dos recursos hídricos, proteção dos recursos estratégicos (reservas subterrâneas), promover na bacia os usos múltiplos dos recursos hídricos, estabelecer diretrizes para utilização dos recursos hídricos sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, atribuir valor econômico a água, desenvolver tecnologias para monitoramento da quantidade e qualidade das águas visando sua preservação e disponibilidade para esta geração e futuras, ou seja, estes instrumentos firmam as bases para um desenvolvimento alicerçado no eixo básico da vida; a essencialidade social, ambiental e econômica que a água tem para a sobrevivência humana e o equilíbrio dos ecossistemas.

Ainda que o detalhamento de todos os instrumentos seja de sobremodo importante, no corpo deste trabalho serão discutidos os conceitos e diretrizes de apenas dois instrumentos; o Sistema de Informações de Recursos Hídricos por abranger a atuação e construção do protótipo de aplicativo móvel, e também a discussão do instrumento de Enquadramento, que se apoia sumariamente nas diretrizes da resolução CONAMA nº 357/2005, um dos prismas deste trabalho.

2.6.1.1 Sistemas de Informações de Recursos Hídricos

Um Sistema de Informação (SI) é um sistema cujo elemento principal é a informação. Seu objetivo é armazenar, tratar e fornecer informações de modo a apoiar as funções ou processos de uma organização (ANA, 2013).

Como desdobramento a nível nacional do levantamento de informações sobre os recursos hídricos o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) foi concebido como um instrumento de gestão de recursos hídricos previsto na Lei das Águas (9.433/97) cujos objetivos são coletar, tratar, armazenar e recuperar informações sobre a água, além de reunir, dar consistência e divulgar dados e informações quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos pertencentes ao território brasileiro. De maneira geral, este sistema garante à sociedade o acesso rápido e preciso às informações atualizadas sobre recursos

hídricos (ANA, 2013). Sua importância foi destacada pela Agência Nacional de Águas (2013) no trecho;

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos é necessário para diversas finalidades, tais como facilitar a integração das ações relacionadas à gestão de recursos hídricos nos níveis federal, estadual e municipal, suprir as necessidades dos atores envolvidos na gestão da água. Tem por objetivo fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (Art. 27, inciso III, Lei 9433/97); funcionar como ponto de referência central para o desenvolvimento dos instrumentos de enquadramento, outorga e cobrança de recursos hídricos, previstos no Art. 5º, incisos II, III e IV da Lei 9433/97, integrados por bacia hidrográfica, conforme preceituado pelo inciso IV do Art. 1º da mesma lei, e da fiscalização dos usos, nos mesmos moldes (ANA, 2013, p.4).

Além disso, outra função do SNIRH é sua utilização como ferramenta de apoio à decisão para os participantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela ANA, por conselhos estaduais de recursos hídricos, comitês de bacia, agências de água e órgãos cujas competências se relacionem à gestão destes recursos (ANA, 2013).

As características deste instrumento previsto na Lei 9433/97 possuem reflexo a nível estadual com a implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), conforme previsto na Lei estadual do Amazonas nº 3.167, de 28 de agosto de 2007 onde no Art. 62 a operacionalização do sistema e estudos técnicos necessários para elaboração de propostas orçamentárias de custeio e financiamento das atividades do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos a nível estadual. Ainda que na Lei estadual não esteja previsto o desmembramento destas ações, ou a forma que seria implantado, onde, quando, ou porque, ainda assim, esta sumariamente previsto na Lei as bases para se estabelecer um sistema de informações de recursos hídricos a nível estadual, e se este sistema baseia-se a nível federal, então consideramos que teriam os mesmos objetivos o fortalecimento e subsídios aos planos estaduais de recursos hídricos administrados pelos órgãos gestores de recursos hídricos a nível estadual, como secretarias de meio ambiente, comitês de bacia, agências de bacia e etc.

Ainda que a Política Estadual de Recursos hídricos do estado do Amazonas esteja em fase de desenvolvimento e firmamento de suas bases, já possui ordenamento jurídico para a discussão e implantação de um sistema de informações de recursos hídricos a nível estadual.

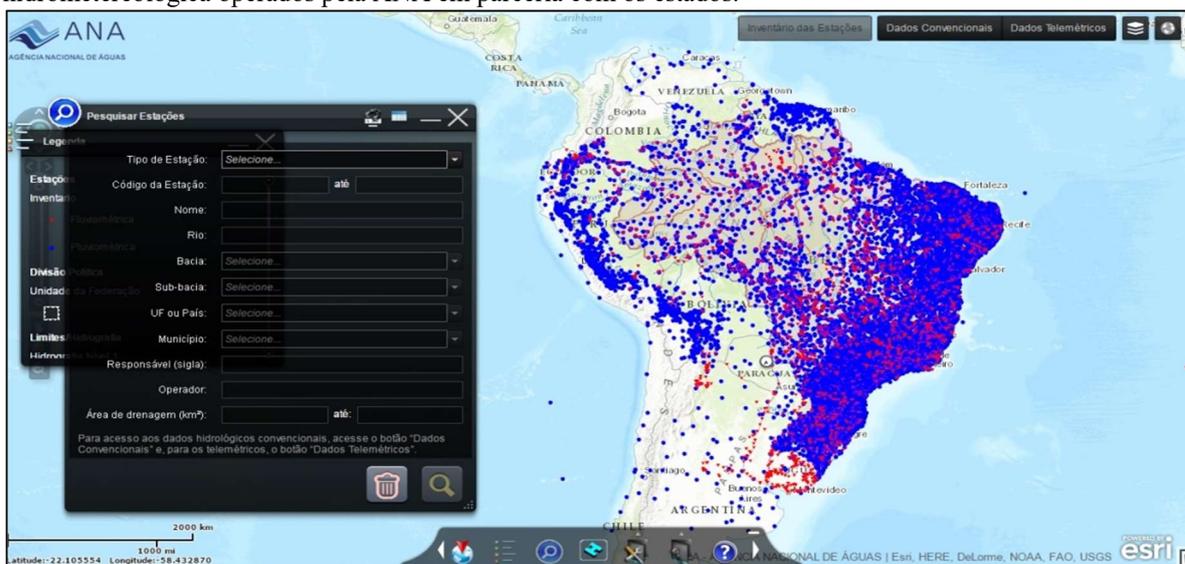
2.6.1.2 Gestão e Análise de Dados Hidrológicos

Dentro do raio de atuação do sistema de informações de recursos hídricos foram concebidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) diversos softwares para o acompanhamento das características e evolução dos fenômenos hidrológicos. Entre estes

softwares disponibilizados encontra-se o Hidroweb, que foi elaborado justamente para fornecer um banco de dados para aglutinar as informações coletadas pela rede hidrometeorológica nacional e reunir dados sobre; cotas, vazões, chuvas, evaporação, qualidade da água, sedimentos etc.

Os dados coletados pelas estações de monitoramento são utilizados para produzir estudos, definir políticas públicas e avaliar a disponibilidade hídrica. Por meio dessas informações, a Agência Nacional de Águas (ANA) monitora eventos considerados críticos, como cheias e estiagens, disponibiliza informações para a execução de projetos, identifica o potencial energético, de navegação ou de lazer em um determinado ponto ou ao longo da calha do manancial, caracteriza as condições dos corpos d'água para atender a projetos de irrigação ou de abastecimento público. Na Figura 20 é ilustrado a interface e design gráficos disponíveis no sistema Hidroweb.

Figura 20 - Interface amigável do software Hidroweb permite fácil acesso as informações sobre dados Hidrometeorológicos e de qualidade das águas. Os pontos em azul representam a localização das estações hidrometeorológica operados pela ANA em parceria com os estados.



Fonte: ANA/Hidroweb.

Apesar do estado do Amazonas e a capital Manaus ainda não possuírem dados de qualidade das águas neste software, tomando como exemplo um cenário em que informações sobre a bacia hidrográfica do São Raimundo da zona urbana de Manaus-AM, estivessem compiladas com os dados; vazão, precipitação, nível e qualidade das águas, seria possível simular um cenário futuro de prevenção de desastres (inundações, alagamentos, e etc.), áreas fortemente impactadas por contaminantes, estabelecer ações para despoluição de trechos, estabelecer possíveis áreas de risco de saúde pública, ações de educação ambiental e propor limites para proteção de nascentes e etc. Estes programas de computador (software)

contribuiriam como ferramentas eficazes para o desenvolvimento dos gestores de recursos hídricos do estado do Amazonas e principalmente para cidade de Manaus, que possui o maior contingente populacional do estado e apresenta seus córregos urbanos fortemente impactados pela ação antrópica.

2.6.1.3 Enquadramento e Resolução CONAMA nº 357/2005

O enquadramento busca “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (art. 9º, Lei nº 9.433, de 1997). Segundo a Agência Nacional de Águas (2009) o enquadramento de rio ou de qualquer outro corpo d’água deve considerar três aspectos principais:

- o rio que temos: condição atual;
- o rio que queremos: representa uma visão de futuro;
- o rio que podemos ter: uma visão realista que representa as limitações técnicas/econômicas.

O enquadramento dos corpos d’água representa referência para o licenciamento ambiental, a outorga e a cobrança, assim como base para a execução do plano de recursos hídricos. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. As classes de corpos de água existentes no território brasileiro são classificadas em águas doces, salobras e salinas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 13 (treze) classes de qualidade.

As águas doces são classificadas em 5 (cinco) classes possíveis, as quais vão desde os usos mais nobres, classe especial, até os menos nobres, classe 4 (quatro), tendo como critérios, parâmetros máximos permitidos para cada classe, assim como usos permitidos, conforme descrição abaixo;

- A classe 1 (um) é destinada ao consumo humano (após tratamento simplificado), a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, e ainda a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

- A classe 2 (dois) é destinada ao consumo humano (após tratamento convencional), a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e a aquicultura e a atividade de pesca.
- A classe 3 (três) é destinada ao consumo humano (após tratamento convencional ou avançado), a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, a pesca amadora, a recreação de contato secundário, e a dessedentação de animais.
- E por fim, a classe 4 (quatro) que é destinada apenas a navegação e a harmonia paisagística. A Tabela resume as classes e os limites da resolução CONAMA nº357/2005 dos principais parâmetros avaliados neste estudo.

Na Tabela 2 são resumidos os principais parâmetros físico-químicos avaliados neste estudo e que possuem limites preconizados na resolução CONAMA 357/2005 nas classes de 1 (um) a 4 (quatro).

Tabela 2 - Condições dos parâmetros avaliados neste estudo para as classes de 1 a 4 da resolução CONAMA nº357/2005.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH (N/A)	Entre 6,0 e 9,0			
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Não inferior a 6 mg.L ⁻¹	Não inferior a 5 mg.L ⁻¹	Não inferior a 4 mg.L ⁻¹	Não inferior a 2 mg.L ⁻¹
Turbidez* (NTU)	Até 40 NTU	Até 100 NTU	Até 100 NTU	-
Sólidos totais dissolvidos* (STD)	Até 500 mg.L ⁻¹	Até 500 mg.L ⁻¹	Até 500 mg.L ⁻¹	-
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹) - p/ pH<7,5	3,7	3,7	13,3	13,3
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹) - p/ pH>7,5	2	2	5,6	5,6
Fósforo inorgânico (fósforos)	0,10 mg.L ⁻¹	0,10 mg.L ⁻¹	0,15 mg.L ⁻¹	-
Sulfetos (mg.L ⁻¹)*	0,002	0,002	0,3	-

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005; *Não possui valor estipulado pela Resolução para a Classe 4.

No cerne desta questão a nível estadual verifica-se que o estado do Amazonas ainda não progrediu frente às etapas de enquadramento e estabelecimento de metas para os níveis de qualidade propostos por esta resolução. A lei estadual nº 3.167/2007 em seu Art.4º adota o enquadramento como um dos instrumentos de gestão do estado, delimita no Art. 7º que este instrumento constará na elaboração do plano estadual de recursos hídricos, e no Art. 13º define como características que o enquadramento obedecerá às especificidades dos ecossistemas amazônicos, sendo as classes de corpos de água estabelecidas por legislação específica. O legislador ainda justificou que o enquadramento está atrelado ao Zoneamento Ecológico-Econômico no Art. 41º desta lei ao descrever que “o enquadramento dos cursos de água em classes de uso preponderante será realizado, observando, sempre que houver o Zoneamento Ecológico-Econômico da região em que se localiza a bacia hidrográfica correspondente”.

Desta forma o enquadramento de um rio amazônico a nível estadual ou municipal, na cidade de Manaus está previsto como instrumento do Plano estadual de recursos hídricos do estado do Amazonas, onde este no momento encontra-se em fase de licitação conforme ANA (2018). A legislação possui as bases para se estabelecer gestão de recursos hídricos, todavia o estado ainda caminha no sentido da organização e construção das bases destes instrumentos.

O objetivo deste trabalho a nível estadual de discussão da resolução CONAMA nº 357/2005 será o diagnóstico de um rio urbano, o Igarapé do Mindu, e a constatação de seus níveis de qualidade conforme preconizado pela resolução. A medida que o Plano estadual de recursos hídricos se desenvolva e estabeleça metas de controle para rios urbanos da cidade de Manaus, este instrumento a nível estadual poderá absorver como características e níveis de qualidade das águas urbanas da cidade, os resultados obtidos neste trabalho, somado a outros trabalhos realizados neste cunho na cidade de Manaus, haja visto que a cidade possui quatro grandes bacias hidrográficas em sua malha urbana, e uma necessidade essencial de se estabelecer políticas de recursos hídricos compatíveis com o desenvolvimento da cidade.

Seja para caracterizar áreas de desastres, fortalecimento da gestão ambiental e elaboração de ações de educação ambiental, correlacionar estes dados com saúde pública, proteção das áreas de preservação ambiental e propostas de ampliação destas, combate ao avanço irregular sobre as margens dos igarapés da cidade, desenvolvimento de políticas de resíduos sólidos, e fortalecimento dos órgãos gestores de recursos hídricos da cidade de Manaus.

2.7 Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)

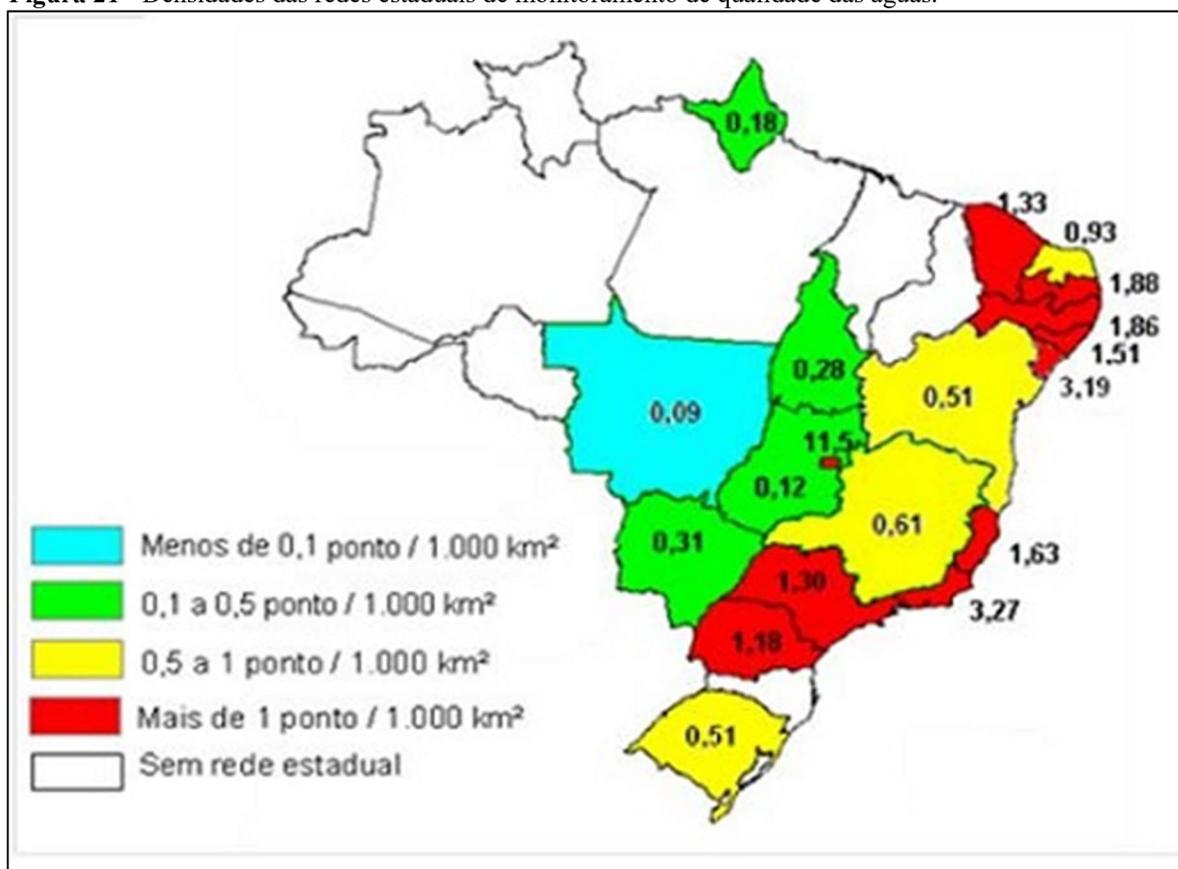
O PNQA surgiu a partir de necessidades relacionadas ao monitoramento da qualidade das águas no Brasil, fator determinante para a gestão dos recursos hídricos, para a solução de conflitos entre os diversos usos da água. No Brasil, há vários problemas relacionados à falta de padronização e de informações sobre a realização de coletas e análises laboratoriais o que torna os resultados, muitas vezes, pouco confiáveis e de difícil comparação entre regiões distintas. Essa situação, somada ao fato de a divulgação das informações para a população e os tomadores de decisão ser insuficiente na maioria das Unidades da Federação, gera dificuldades para a análise efetiva da evolução da qualidade das águas e elaboração de um diagnóstico nacional (ANA, 2009).

Este programa PNQA foi lançado pela Agência Nacional de Águas com esta finalidade, oferecer à sociedade conhecimento adequado sobre a qualidade das águas superficiais brasileiras, de forma a subsidiar os tomadores de decisão (agências governamentais, ministérios, órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente) na definição de políticas públicas para a recuperação da qualidade das águas, contribuindo assim com a gestão sustentável dos recursos hídricos. A Agência Nacional de Águas (2013) destaque no trecho;

Nem todos os Estados brasileiros possuem condições de monitorar a qualidade de suas águas, tanto pelos elevados custos da logística envolvida, quanto pela ausência de pessoal capacitado para a tarefa, o que resulta em vazios no monitoramento (Figura 2). Assim, para ampliar o conhecimento da qualidade das águas no Brasil é fundamental eliminar as lacunas geográficas e temporais no seu monitoramento (ANA, 2013, p.9).

Na Figura 21 é apresentado o mapa da situação das redes estaduais de monitoramento da qualidade das águas a nível nacional. O estado do Amazonas ainda possui não rede estadual de monitoramento constituída, não possuindo dados de qualidade das águas para avaliação de suas políticas de recursos hídricos. Todavia no ano de 2014 o estado celebrou em parceria com a Agência Nacional de Águas o contrato de estabelecimento de metas de gerenciamento de recursos hídricos no âmbito do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (PROGESTÃO), apresentando desta forma uma perspectiva de desenvolvimento da gestão de recursos hídricos a nível estadual.

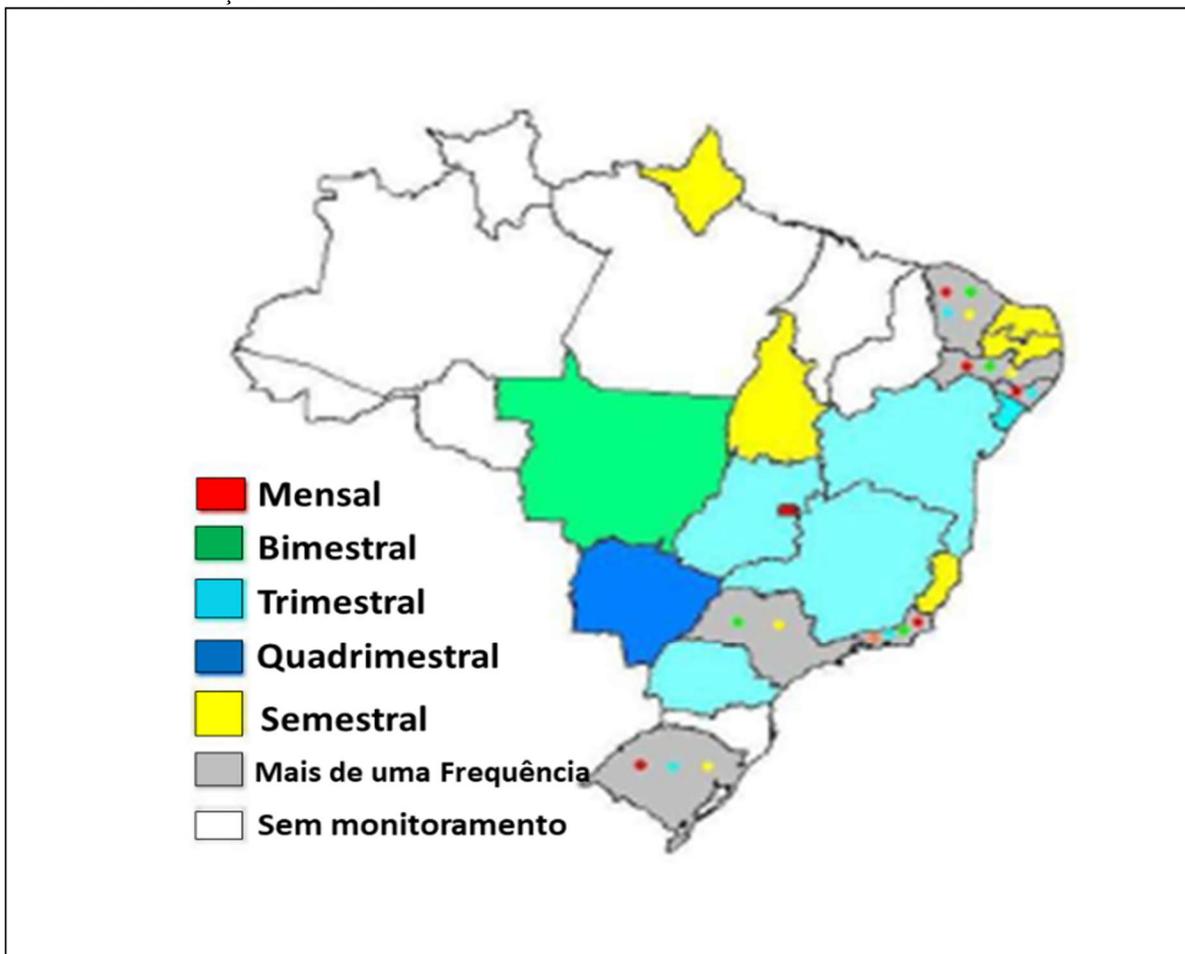
Figura 21 - Densidades das redes estaduais de monitoramento de qualidade das águas.



Fonte: ANA (2013).

Em relação a coleta e amostragem das águas para análises conforme ANA (2009) destaca, não há procedimentos padronizados no Brasil para coleta e preservação de amostras de qualidade de água. Assim, duas amostras retiradas num mesmo trecho de rio, por exemplo, podem apresentar resultados distintos, se realizadas por diferentes instituições. No entanto, no sentido de se buscar uma maior padronização de dados e de análises, o país criou algumas legislações específicas, como a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que determina os protocolos de análises que devem ser seguidos. Somado a estas questões os estados construíam seu levantamento de dados pautados em planos de frequência de amostras de diferentes períodos, alguns mensal, outros bimestrais, trimestral e até semestral, conforme Figura 22.

Figura 22 - Frequências de coleta de amostras das Unidades da Federação antes da elaboração do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.



Fonte: ANA (2013).

Concernente a esta questão foi lançado e difundido através da Resolução ANA n° 724/2011 a elaboração do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, concebido em parceria entre Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB), este documento foi distribuído e incentivado sua disseminação entre os estados, para que estes possam colaborar com o fortalecimento e acompanhamento dos dados de qualidade de água a nível local, e posteriormente envio destes dados a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas (RNQA). O objetivo deste levantamento será o acompanhamento dos níveis de qualidade das águas dos estados e municípios, diagnóstico, e subsídios aos agentes gestores de recursos hídricos a nível federal, estadual e municipal, como secretarias de meio ambiente e/ou recursos hídricos, comitês de bacia, agência de bacia, e etc.

No desenvolvimento deste trabalho foi adotada a metodologia contida no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, tanto para as análises realizadas no campo, quanto para as análises de laboratório, dentro de uma frequência estipulada de 3 (três meses).

2.8 Desenvolvimento de Aplicativos Móveis

Na busca de ferramentas acessíveis para o desenvolvimento da gestão de recursos hídricos estadual e federal, este trabalho propõe a fusão de áreas que possuem interseção, como o sistema de informações de recursos hídricos e a qualidade das águas. Pautado nesta questão buscou-se desenvolver um sistema (software) que possa conceber dados de qualidade das águas de parâmetros físico-químicos obtidos no campo e em laboratório, para disposição dessas informações em tecnologias modernas atuais, como os aplicativos móveis e a disponibilização de um web site contendo dados e informações de diagnóstico da área de estudo escolhida, neste caso o Igarapé do Mindu, pertencente a bacia hidrográfica do São Raimundo, zona urbana de Manaus.

Os aplicativos móveis (Apps) conforme Silva et al. (2015) são produtos projetados e desenvolvidos para serem executados especificamente em dispositivos eletrônicos móveis, tendo como comuns os PDA's também conhecidos como palmtops, tablets, leitores de mp3, telefones celulares, e smartphones mais modernos e com larga capacidade de armazenamento e processamento.

Um aplicativo móvel pode ser baixado diretamente do aparelho eletrônico, desde que o dispositivo possua conexão com a Internet. A gama de fornecedores que disponibilizam aplicativos para download através de lojas virtuais como a Apple Store-loja virtual da Apple, Play Store – loja virtual do Google para o sistema operacional Android, Windows Phone Store – loja virtual da Microsoft para Windows Phone (entre outras diversas lojas para seus respectivos sistemas operacionais) é enorme, e é possível encontrar todo tipo e gênero de aplicação. O número de download destas aplicações está em expansão em ritmo muito forte (SILVA et al., 2015).

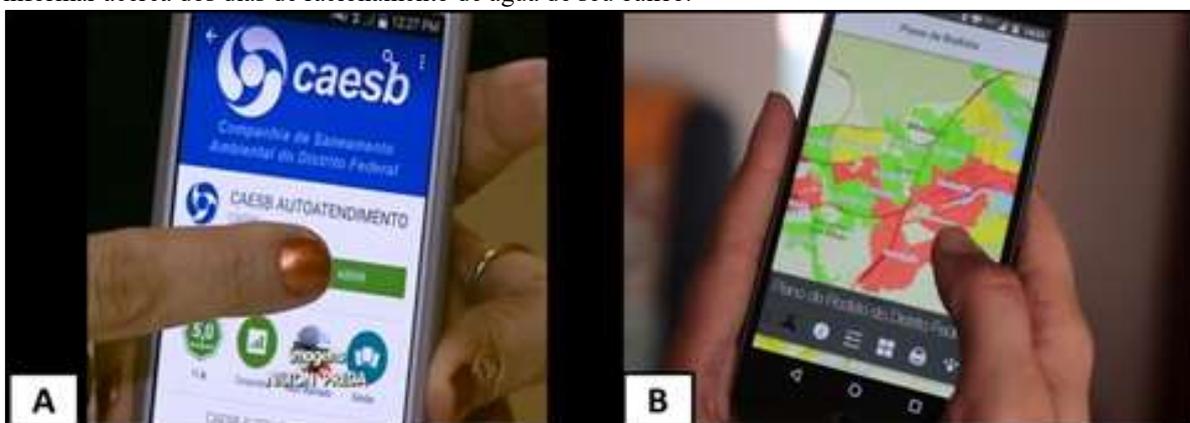
A definição de Miller e Matviyenko (2014) para os aplicativos reflete a escala de desenvolvimento e fusão dos computadores modernos com a telefonia móvel;

Um app é uma aplicação abreviada de um software - figurativamente e literalmente, linguisticamente e tecnicamente: aplicativos são pequenos programas - partes de software projetados para aplicar o poder de um sistema de computação para um propósito particular (MILLER e MATVIYENKO, 2014, p.18).

A busca por pequenas soluções em uma sociedade hiperconectada (MILLER e MATVIYENKO, 2014) fez com que os aplicativos invadissem todos os aspectos da vida moderna. Estima-se que usuários de smartphones já passem cerca de 89% de seu tempo despendido em mídia em aplicativos móveis (NIELSEN, 2014).

Conforme Lima (2017) da mesma forma que a evolução tecnológica permitiu que a sociedade identificasse em redes e dispositivos novas possibilidades para suas necessidades de interação e execução de tarefas, a administração pública também tem buscado nas tecnologias de informação e comunicação, soluções para o relacionamento entre governos e cidadãos e para a melhoria da atuação do Estado. Conforme a Figura 23 o aplicativo denominado “CAESB Autoatendimento” elaborado pela Companhia de Saneamento de Água e Esgoto do Distrito Federal-DF, buscou integrar a participação da sociedade no contexto ambiental, administrativo e racional do saneamento básico da cidade.

Figura 23 - Em (A) Aplicativo da CAESB disponível para usuários no Google Play Store. (B) usuário pode se informar acerca dos dias de racionamento de água de seu bairro.



Fonte: CAESB - DF

Além do aplicativo fornecer todo o histórico financeiro e pagamento pelo celular do usuário, como funcionalidades ainda estão previstas a participação dos usuários nos eventos de vazamento de água pela cidade, o estudos de balneabilidade de lagos, o consumo médio durante o mês do usuário, a denúncia de irregularidade e ligações clandestinas, e plano de rodízio de racionamento de água da cidade conforme Figura 24.

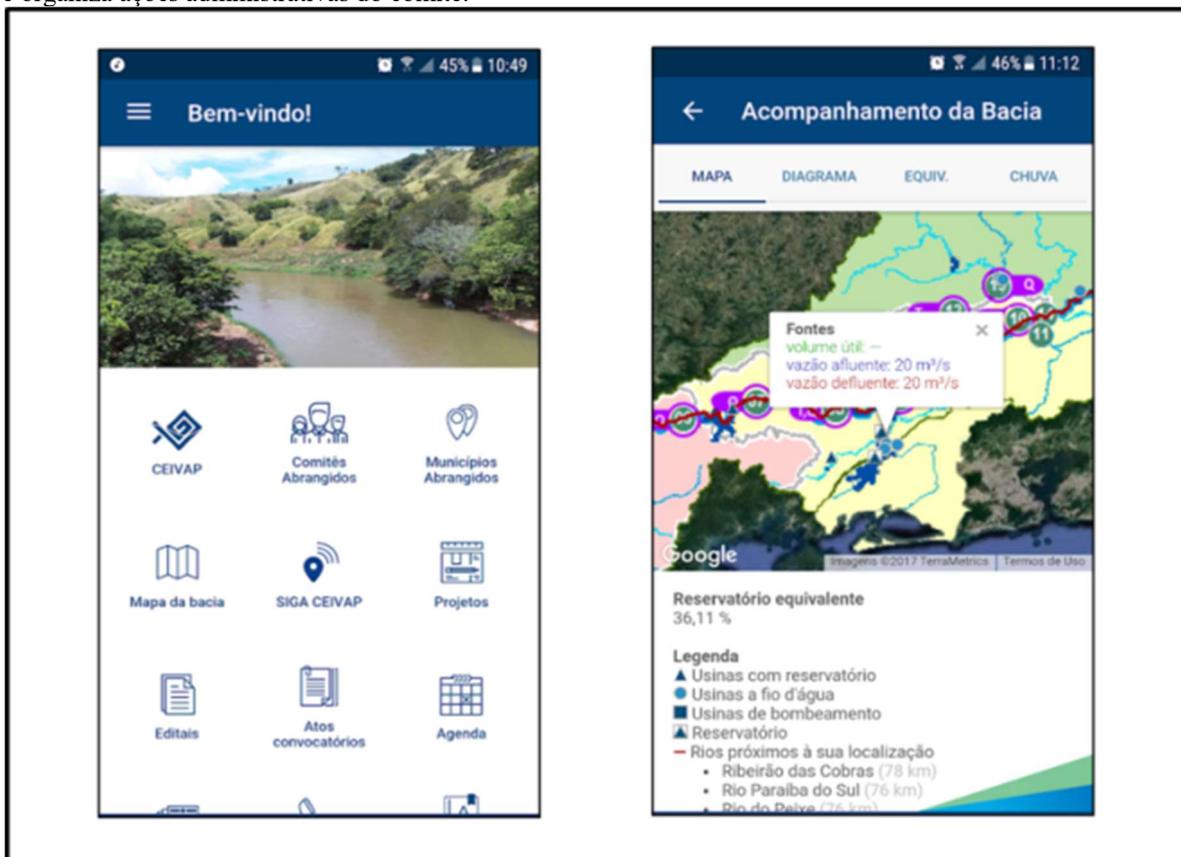
Figura 24 - Aplicativo da CAESB fornece várias funcionalidades para usuário e integração no compartilhamento de responsabilidades da cidade.



Fonte: CAESB – DF

Na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias já existe atualmente aplicativos voltados para o compartilhamento de informações e gestão participativa das águas. O Comitê Federal de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP disponibilizou um aplicativo para divulgação das ações e divulgação de informações hidrológicas de quantidade de água e de atividades administrativas do comitê para que a sociedade possa atuar na gestão da bacia. Na Figura 25 são apresentados exemplos de ações do aplicativo.

Figura 25 - Aplicativo do Comitê de bacia do Rio Paraíba do Sul fornece informações para os usuários da bacia e organiza ações administrativas do comitê.



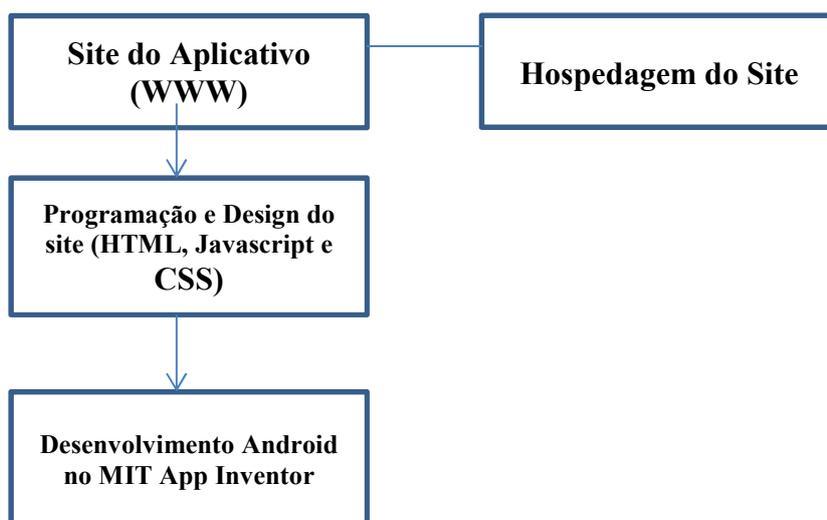
Fonte: CAESB - DF

2.8.1 Construção de Aplicativos WEB APP

No desenvolvimento deste trabalho o formato de construção de aplicativos móveis, deu-se a partir de um sistema Web App, que representa um site desenvolvido para dispositivos móveis. Possui uma programação que reconhece a forma de acesso do usuário por um smartphone e se adapta a ele, ou seja, possui uma característica responsiva, que significa que ele se adapta aos mais diversos formatos; seja computador desktop, celular ou tablet.

Segundo El-Kassas et al. (2015) o desenvolvimento de aplicativos móveis diferencia-se do desenvolvimento de outros tipos de software por possuir particularidades e restrições. Os desenvolvedores devem ter em mente aspectos como as capacidades do dispositivo móvel, a mobilidade, as especificações dos dispositivos, o design e navegabilidade de interface do usuário, segurança e privacidade do usuário. Na Figura 26 consta as etapas de desenvolvimento do aplicativo móvel a partir de um sistema Web App.

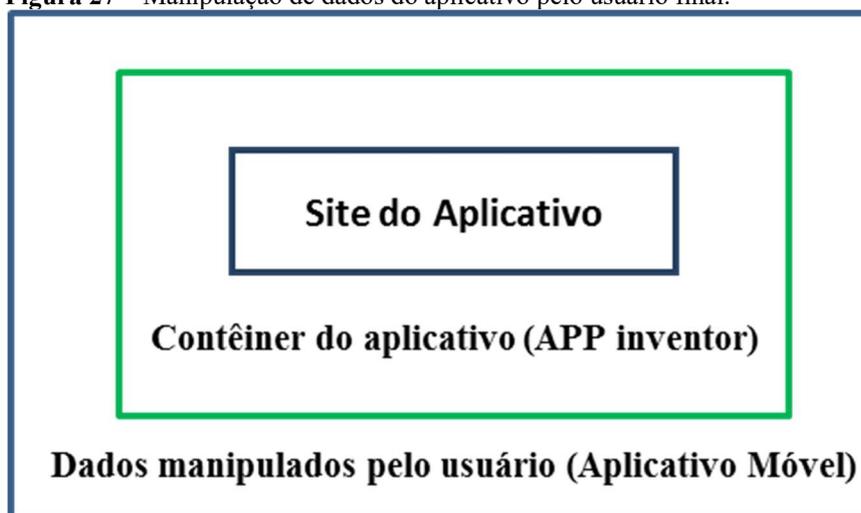
Figura 26 - Fluxograma de desenvolvimento de aplicativo móvel Web App.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Em resumo o aplicativo foi concebido a partir de dois passos independentes; através da criação de um site e hospedagem comercial deste site para armazenamento dos dados coletados no campo; e a partir do desenvolvimento do aplicativo de plataforma Android realizado previamente no software MIT App inventor, com a devida intenção de criar as funcionalidades de contêiner do aplicativo. A partir da criação do web site, as informações contidas na internet são então convertidas para um aplicativo móvel (app), que é previamente simulado no software MIT App inventor, cuja finalidade é de preparação deste site para convertê-lo em App. Na Figura 27 constam os dados que são manipulados pelo usuário final do aplicativo móvel.

Figura 27 – Manipulação de dados do aplicativo pelo usuário final.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

De forma didática o aplicativo construído no App inventor vai até a página da internet criada (www) e converte as telas do site em um aplicativo móvel, um chamado Web

App e o entrega para o usuário final, após o download (transferência) do usuário em seu smartphone.

2.8.2 Desenvolvimento Android

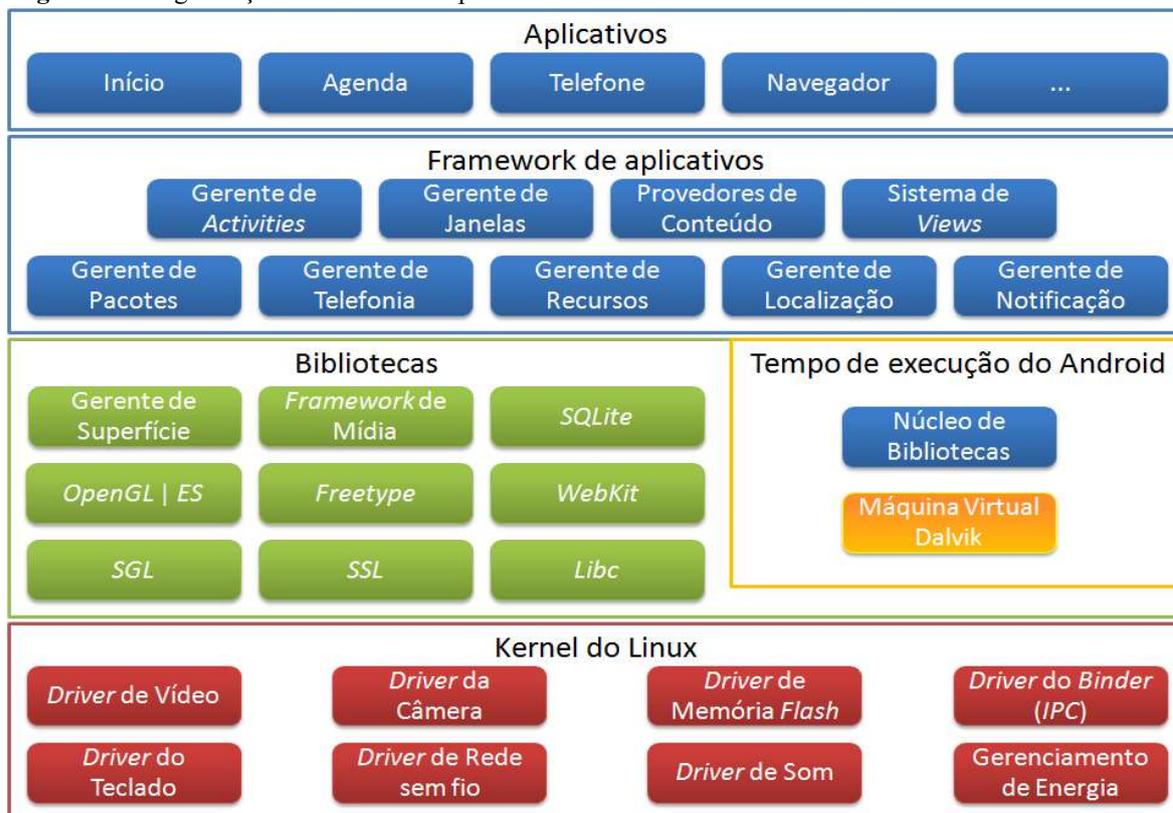
O sistema operacional Android foi criado pela startup homônima Android Inc. em outubro de 2003. Em agosto de 2005 foi adquirido pela empresa Google, que lançou em novembro de 2007, juntamente com a OHA, o sistema Android, open-source e baseado no Kernel do Linux. Uma semana depois, foi liberada a primeira versão do *SDK* para Android. O sistema foi concebido originalmente para câmeras fotográficas, no entanto, foi percebido por seus criadores um mercado maior no ramo da telefonia e desviou-se o foco para smartphones, competindo diretamente com Symbian e Windows Mobile (PAPAJORGJI, 2015).

As aplicações Android são implementadas através da linguagem Java, bastante popular e muito utilizada por vários programadores para diversos fins, é uma linguagem orientada a objetos de fácil aprendizado e que possui um grande número de funções prontas que facilita o desenvolvimento provendo agilidade e produtividade (PAPAJORGJI, 2015). Em resumo a plataforma Android funcionaria como a roupa do aplicativo móvel, o formato de entrega do aplicativo para os usuários.

2.8.2.1 Arquitetura Android

Geralmente a plataforma é representada em forma de camadas onde as camadas mais abaixo proveem serviços e funções às camadas acima (LECHETA, 2010) conforme Figura 28.

Figura 28 - Organização em camadas da plataforma Android.



Fonte: Lecheta (2010).

Na camada mais alta estão as aplicações, ao serem executadas os usuários conseguem manipular e executar as operações da forma que foram programadas, como por exemplo, tirar uma foto e salvá-la, registrar dados em uma aplicação que controla alguma atividade, utilizar o GPS para obter informações de localizações, dentre outras.

As aplicações são implementadas utilizando os frameworks de aplicação que são ferramentas que simplificam a manipulação de bibliotecas nativas do sistema operacional. Os programadores de aplicações trabalham utilizando esses frameworks tendo acesso a todos os recursos que podem ser incorporados como funcionalidades nas aplicações, assim é por meio dos frameworks que o programador acessa a interface gráfica, o armazenamento do dispositivo, GPS e outros mais (STRICKLAND, 2016).

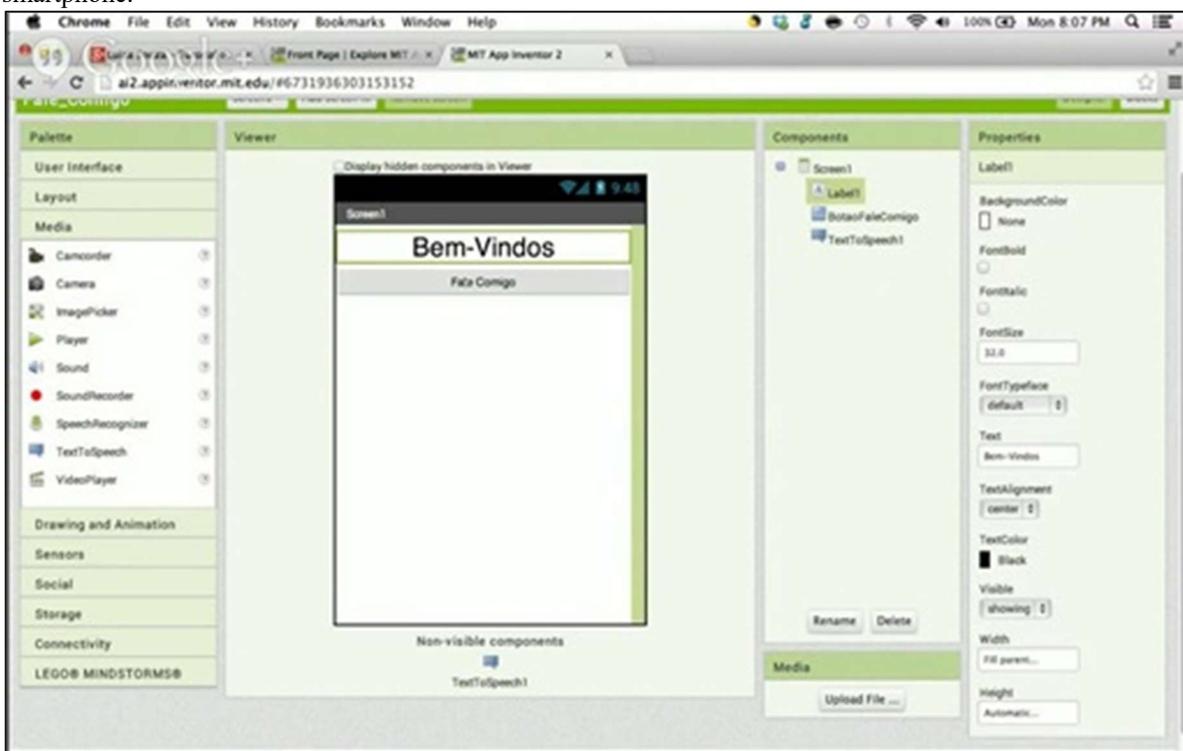
Logo abaixo da camada de frameworks de aplicação, estão as bibliotecas nativas do sistema operacional. Geralmente essas bibliotecas nativas são construídas em linguagem C e C++, são elas que fornecem o suporte básico ao sistema, como por exemplo, operações com a interface gráfica, operações com banco de dados, áudio e outros mais. Esse suporte básico é facilitado ainda mais pelos frameworks, para que os programadores tenham agilidade e facilidade de criar as aplicações com funcionalidades interessantes (STRICKLAND, 2016).

Na camada Linux Kernel está localizado o sistema operacional da plataforma, que é baseado no Linux. Ela é responsável por serviços de mais baixo nível da plataforma, como gerenciamento de memória e processos, segurança, etc. o Linux Kernel é onde estão todas as conexões do software com o hardware, ou seja, a interligação dos componentes com o sistema (LECHETA, 2010).

2.8.3 Criação de Aplicativos no MIT App Inventor

O MIT App Inventor é um aplicativo que nos direciona o passo a passo para a criação de aplicativos para Android. O App Inventor é uma plataforma web de código aberto desenvolvida pela Google e, atualmente, mantida pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). O MIT App Inventor tem um viés educacional e amplamente didático para a construção de aplicativos, por isso foi a plataforma utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Na Figura 29 consta a tela inicial e o formato de apresentação do aplicativo MIT App inventor.

Figura 29 - Tela do aplicativo App inventor possibilita incluir instruções no desenvolvimento do aplicativo para smartphone.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

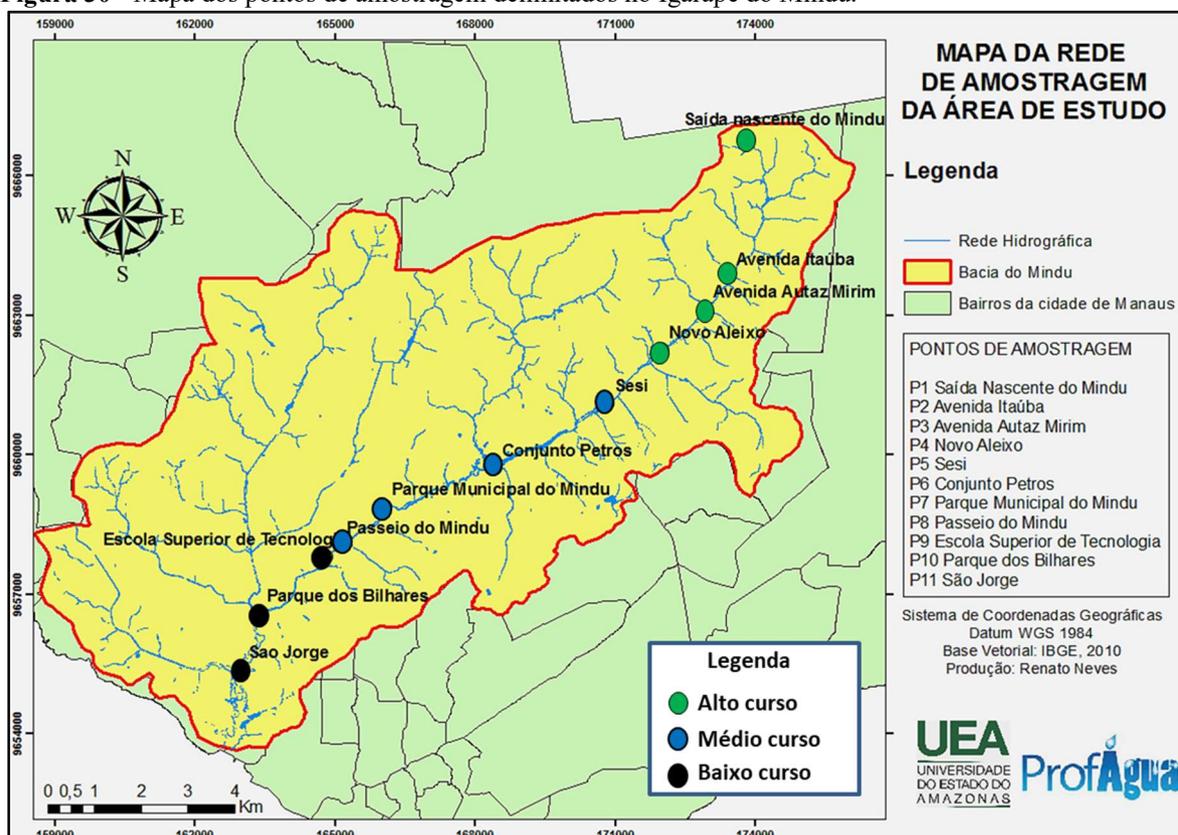
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área selecionada para o estudo foi a microbacia do Igarapé do Mindu onde foram selecionados pontos de amostragem para monitoramento da qualidade das águas no curso principal do Igarapé (Figura 30). Por ser o principal tributário da bacia hidrográfica do São Raimundo e receber contribuições de sub-tributários localizados nos bairros adjacentes, foi selecionado apenas o “curso principal” do igarapé. Seus aspectos físicos, topográficos e geológicos fazem deste rio um grande receptor de poluição e contaminação oriundas de fontes diversas, sendo majoritariamente de efluentes domésticos, resíduos sólidos e efluentes industriais. O RIMA-PROSAMIM (2012) corrobora com esses dados ao afirmar, acerca do curso principal do Igarapé do Mindu, que:

A sinuosidade de seu traçado, a amplitude do canal, a declividade suave e irregularidades do leito favorecem a redução da velocidade de escoamento e consequente retenção de água/ deposição dos sólidos transportados, abrangendo desde sedimentos (partículas coloidais à areia grossa) a resíduos que o córrego tenha capacidade para transportar, aos quais se juntam toda sorte de rejeitos descartados pelos habitantes/usuários locais; lixo doméstico, eletrodomésticos, peças de mobiliário, fragmentos de embarcações, embalagens de produtos perigosos, etc. (RIMA-PROSAMIM, 2012, p.70).

Figura 30 - Mapa dos pontos de amostragem delimitados no Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Apenas o curso principal do Igarapé do Mindu possui nascentes protegidas, tendo inclusive um mecanismo de gestão criado para sua proteção, o Centro de Vigilância e Monitoramento instalado no Parque Municipal Nascentes do Mindu, que foi criado através de Decreto Municipal nº 8351 de 17 de março de 2006. Os demais contribuintes do Igarapé do Mindu, nas adjacências do curso principal e inseridos na bacia hidrográfica do São Raimundo, apresentam igualmente a este trecho, degradação de seus cursos e nascentes por fontes antrópicas. O RIMA-PROSAMIM (2012) destaca de modo geral que

As áreas de cabeceira da bacia do São Raimundo se encontram integral ou parcialmente degradadas pela ocupação antrópica, desprovidas ou minimamente protegidas pela mata ciliar e circundadas por terrenos impermeabilizados, que interferem diretamente na vazão do corpo hídrico superficial e na recarga dos aquíferos subterrâneos, ou seja, das próprias nascentes. (RIMA-PROSAMIM, 2012, p.70).

Na Figura 31 encontra-se o estado de algumas das nascentes dos sub-tributários do Igarapé do Mindu, que se apresentam completamente descaracterizadas e modificadas pela ação antrópica e falta de iniciativa do poder público para efetivar a proteção das nascentes. Segundo o Art. 4º inciso IV do Código Florestal de 2012, é considerada como Área de Preservação Permanente (APP) as áreas do entorno das nascentes, qualquer que seja a situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros. Devem, portanto ser efetivadas políticas de proteção e vigilância das nascentes como responsabilidade do poder público estadual, da mesma forma que foi criado através de decreto municipal, o Parque Nascentes do Mindu.

Figura 31 - As nascentes dos contribuintes do Igarapé do Mindu apresentam-se sob degradação. Em (A) verifica-se nascente na Rua Cubatão, no bairro Redenção, isolada por moradores para consumo próprio. Em (B) nascente na localidade denominada Beco das Fontes, no Conjunto Hiléia, cuja vazão é derivada para consumo pelos moradores locais.



Fonte: RIMA-PROSAMIM (2012).

3.2 Planejamento da Amostragem

Foram selecionados 11 (onze) pontos na etapa de planejamento, previamente referenciados por coordenadas geográficas. As coletas e análises foram realizadas a cada trimestre, sendo 10 (dez) parâmetros analisados em cada ponto, totalizando 330 análises durante a pesquisa. O principal critério de seleção foi à acessibilidade, para que os procedimentos de coleta e transporte de equipamentos pudessem ser realizados. Outro critério de seleção foi a avaliação visual de impacto de influência antrópica. Foi utilizado como ferramenta de auxílio o “Google Maps” para localização dos pontos de amostragem no mapa da zona urbana de Manaus (Figura 32), e o “Google Street View” para determinação das condições de acesso aos pontos de amostragem. Os pontos selecionados são apresentados na Tabela 4.

Figura 32 - Pontos de amostragem do Igarapé Mindu selecionados com a ferramenta Google Maps.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

As coordenadas geográficas e a localização destes pontos no curso do igarapé estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 3 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.

Ponto de Coleta	Coordenada geográfica	Localização em Manaus
Saída Nascentes do Mindu (P1)	3°00'36.8"S e 59°56'02.6"W	Jorge Teixeira (Alto curso)
Avenida Itaúba (P2)	3°02'14.6"S e 59°56'14.7"W	Jorge Teixeira (Alto curso)
Avenida Autaz Mirim (P3)	3°02'37.5"S e 59°56'31.2"W	São José (Alto curso)
Novo Aleixo (P4)	3°03'05.5"S e 59°57'01.7"W	Novo Aleixo (Alto curso)

SESI (P5)	3°04'29,4"S e 59°58'21,4"W	Coroado (Médio curso)
Conjunto Petros (P6)	3°04'28.1"S e 59°58'57.8"W	Aleixo (Médio curso)
Parque Municipal do Mindu (P7)	3°04'55.0"S e 60°00'13.7"W	Parque Dez (Médio curso)
Passeio do Mindu (P8)	3°05'21.7"S e 60°00'45.3"W	Parque Dez (Médio curso)
UEA/EST (P9)	3°05'29.9"S e 60°00'55.1"W	Parque Dez (Baixo curso)
Parque dos Bilhares (P10)	3°06'09.0"S e 60°01'41.4"W	Chapada (Baixo curso)
São Jorge (P11)	3°06'48.8"S e 60°01'54.0"W	São Jorge (Baixo curso)

Fonte: O Autor (2018).

O Google Street View foi utilizado como ferramenta na seleção destes pontos de amostragem. Esta ferramenta do Google Maps utiliza imagens de satélite que disponibiliza vistas panorâmicas de 360° na horizontal e 290° na vertical e permitiu visualização de partes dos locais de amostragem ao nível das ruas e condições de acesso a estes pontos. A seleção de pontes e acesso facilitado para o transporte dos equipamentos e segurança foram realizados previamente nesta etapa. Abaixo no ponto amarelo da Figura 33 o local de amostragem do ponto de amostragem P8 – Passeio do Mindu.

Figura 33 - Ponto de amostragem P8 selecionado com auxílio da ferramenta do Google Maps a partir de imagens de satélite e identificação com “Google Street View” para resolução das ruas da cidade de Manaus-AM.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A metodologia de coleta e preservação de amostras prevista no Guia de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (2011) foi preponderante para a escolha destes pontos. Na Figura 34 em que aparece em destaque o ponto de amostragem P6 – Conjunto Petros, a

amostra foi coletada com auxílio de um balde inox a partir da ponte, e logo em seguida realizada a análise da amostra com o equipamento multiparâmetro para medição das variáveis de campo e coletado amostra para realização das análises complementares em laboratório. Na Figura 34 apresenta-se ponto de amostragem no Conjunto Petros (P6).

Figura 34 - Modelo de vista utilizada na etapa de planejamento com o Google Street View para acessar o local de amostragem P6 – Conjunto Petros.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os pontos de amostragem conforme seus respectivos cursos do Igarapé do Mindu foram dispostos nas Figuras 35, 36 e 37.

Figura 35 - Pontos de amostragem de P1 a P4; P1 – saída das nascentes do Mindu; P2 – localizado nas proximidades da Avenida Itaúba; P3 – ao lado do Supermercado DB na Avenida Autaz Mirim; P4 – localizado na Avenida Nathan Xavier no bairro Novo Aleixo.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os pontos de amostragem do curso alto, excetuando o ponto P1, foram coletados a partir de pontes com acesso de balde inox as águas. Na Figura 36 constam os pontos de amostragem do curso médio.

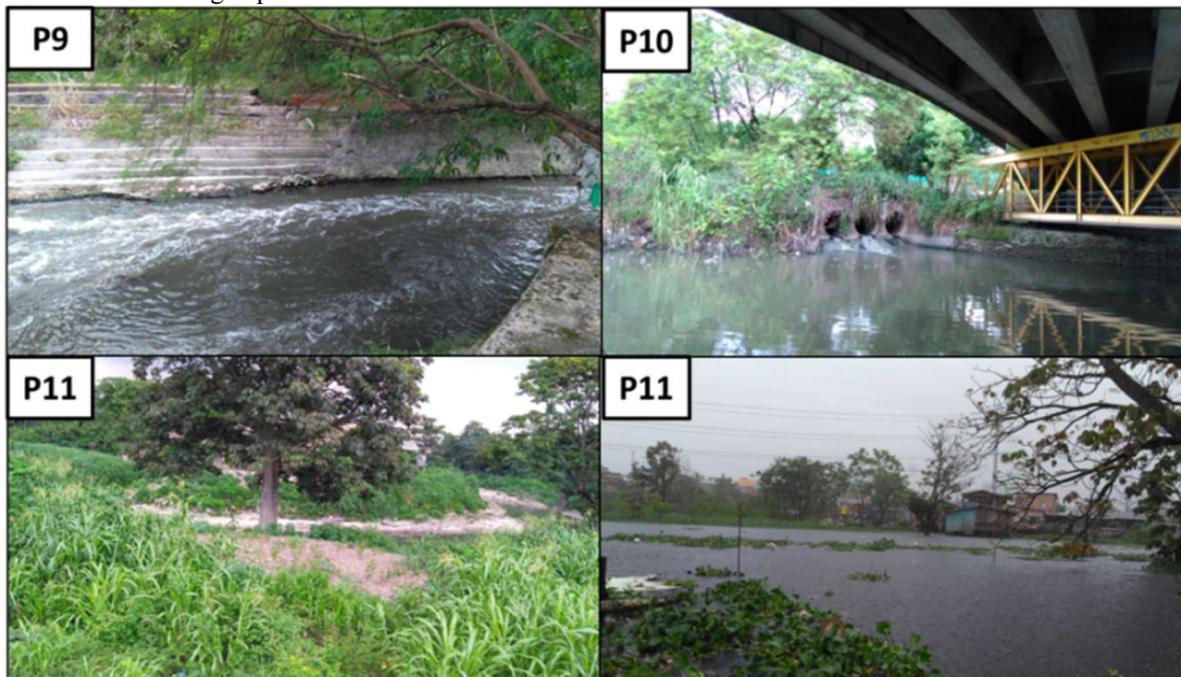
Figura 36 - Pontos de coleta do curso médio; P5- localizado na Avenida Cosme Ferreira, proximidades do clube do trabalhador (SESI); P6 - Ponto de coleta no conjunto Petros; P7 - Ponto de coleta no Parque Municipal do Mindu; P8 - Ponto de coleta no Passeio do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os pontos de amostragem do curso baixo foram dispostos na Figura 37. O ponto de amostragem P11 foi fortemente influenciado pelo regime pluviométrico da cidade de Manaus. Na Figura no ponto P11 (esquerda) coletada em outubro de 2017 a redução na quantidade de chuvas no período seco ocasionou a redução do volume das águas do igarapé. Enquanto que em Julho de 2017 em P11 (direita) ainda no final do período chuvoso o igarapé encontrava-se praticamente em sua cota máxima de volume. Uma modificação significativa em apenas um trimestre de diferença.

Figura 37 - Pontos de amostragem P9 - localizado nas adjacências da Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST); P10 - No Parque dos Bilhares; P11 - localizado nas proximidades do bairro São Jorge, na confluência com o Igarapé do São Raimundo.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

3.3 Análises de Campo

As análises de pH, condutividade elétrica, temperatura da água, oxigênio dissolvido, e turbidez, conforme artigo 14 no parágrafo 3º da Resolução ANA nº 724/2011, devem ser avaliados no ponto de amostragem. Tais análises foram realizadas com o auxílio de um equipamento portátil (sonda multiparamétrica de marca HANNA e modelo HI 98194) conforme Figura 38 (A e B). A análise de sólidos dissolvidos totais (STD) foi realizada a partir de cálculo do equipamento multiparâmetro HANNA HI98164. A análise de turbidez também foi realizada no campo no momento da coleta, onde se utilizou do equipamento turbidímetro HANNA HI 93703C conforme Figura 38 (C).

Figura 38 - Sonda multiparamétrica em (A) e (B) e em (C) medidor de turbidez utilizados para medição das variáveis físico-química de campo.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A escolha da utilização dos equipamentos de campo foi destacada pela facilidade no transporte, aquisição de dados automática no local de amostragem (in situ), grande difusão e padronização destes métodos a nível nacional conforme destacada pela resolução ANA nº 724/2011. A estrutura e divisão externa do equipamento multiparâmetro é sintetizado na Figura 39, onde em A é descrita a composição da sonda, onde ficam alojados os sensores dos parâmetros físico-químicos; sensor ou eletrodo de pH, sensor de condutividade elétrica (CE) e temperatura no mesmo corpo, e sensor de oxigênio dissolvido galvânico, onde a cada análise são verificados a membrana interna e a reposição do eletrólito interno de oxigênio. Em (B) é verificado o display ou a tela do equipamento que recebe o sinal dos sensores através do cabo. Os dados são gerados após a conversão do sinal em mV dos sensores para as variáveis de cada um destes parâmetros citados, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, temperatura e oxigênio dissolvido. Através desta conversão é realizado o registro dos dados de forma automática.

Figura 39 - Vista interna da sonda (A), display ou tela de registro de dados do equipamento multiparâmetro (B) e exemplo de medição realizada com o equipamento no campo (C).



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Para a análise através do equipamento de turbidez, o princípio está baseado na emissão de um feixe de luz que em contato com os sólidos suspensos ou partículas coloidais terá certa absorvância, ou seja, a luz terá uma barreira na amostra, que pode ser maior ou menor dependendo da quantidade de partículas suspensas e do tamanho destas partículas. Através deste efeito de emissão de raio luminoso (luz) a amostra absorve, e logo em seguida é gerado um sinal em mV que o equipamento converte para dados de turbidez em NTU.

Em resumo a sonda seria colocada na faixa superficial das águas ou no recipiente de coleta de amostra, e logo em seguida o equipamento faria o registro dos dados, in loco e de forma automática, bastando ao usuário salvar os resultados no equipamento ou anotar manualmente. A aquisição dos dados foi realizada com o acesso da sonda em balde logo após

amostragem, esse fato se deu em virtude da baixa profundidade de diversos pontos do igarapé que possuem baixa profundidade (<15 cm) em virtude de apresentarem trechos bastante assoreados. A forma de aquisição destas variáveis no campo está ilustrados na Figura 40.

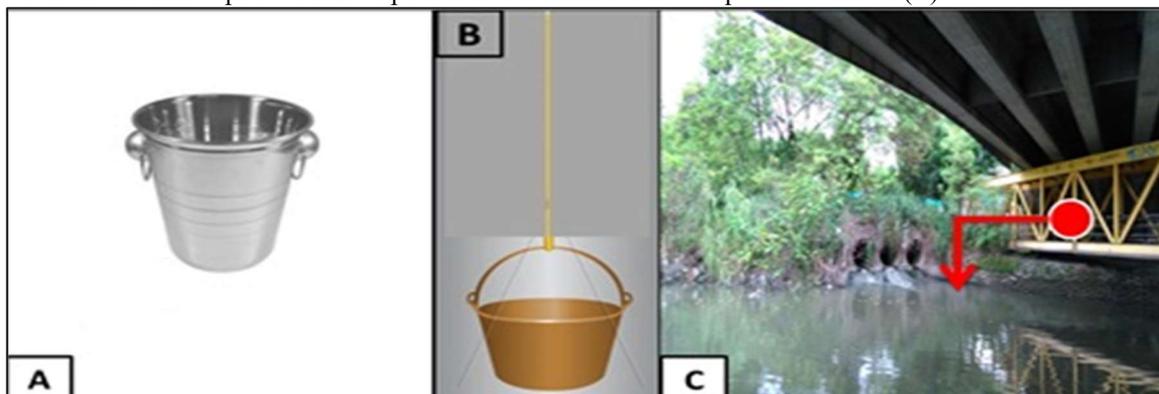
Figura 40 - Amostra coletada com balde da zona superficial no Parque Municipal do Mindu (P7); Em (A) equipamentos e materiais utilizados na coleta de campo (B) medição e registro dos dados no display do equipamento; (C) sonda em contato com amostra para aquisição de dados.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Nos pontos de amostragem que apresentavam dificuldade no acesso a coleta das amostras foi realizada a partir de uma ponte, com o lançamento de balde através de corda, e logo em seguida realizou-se a análise com os equipamentos de campo e em seguida a coleta das amostras em garrafas de vidro e de polietileno para as análises de laboratório. A Figura 41 apresenta na seta em vermelho a localização da coleta de amostra em ponte localizado no ponto P10 – no Parque dos Bilhares.

Figura 41 - Modelo de balde inox utilizado na coleta de amostras (A); conjunto balde e corda (B); seta em vermelho identifica ponte utilizada para coleta de amostras no Parque dos Bilhares (C).



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os equipamentos de campo foram calibrados antes da coleta do campo, sendo pelo menos 1 (um) dia antes da realização do mesmo. Realizou-se a calibração conforme seus respectivos parâmetros físico-químicos e seguindo o manual recomendado pelo fabricante com a utilização das soluções tampão de pH=4, pH=7,0 e pH=10,0, solução de condutividade 12,88 mS.cm⁻¹, solução padrão zero de oxigênio dissolvido a base de sulfito de sódio e soluções de 0 NTU, 10 NTU e 500 NTU para calibração do medidor de turbidez.

Na Figura 42 constam a especificação e a faixa de medição de cada parâmetro avaliado, destaque em vermelho para as variáveis de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD) calculados pelo equipamento e com calibração realizada a partir da condutividade elétrica.

Figura 42 - A manutenção da sonda multiparamétrica e a calibração das variáveis foram acompanhadas conforme especificações do fabricante contido no manual do equipamento. Em vermelho consta as variáveis acompanhadas no campo

3.1 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA		CONDUTIVIDADE (HI 98194, HI 98195 apenas)	
TEMPERATURA		Gama	
Gama	-5.00 a 55.00 °C; 23.00 a 131.00 °F; 268.15 a 328.15 K	0 a 200 mS/cm (EC absoluta até 400 mS/cm)	
Resolução	0.01 °C; 0.01 °F; 0.01 K	Resolução	
Precisão	± 0.15 °C; ± 0.27 °F; ± 0.15 K	Manual 1 µS/cm; 0.001 mS/cm; 0.01 mS/cm; 0.1 mS/cm; 1 mS/cm	
Calibração	Automática a 1 ponto personalizado	Automático 1 µS/cm desde 0 a 9999 µS/cm	
pH/mV		0.01 mS/cm desde 10.00 a 99.99 mS/cm	
Gama	0.00 a 14.00 pH; ± 600.0 mV	0.1 mS/cm desde 100.0 a 400.0 mS/cm	
Resolução	0.01 pH; 0.1 mV	Automático (mS/cm) 0.001 mS/cm desde 0.000 a 9.999 mS/cm	
Precisão	± 0.02 pH; ± 0.5 mV	0.01 mS/cm desde 10.00 a 99.99 mS/cm	
Calibração	Automática 1, 2 ou 3 pontos com reconhecimento automático de 5 padrões (pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01) e 1 padrão personalizado	0.1 mS/cm desde 100.0 a 400.0 mS/cm	
ORP		Precisão	
Gama	± 2000.0 mV	± 1 % da leitura ou ± 1 µS/cm o que for maior	
Resolução	0.1 mV	Calibração	
Precisão	± 1.0 mV	Automática a um ponto, com 6 soluções padrão (84 µS/cm, 1413 µS/cm, 5.00 mS/cm, 12.88 mS/cm, 80.0 mS/cm, 111.8 mS/cm) ou ponto personalizado	
Calibração	Automática a 1 ponto personalizado (mV relativo)	RESISTIVIDADE (HI 98194, HI 98195 apenas)	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (HI 98194, HI 98196 apenas)		Gama	
Gama	0.0 a 500.0 % 0.00 a 50.00 ppm (mg/L)	0 a 999999 Ω·cm; (dependendo das definições de medição) 0 a 1000.0 kΩ·cm; 0 a 1.0000 MΩ·cm	
Resolução	0.1 % 0.01 ppm (mg/L)	Resolução	
Precisão	0.0 a 300.0 %: ± 1.5 % da leitura ou ± 1.0 % o que for maior; 300.0 a 500.0 %: ± 3 % da leitura 0.00 a 30.00 ppm (mg/L): ± 1.5 % da leitura ou ± 0.10 ppm (mg/L) o que for maior; 30.00 ppm (mg/L) a 50.00 ppm (mg/L): ± 3 % da leitura	Dependendo da leitura de resistividade	
Calibração	Automática 1 ou 2 pontos a 0, 100 % ou 1 ponto personalizado	Calibração	
		Baseada na calibração de condutividade ou salinidade	
		TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) (HI 98194, HI 98195 apenas)	
		Gama	
		0 a 400000 ppm (mg/L); (o valor máximo depende do factor de TDS)	
		Resolução	
		Manual 1 ppm (mg/L); 0.001 ppt (g/L); 0.01 ppt (g/L); 0.1 ppt (g/L); 1 ppt (g/L)	
		Automática 1 ppm (mg/L) desde 0 a 9999 ppm (mg/L)	
		0.01 ppt (g/L) desde 10.00 a 99.99 ppt (g/L)	
		0.1 ppt (g/L) desde 100.0 a 400.0 ppt (g/L)	
		Automática ppt (g/L) 0.001 ppt (g/L) desde 0.000 a 9.999 ppt (g/L)	
		0.01 ppt (g/L) desde 10.00 a 99.99 ppt (g/L)	
		0.1 ppt (g/L) desde 100.0 a 400.0 ppt (g/L)	
		Precisão	
		± 1 % da leitura ou ± 1 ppm (mg/L) o que for maior	
		Calibração	
		Baseada na calibração de condutividade ou salinidade	

Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

3.4 Análises de Laboratório

As análises de nitrogênio amoniacal (amônia), Demanda Química de Oxigênio (DQO) sulfetos e fosfato total foram realizadas conforme descritas em APHA (Standard methods for the examination of water and wastewater), realizadas em laboratório conforme roteiro e utilização dos reagentes descritos na metodologia. As metodologias empregadas para cada análise e equipamentos de laboratório utilizados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 4 – Metodologias utilizadas em análises de laboratório.

Metodologia utilizada	Análise	Equipamento utilizado
APHA 4500-NH3 D/1997 - Ammonia-Selective Electrode Method	Amônia	Metrohm 781 pH/Ion meter
APHA 4500 – DQO 5220 D/2005 – Standard Methods	DQO	Espectrofotômetro Hach DR 3900 e Digestor Hach DRB200
APHA 4500-P E/1999 – Standard Methods – 4500 P E/1999 - Phosphorus	Fosfato Total	Espectrofotômetro Hach DR 3900
APHA 4500 D/2011 Standard Methods for the examination of water and wastewater 4500 sulfide	Sulfetos	Espectrofotômetro Hach DR 3900

Fonte: O Autor (2018).

A coleta das amostras para análise em laboratório foi realizada concomitante com as análises de campo. Antes de cada aferição realizada no campo, as amostras eram coletadas para realização das análises de laboratório. Na Figura 43 são apresentados os equipamentos utilizados em laboratório.

Figura 43 - Equipamentos de laboratório utilizados na pesquisa; (A) - Analisador de nitrogênio amoniacal (amônia) por íon seletivo; (B) - Espectrofotômetro para análise de DQO, Sulfetos e Fosfato Total; (C) - Reator DQO para digestão das amostras a 150°C.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

3.5 Análise Estatística

Após registro dos dados a cada período trimestral de coletas no campo, os dados foram organizados em um banco de dados no software Microsoft Excel onde distinguiu-se em cada parâmetro avaliado a organização de cada ponto de amostragem dentro da localização geográfica do igarapé (curso alto, curso médio e curso baixo).

Calculou-se para cada ponto de amostragem nas coletas de julho e outubro de 2017 (período seco), e janeiro e abril de 2018 (período chuvoso); a média aritmética, o desvio padrão, e logo em seguida os gráficos de colunas para cada parâmetro avaliado e gráfico de linha entre a média e o desvio padrão para cada parâmetro. Na Figura 44 é exemplificada a organização dos dados por cada parâmetro avaliado, os cálculos da média e desvio padrão foram realizados no software Microsoft Excel 2010 que calcula de forma automática estas variáveis na aba “Dados > Análise de dados > Seleção da variável” bastando apenas selecionar o conjunto de dados e clicar na variável pretendida (desvio padrão e média). O objetivo de escolha destas variáveis foi para avaliar quantitativamente a variação destes dados em relação ao tempo (sazonais), influência da declividade do curso do igarapé (alto, médio e baixo), e concentração de poluentes e contaminantes representados por alterações nos parâmetros físico-químicos dos pontos de amostragem.

Figura 44 - Modelo de organização dos dados de pH e cálculos estatísticos dos dados levantados nas análises de campo e de laboratório.

pH									
Localização		SECA		CHEIA		Média	Variância	CV	Desvio Padrão
		jul/17	out/17	jan/18	abr/18				
Alto Curso	Saída Nascentes do Mindu (P1)	6,52	6,69	6,76	6,44	6,60	0,02189	2,24	0,14796
	Avenida Itaúba (P2)	7,02	7,12	7,01	7,01	7,04	0,00287	0,76	0,05354
	Avenida Autaz Mirim (P3)	6,92	7,06	7,02	7,02	7,01	0,00357	0,85	0,05972
	Novo Aleixo (P4)	6,97	6,86	6,98	6,95	6,94	0,00300	0,79	0,05477
Curso Médio	SESI (P5)	7,02	6,96	7,23	6,87	7,02	0,02340	2,18	0,15297
	Conjunto Petros (P6)	7,05	6,95	6,96	6,78	6,94	0,01270	1,63	0,11269
	Parque Municipal do Mindu (P7)	7,06	7,09	7,12	6,96	7,06	0,00483	0,98	0,06946
	Passelo do Mindu (P8)	7,06	7,03	7,07	7,09	7,06	0,00062	0,35	0,02500
Curso Baixo	UEA/EST (P9)	7,08	7,05	7,11	7,06	7,08	0,00070	0,37	0,02646
	Parque dos Bilhares (P10)	7,12	7,06	6,88	7,06	7,03	0,01080	1,48	0,10392
	São Jorge (P11)	7,13	7,17	7,05	6,94	7,07	0,01029	1,43	0,10145

Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

3.6 Construção do Protótipo de Aplicativo

O aplicativo foi denominado neste estudo de “QualiMindu” com abreviação de “Qualidade” e o nome do Igarapé em estudo “Mindu”. Este software foi concebido para dispor os dados de qualidade das águas do Igarapé do Mindu e fornecer dados qualitativos do estado atual do córrego, para sociedade e gestores de recursos hídricos. Estes dados foram levantados a partir de avaliação de parâmetros físico-químicos já supracitados. Logo a premissa da construção deste aplicativo é fornecer estes dados, para usuários externos.

A seleção de construção de um web site e aplicativo móvel se deu pela grande facilidade e aceitação pelo público de tecnologias móveis e facilidade no acesso a internet. Nesta etapa de planejamento foi adquirido o domínio “www.qualimindu.com” e contratado um serviço de hospedagem de sites de nome comercial “Hostgator”. A logomarca criada para o aplicativo “QualiMindu” está apresentada na Figura 45.

Figura 45 - Modelo da logo do aplicativo “QualiMindu”.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A etapa de desenvolvimento do algoritmo foi baseada na elaboração de uma página Web, termo criado por especialistas que trabalham com a criação de páginas da internet ou sites para internet. O desenvolvimento da lógica deu-se a partir das ferramentas de programação HTML, Javascript e CSS. Uma base de dados online foi criada, no serviço de hospedagem “Hostgator”, para armazenamento das informações que seriam inseridas no aplicativo, assim todos teriam acesso às informações quando disponibilizadas pelo administrador. Na Figura 46 está descrito o código fonte da tela inicial do Aplicativo denominado “Qualimindu”.

Figura 46 - Algoritmo da tela de abertura do aplicativo “Qualimindu”, detalhando as etapas de criação de títulos e responsividade (propriedade) da tela ao abrir em celular smartphone.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3 <head>
4   <meta charset="utf-8">
5   <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
6   <title>Quali | MINDU</title>
7   <!-- Tell the browser to be responsive to screen width -->
8   <meta content="width=device-width, initial-scale=1, maximum-scale=1, user-scalable=no" name="viewport">
9   <!-- Bootstrap 3.3.7 -->
10  <link rel="stylesheet" href="bower_components/bootstrap/dist/css/bootstrap.min.css">
11  <!-- Font Awesome -->
12  <link rel="stylesheet" href="bower_components/font-awesome/css/font-awesome.min.css">
13  <!-- Ionicons -->
14  <link rel="stylesheet" href="bower_components/Ionicons/css/ionicons.min.css">
15  <!-- Theme style -->
16  <link rel="stylesheet" href="dist/css/AdminLTE.min.css">
17  <!-- AdminLTE Skins. Choose a skin from the css/skins
18     folder instead of downloading all of them to reduce the load. -->
19  <link rel="stylesheet" href="dist/css/skins/ all-skins.min.css">
20
21  <!-- HTML5 Shim and Respond.js IE8 support of HTML5 elements and media queries -->
22  <!-- WARNING: Respond.js doesn't work if you view the page via file:// -->
23  <!--[if lt IE 9]>
24  <script src="https://oss.maxcdn.com/html5shiv/3.7.3/html5shiv.min.js"></script>
25  <script src="https://oss.maxcdn.com/respond/1.4.2/respond.min.js"></script>
26  <![endif]-->

```

Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

No desenvolvimento da página Web foram organizados alguns botões para descrever as atividades da pesquisa e dispor os resultados obtidos no campo. Na Figura 47 verifica-se a construção dos gráficos, a partir da entrada manual de dados escrito em HTML, nas linhas 121 a 128 e o detalhamento dos locais de amostragem nas linhas de 110 a 114, para posteriormente a lógica fornecer a estrutura representada na forma de um gráfico de colunas.

Em cada um dos resultados obtidos, para cada parâmetro (pH, condutividade, temperatura e etc.) e período de realização das análises (julho e outubro de 2017; janeiro e abril de 2018), foi elaborada a estrutura lógica da Figura 47.

Figura 47 – Detalhamento da programação para a construção dos gráficos na página web e captura dos dados pelo aplicativo móvel.

```

<script>
110 var MONTHS = [ "Av. Itaipua", "Av. Auzas Mirim", "Novo Aleixo", "Conjunto Petros", "Parque do Mindu", "UEA/EST", "Parque dos Bilhares", "São Jorge" ];
    var color = Chart.helpers.color;
    var barChartData = {
114     labels: ["Av. Itaipua", "Av. Auzas Mirim", "Novo Aleixo", "Conjunto Petros", "Parque do Mindu", "UEA/EST", "Parque dos Bilhares", "São Jorge"],
        datasets: [
121             {
                label: "pH",
                backgroundColor: color(window.chartColors.red).alpha(0.5).rgbString(),
                borderColor: window.chartColors.red,
                borderWidth: 1,
                data: [
128                 7.02,
                    6.92,
                    6.97,
                    7.05,
                    7.06,
                    7.08,
                    7.12,
                    7.13
                ]
            }
        ]
    };
</script>

```

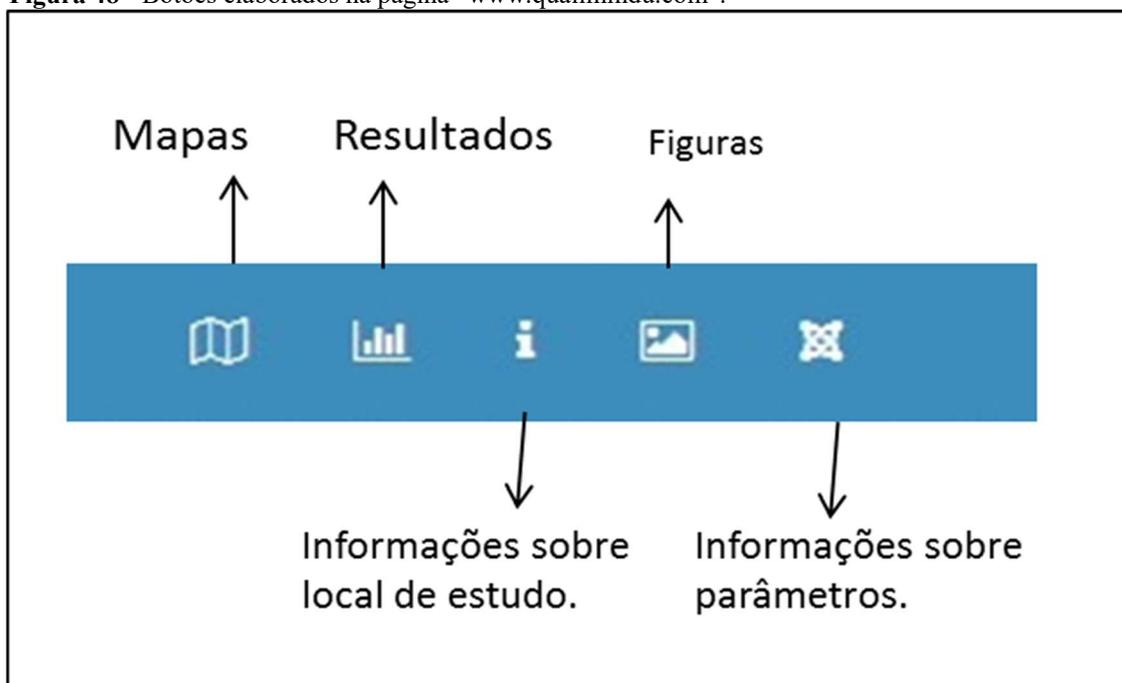
Pontos de Amostragem

Resultados de pH obtidos no campo em julho de 2017.

Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A etapa de elaboração dos botões foi organizada como segue; tela de abertura do aplicativo; resultados obtidos no campo; informações sobre o local de estudo; definição dos parâmetros físico-químicos avaliados; figuras do estado atual do local de avaliação; e mapa dos pontos de amostragem avaliados. Na Figura 48 estão ilustrados os ícones escolhidos para cada botão do web site e apresentação no aplicativo móvel.

Figura 48 - Botões elaborados na página “www.qualimindu.com”.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

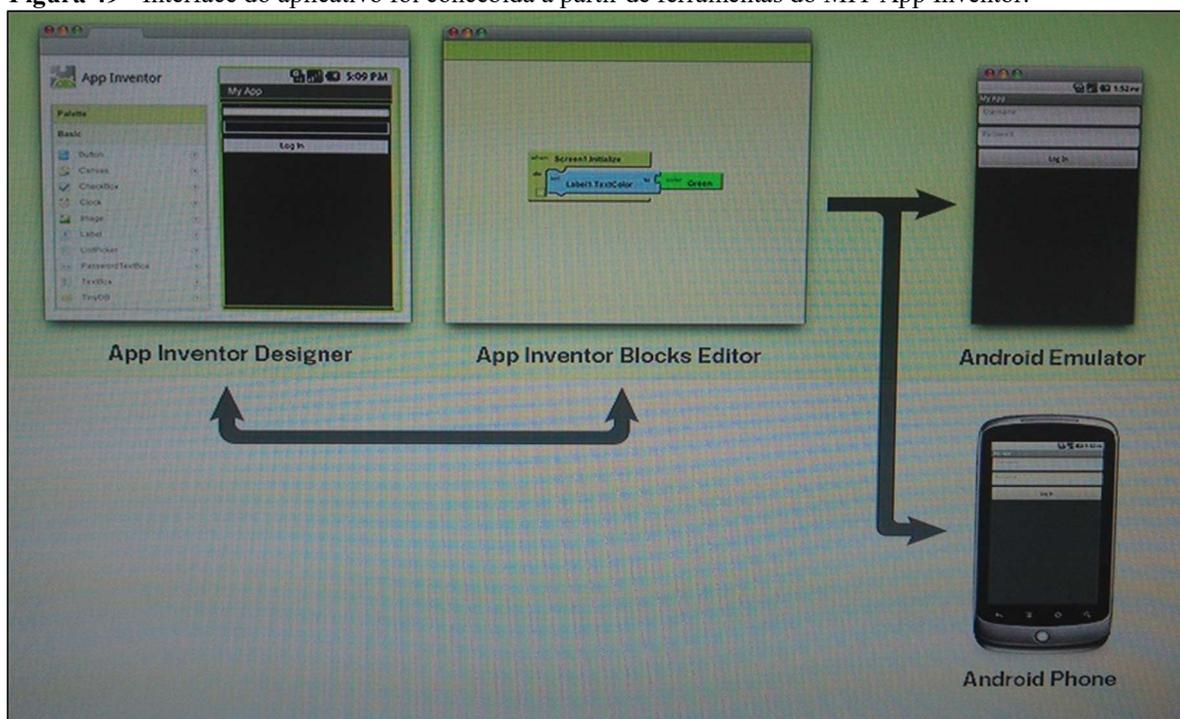
Os passos de um usuário no aplicativo são direcionados por estes botões, onde cada botão apresenta uma tela com conteúdo e informações sobre o local de estudo. Com a construção da lógica e desenvolvimento do site concluída, foi necessário então simular um

aplicativo. Essas etapas foram elaboradas no Aplicativo MIT App Inventor, que possui suas tarefas definidas por ferramentas de arrasta e solta, os chamados blocos editores. Como se fossem pequenos tijolos colocados um a um para a construção do aplicativo. O layout, as cores, e o design do aplicativo foram elaborados nesta etapa. Em resumo a lógica através de HTML, CSS e Javascript estruturou um esqueleto, que por sua vez foi preenchido por elementos (informações, gráficos, figuras) elaborados a partir do MIT App Inventor, e logo em seguida essas informações foram carregadas para o banco de dados do domínio hospedado. Na Figura 49 constam as etapas concebidas no MIT App Inventor, com destaque para a interface App inventor Designer, onde o editor integra o layout e cores da apresentação do aplicativo, sendo essas etapas construídas de forma intuitiva e de fácil aplicação.

A ferramenta Android Emulator permite realizar a simulação dos comandos selecionados no Bloco Editor, e posteriormente essas informações são verificadas na tela de um smartphone de forma simulada conforme Figura 49. No caso para os aplicativos com criação prévia por web sites caso do “Qualimindu” o MIT App inventor possui a ferramenta de identificação de aplicativos por código QR (Quick Response), resposta rápida em português, que é um código de barras escaneado por telefone celular Smartphone.

Após a criação de todas as funcionalidades o aplicativo foi escaneado através de código QR gerado pelo MIT App inventor e testado em um celular smartphone. Esse processo foi testado com o devido intuito de promover a redução das falhas de programação e ajustes de designs das telas e abertura dos botões com informação e resultados obtidos na área de estudo.

Figura 49 - Interface do aplicativo foi concebida a partir de ferramentas do MIT App Inventor.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Em resumo o desenvolvimento deste aplicativo é detalhado a partir do desenvolvimento de uma página web, obedecendo todas as funcionalidades da escrita da programação (HTML, Javascript e CSS), passando por design da página e obtenção de um domínio (www). Tomando como exemplo o domínio seria a rua de uma casa (site), e a hospedagem comercial (Hostgator) seria o bairro de localização desta casa (site). A partir destas etapas foram simuladas as condições de visualização deste site em um smartphone, que neste caso foi simulado no MIT App Inventor, que por sua vez quando concluído os testes, gera um código QR, que é escaneado por um celular smartphone de teste, onde são verificadas as funcionalidades obtidas no aplicativo.

A escolha do aplicativo na plataforma Android deu-se pelo fato de possibilitar verificar de forma facilitada a visualização em diversas telas e formatos de smartphones (Samsung, Motorola, LG e etc.) que possuem esta plataforma.

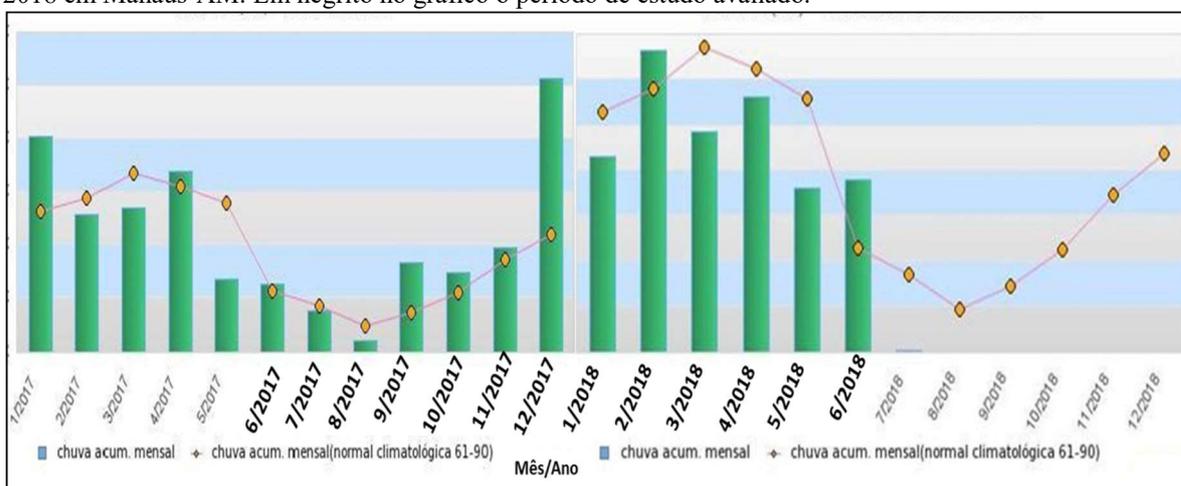
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados de Precipitação

A precipitação da bacia Amazônica não é distribuída igualmente durante o ano inteiro, provocando uma época seca ou de vazante dos rios e uma chuvosa bem distinta, que caracteriza o período de cheia dos rios. Esta periodicidade de precipitação provoca pronunciadas flutuações nos níveis de água gerando inundações regulares de vastas zonas terrestres, denominadas várzeas (JUNK, 1980) e provocando influência sob as características da água dos rios. Entre essas características verifica-se que as águas dos igarapés durante um ano apresentam sensíveis modificações que vão desde o acréscimo da concentração de poluentes na vazante, até mesmo a maior capacidade de carrear resíduos sólidos na cheia.

Durante o período desta pesquisa de julho de 2017 a abril de 2018, onde foram realizados 4 (quatro) coletas, uma em cada trimestre deste período, os resultados dos parâmetros analisados apresentaram altas variações. Conforme o gráfico da Figura 50, o período avaliado nesta pesquisa em julho e outubro de 2017 foi caracterizado como de menor incidência de chuvas, ou período vazante do regime dos rios, o que pode ser verificado claramente conforme o gráfico através do declínio da curva. Na avaliação dos dados em janeiro e abril de 2018 foram registrados os maiores picos de precipitação no gráfico, com destaque para o mês de dezembro e fevereiro com maiores picos de chuva no início do ano de 2018, este período de aumento das chuvas foi caracterizado como período chuvoso ou de cheia dos rios. Na avaliação dos parâmetros físico-químicos e nutricionais avaliados neste estudo o regime sazonal das águas do Igarapé do Mindu foi caracterizado por período seco e período de cheia do curso.

Figura 50 - Gráfico da chuva acumulada mensal x chuva (normal climatológica 61-90) para os anos de 2017 e 2018 em Manaus-AM. Em negrito no gráfico o período de estudo avaliado.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

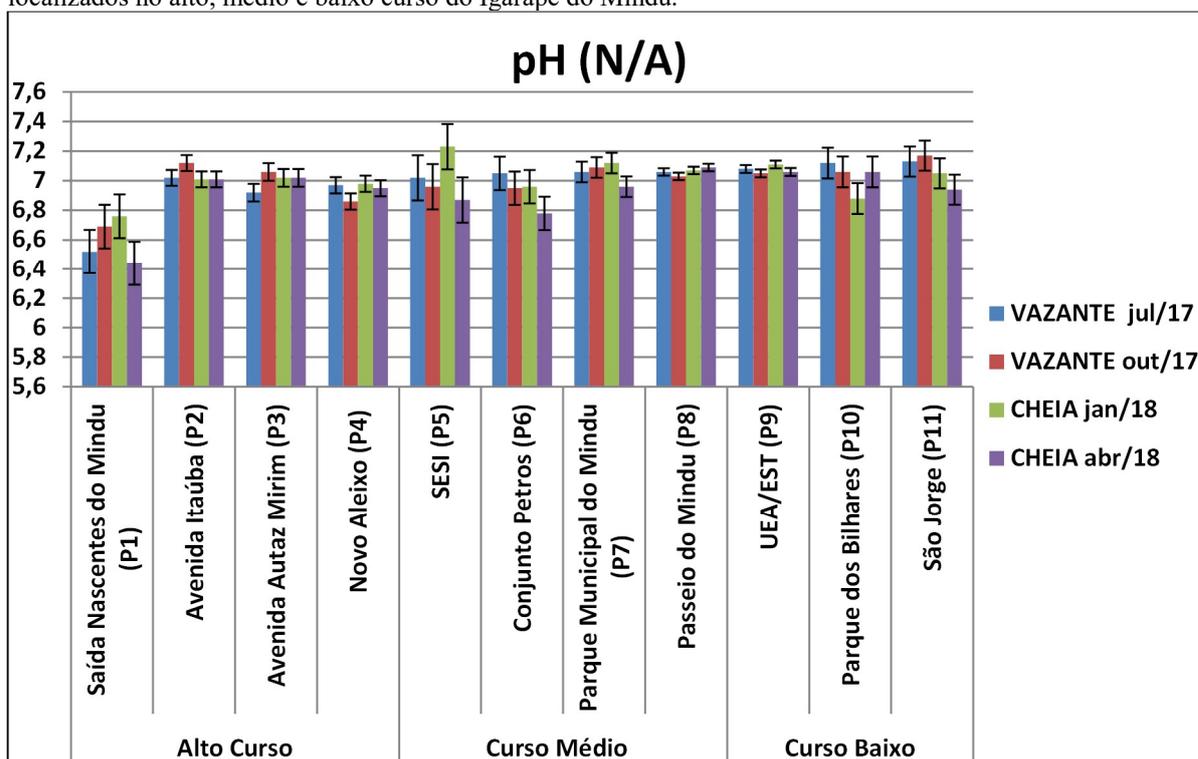
4.2 Parâmetros físico-químicos

4.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH apresentou uma diferença nos pontos avaliados em relação a vazante e cheia, com valores mínimos encontrados no ponto de água com características naturais (P1) oscilando de 6,44 – 6,76 possuindo características levemente ácidas e águas de cor escura, característico da presença de ácidos húmicos e fúlvicos que conferem estas características as águas do Igarapé do Mindu e demais cursos com nascentes na floresta amazônica e posteriormente deságuam no rio Negro (SIOLI e KLINGE, 1962). Os demais pontos avaliados apresentaram características básicas com pH oscilando a valores de 6,87 – 7,23, com predomínio dos valores básico nos cursos médio e curso baixo do igarapé , sobretudo no período de cheia conforme o gráfico da Figura 51. Usando a análise estatística sobre os pontos avaliados verificou-se que a média aritmética oscilou entre 6,6 – 7,08, apresentando desvio padrão entre 0,025 – 0,1530 conforme disposto no gráfico da Figura 51.

A modificação das características das águas de ácida a básica ($\text{pH} > 7,0$) é destacada pela alta concentração de poluentes lançados nas águas, com acréscimo do lançamento de esgotos, resíduos sólidos e efluentes industriais que possuem características básicas (MELO et al., 2005; PINTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2017).

Figura 51 - Gráfico do pH com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

No enquadramento da Resolução CONAMA 357/2005 o pH para águas de Classe II, caso do Igarapé do Mindu, o preconizado pela legislação apresenta variação entre 6,0 – 9,0. Os rios amazônicos e seus tributários de cor escura em suas condições naturais apresentam características ácidas 4,0 – 5,6 com alterações acima destes dados relacionadas a modificações antrópicas.

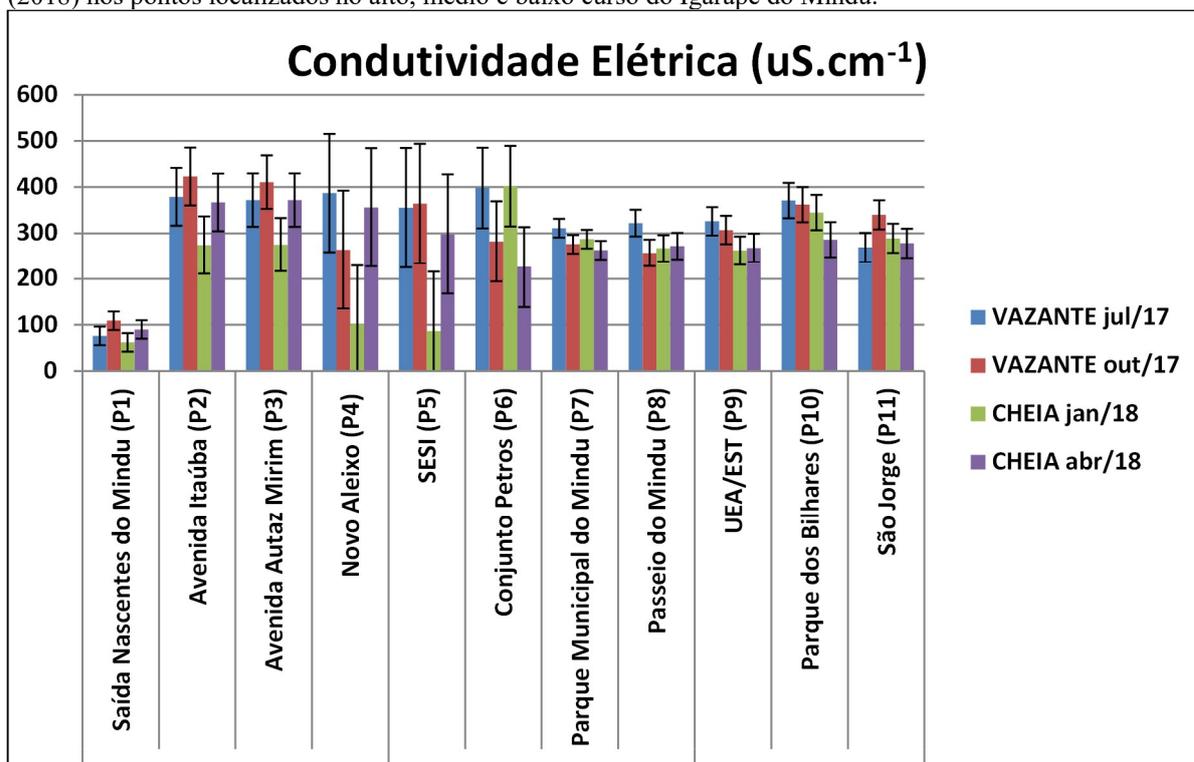
Sobre o enquadramento para este parâmetro Silva et al. (2016) adverte que as características das águas de superfície da Amazônia não estão de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece um intervalo de pH para águas brasileiras de 6,0 e 9,0. Os ambientes de águas pretas (rios, lagos e igarapés) devido a uma série de fatores naturais, o pH encontra-se menor que 6,0.

4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)

O parâmetro condutividade representa a concentração de sais dissolvidos nas águas. Os menores valores foram caracterizados no ponto (P1) que apresentou menor influência antrópica por encontrar-se em área protegida de nascentes, oscilando de 62 – 109 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os demais pontos avaliados apresentaram modificações bruscas em relação ao período de vazante e cheia. Os maiores valores foram caracterizados na vazante (2017) com concentração superior no curso alto do igarapé do Mindu com valores entre 101 – 423 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No curso médio e baixo do igarapé os resultados oscilaram entre 86 – 402 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os resultados médios da condutividade elétrica foram dispostos no gráfico da Figura 53. A resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites preconizada para o parâmetro condutividade elétrica.

Almeida et al. (2017) avaliando trechos do Igarapé do Mindu verificou que à medida que o trecho alcança o curso médio para o curso inferior os valores da condutividade elétrica tornam-se discrepantes variando de 250 a 302,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Conforme Melo et al. (2005) os resultados destes trechos podem indicar a entrada de efluentes, o que pode ser um indicativo da entrada de poluentes nas áreas urbanizadas que recebem ao longo dos igarapés esgoto domésticos e resíduos sólidos urbanos.

Figura 52 - Gráfico da condutividade elétrica com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

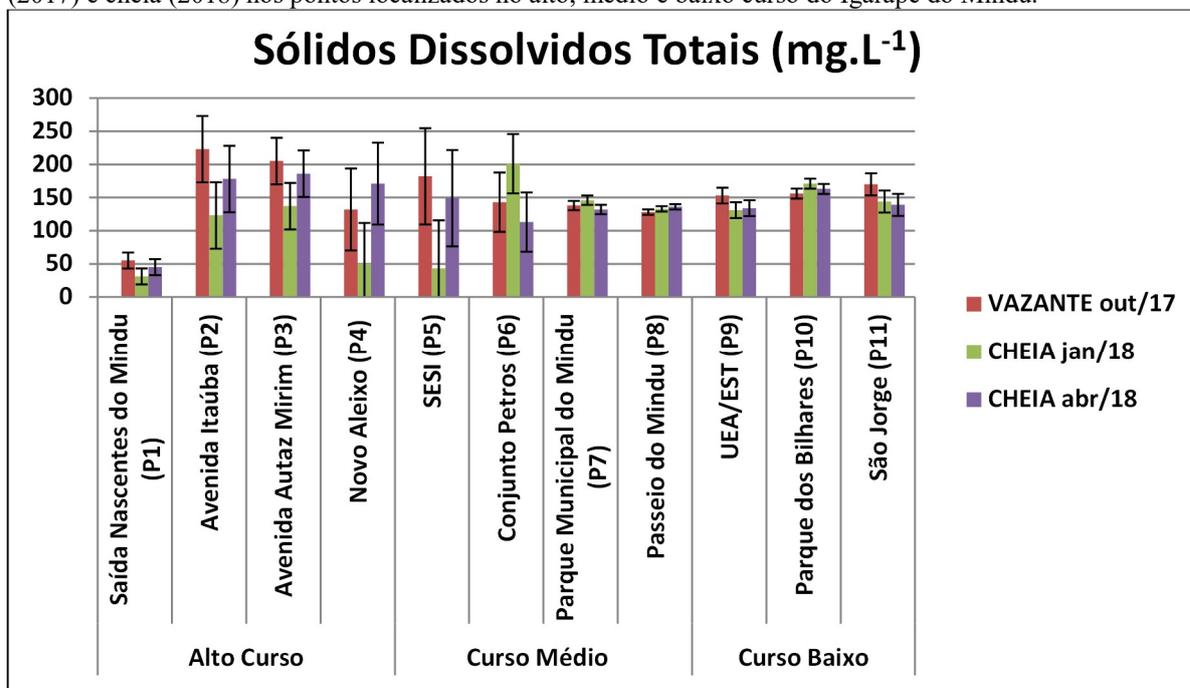
A média aritmética oscilou entre 84,25 – 360,75 uS.cm⁻¹. O desvio padrão apresentou variação de 20,07 – 129,83 (Figura 52) caracterizando a dispersão dos dados no alto curso e nos pontos P5 e P6 do Igarapé do Mindu. Os altos valores podem estar relacionados com a grande variação de lançamentos de efluentes domésticos, resíduos sólidos e efluentes industriais despejados de forma pontual nas águas, todavia de prolongada autodepuração nas águas, e cujos poluentes são gradualmente sedimentados e carregados nas águas. Esta característica de assoreamento nas águas sofre grande influência do período sazonal com aumento da concentração destes sólidos no período de vazante, conforme já discutido anteriormente, e discreta mudança no período de cheia. Ainda assim o maior volume de águas no período de cheia é responsável pela transferência deste sólidos com maior eficiência do curso alto (maior desvio padrão) para as áreas mais baixas (declividade) do Igarapé do Mindu, concentrando grande parte destes poluentes no curso baixo na foz com o rio Negro.

4.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais (STD)

Os sólidos dissolvidos totais englobam a presença de sais, matéria orgânica, esgoto, fungos, bactérias e argila. Neste estudo a oscilação foi entre 31 – 201 mg.L⁻¹ com menores valores encontrados no P1 que apresenta águas de características naturais das nascentes. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece limite de 500 mg.L⁻¹ para corpos receptores de

Classe II, neste caso não houve amostras em discordância com a legislação em nenhum ponto avaliado. Na Figura 53 é representado o gráfico da média obtida nos períodos avaliados para o parâmetro.

Figura 53 - Gráfico de sólidos dissolvidos totais (STD) com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



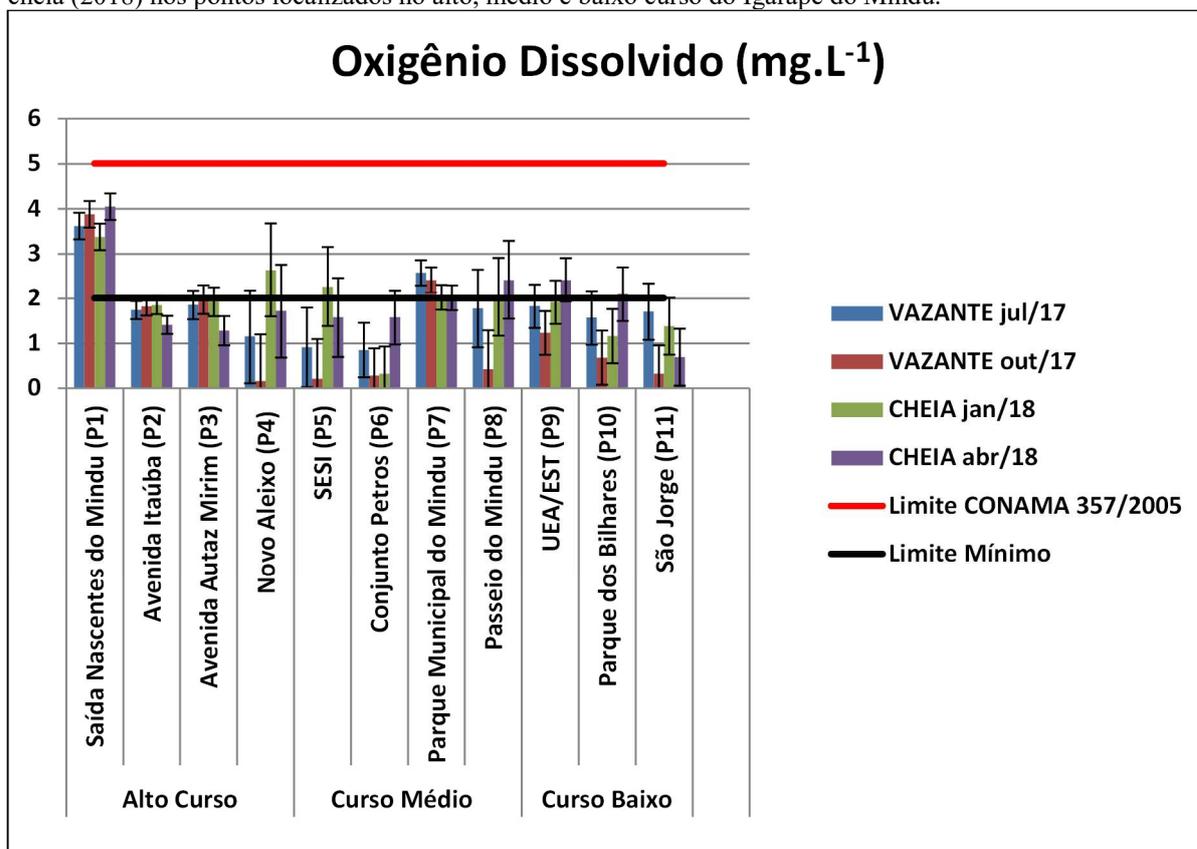
Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Na avaliação estatística do desvio padrão para este parâmetro a variação encontrada entre 7,51 – 72,66 com predominância dos maiores valores no alto curso do igarapé do Mindu e pontos P5 e P6 do curso médio.

4.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido (OD) representa a característica do oxigênio do ar (O₂) apresentar-se dissolvido nas águas, permitindo o equilíbrio da vida aquática e propiciando a realização de fotossíntese pelos organismos vegetais. Neste estudo a concentração de oxigênio dissolvido apresentou variação entre 3,38 – 4,05 mg.L⁻¹ apenas no ponto P1 (Figura 54), por ser característico de águas das nascentes, que possuem coloração escura. A linha vermelha representa o valor de referência preconizado pela legislação CONAMA 357/2005 para rios de Classe II com limite de >5,0 mg.L⁻¹. Os baixos valores para este ponto na concentração de oxigênio dissolvido são característicos das águas amazônicas para rios de águas pretas, que possuem maior quantidade de material orgânico dissolvido (SIOLI e KLINGE, 1962).

Figura 54 - Gráfico do oxigênio dissolvido (OD) com desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os demais pontos avaliados tanto na vazante e na cheia apresentaram-se abaixo dos limites de referência CONAMA, possuindo predominantemente no período avaliado concentrações abaixo de $<2,64 \text{ mg.L}^{-1}$, possuindo desta forma consequências na qualidade das águas. O limite de $>2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ é discutido pela resolução CONAMA como valor crítico para propiciar o equilíbrio aquático e fotossintético (linha preta na Figura 54), excetuando o ponto P1, os demais pontos apresentam concentrações abaixo deste limite tanto no período de vazante, quanto de cheia em todos os trechos do igarapé. As baixas concentrações de OD encontradas são supostamente devido ao aporte de efluentes domésticos e industriais lançados sobre as águas conforme descrito por Cleto Filho e Walker (2001), pois com o acréscimo da matéria orgânica nas águas, aumenta o consumo de oxigênio por microorganismos presentes nas águas, reduzindo a concentração nas águas, e impactando na vida de peixes, plantas e plâncton que vivem nas águas.

Almeida et al. (2017) destacou que à medida que o trecho alcança o curso médio para o curso inferior do Igarapé do Mindu os valores de oxigênio dissolvido diminuem variando de $1,75$ a $3,6 \text{ mg.L}^{-1}$, principalmente as águas do Corredor Ecológico Urbano do Igarapé Mindu (Médio Curso), possivelmente ocasionada por entrada de efluentes (matéria orgânica)

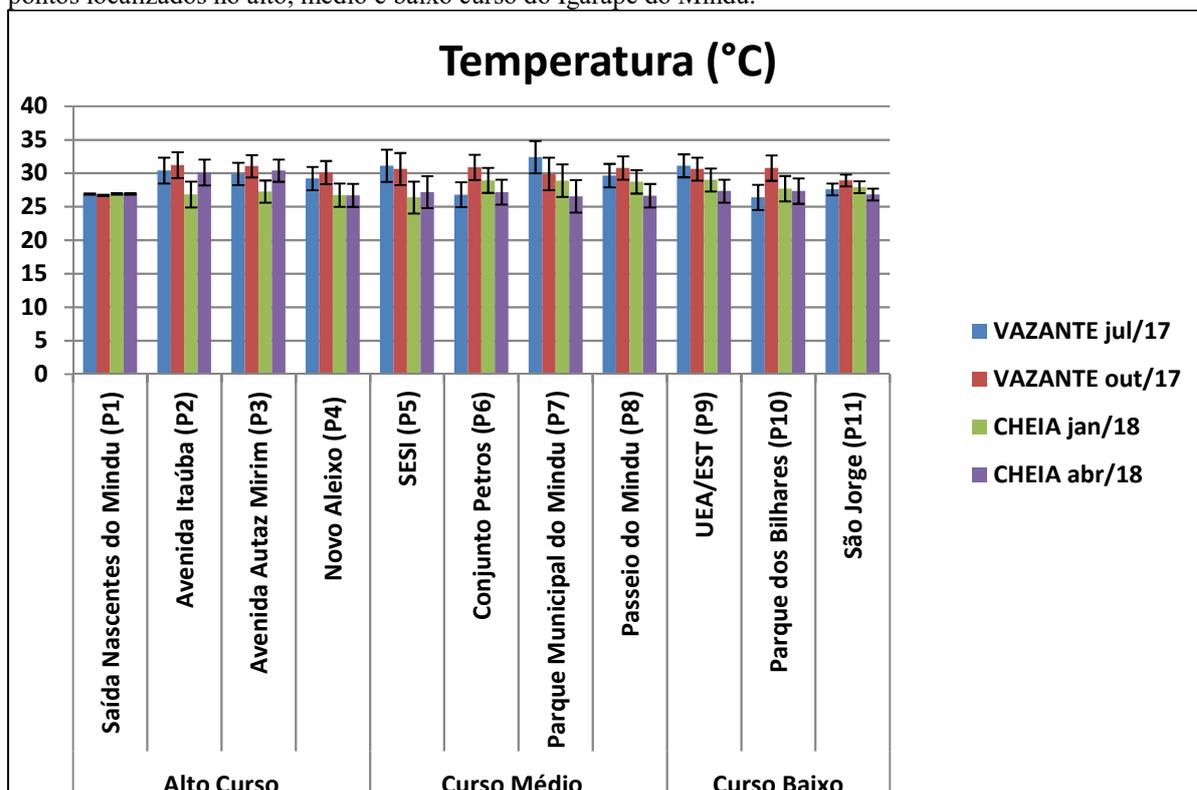
que são lançados diretamente no igarapé, sem nenhum tipo de tratamento, advindos da urbanização gerada entorno do corpo hídrico.

A média aritmética dos pontos avaliados apresentou-se entre 0,76 – 3,73 mg.L⁻¹ com desvio padrão possuindo maiores valores no ponto P4, P5 e P8. A variação do desvio padrão foi entre 0,20 – 1,04 (Figura 54) com predomínio de baixas concentrações no alto curso do igarapé, sobretudo no período de vazante, onde a concentração dos poluentes é maior em virtude da redução do volume das águas. No gráfico da Figura é apresentado o desvio padrão do parâmetro oxigênio dissolvido.

4.2.5 Temperatura

A temperatura da água apresentou a maior consistência de dados entre todos os parâmetros avaliados. A oscilação foi de 26,38 – 32,4 °C com menores valores encontrados no P1, e os demais dados apresentaram acréscimo de temperatura no período de vazante em relação ao período de cheia com discreta diferença. Melo et al. (2005) obteve valores variando entre 26,0 a 29,3°C em trechos do igarapé do Mindu e relacionou os altos valores de temperatura a falta da mata ciliar do igarapé, oxidação biológica da matéria orgânica e lançamento de despejos industrial e doméstico nas águas.

Figura 55 - Gráfico da temperatura e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os dados médios da temperatura oscilaram entre 26,86 – 29,65 °C com desvio padrão entre 0,10 – 2,42, o que indicou que não houve grandes alterações no valor médio da temperatura (Figura 55) Os altos valores para temperatura podem ser fatores favoráveis para a redução da concentração de oxigênio dissolvido, pois, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre redução da solubilidade de oxigênio na água (ESTEVES, 1998).

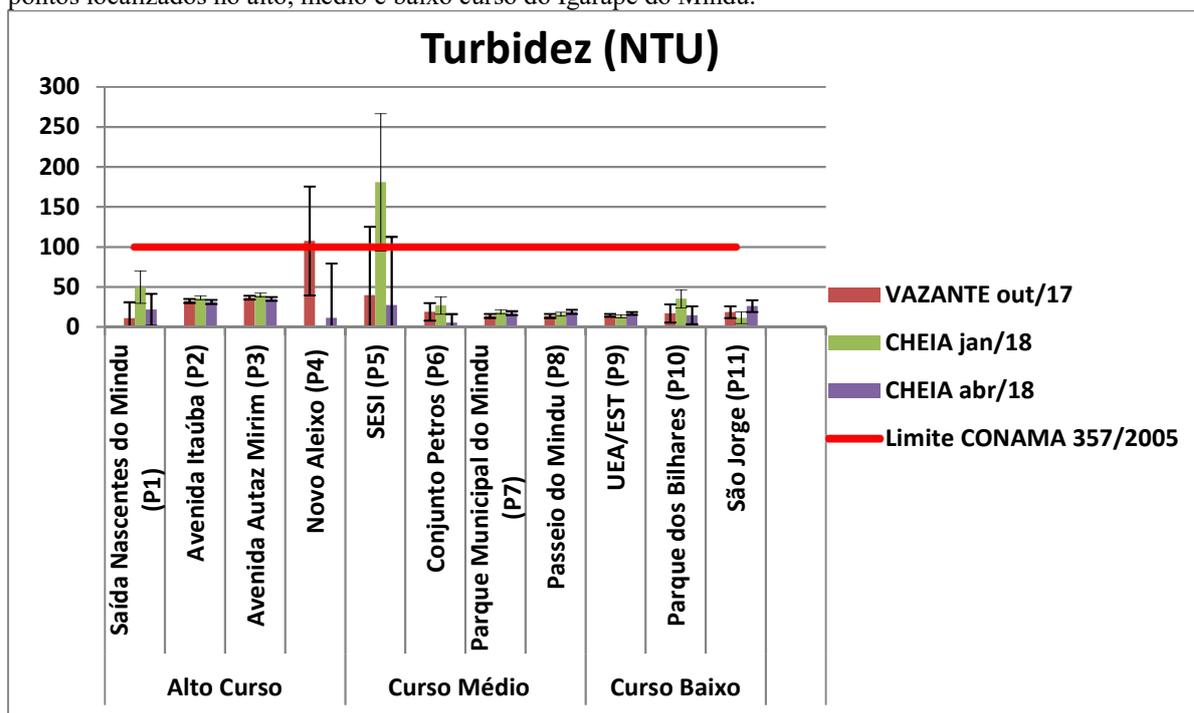
Almeida et al. (2017) corroborou com Esteves (1998) ao destacar que no curso médio do Igarapé do Mindu, por ser uma zona de alta urbanização, o volume de matéria orgânica (vindo dos esgotos), juntamente com a decomposição de plantas aquáticas, a intensa atividade microbológica e a elevada temperatura, indicam que possivelmente são fatores que contribuem para o baixo teor de oxigênio nessas águas.

4.2.6 Turbidez

Com relação à turbidez, os maiores valores se deram no ponto P4 na vazante e P5 no período de cheia. Os resultados oscilaram entre 5,02 – 181 NTU com predominância dos maiores valores no período de cheia. De acordo com a resolução CONAMA 357/05 para rios de classe II a turbidez é de até no máximo 100 NTU. Apenas os pontos P4 e P5 apresentaram resultados fora de especificação, os demais foram enquadrados com resultados inferiores aos limites da legislação conforme linha vermelha da Figura 61.

Almeida et al. (2017) obteve resultados de até 68 NTU para águas das nascentes, onde destacou que o processo de erosão e/ou sólidos é reduzido pela mata pluvial, conseqüentemente a carga de sedimentos é baixa e o curso é mais transparente. Este mesmo autor obteve valores de Turbidez variando de 458 a 496 NTU nos trechos do curso médio ao baixo, com maiores resultados obtidos nas águas do Corredor Ecológico Urbano do Igarapé Mindu (Médio Curso). No gráfico da Figura 61 é apresentado os resultados obtidos para a turbidez das águas no período avaliado.

Figura 56 - Gráfico da turbidez e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



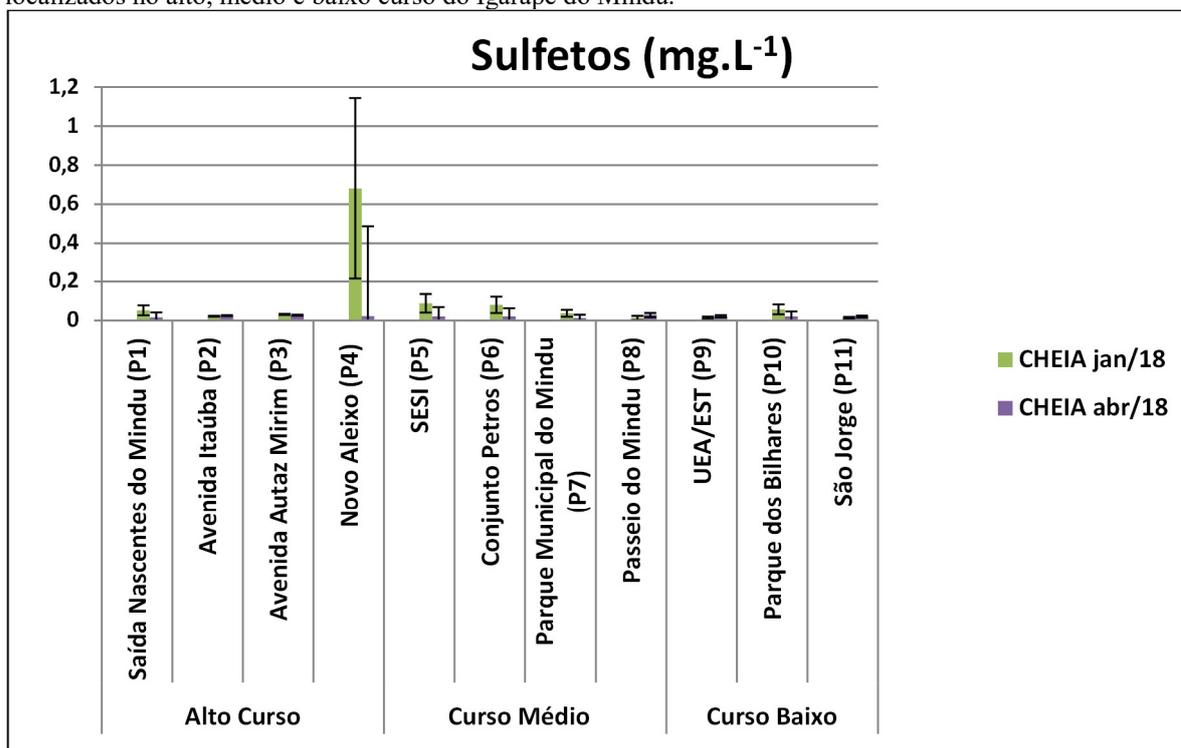
Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A média dos valores encontrada foi entre 14,83 – 82,67 NTU apresentando discrepante desvio padrão nos pontos P4 e P5 conforme gráfico da Figura 56. A alta concentração de turbidez é ocasionada pela grande quantidade de despejos industriais, domésticos e resíduos sólidos que se solubilizam nas águas na forma de sólidos em suspensão que conferem obstáculos a passagem da luz, remoção das mata ciliar e aumento do processo erosivo nas águas, sobretudo através do aumento do assoreamento, que além de impactos na turbidez das águas ainda contribuem para a baixa concentração de oxigênio dissolvido, empecilho para a realização da fotossíntese com redução da quantidade de luz disponível para os seres fotossintéticos presentes nas águas.

4.2.7 Sulfetos

A presença de sulfatos, sulfetos e sulfitos são comumente encontrados nos esgotos domésticos e apresentam-se sob a forma reduzida nas águas naturais (CASSELLA e SANTELLI, 1995). A oscilação apresentada para este parâmetro foi entre 0,012 – 0,679 mg.L⁻¹ com maior concentração encontrada no ponto P4 (Figura 57).

Figura 57 - Gráfico do parâmetro sulfetos e desvio padrão avaliados no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

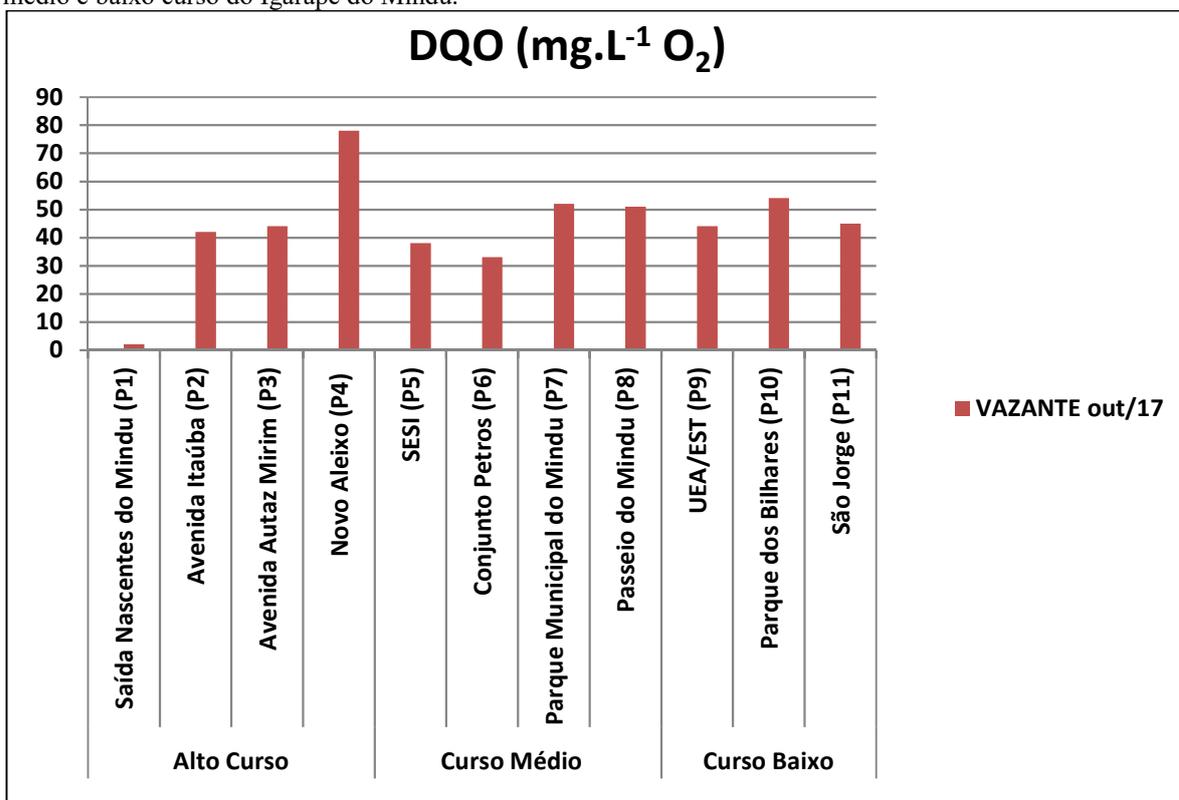
Na avaliação estatística do desvio padrão os valores oscilaram entre 0,0021 – 0,46 (Figura 57), com baixas concentrações encontradas para estes pontos avaliados, excetuando-se ao ponto P4.

Conforme resultados obtidos, supostamente a presença de sulfetos ainda que discreta nas águas é um indicativo da oxidação e conversão da molécula de enxofre através da disposição dos poluentes lançados nas águas, com maior predominância da disposição de efluentes domésticos (esgoto), resíduos sólidos (lixo) e de efluentes industriais que possuem composições diversas em seus resíduos gerados (sulfatos, sulfetos, sulfitos), estando portanto disponíveis como despejo nas águas do igarapé para diluição e autodepuração, ainda que demasiadamente prolongada e apresentando grande risco para os organismos aquáticos e assimilação da cadeia trófica.

4.2.8 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os valores de DQO normalmente são maiores que os da DBO, e seu aumento num corpo d'água se deve, principalmente, a despejos industriais (CETESB, 2011). Neste estudo o parâmetro DQO foi analisado apenas no período de vazante (2017) onde verificou-se que foi encontrado no ponto P1 concentração de 2 mg.L⁻¹ O₂ até o limite máximo de 78 mg.L⁻¹ O₂ no ponto P4 conforme disposto no gráfico da Figura 58.

Figura 58 - Gráfico do parâmetro DQO avaliado no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os resultados médios obtidos pelo RIMA-PROSAMIM (2012) em coleta e análises realizadas no ano de 2010 para o Igarapé do Mindu foi de 54,10 mg.L⁻¹ O₂ e para os contribuintes; Igarapé do Franco 77,77 mg.L⁻¹ O₂; Igarapé da Cachoeira Grande de 37,19 mg.L⁻¹ O₂ e foz do Igarapé do Mindu no Igarapé do São Raimundo de 77,77 mg.L⁻¹ O₂, evidenciando supostamente que estes trechos são receptores de matéria orgânica provenientes de esgotos domésticos, sobretudo nos trechos finais do curso médio e curso baixo do igarapé do Mindu, excetuando-se o ponto P4 no alto curso onde o DQO apresentou maior resultado.

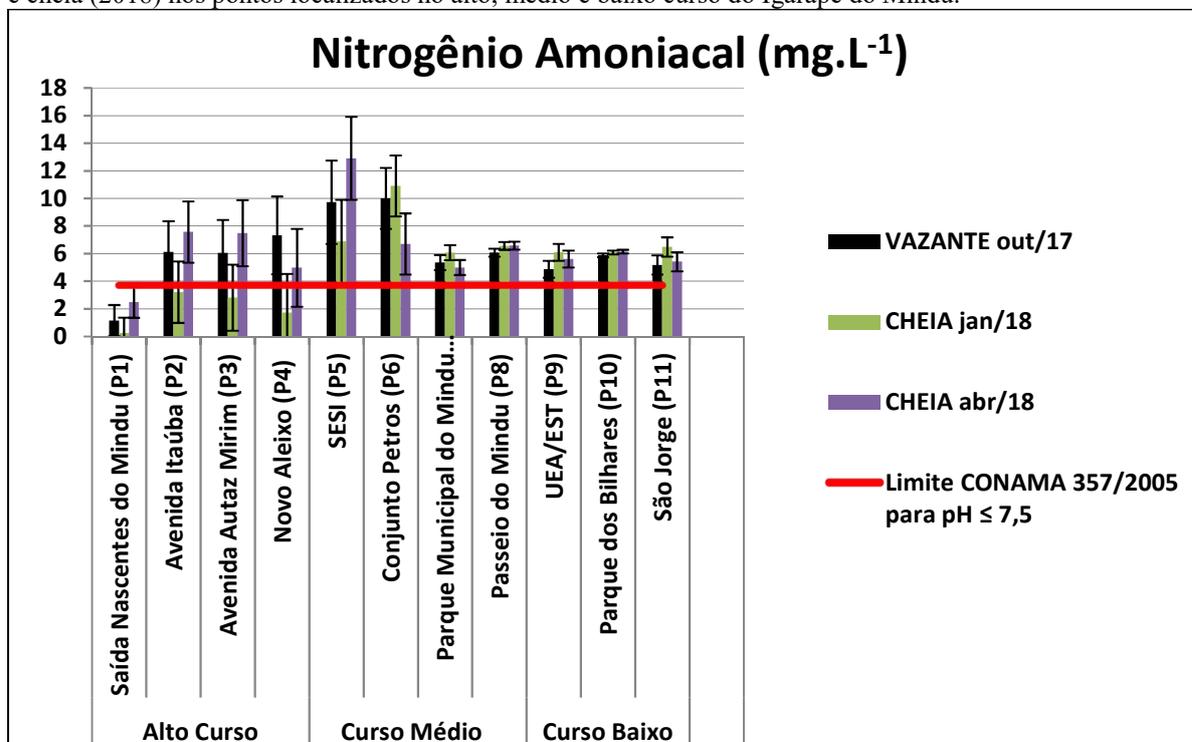
4.3 Parâmetros Nutricionais

4.3.1 Nitrogênio Amoniacal

Os valores de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) de acordo com a resolução CONAMA 357/05, devem manter-se em níveis inferiores a 3,7 (mg/L⁻¹ N-NH₃) - conforme linha vermelha no gráfico da Figura - quando o valor do pH encontrar-se igual ou inferior a 7,5, ou seja, todos os pontos analisados de P1 a P11 apresentaram pH abaixo do preconizado pela legislação (pH<7,5). Exceto o ponto P1 que possui águas com baixo impacto antrópico, os demais pontos avaliados no curso médio e curso baixo do igarapé nos períodos de vazante e

cheia apresentaram-se em desacordo ao preconizado pela legislação conforme apresentado no gráfico da Figura 66. Os valores médios foram entre 0,23 – 10,9 mg.L⁻¹.

Figura 59 - Gráfico do parâmetro nitrogênio amoniacal e desvio padrão avaliados no período de vazante (2017) e cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

A média dos resultados apresentou-se entre 1,28 – 9,83 mg.L⁻¹ e a variação do desvio padrão encontrada foi entre 0,14 – 2,82 conforme gráfico da Figura 59. A maior dispersão dos dados foi encontrada no alto curso do igarapé do Mindu e nos pontos P5 e P6 do médio curso do igarapé.

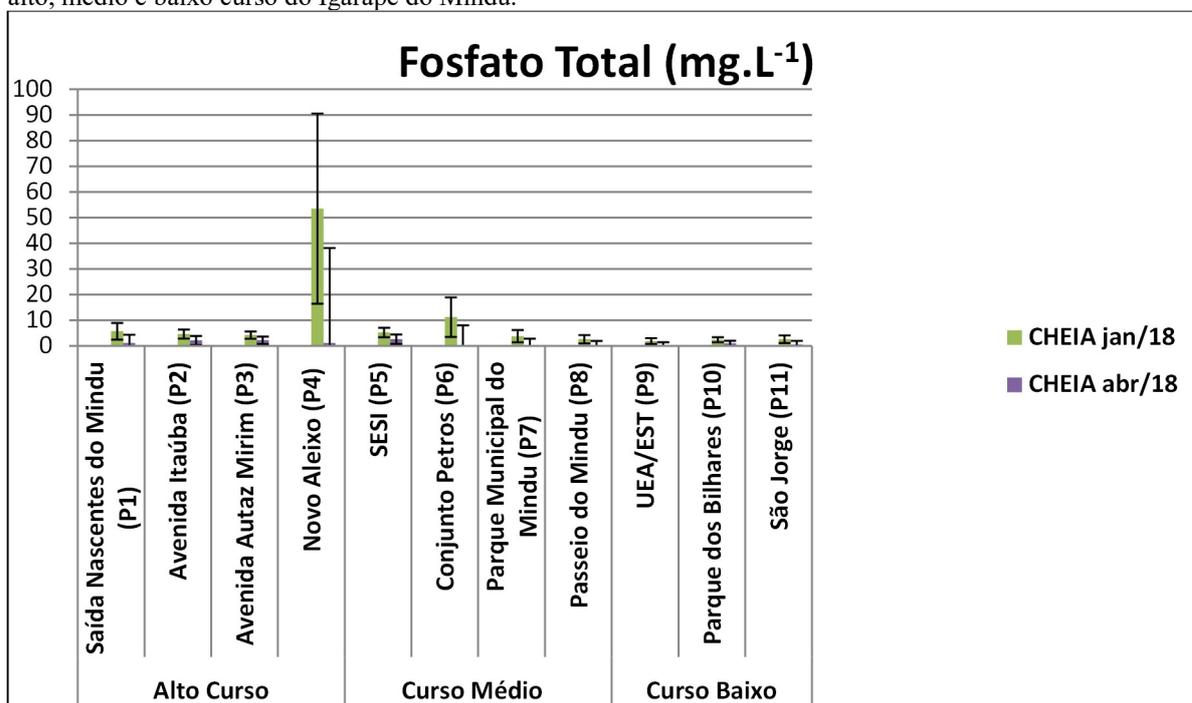
Nascimento (2011) analisando as águas do igarapé do Mindu descreve que suas margens apresentam-se em parte com cobertura vegetal e outras desmatadas e totalmente habitadas, recebe em seu percurso esgotos domésticos e resíduos orgânicos despejados pela comunidade. Em coleta realizada no ano de 2010 destacou que na avaliação dos pontos de máxima contaminação do Igarapé do Mindu (03°09'S, 60°01'W), a água apresentava uma tonalidade esverdeada e odor característico de matéria orgânica em decomposição. Em seu experimento aferiu para análise de nitrogênio amoniacal (amônia) médias de 10,08 mg.L⁻¹.

4.3.2 Fósforo Total

O parâmetro fósforo total foi avaliado apenas no período de cheia do igarapé do Mindu. Apresentou oscilação entre 0,3 – 53,5 mg.L⁻¹ conforme gráfico da Figura 60, com maiores valores encontrados nas análises do ponto P4 e P6 no período de cheia. A dinâmica do fósforo

é fortemente associada ao despejo de efluentes industriais e efluentes domésticos haja visto seu largo emprego na composição de óleos, gorduras e detergentes comerciais, sua identificação nas águas é de fácil visualização com a caracterização de espuma nas águas, e seu efeito acentuado é verificado na associação com o nitrogênio que pode comprometer a qualidade das águas, alterando sua cor e agregando gosto na águas, seu acréscimo prolongado pode acarretar no fenômeno da eutrofização e posteriormente a morte do igarapé ou manancial por falta ou ausência de oxigênio nas águas e proliferação de algas.

Figura 60 - Gráfico do parâmetro fosfato total avaliado no período de cheia (2018) nos pontos localizados no alto, médio e baixo curso do Igarapé do Mindu.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Todas as amostras analisadas dos pontos de P1 a P11 (Figura 68) coletados para análise de fosfato total encontraram-se acima dos valores permitidos pela Resolução N° 357/05 do CONAMA para corpos d'água Classe Tipo II, que é de 0,1 mg.L⁻¹ em ambiente lótico para fósforo inorgânico (fosfatos).

O desvio padrão apresentou maior valor também no ponto P4 e a variação apresentou-se entre 0,99 – 37,05 conforme gráfico da Figura 60. Este ponto P4, inclusive tem concentrado os maiores valores de pH, turbidez, fosfato, sulfetos, e presença de sólidos totais dissolvidos nas águas.

Fernandes et al. (2016) analisando águas do Igarapé do Educandos que assim como o Igarapé do Mindu absorve contribuições de efluentes domésticos e industriais em seu curso (PINTO et al., 2009), obteve concentrações de fosfato total oscilando entre 2,1 – 3,15 mg.L⁻¹ acima do preconizado pela legislação CONAMA 357 /2005.

4.4 Aplicativo Qualimindu

Na interface do aplicativo “Qualimindu” com os usuários foram construídas 6 (seis) telas para apresentação dos conteúdos sobre a área de estudo, história, objetivos do aplicativo, fotografias do estado atual do Igarapé do Mindu, e mapa de localização dos pontos de amostragem), foi ainda elaborado 29 telas para a apresentação dos resultados de parâmetros físico-químicos obtidos no campo. Na Figura 61 é apresentado o ícone do aplicativo (círculo vermelho) no smartphone de teste, após clicar neste ícone ele abre a tela de abertura do aplicativo.

Figura 61 - Ícone do aplicativo “Qualimindu” no smartphone de teste (círculo vermelho) e tela de abertura a direita da figura.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Após a tela de abertura o aplicativo é apresentado às informações iniciais sobre os objetivos do estudo, o local de estudo e a finalidade de realização do estudo. Nesta mesma tela possui uma figura do Igarapé do Mindu na época em que era local de recreação e lazer na cidade de Manaus-AM conforme Figura 62.

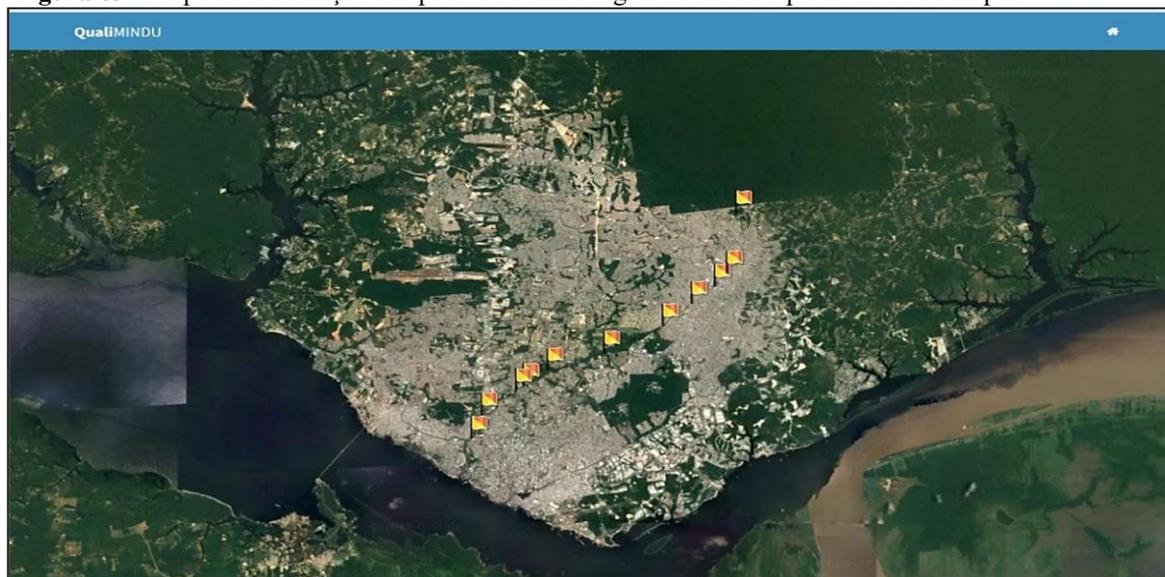
Figura 62 - Tela de informação inicial do aplicativo “Qualimindu”



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Clicando nos botões do canto superior do aplicativo móvel seja no smartphone, ou na internet através do domínio (www.qualimindu.com), é possível no botão de mapas (Figura 63), obter uma nova tela com visualização nas bandeiras (laranja e amarela) de todos os pontos de amostragem que foram coletados e realizadas análises do Igarapé do Mindu.

Figura 63 - Mapa de localização dos pontos de amostragem acessado a partir do botão mapas.

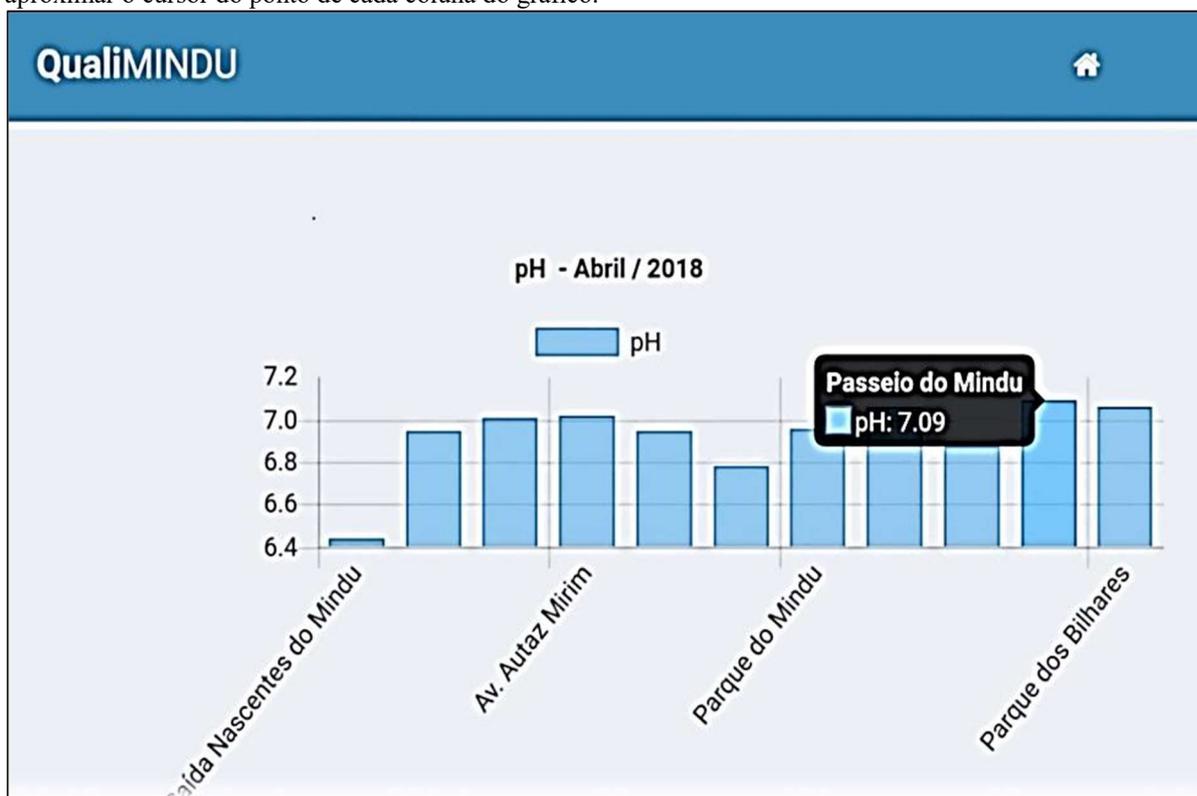


Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Os resultados obtidos no período de 1 (um) ano de análises, com avaliação das águas a cada trimestre de julho de 2017 a julho de 2018, foram dispostos no aplicativo a partir da forma gráfica de colunas. Cada parâmetro físico-químico avaliado foi disponibilizado através desta forma gráfica para os usuários. Ao aproximar o cursor seja com o dedo (smartphone)

com tela sensível ao toque, ou no acesso do site por computador desktop, o aplicativo informa o local de amostragem e também o resultado exato da análise. Na Figura 64 verifica-se o formato da apresentação do gráfico de pH realizado em Abril de 2018.

Figura 64 - Os resultados no aplicativo foram dispostos na forma gráfica e também por resultados exatos ao aproximar o cursor do ponto de cada coluna do gráfico.



Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

Em cada tela buscou-se apresentar de forma didática e elucidativa dispor as informações sobre as características do igarapé do Mindu, seja em seu passado ou presente. Foram fornecidas informações sobre cada parâmetro físico-químico avaliado, e a sua importância para a qualidade das águas buscando o entendimento e a compreensão do usuário final conforme gráfico da Figura 65 que apresenta o descritivo do igarapé do Mindu do passado, que albergava em suas margens o balneário do Parque Dez, local de recreação na cidade de Manaus na década de 70.

Figura 65 - Tela do aplicativo móvel com informações sobre o igarapé do Mindu.

QualIMINDU

Igarapé do Mindu:

O Igarapé do Mindu se confunde com a história da cidade de Manaus, suas águas outrora cristalinas já foram águas de abastecimento da cidade, também já foram lembranças de muitas tardes e dias de banho e lazer. Como dizia meu pai, geladas e atrativas, suas águas eram um encanto no coração da cidade de Manaus, no Baileário do Pq. Dez. O Igarapé do Mindu possuía vários balneários e trechos com água de excelente qualidade do qual as pessoas recreavam e aproveitavam as águas cristalinas e geladas do Igarapé.



Passados anos de desenvolvimento e expansão da Zona Franca de Manaus o principal córrego que corta a cidade de Manaus, com 22 km de extensão, foi completamente modificado por ações antrópicas, sofrendo atualmente com falta de políticas de saneamento, e apresentando vasta contaminação e poluição de suas águas por lançamentos de efluentes domésticos, industriais, resíduos sólidos, e remoção da sua mata ciliar em vários trechos do rio. Este trabalho visa monitorar os dados de parâmetros físicos e químicos das águas do Igarapé, entre eles, pH, condutividade elétrica, temperatura da água, sólidos dissolvidos totais, oxigênio dissolvido, fosfato, nitrogênio amoniacal, fosfato total, turbidez e sulfetos.

Copyright © 2017-2018 ALL INFORTEC. All rights reserved. Version 1.0.0

Fonte: Souza Filho, E.A (2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação das características da água do Igarapé do Mindu nos períodos sazonais se verificou dispersão entre os dados. De um período para o outro, houve diferenças significativas que caracterizaram maior transporte dos poluentes nos eventos de cheia, e maior concentração nos eventos de vazante do rio.

Analisando os pontos de maior influência antrópica, os resultados obtidos de (P2 a P11) do curso alto até a foz do Igarapé do igarapé do Mindu, apresentaram oscilação nos parâmetros que caracterizam grande incidência de transporte de carga de poluentes e presença de contaminantes orgânicos, o que é corroborado pelos altos valores obtidos de pH; condutividade elétrica; nitrogênio amoniacal, fosfato e baixos valores de oxigênio dissolvido. Mesmo com a variação dos períodos sazonais de vazante e cheia dos rios, a oscilação se manteve frequente nos períodos estudados.

A presença de DQO em altas concentrações nos pontos estudados é indicativa do acréscimo de matéria orgânica nas águas e consequente redução da concentração de oxigênio dissolvido, por este ser um espectro favorável, não para vida aquática, mas sim para o desenvolvimento de microrganismos que oxidam o oxigênio das águas e assimilam em suas atividades metabólicas. A baixa concentração de oxigênio dissolvido, presença de nitrogênio amoniacal, concentração de matéria orgânica e presença de sulfetos nas águas são fortes indícios de contaminação orgânica das águas por esgotos domésticos e industriais.

As altas concentrações de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alta turbidez nestes pontos nos períodos de vazante e cheia, são indicativos do transporte de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos nas águas, oriundos majoritariamente do lançamento de resíduos sólidos nas águas e efeitos do assoreamento e erosão das margens do igarapé, o que pode ser caracterizado pela baixa efetividade de políticas públicas para proteção das áreas de preservação permanente (APPs) encontrados neste igarapé (Corredor Ecológico do Mindu, Parque Municipal do Mindu e Parque dos Bilhares) que apresentaram grande quantidade de resíduos sólidos em seu entorno e necessidade de sensibilização ambiental da população que lança seus resíduos sobre as águas.

O ponto P1 por possuir características naturais de águas de nascente, com coloração escura, baixa turbidez, pH levemente ácido, baixa condutividade elétrica e baixa concentração de nutrientes, fosfato, nitrogênio amoniacal e sulfetos, foi considerado de baixa influência antrópica possuindo desta forma suas características preservadas, mas que necessita de

monitoramento constante para avaliar se estas características são mantidas no decorrer do tempo.

Os resultados demonstraram que os pontos P4 – Novo Aleixo, P5 – SESI e P6 – Conjunto Petros apresentaram forte incidência de contaminação por esgotos e receptores de efluentes industriais, o que colabora para ocasionar impactos na dispersão dos poluentes e transporte de sedimentos para sua foz, contribuindo com poluição em trecho do rio Negro, que além de possuir em sua orla características de balneabilidade (Praia da Ponta Negra), ainda é o principal rio de abastecimento público da cidade de Manaus.

A presença nas águas de contaminantes críticos como fosfato, sulfetos e nitrogênio amoniacal, com diversos destes pontos analisados em desacordo ao que preconiza a legislação CONAMA 357/2005, serve como vigilância para rever o planejamento e disposição dos resíduos domésticos e industriais que estão sendo lançados no leito do igarapé, pois, em tempos de sustentabilidade e meio ambiente equilibrado é necessário conscientização e avaliação de alternativas para melhorar o saneamento básico na cidade de Manaus, com destaque para a coleta e tratamento do esgoto da cidade, haja visto que a cidade está entre as piores do Brasil no quesito esgotamento sanitário.

Em relação à construção do software, foi possível desenvolver por meio da plataforma android o protótipo do aplicativo “Qualimindu” que surge como anteparo para projetar os dados de qualidade das águas do Igarapé do Mindu e possibilitar um diálogo com gestores de recursos hídricos sobre o diagnóstico deste local de estudo. O aplicativo foi instalado em um smartphone de teste para acompanhamento, com funcionalidades, telas e botões acessíveis para o público em geral, e, portanto de manejo intuitivo e discreto em suas operações. Os gráficos plotados sobre os parâmetros físico-químicos e nutricionais avaliados neste estudo além de disponíveis no aplicativo “Qualimindu” são ainda disponibilizados no website “www.qualimindu.com” e acessível para gestores ou público em geral que necessitem obter dados periódicos de qualidade das águas do igarapé do Mindu, seja para monitoramento e comparação dos dados, ou ainda para o acompanhamento de tendências e desenvolvimento de políticas públicas na sub-bacia de estudo.

Para o desmembramento de novas ações para continuidade do aplicativo “Qualimindu”, parametrização de novas funções e integração na plataforma comercial de aplicativos Android o “Google Play Store”, esta plataforma requer uma série de requisitos para ser disponibilizada com fins comerciais. Neste caso a implementação de modificações para esta integração depende da viabilização de parcerias e aporte financeiro para arcar com os custos de operacionalização e de inscrição no “Google Play Store”. Todavia esta plataforma

foi desenvolvida para funcionar com baixo custo, fácil aceitação pelo público e característica pioneira ao disponibilizar dados de qualidade das águas de um dos igarapés de Manaus, logo o seu mais extenso curso, o Igarapé do Mindu, cumprindo desta forma com seus objetivos iniciais.

Do ponto de vista da gestão de recursos hídricos, entendemos que Manaus possui um distrito industrial que gera muitos recursos para a cidade através da arrecadação de impostos, todavia a destinação destes recursos não tem encontrado amparo em ações eficazes ao longo dos anos de planejamento e saneamento básico da cidade, como por exemplo, a fiscalização do lançamento de efluentes industriais, destinação de resíduos sólidos, e aumento da coleta e tratamento do esgoto, pois, os resultados quantitativos e visuais apresentados evidenciam que há uma degradação dos recursos hídricos urbanos em curso, e existe uma necessidade de ampliação da proteção e preservação dos rios urbanos da cidade, sobretudo para evitar o risco iminente de morte de vários trechos do Igarapé do Mindu e seus tributários, objeto de estudo nesta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SÁBER, A. N. A Amazônia: do discurso à Práxis. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2ª Edição, 320p, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2014. Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 01/05/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017. 169p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Curso de Sistema de Informação para a Qualidade da Água – Unidade 6. Disponível em <<https://capacitacao.ead.unesp.br/>>. Acesso em 02/06/2018. p.20, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em <www.snirh.gov.br/hidroweb>. Consulta em 06/06/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil: 2012. Disponível em <<http://ana.gov.br>>. Acesso em: 01/05/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução 724/2011. Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 19 de outubro de 2011.

ALMEIDA, F.R; LEITE, J.C; ALVES, C.N; DEUS, R.J.A. Environmental diagnostic of the spa park 10 de Novembro at Igarapé Mindú in Manaus. ITEGAM-JETIA, v.3, n°10, pp.204-219. 2017.

AMAZONAS, GOVERNO DO ESTADO DO. Lei Estadual nº 3.167 de 27 de agosto de 2007. Reformula as normas da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Manaus, AM, 28 ago. 2007.

APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. Washington, 2005.

BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1032082/lei-12651-12> Acesso: 02/12/12.

BRASIL. Lei Federal 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, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério da Saúde – Portaria MS nº. 2914/2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 16/05/2018.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova*, v.23, n°5, pp.618-622. 2000.

CASSELLA, R. J. E SANTELLI, R.E. Determinação de Sulfeto em Águas Doces e Salinas Usando Sistemas de Injeção em Fluxo Contínuo (FIA) e Espectrofotometria com Nitroprussiato. *Revista Química Nova*, v.18, n° 6, pp. 536-540, 1995.

CASSIANO, K, R, M. Análise Geográfica de Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindu – Manaus (AM). Dissertação do Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2013. 103p.

CLETO FILHO, S. E. N.; WALKER, I. Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um igarapé da cidade de Manaus/AM – Amazônia central. *Acta Amazônica*. v.31, n°1, pp. 69-89, 2001.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#condutividade>. Acesso em 10/06/2018. 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013 – Apêndice D - CETESB. São Paulo: CETESB, 434p, 2014.

CONAMA N° 357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências."- Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU: 18/03/2005.

ELIAS, A.S. S; SILVA, M.S.R. 2001. Hidroquímica das Águas e Quantificação de Metais nos Sedimentos de Fundo das Bacias Hidrográficas de Área Urbana de Manaus que Deságuam no Rio Negro. *Anais da Jornada de Iniciação Científica do INPA*, 10. CNPq/INPA. p 402-405.

EL-KASSAS, W. S. et al. Taxonomy of Cross-Platform Mobile Applications Development Approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447915001276>>.

EPIA-MINDU. Relatório de Impacto Ambiental para a revitalização do Mindu. Módulo IV – Identificação e caracterização dos impactos ambientais. Manaus, 2008.

FERNANDES, E.P; STEHLGENS, L.S; SANTOS, S.O.; CHAVES, E.V. Avaliação do Comportamento Hidroquímico de Fosfato das Águas do Igarapé da Bacia do Educandos no Município de Manaus. *Anais do I Congresso de Ciência, Educação e Pesquisa Tecnológica. IFAM/CONCEPT*, Manaus-AM, 2016.

FERREIRA, A.R.A.S. Gestão de Recursos Hídricos no Amazonas: Uma Análise Comparativa. (Dissertação de Mestrado). FGV, Manaus-AM, 116p, 2008.

FERREIRA, S.J.F.; MIRANDA, S.A.F.; SILVA, C.C; MARQUES FILHO, A.O. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v.42, n° 4, pp.533-540. 2012.

FONSECA, R; COSTA, L.A; TELLO, J.C.R; MEDEIROS, C.M. Estudo de caso do Corredor Ecológico e Urbano do Mindu: Mapeamento de Passivos Ambientais do Parque Municipal do Mindu, Manaus-AM. *REVSBAU*, v.7, n.2, pp.1-9, 2012.

GOULDING, M.; CARVALHO, M. L.; FERREIRA, E. J. G. 1988. Rio Negro, rich life in poor water: Amazonian diversity and foodchain ecology as seen through fish communities. The Hague: SPB Academic Publishing. 200p.

IBGE. Censo Demográfico 2017 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>>. Acesso em 10/06/2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento 2018. São Paulo-SP, 2018. 118p.
JUNK, W. J. Áreas inundáveis – Um desafio para Limnologia. *Acta Amazônica*. v. 10. pp. 775-795, 1980.

LECHETA, Ricardo R. Google Android: aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK. Ed. Novatec. 2ª ed. São Paulo, 2010.

LIMA, C. C. B. Aplicativos móveis de interesse público: limites e possibilidades para a cidadania no Brasil. Dissertação (Mestrado em Comunicação) – Universidade de Brasília, Brasília, 238p, 2017.

LIMA, Corrêa Lima. Manaus 310 anos. Manaus: Suframa, 1983.

MACENA, L.S.L; DONALD, A.R. Áreas de Risco nas Bacias Hidrográficas Urbanizadas de Manaus. (Dissertação de Mestrado). Manaus: UFAM, 262p. 2016.

MACHADO, A.L.S. A Educação Ambiental para gestão Sustentável da água: estudo de caso do Igarapé do Mindu – Manaus, AM. (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília – DF, 245p. 2012.

MARINHO, R.R; SILVA, E.C.M. Análise morfométrica de áreas afetadas por inundação urbana em Manaus (AM). *Revista Caminhos da Geografia*, v.17, n°59, p. 162–176. 2016.

MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. *Caminhos de geografia*, v.5, p.40-47, 2005.

MILLER, P; MATVIYENKO, S. *The Imaginary App*. 1a Ed. Massachusetts: MIT Press Books, 2014.

NASCIMENTO, J.H.P. Efeitos e exposição de ovos e larvas de *Osteocephalus taurinus* Steindachner, 1862 – (Anura, Hylidae) à água contaminada de dois igarapés de Manaus-AM: Toxidade aguda e crônica. Dissertação de Mestrado. Manaus-AM: Ufam, 45p, 2011.

NAVA, D.B. Mapa de Vulnerabilidade aos processos erosivos da porção sudoeste da cidade de Manaus, Amazonas. (Dissertação de Mestrado). Manaus: UFAM, 90p. 1999.

NIELSEN. An era of Growth the cross platform report. Disponível em <<http://www.nielsen.com/us/en/insights/report/2014/an-era-of-growth-the-cross-platform>>

NOGUEIRA, F. C; SASON. F; PESSOA. K. A Expansão Urbana e Demográfica da Cidade de Manaus e seus Impactos Ambientais. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis-SC. INPE, p.5427-5434. 2007.

OLIVEIRA, J.A; COSTA, D. P. C. Análise da moradia em Manaus (AM) como estratégia de compreender a cidade. Scripta Nova (Barcelona), v. 11, p.30, 2007.

PAPAJORGJI, P. Automated Enterprise Systems for Maximizing Business Performance. 1 edition. ed. Hershey, PA: IGI Global, 2015.

PINTO, A.G.N; HORBE A.M.C; SILVA, M.S.R; MIRANDA, S.A.F, PASCOALOTO, D; SANTOS, H.M.C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. Acta Amazônica, vol.39, n.3, pp.627-638, 2009.

PIVELI, R.. Curso Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos, Notas de Aula, EEUSP, p.20, 2001.

PLAMONDONA, A.P.; RUIZB, R.A.; MORALES, C.F.; GONZALEZD, M.C. Influence of protection forest on soil and water conservation (Oxapampa, Peru). Elsevier Science Publishers, v.38, pp227-238, 1991.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MANAUS (PMM). Plano de Manejo do Corredor Ecológico Urbano do Igarapé do Mindu/Parque Municipal do Mindu. Manaus, 2008.

PROGRAMA SOCIAL E AMBIENTAL DOS IGARAPÉS DE MANAUS (PROSAMIM). Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Manaus-AM, 326p. 2012.

RIBEIRO FILHO, Vitor. Mobilidade residencial em Manaus: uma análise introdutória. Manaus: EDUA, 197p, 1999.

RODRIGUES, T.F.; COSTA, C.C. Identificação de áreas de risco na bacia hidrográfica do igarapé do Mindú. (Relatório final de pesquisa). Manaus: PIBIC-INPA, 2015.

SANTOS, W. L. O processo de urbanização e impactos ambientais em bacias hidrográficas: o caso do Igarapé Judia-Acre-Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 163p. 2005.

SILVA, L. L. B.; PIRES, D. F.; NETO, S.C. Desenvolvimento de Aplicações para Dispositivos Móveis: Tipos e Exemplo de Aplicação na plataforma iOS. Goiânia: II Workshop de Iniciação Científica em Sistemas de Informação. 2015.

SILVA, L. M.; Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica / Luana Monteiro da Silva. - Manaus, AM: UFAM, 2012.

SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. Boletim geográfico. v.79, p.23-39, 1962.

STRICKLAND, J. Como funciona o Android (Google Phone). Disponível em <<http://informatica.hsw.uol.com.br/google-phone2.htm>>. Acesso em 20/06/2018.

VIEIRA, A. F. G. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. (Tese de Doutorado), Florianópolis: UFSC, 213p. 2008.