



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DO
RIO AURÁ, BELÉM-PARÁ: APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE
MALASIANO (DOE-IQA)**

Arthur Araújo Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Sil Franciley dos Santos Quaresma

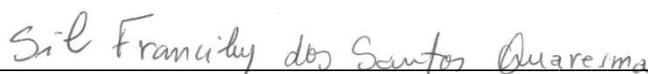
Belém
Maio de 2019

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DO
RIO AURÁ, BELÉM-PARÁ: APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE
MALASIANO (DOE-IQA)**

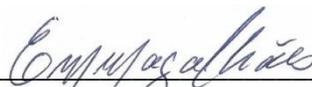
Arthur Araújo Ribeiro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS – MESTRADO
PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

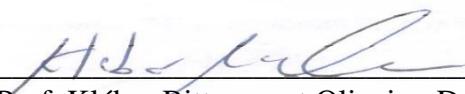
Examinada por:



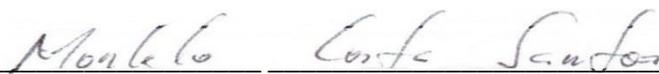
Prof. Sil Franciley dos Santos Quaresma, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Edilson Marques Magalhães, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Prof. Kléber Bittencourt Oliveira, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA – Membro)



Prof. Marcelo Costa Santos, Dr.
(UFRA/Capanema - Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

MAIO DE 2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Ribeiro, Arthur Araújo, 1991
Caracterização dos parâmetros de qualidade de água do rio
Aurá, Belém-Pará: Aplicação do índice de qualidade malasiano
(DOE-IQA) / Arthur Araújo Ribeiro - 2019.

Orientador: Sil Franciley dos Santos Quaresma

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade
Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Processos, 2019

1. Água - Qualidade - Pará 2. Análise. I. Título

CDD 23. Ed.-628161098115

Dedico este trabalho aos curiosos e questionadores, dentre eles figurando a real esperança à humanidade.

“Existem muitas hipóteses na ciência que são erradas. Isso é perfeitamente correto; elas são a abertura para descobrir o que é certo. A ciência é um processo autocorretivo. Para serem aceitas, novas ideias devem sobreviver aos mais rigorosos padrões de evidência e escrutínio.”

(Carl Sagan)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DO
RIO AURÁ, BELÉM-PARÁ: APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE
MALASIANO (DOE-IQA)**

Arthur Araújo Ribeiro

Maio/2019

Orientador: Dr. Sil Franciley dos Santos Quaresma

Área de Concentração: Engenharia de Processos

A urbanização intensa, somada ao crescimento populacional, estimula o desenvolvimento de atividades que provocam impactos ambientais ao meio urbano. Dentre as atividades com potencial gerador de poluição e/ou contaminação, ressaltam-se aquelas relacionadas ao saneamento ambiental. Este estudo abordou a caracterização de parâmetros físico-químicos da qualidade da água do rio “Aurá” através da resolução CONAMA 357/2005 diante da aplicação do índice de qualidade malasiano (DOE-IQA). A área de estudo compreendeu a região a montante do rio “aurá”. A metodologia do trabalho consistiu na realização de coletas de campo, em pontos distribuídos ao longo desse percurso, para determinação das variáveis físico-químicas. Os resultados mostraram relação direta com o crescimento populacional e o lançamento desenfreado de poluentes ao longo do período de funcionamento do lixão, observaram-se alterações importantes na cor, oxigênio dissolvido e na concentração de nitrogênio amoniacal, bem acima do estipulado pela resolução vigente (CONAMA 357/2005 águas classe II), nos sugerindo grande consumo de matéria orgânica, a aplicação do DOE-IQA possibilitou a observação das regiões mais impactadas com o lançamento e a percolação de chorume.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**CHARACTERIZATION OF WATER QUALITY PARAMETERS OF THE
AURÁ RIVER, BELÉM-PARÁ: APPLICATION OF MALASIAN QUALITY
INDEX (DOE-IQA)**

Arthur Araújo Ribeiro

Maio/2019

Advisor: Dr. Sil Franciley dos Santos Quaresma

Research Area: Process Engineering

The intense urbanization, added to the populational growth, stimulates the development of activities that provoke environment impacts. Among the activities with great potential for pollution generation and contamination, it is observed those related to the environmental sanitation". This study breaches the characterization of the "Physical-chemical" parameters of water quality in the "Aura" river. According to the CONAMA 357/2005. The field of study comprehends the area of the "Aura" upstream river. The work methodology consists in the realization of field samples, in target places distributed along it's course, for the determination of the "physical-chemical" variables. The results show a direct relation with the populational growth and the discharge of poluents throughout the working period of the landfill, observed important alterations in color, oxigen dissolution and concentration of amoniacal nitrogen, largely above the stipulated by the actual resolution (CONAMA 357/2005 água classe II), suggesting great organic matter consumption , the application of DOE-WQI allowed the observation of the most impacted regions with discharge and the slurry's percolation.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	5
1.2 - OBJETIVOS.....	6
1.2.1 - Objetivo geral	6
1.2.2 - Objetivos específicos	6
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	7
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	7
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 - A QUALIDADE DAS ÁGUAS E A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	8
2.1.1 - Divisão dos corpos d'água em classes segundo a legislação brasileira	9
2.2 - MANANCIAIS OU FONTES DE ÁGUA.....	11
2.3 - A QUESTÃO DO LIXO URBANO.....	12
2.4 - INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS.....	15
2.5 - ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA).....	16
2.6 - INTRODUÇÃO AOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	17
2.6.1 - Iqa - nsf	17
2.6.2 - Iqa cetesb	19
2.6.3 - Doe - iqa (malaysian water quality index)	20
2.6.4 - Fórmula geral “cálculo do doe - iqa”	21
2.7 - PROPRIEDADES FÍSICAS.....	24
2.7.1 - Indicadores “doe - iqa”	24
2.7.1.1 - Potencial hidrogeniônico (pH).....	24
2.7.1.2 - Sólidos totais dissolvidos (STD).....	25
2.7.1.3 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5).....	25
2.7.1.4 - Demanda química de oxigênio (DQO).....	26
2.7.1.5 - Série nitrogenada - Nitrogênio amoniacal.....	27
2.7.1.6 - Oxigênio dissolvido (OD).....	28
2.7.2 - Demais parâmetros Físico-Químicos	29
2.7.2.1 - Cor.....	29
2.7.2.2 - Turbidez.....	29

2.7.2.3 - Ferro.....	30
2.7.2.4 - Alcalinidade.....	31
2.7.2.5 - Cloretos.....	32
2.7.2.6 - Dureza.....	33
2.7.2.7 - Série Nitrogenada - Nitrato.....	34
2.7.2.8 - Série Nitrogenada - Nitrito.....	35
2.8 - ESTUDOS CORRELATOS.....	35
CÁPITULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 - ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1.1 - Caracterização da área.....	38
3.2 - INFLUÊNCIA CLIMÁTICA.....	42
3.3 - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	43
3.3.1 - Período de coleta.....	44
3.2.2 - Caracterização dos pontos de amostragem.....	44
3.4 - PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES.....	46
3.5 - COLETA DAS AMOSTRAS.....	47
3.5.1 - Variáveis físico-químicas.....	48
3.5.2 - Análise das variáveis físico químicas.....	49
3.6 - METODOLOGIA.....	50
3.7 - DETERMINAÇÃO DO IQA.....	50
3.7.1 - Equações das curvas de qualidade do “DOE - IQA”	51
3.7.1.1 - Determinação dos valores de “qi” para as seis variáveis no cálculo do iqa	51
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS.....	54
4.1.1 - Turbidez.....	54
4.1.2 - Sólidos Totais Suspensos (STS).....	55
4.1.3 - Cor.....	56
4.1.4 - Alcalinidade.....	57
4.1.5 - Cloretos.....	58
4.1.6 - Dureza.....	59
4.1.7 - Ferro total.....	59
4.1.8 - Oxigênio dissolvido.....	60
4.1.9 - Demanda bioquímica de oxigênio.....	61

4.1.10 - Demanda química de oxigênio.....	62
4.1.11 - Nitrogênio amoniacal (NH ₃ -N)	63
4.1.12 - Nitritos.....	64
4.1.13 - Nitratos.....	65
4.1.14 - pH.....	66
4.2 - ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO AURÁ.....	66
4.2.1 - Qualidade da água de acordo com o IQA Malasiano.....	67
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
CÁLCULOS DE REFERÊNCIA (Apêndice A).....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Distribuição dos usos consuntivos de água no Brasil.....	12
Figura 2.2	Vista aérea "Aterro do Aurá".....	14
Figura 2.3	Catadores da região.....	15
Figura 2.4	Curvas médias de variação dos sub-índices.....	22
Figura 2.5	Variação do IQA ao longo do espaço amostral, Surfer 10.....	36
Figura 2.6	Mapa de isovalores da bacia do Aurá de 2008 a 2013 ISTO e IAP.....	37
Figura 2.7	Mapa de isovalores da bacia do Aurá de 2008 a 2013 IQA e IGQA.....	37
Figura 3.1	Área de proteção ambiental de Belém (APA).....	38
Figura 3.2	Mapa da região de estudo.....	39
Figura 3.3	Mapa geral da área de estudo, área de destinação dos resíduos sólidos “Auré”.....	40
Figura 3.4	Mapa Geral da área de estudo.....	41
Figura 3.5	Captação de água bruta do Rio Guamá (Concessionária de abastecimento de água).....	41
Figura 3.6	Perfil da área.....	42
Figura 3.7	Estações automáticas índice pluviométrico “Belém 2018”.....	43
Figura 3.8	“12” Pontos de Coleta no rio “Auré”.....	43
Figura 3.9	Tábuas de marés – Belém (16/05/2018).....	44
Figura 3.10	Ponto “P01” (Extremo norte do Rio “Auré”).....	45
Figura 3.11	Ponto “P06” (Extremo norte do Rio “Auré”).....	45
Figura 3.12	Esquematização das etapas de trabalho.....	46
Figura 3.13	Georreferenciamento dos pontos de coleta.....	47
Figura 3.14	Sincronização da sonda para leitura dos dados.....	47
Figura 3.15	Coleta de Amostras de DBO e DQO.....	48
Figura 4.1	Gráfico para a variável “Turbidez” ao longo do trecho estudado...	55
Figura 4.2	Gráfico para a variável “Sólidos Totais Suspensos” ao longo do trecho estudado.....	56
Figura 4.3	Gráfico para a variável “Cor” ao longo do trecho estudado.....	57

Figura 4.4	Gráfico para a variável “Alcalinidade” ao longo do trecho estudado.....	57
Figura 4.5	Gráfico para a variável “Cloretos” ao longo do trecho estudado....	58
Figura 4.6	Gráfico para a variável “Dureza” ao longo do trecho estudado.....	59
Figura 4.7	Gráfico para a variável “Ferro total” ao longo do trecho estudado.....	59
Figura 4.8	Gráfico para a variável “Oxigênio dissolvido” ao longo do trecho estudado.....	60
Figura 4.9	Gráfico para a variável “DBO” ao longo do trecho estudado.....	61
Figura 4.10	Gráfico para a variável “DQO” ao longo do trecho estudado.....	62
Figura 4.11	Gráfico para a variável “Nitrogênio Amoniacal” ao longo do trecho estudado.....	64
Figura 4.12	Gráfico para a variável “Nitritos” ao longo do trecho estudado.....	64
Figura 4.13	Gráfico para a variável “Nitratos” ao longo do trecho estudado....	65
Figura 4.14	Gráfico para a variável “pH” ao longo do trecho estudado.....	66
Figura 4.16	IQA Malasiano aplicado ao rio Aurá.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação das águas doces, CONAMA 357/2005, quanto ao uso	10
Tabela 2.2	Comparativo faixas de IQA NSF e CETESB.....	20
Tabela 2.3	Classificação da qualidade de água segundo IQA Malasiano.....	21
Tabela 2.4	Classes e respectivos limites de concentrações para o DOE – IQA....	23
Tabela 2.5	Classificação das águas, segundo normas do DOE, quanto ao uso.....	23
Tabela 3.1	Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de amostras de água..	46
Tabela 3.2	Análises e Metodologias.....	49
Tabela 3.3	Equações para os sub-índices.....	51
Tabela 4.1	Variáveis físico-químicas (I).....	53
Tabela 4.2	Variáveis físico-químicas (II).....	54
Tabela 4.3	Sub índices para equações de estimativa “DOE-IQA” Resultado da aplicação do IQA Malasiano para o “Rio Aurá”	67

NOMENCLATURA

ABAS	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
CETESB	COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
CEQ	COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DOE	DEPARTMENT OF ENVIRONMENT MALAYSIA
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
i	NÚMERO DE ORDEM DO PARÂMETRO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IQA	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
IPEA	INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA
NH ₃ -N	NITROGÊNIO AMONÍACAL
NSF	NATIONAL SANITATION FOUNDATION
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
qi	QUALIDADE RELATIVA DO I-ÉSIMO PARÂMETRO
SEMAS	SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE
SI	SUB-ÍNDICE
STS	SÓLIDOS TOTAIS SUSPENSOS
wi	PESO RELATIVO AO I-ÉSIMO PARÂMETRO
WQI	WATER QUALITY INDEX

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Dados mais recentes obtidos na pesquisa nacional de saneamento básico, realizada pelo instituto brasileiro de geografia e estatística, mostram que cerca de 50,8% dos resíduos produzidos no país ainda são lançados em vazadouros a céu aberto. O problema é mais agravante na região norte do país, onde aproximadamente 59% dos municípios lançam seus resíduos em lixões (ABRELPE, 2010).

As áreas destinadas a receber toneladas de lixo sem, contudo, possuírem infraestrutura adequada capaz de evitar os danos consequentes desta atividade, têm seu uso futuro comprometido e são responsáveis pela degradação ambiental das regiões sob sua influência. Dentre os problemas oriundos da disposição de grandes quantidades de lixo, pode-se ressaltar a poluição do ar, das águas e do solo, além da proliferação de vetores, no Brasil o manuseio e eliminação de resíduos sólidos é um dos fatores de maior impacto ambiental que põe em risco a saúde pública (DIDONET, 1997).

A poluição das águas superficiais gerada pelos aterros ocorre principalmente pelo lançamento indiscriminado de resíduos sólidos no solo que permite o deslocamento do chorume, efluente líquido resultante da decomposição natural da matéria orgânica, a partir de processos aeróbios e anaeróbios para as redes de drenagens de águas superficiais, contendo elevadas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos (CELERE *et. al.*, 2007).

Quanto aos lixiviados, o processo de percolação em aterros sanitários é definido como a quantidade de água que excede a capacidade de retenção de umidade de um resíduo. Os lixiviados são provenientes de três fontes principais: a umidade natural dos resíduos, a água que sobra durante o processo de decomposição, e o líquido proveniente de materiais orgânicos expelidos pelas bactérias em forma de enzimas. O entendimento do processo hidrológico é fundamental para a verificação da influência dos lixiviados no meio (CASTILHOS, 2003).

Os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial fazem parte de um frágil equilíbrio, motivo pelo qual alterações de ordem física, química, biológica ou climática podem modificar as suas características. Desta forma, nas bacias hidrográficas, as práticas que se seguem tendem a promover intensos problemas ambientais como erosão do solo, sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes

(SOPPER, 1975), e conseqüentemente, causando prolongada degradação da qualidade da água.

A importância dos recursos naturais, principalmente aqueles que são abundantes no Brasil, como a água e a biodiversidade, requerem ser tratados como estratégicos para o desenvolvimento nacional. Eles têm uma dupla face: são bens com inegável importância econômica, mas também são elementos indispensáveis para o equilíbrio dos ecossistemas (VARGAS, 2004).

O Brasil é hoje considerado detentor do mais adequado instrumento legal para assegurar a sustentabilidade do uso dos seus recursos hídricos, segundo a associação brasileira de águas subterrâneas (ABAS). Tal consideração ainda é complementada pela Lei de Crimes Ambientais que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. (BRASIL, 1998).

Entretanto, o agravamento da qualidade das águas nos mananciais de abastecimento e nos sistemas de distribuição, bem como as pressões da sociedade, fizeram com que, no final da década de 1980, as preocupações com a qualidade da água se ampliassem. Legislações passaram a ser elaboradas e deu-se início à revisão das existentes, a exemplo da Resolução no 357/2005 do Conama, que busca classificar e proteger as águas dos mananciais, e da Portaria no 2914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece normas e padrões para a qualidade da água de consumo humano (MORAES *et al.*, 1999).

Mundo afora, portarias e determinações preocupadas com a “questão” da água foram sendo implementadas, tal como, o enquadramento dos corpos de água em classes para se garantir os usos adequados dos recursos hídricos de acordo com a sua classificação, além de serem constantemente revisadas, revisões estas, muito importantes, pois o avanço no conhecimento de novos problemas e o desenvolvimento de novas técnicas e substâncias podem tanto por em risco como beneficiar a saúde pública (FREIRIA, 2007)

Por isso, avaliar constantemente a qualidade das águas superficiais é fundamental para acompanhar as alterações que, porventura, estejam ocorrendo a fim de que se possam tomar as medidas necessárias para contorná-las. Assim, o monitoramento ambiental é uma importante ferramenta para a administração dos recursos hídricos (MORETTO, 2011).

Desse modo os programas de monitoramento consistem, essencialmente, em medições que têm como objetivo verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo, a fim de dimensionar a sua magnitude e avaliar se as medidas preventivas adotadas estão sendo ou não eficazes (FLORES, 2006).

Segundo MORALES (2002) a poluição das águas pela disposição inadequada de resíduos sólidos pode ser física, química e biológica, sendo as principais alterações físicas relacionadas ao aumento da turbidez e variações de gradientes de temperatura. A poluição biológica caracteriza-se pelo aumento de coliformes totais e fecais, já a poluição química reduz drasticamente o nível de oxigênio e aumenta a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Os primeiros estudos relacionando o nível de pureza e a poluição da água foram realizados na Alemanha em 1848 (OTT, 1978). Segundo DERÍSIO (1992), estes estudos procuraram sintetizar os dados de qualidade da água, através da relação entre o nível de pureza da água e a poluição, com a ocorrência de determinadas comunidades de organismos aquáticos. Em lugar de um valor numérico, a qualidade da água era categorizada por uma classe, entre várias, de poluição.

Índices de qualidade da água (IQA's) foram propostos visando resumir as variáveis analisadas em um número, que possibilitasse analisar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço e que serve para facilitar a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores (GASTALDINI e SOUZA, 1994).

Os índices de qualidade de água (IQA) foram desenvolvidos com o objetivo de fornecer informações resumidas, simplificando relatórios complexos e com muitos dados de qualidade da água. É um mecanismo para a apresentação através de expressão numérica derivada de dados que define um certo nível da qualidade da água (BORDALO *et al.*, 2006).

Para CETESB (2014), a grande vantagem de se trabalhar com índices ocorre pela facilidades de comunicação e compreensão, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade, haja vista que são constituídos pela composição ou agregação de um ou mais indicadores, mediante diversos tipos de formulações matemáticas ou regras heurísticas.

Os índices e indicadores ambientais surgiram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento, processo que requer

um número elevado de informações em graus de complexidade cada vez maiores (CETESB, 2012)

De acordo com SIQUEIRA e APRILE, (2013), SIQUEIRA *et al.* (2014), SIQUEIRA *et al.* (2016) a bacia hidrográfica do rio Aurá está localizada na região metropolitana de Belém, entre os municípios de Belém e Ananindeua, onde a concentração populacional vem crescendo sem medida de controle social ou ambiental. Gerando problemas como: erosão, inundação, poluição e contaminação das águas, especialmente por compostos orgânicos decorrentes dos depósitos de lixo a “céu aberto”.

Entre as ferramentas propostas para avaliar a qualidade da água no Brasil destaca-se o Índice de Qualidade da Água (IQA). O IQA engloba variáveis físicas, químicas e microbiológica, tendo sido originalmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos (NSF, 2018) e adaptado às águas brasileiras por inúmeros órgãos e entidades.

O IQA foi criado a partir de um inquérito de opinião junto a especialistas em gestão da qualidade da água, que selecionaram os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade da água, para este trabalho a escolha de um IQA com limites de poluentes mais rígidos foi utilizada (DOE-IQA) a fim de verificar sua eficácia em nossa região, porém ainda tendo como base a avaliação da qualidade da água segundo a Resolução N° 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), que classifica as águas doces brasileiras em cinco classes diferentes, em função dos usos a que se destinam e fazendo as devidas comparações.

Neste trabalho, foram avaliados nas águas superficiais os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: pH, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, amônia, sólidos totais suspensos, Cor, Turbidez, Nitrito, Nitrato, Alcalinidade, Cloretos, Dureza e Ferro total.

A partir destes resultados houve o confronto com a resolução CONAMA 357/2005 para cada parâmetro de acordo com a água do tipo classe II em seguida a aplicação do índice de qualidade desenvolvido pelo Departamento ambiental malasiano (DOE - IQA) para o trecho monitorado e sua posterior comparação aos IQA's já utilizados em trabalhos regionais.

1.1 - MOTIVAÇÃO

A questão da disposição final do lixo urbano é um problema que, apesar de ser um dos principais pontos relacionados com o saneamento das grandes cidades, em muitos casos permanece sem solução. Na maioria das vezes os sistemas designados a promover a coleta, o transporte e a destinação final do lixo urbano são atados às administrações municipais, e um dos grandes desafios enfrentados por estas prefeituras seria onde dispor estes resíduos com segurança, haja vista que as áreas disponíveis se tornam cada vez mais escassas, mais distantes dos centros de geração do lixo e geram maior ônus para estas administrações. Neste cenário, várias “soluções” têm sido adotadas, algumas das quais sem nenhuma avaliação preliminar criteriosa.

O projeto inicial que deu origem ao depósito de resíduos sólidos da região metropolitana de Belém incluía três unidades básicas: uma usina de incineração, uma usina de reciclagem e compostagem e um aterro sanitário. As duas primeiras unidades não foram habilitadas e o aterro, que no projeto receberia apenas cinzas e resíduos da usina de incineração e compostagem, recebe todos os tipos de resíduos. Tal fato provocou a sobrecarga da área e deu origem a uma fonte pontual e permanente de poluição que colocou em risco os recursos ambientais da região.

Enquanto a contaminação superficial geralmente constitui-se em um problema visível, a contaminação dos aquíferos é invisível e pode transformar-se em um problema crônico, na medida em que só venha a ser identificado por meio de seus efeitos na saúde pública. Cabe ressaltar que os resíduos sólidos ainda contêm espécies químicas que podem ser carregadas pelas chuvas e entrar em contato com os cursos d'água superficiais e subterrâneos através de escoamento superficial e infiltração.

Esse processo ocorre no aterro do Aurá uma vez que este não possui impermeabilização com camadas de argila, tratamento dos líquidos percolados e nem drenagem para segregar águas pluviais que junto com o material lixiviado são direcionadas pelos gradientes topográficos aos igarapés Santo Antônio e Santana, que desemboram no rio Aura e este, por sua vez, é tributário do Rio Guamá. É pertinente informar que ao monitoramento do aquífero freático do local não é realizado, pois os poços de controle foram destruídos e/ou desativados.

1.2 - OBJETIVOS

Os tópicos abordados a seguir são referentes aos objetivos geral e específicos para a área de estudo da Bacia do Rio “Aurá”.

1.2.1 - Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água do Rio Aurá em estação chuvosa (abril / 2018), utilizando o índice de qualidade de água malasiano.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Obter índice de qualidade da água (DOE - IQA) ;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos na Bacia Hidrográfica do Rio Aurá, tendo como parâmetros a Resolução n.º 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005 ambas para águas doce classe II ;
- Comparar os resultados de IQA obtidos com demais IQA’s aplicados à região.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho contribuiu de forma significativa como um indicador da possível contaminação por poluentes oriundos do aterro sanitário do “Aurá”, além de demonstrar que o lançamento desenfreado e iminente de poluentes pode vir a alcançar regiões de bacias hídricas, afetando até mesmo, a vida e sobrevivência de comunidades periféricas.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, abordando características do histórico da legislação brasileira quanto ao planejamento hídrico, classes de águas e levantamento dos primórdios dos índices de qualidade da água, exibindo até o capítulo 2.5.2 uma abordagem sobre os índices de qualidade mais comumente utilizados, bem

como sua importância para o desenvolvimento de novos índices de qualidade, ao final do seguinte capítulo dar-se-á início a uma breve revisão sobre o nosso objeto de estudo, o levantamento do índice de qualidade usando como referência, o modelo proposto pelo DOE (Department of environment Malaysia) para águas de classe tipo II.

No capítulo 3 encontram-se os materiais e métodos utilizados neste trabalho;

No capítulo 4 as devidas discussões e resultados;

No capítulo 5 nossas sugestões e conclusões;

E anexos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – A QUALIDADE DAS ÁGUAS E A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A primeira base legal específica dos recursos hídricos, no Brasil, foi o “Código das águas” instituída em 1934 além de ser considerada pela “Doutrina Jurídica” como um dos textos modelares do “Direito Positivo Brasileiro” (BRASIL, 1934).

O código das águas tinha por objetivos traçar diretrizes que permitissem ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas, a primeira versão desse código surgiu em 1907 e com o crescimento agrícola do Brasil, houve a necessidade de existir medidas reguladoras para gerir o aproveitamento hidroenergético de nossos mananciais que acabaram envolvendo os Ministérios da Agricultura, Indústria e Comércio (ABAS, 2018).

Além disso, o decreto determina que “a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros...”, ou seja, prevê que os infratores paguem pelos trabalhos de salubridade das águas, além de responder um processo criminal. Nas áreas saneadas, o proprietário deveria indenizar os trabalhos feitos através do pagamento de uma taxa de melhoria sobre o acréscimo do valor dos terrenos saneados (ABAS, 2018).

Até então, a proteção legal das águas brasileiras seguia um caminho semelhante ao da proteção ao meio ambiente: ela se dava de forma indireta. A água era acessória a outros interesses, assim seu uso era determinado por normas de caráter econômico e sanitário, ou relativas ao direito de propriedade. Numa fase posterior, a água ainda tratada com um bem foi alvo de legislação própria, o Código das Águas de 1934. Foi a partir da Constituição de 1988 e, mais tarde a lei de 1997, que houve o reconhecimento da necessidade de proteger as águas dentro da estrutura global ambiental, a partir da gestão que se preocupasse em integrar os recursos hídricos ao meio ambiente, para garantir o desenvolvimento sustentável e à manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado (OECD, 2014).

Em vista disso, em janeiro de 1997, entrou em vigor a Lei nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas. O instrumento legal instituiu a Política Nacional de

Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (MMA, 2010).

Segundo a Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos tem seis fundamentos intitulados como princípios básicos para gerir os recursos hídricos (BRASIL, 1997):

- I. A água é um bem de domínio público;
- II. A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

É de fundamental importância observar que a Política nacional de recursos hídricos objetiva assegurar às atuais e futuras gerações a disponibilidade de recursos hídricos em padrões de qualidade de acordo com os seus respectivos usos, não dissociando os aspectos de qualidade dos de quantidade (BARBI e JACOBI, 2007)

Tal política, baseada nos princípios de “Dublin”, tem como objetivo garantir à atual e às futuras gerações a imprescindível disponibilidade de água, decerto que esteja em qualidade satisfatória para seus usos unindo qualidade a quantidade, dessa forma é necessário enquadrar os mananciais em classes ao se definir a qualidade das águas, sempre estabelecendo critérios e ponderando seus usos (ZAGATTO *et al.*, 1993 e VON SPERLING, 1995).

2.1.1 – Divisão dos corpos d’água em classes segundo a legislação brasileira

Em 1984 é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o qual em 1986 estabelece a classificação das águas em todo o território nacional, por meio da Resolução N° 20/86, sendo adotado limites e ou condições de qualidade a serem respeitadas para cada uma das classes. O enquadramento das classes visa assegurar as

águas qualidade compatível com os usos exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Em vista disso e em função dos seus respectivos usos, foram criadas oito classes de qualidade:

- I. Classes Especiais 1, 2, 3 e 4 referem-se às águas doces;
- II. Classes 5 e 6 relativas às águas salinas;
- III. Classes 7 e 8 às águas salobras.

Dividindo as águas do território brasileiro em águas *doces* (salinidade < 0,05%); *salobras* (salinidade entre 0,05% e 3%) e *salinas* (salinidade > 3%) (CONAMA, 1986).

Atento ao grande volume de poluentes recebidos nos mananciais, a resolução 20 passou por revisão e editou em 2005 a Resolução 357 em 17 de março de 2005, que 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.

O enquadramento dos corpos d'água já previsto na Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (2005) caracteriza-se como sendo o instrumento responsável por estabelecer o nível de qualidade (classe) a ser alcançado em um corpo d'água ao longo do tempo, levando em conta seus usos prioritários.

Esta resolução não se baseia no seu estado atual, e sim no nível de qualidade que deveria possuir para atender as necessidades da comunidade, vide Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Classificação das águas doces, CONAMA 357/2005, quanto ao uso.

Classe	Uso
Especial	- Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; - Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e de proteção ambiental.
Classe 1	- Abastecimento doméstico após tratamento simplificado; - Proteção das comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas ou de frutas que se desenvolvem rente ao solo ou que sejam consumidas cruas sem remoção de películas;

Classe 2 - Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas;
- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- Proteção das comunidades aquáticas;
- Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;

Classe 3 - Aquicultura e atividade de pesca;
- Abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado;
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- Pesca amadora;
- Recreação de contato secundário;
- Dessedentação de animais.

Classe 4 - Navegação;
- Harmonia paisagística;

Fonte: TUCCI e MENDES (2006).

Este enquadramento facilita a definição de metas a serem alcançadas, bem como, a criação de programas de investimento para tratamento de esgotos urbanos.

2.2 - MANANCIAIS OU FONTES DE ÁGUA

Os mananciais de água são as fontes de água existentes na natureza, que permitem atender às necessidades dos usos. Os principais mananciais de suprimento de água são as águas superficiais como rios, lagos e reservatórios, e as águas subterrâneas (TUCCI *et al*, 2001).

A água empregada para as necessidades humanas em seus mais variados aspectos é em sua maior parte, oriunda de corpos hídricos superficiais (VILCHES, 2009), como observa-se na Figura 2.1:

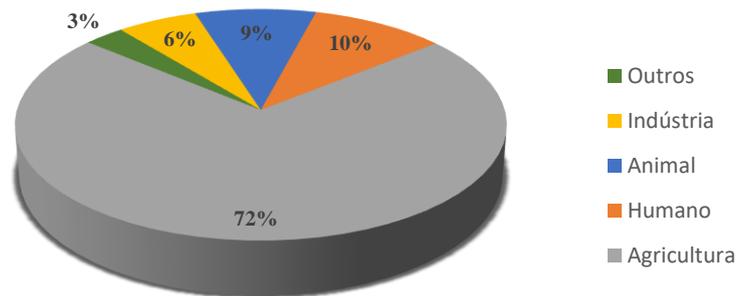


Figura 2.1 - Distribuição dos usos consuntivos de água no Brasil.
 Fonte: (SAVEH, 2017).

Para ARIAS *et al.* (2007) a taxa de compostos indiretamente ligados a estes sistemas vem crescendo rapidamente em ecossistemas aquáticos como resultado da atividade antropogênica sobre o mesmo. A falta de planejamento urbano pode ocasionar no ambiente várias alterações, dentre elas, a veiculação de poluentes que podem alcançar águas subterrâneas e superficiais (MIRANDA *et al.*, 2009).

A qualidade das águas superficiais é vista como um tema bastante relevante devido aos seus inúmeros usos: potabilidade, indústria, agricultura, recreação, entre outros. Assim as influências antropogênicas, bem como alguns processos naturais podem degradar e impedir seu uso de forma adequada. Entretanto, apesar das alterações naturais serem comumente lentas e graduais, resultado da lixiviação terrestre e de escoamento hídrico, as alterações antropogênicas costumam ser induzidas rapidamente (ESTEVES, 1998).

2.3 - A QUESTÃO DO LIXO URBANO

A disponibilidade de água facilita ou contribui para o desenvolvimento urbano, que leva em conta os recursos hídricos para a edificação das cidades. No ambiente urbano é fundamental o abastecimento de água e o tratamento de esgotos e águas pluviais. Por isso, as cidades, geralmente, são fundadas próximas ou sobre o leito de rios por razões óbvias: facilidade na obtenção de água. Nas cidades do Brasil é perceptível um padrão de construção de edifícios junto a leitos de rios. Suas margens, entretanto, deveriam ser preservadas com a manutenção da mata ciliar ou de galeria. Também é possível observar

que na maioria dos casos, o rio é usado como local de disposição final de lixo, um hábito cultural existente e condenável (MUCELIN e BELINI, 2008).

A problemática ambiental gerada pelo lixo é de difícil solução e a maior parte das cidades brasileiras apresenta um serviço de coleta que não prevê a segregação dos resíduos na fonte (IBGE, 2006).

Os Aterros sanitários são hoje, o meio mais utilizado e de menor custo para a estocagem de Resíduos sólidos, porém o fato de estarem estocados não quer dizer que estejam inativos. As condições de armazenagem, bem como as influências de agentes naturais (chuva e microrganismos) ativam processos físicos, químicos e biológicos de transformação. Os elementos naturais são dissolvidos, a água desprende finas partículas e o principal responsável pela degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. Com isto, temos a formação de biogás e os lixiviados (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

O uso da água na cidade, tipicamente, tem um ciclo característico de impacto ambiental negativo. A água é coletada de uma fonte local (rio, lago ou lençol freático), é tratada, utilizada e retorna para um corpo coletor. Nesse retorno só excepcionalmente ela conserva as mesmas características de quando foi captada. Ocorrem alterações nas composições de sais, matéria orgânica, temperatura e outros resíduos poluidores (MUCELIN e BELINI, 2008).

O problema do gerenciamento dos resíduos sólidos nas sociedades atuais tornou-se complexo devido à quantidade e diversidade dos resíduos, à explosão das áreas urbanas, à limitação dos recursos financeiros públicos em muitas cidades, aos impactos da tecnologia e às limitações tanto de energia quanto de recursos naturais. Se realizado de maneira ordenada e eficiente, os aspectos e as relações fundamentais envolvidos, podem ser identificados e ajustados para a uniformização dos dados e um melhor entendimento das ações necessárias ao bom andamento das políticas públicas de fornecimento de serviços municipais de gerenciamento de resíduos sólidos (LIMA, 2001).

Apesar de minimizar os impactos ambientais, os aterros sanitários não são a melhor alternativa de destinação de resíduos sólidos, devido as extensas áreas que ocupam e em função do tempo demandado para que as áreas voltem a ser reutilizáveis (ainda um ponto obscuro nos meios acadêmicos). Na atualidade, existem soluções de menor impacto ambiental, mas ainda com custos muito elevados para implantação, como as Usinas de Incineração à Plasma (ALMEIDA, 2009)

O Aterro Aurá encontra-se localizado em cotas topográficas relativamente baixas, as quais possuem características geológicas impróprias para a deposição dos resíduos sólidos, uma vez que a porosidade do solo permite que o chorume percole pela zona não insaturada até atingir a zona saturada. Tal fato coloca o sistema hídrico superficial e subterrâneo em alto grau de vulnerabilidade (MORALES e FENZL, 2000).

Ocupando uma área de aproximadamente 130 ha, o aterro recebia, sem apresentar condições estruturais para este fim, resíduos sólidos urbanos de cerca de 1,8 milhões de habitantes, reunindo as populações dos municípios de Ananindeua-PA e Belém-PA (IBGE, 2010).



Figura 2.2 – Vista aérea “Aterro do Aurá”.
Fonte : “Assessoria Edmilson Rodrigues, 2014”.



Figura 2.3 – Catadores da região.
Fonte: “Amazônia na rede, 2013”.

Tendo em vista essa dinâmica, Programas de monitoramento da qualidade da água são estabelecidos para avaliar as substâncias presentes na água, avaliadas sob os aspectos físicos, químicos e biológicos (SANTOS *et al.*, 2001).

2.4 - INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS

SANTOS (2004), define indicadores como sendo parâmetros, ou funções auto derivadas, com a capacidade de apresentar um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um sistema.

MARANHÃO (2007), sugere que os indicadores são variados, tanto quanto os fenômenos, processos e fatos que eles monitoram e podem advir de diferentes fontes.

Os indicadores são variáveis ou parâmetros ambientais, medidos direta ou indiretamente, representando de forma significativa o sistema ou fenômeno ambiental em estudo (MELO, 1996). Em relação ao sistema ambiental, um indicador deve ser constituído por parâmetros concisos, com representativos, e de fácil interpretação, de tal forma que seja possível ilustrar as principais características ambientais do território, um conjunto de indicadores bem definidos é primordial para a identificação e avaliação de possíveis problemas ambientais (TUCCI e MENDES, 2006).

Os índices apresentam-se como o estado de um sistema ou fenômeno, que consideram as interações entre os elementos. Além disso, representam o contexto observado de uma forma simples, podendo ajudar a comunidade na definição de metas de melhoria efetiva e servem como importantes ferramentas para monitorar o cumprimento dos objetivos planejados (SCIPIONE *et. al*, 2009).

Para DERÍSIO (1992), estes estudos tinham por objetivo unificar os dados de qualidade da água, relacionando o nível de pureza da água e a poluição, com a presença de certos tipos de organismos aquáticos da região em questão. Em lugar de um valor numérico, a qualidade da água era categorizada por uma classe, entre várias de poluição, estabelecendo-se assim um padrão e um sistema.

Desta forma a união destes dados, previamente organizados sob as condições do ambiente de estudo formam os índices de qualidade da água:

2.5 - ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

Um Índice de Qualidade de Água (IQA) pode ser descrito como sendo um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos, bacteriológicos, químicos por meio de metodologias específicas (DERÍSIO, 2000).

Vários estudos foram realizados na década de 70, principalmente pelos estados unidos (EUA), supõe-se que o Índice de Qualidade da Água (*Water Quality Index - WQI*) tenha sido desenvolvido em 1970 e 1971 por Brown *et al.* e Deining e Macinuas, com o apoio da *National Sanitation Foundation* (NSF) dos EUA, embasado no método DELPHI (*Rand Corporation*), na tentativa da definição de um sistema de acompanhamento eficaz aos programas de monitoramento dos recursos hídricos, sendo um método padronizado para comparar a qualidade da água dos diferentes corpos d'água (SILVA, 2008).

OTT (1978) afirma que, uma tese de doutorado desenvolvida em 1974 na Universidade de Michigan, por (LANDWEHR, 1976), relatou a construção e análise de IQA's. Esse método foi desenvolvido com base nos índices numéricos, porém em versão melhorada da de 71, em seguida a organização de tais índices começou a ser relevante e o *Council on Environmental Quality* (CEQ) dos Estados Unidos, com a colaboração de outras agências federais, patrocinou-se um levantamento e avaliação de vários índices de qualidade que já vinham sendo utilizados no país até a sua popularização mundial.

Índices de qualidade da água (IQA's) foram propostos objetivando sintetizar as variáveis analisadas em uma forma numérica, tal qual denotasse a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço, o que serviria para facilitar a interpretação de longas listas de variáveis (GASTALDINI e SOUZA, 1994).

Em 1972 o Brasil mostrou interesse por tais índices, haja vista que o Conselho Nacional de Meio Ambiente, em seu relatório anual, manifestou a necessidade da sua utilização para o meio ambiente (SILVA, 2008).

Existem três tipos de índices de qualidade de água, segundo OTT (1978):

- I. Índices elaborados a partir da opinião de especialistas;
- II. Índices baseados em métodos estatísticos;
- III. Índices biológicos

As principais finalidades, dentre outras, quanto ao uso dos índices de qualidade de água, segundo OTT *apud* LEITE e FONSECA (1994)

- a) Servir de instrumentos para a gestão dos recursos hídricos;

- b) **imposição de normas:** Determinação do cumprimento da legislação;
- c) **Distribuição de recursos:** Repartir verbas e determinação de prioridades;
- d) Identificar problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios;
- e) **Ordenação de áreas geográficas:** comparar condições ambientais em diferentes áreas geográficas;
- f) **informação ao público:** informar à população sobre as condições de qualidade ambiental em determinado ecossistema;
- g) **análise de tendências:** avaliar mudanças na qualidade ambiental, em determinado período e acompanhamento da qualidade dos recursos hídricos superficiais;
- h) **pesquisa científica:** reduzir a quantidade de dados, estudo dos fenômenos.

2.6 - INTRODUÇÃO AOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os índices de qualidade de água são de fundamental importância no que tange a caracterização da qualidade, agregando dois ou mais indicadores para sua elaboração, ainda assim, existem incertezas por detrás das variáveis que os compõem.

BOLLMANN e MARQUES (2000), afirmam que o problema mais significativo apresentado no uso do IQA é que o destino da água é diverso, prevendo-se assim, usos múltiplos à mesma. Em geral, para cada uso, podem ser utilizados padrões individuais de qualidade provocando o surgimento de escalas de valores diferenciadas para uma mesma variável ambiental. Assim, o que se deve fazer é cuidar para que o indicador seja aplicado para os fins aos quais ele foi criado, analisando-o detalhadamente e interpretando adequadamente seus resultados.

Com as finalidades definidas e a importância dessa ferramenta demonstrada, torna-se conveniente observar o histórico dos principais índices que comumente são utilizados, seus funcionamentos e a aplicação do índice em questão, para este trabalho juntamente às suas devidas aplicabilidades:

2.6.1 - Iqa - nsf

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) (NSF, 2018) foi o precursor dos IQA's, é um instrumento matemático utilizado para transformar grandes quantidades de dados de qualidade da água em um único número que represente o nível de qualidade da água,

enquanto elimina avaliações subjetivas e influências individuais de especialistas em qualidade da água (STAMBUKGILJANOVIC, 1999).

De acordo com DERÍSIO (1992), em 1970, Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram um índice de qualidade de água que combinava as opiniões de 142 especialistas, baseado na técnica de Delphi da Rand Corporation, através das respostas a vários questionários, tabuladas e retornadas a cada participante, para comparação de sua resposta com a dos demais participantes a fim de se chegar a um consenso.

O resultado desta pesquisa foi a indicação das variáveis de qualidade de água para o cálculo, o peso relativo das mesmas e a condição em que se apresentavam. Inicialmente, foram selecionadas 35 variáveis indicadoras de qualidade da água e destas, nove foram selecionadas para compor o IQA-NSF. Para cada variável foi estabelecida curvas de variação da qualidade da água de acordo com o estado ou condições de cada variável (PEREIRA, 2014).

A estrutura proposta originalmente por BROWN *et al.*, (1970) resulta de uma combinação linear com pesos dos sub-índices. A forma aditiva para cálculo do IQA está apresentada na Eq. (2.1).

$$IQA = \frac{\sum_{i=1}^n q_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.1)$$

Onde:

q_i : Qualidade relativa do i -ésimo parâmetro

w_i : Peso relativo ao i -ésimo parâmetro

i : Número de ordem do parâmetro

O IQA-NSF é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

Atualmente, 11 estados brasileiros utilizam o IQA-CETESB como indicador da condição dos corpos d'água, essas unidades da Federação representam cerca de 60 % da população do país e que refletem principalmente a contaminação dos corpos hídricos ocasionados pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais (ANA, 2014)

2.6.2 - Iqa cetesb

O IQA desenvolvido pela NSF dos EUA foi um marco e passou a ser referência para o desenvolvimento de outros índices. No Brasil, o IQA-NSF serviu para a criação do utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir de 1975.

Para que o índice se adequasse às características naturais dos corpos hídricos do Brasil adaptações foram feitas e o IQA passou a ser o: produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros do NSF com a substituição do nitrato por nitrogênio total, fósforo total ao invés de fosfato e resíduo total ao invés de sólidos totais dissolvidos

O IQA tem por objetivo avaliar a aptidão que as águas brutas apresentam para a produção de água potável definindo-se classes para avaliar a qualidade físico-química e microbiológica das águas superficiais (CETESB, 2018). vide Tabela 2.2:

Tabela 2.2 - Comparativo faixas de IQA NSF e CETESB.

IQA-NSF	IQA CETESB	
Faixas de IQA	Faixas de IQA	Classificação da Qualidade da Água
0 – 25	0 - 19	Muito ruim
26 – 50	20 - 36	Ruim
51 – 70	37 - 51	Regular
71 – 90	52 - 79	Bom
91 - 100	80 -100	Excelente

Fonte: Adaptado de ANA e CETESB (2018).

2.6.3 – Doe - iqa (malaysian water quality index)

O índice escolhido para este trabalho foi o introduzido pelo Departamento de Meio Ambiente (DOE) malasiano. Utilizado na Malásia há cerca de 25 anos. Considera seis parâmetros. e é uma fórmula de pesquisa de opinião. Onde um painel de especialistas é consultado sobre a escolha de parâmetros e a ponderação é atribuída (DOE, 1985).

Os parâmetros utilizados para o levantamento do índice foram: oxigênio dissolvido (DO), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SS), pH (pH) e amônia azoto (NH₃-N)

O IQA aprovado pelo DOE (Equação 2.2) é calculado com base nos seis parâmetros. “OD” leva o peso máximo(0,22) e o pH o mínimo(0,12). Os subíndices(calculados de acordo com as relações de melhor ajuste) são nomeados como: SI OD; SI DBO; SI DQO; SI NH₃; SI STS e SI pH, respectivamente(Subíndice de oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio; nitrogênio amoniacal;sólidos totais suspensos e pH).

2.6.4 - Fórmula geral “cálculo do doe – iqa”

A equação geral para o IQA-Malasiano é representada pela Eq. (2.2).

$$IQA = \left[\begin{array}{c} (0,22 \times SI \text{ OD}) + (0,19 \times SI \text{ DBO}) + (0,16 \times SI \text{ DQO}) \\ + \\ (0,15 \times SI \text{ NH}_3) + (0,16 \times SI \text{ STS}) + (0,12 \times SI \text{ pH}) \end{array} \right] \quad (2.2)$$

A soma dos sub-índices deve ser um valor unitário (ZAINUDIN, Z; 2010):

$$0 \leq IQA \leq 100 \quad (2.3)$$

Os resultados de IQA malasiano, desta forma, podem ser representados em faixas bem definidas e com base no DOE - IQA, a qualidade da água é classificada de acordo com sua respectiva classe, Tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Classificação da qualidade de água segundo IQA Malasiano.

IQA Malasiano	
Faixas de IQA	Classificação da qualidade da água
81 - 100	Limpo
60 - 80	Parcialmente Poluído
0 - 59	Poluído

Fonte: (WEPA, 2018).

A escala do DOE-IQA classifica a qualidade da água como 'limpo', 'ligeiramente poluído' e 'poluído' se o DOE-IQA situa-se no intervalo de 81 a 100%, 60 a 80% e 0 a 59%, respectivamente (AWAL *et al*; 2010).

Para facilitar o cálculo das qualidades relativas (q_i), cada Sub-índice possui equações correspondentes que tendem a variar de acordo com as concentrações dos elementos definidos para estudo, atribuindo os valores (notas) para cada tipo de situação (BENDATTI, 2003).

As equações também podem ser representadas pelas curvas médias de variação (Figura 2.4) dos sub-índices em concentração de poluentes (IDRIS *et al*, 2003):

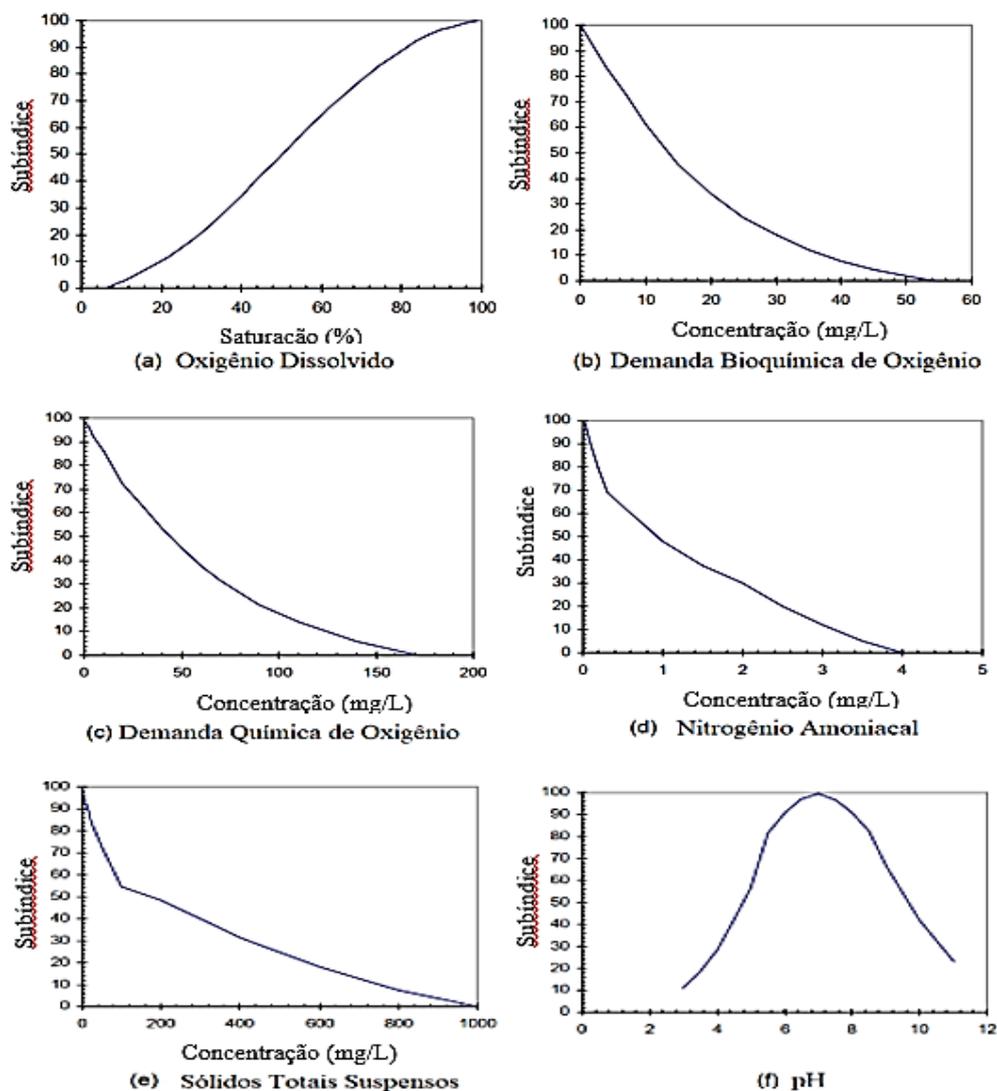


Figura 2.4 - Curvas médias de variação dos sub-índices.

Fonte: (DOE, 1994).

Tabela 2.4 - Classes e respectivos limites de concentrações para o DOE – IQA.

Classe	Uso
I	Conservação do meio ambiente natural.
	Abastecimento de Água I - Praticamente nenhum tratamento é necessário.
	Pesca I - Espécies aquáticas muito sensíveis.
II	Abastecimento de Água II - Tratamento Convencional.
	Pesca II - Espécies aquáticas sensíveis.
	Uso recreativo contato corporal.
III	Abastecimento de Água III - Tratamento extensivo requerido.
	Pesca III - Comum, de valor econômico e espécies tolerantes, consumo de animais.
IV	Irrigação
V	Nenhuma das acima

Fonte: WEPA (2018).

A Tabela 2.5 demonstra a classificação das águas segundo as normativas asiáticas:

Tabela 2.5 - Classificação das águas, segundo normas da DOE, quanto ao uso.

Parâmetros	Classes				
	I	II	III	IV	V
OD (mg. L ⁻¹)	> 7	5 – 7	3 – 5	1 - 3	< 1
DBO (mg. L ⁻¹)	< 1	1 – 3	3 – 6	6 – 12	> 12
DQO (mg. L ⁻¹)	< 10	10 – 25	25 – 50	50 – 100	> 100
NH3-N (mg. L ⁻¹)	< 0,1	0,1-0,3	0,3 – 0,9	0,9 – 2,7	> 2,7
STS (mg. L ⁻¹)	< 2,5	25 – 50	50 - 150	50 - 30	> 300
pH	> 7	6 – 7	5 – 6	< 5	< 5
IQA	> 92,7	76,5 – 92,7	51,9 – 76,5	31,0 – 51,9	< 31,0

Fonte: WEPA (2018).

2.7 - PROPRIEDADES FÍSICAS

Propriedades físicas da água são atributos de ordem estética, tais como: cor e turbidez. De tal forma que, em grau elevado, podem causar desagrado pelo aspecto organoléptico aos consumidores (SANTOS, 1997).

2.7.1 - Indicadores “doe - iqa”

2.7.1.1 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

É uma relação numérica que expressa o equilíbrio entre os íons (H^+) e íons (OH^-) (DERISIO, 1992). O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ em escala logarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez ($pH < 7$), neutralidade ($pH = 7$) ou alcalinidade da água ($pH > 7$), expressa em moles por litro (VON SPERLING, 1998).

O pH é considerado uma das variáveis ambientais mais importantes e complexas de se interpretar em função do grande número de fatores que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1988)

Os principais motivos que geram alteração neste indicador são provocados por despejos de origem doméstica, industrial, dissolução de rochas e da decorrência da atividade de algas. É importante ressaltar que, os organismos aquáticos (fitoplâncton e zooplâncton) estão, geralmente, adaptados às condições de neutralidade, e como consequência de alterações bruscas do pH da água pode ocorrer prejuízo para tais organismos (DERISIO, 2000; UNIAGUA, 2006)

MARQUES (2014) ao estudar a contaminação das águas do manancial Utinga, Rio Guamá e Aurá por metais verificou o pH em duas estações: Na de maior densidade pluviométrica encontrou mínimas de 5,9 e máximas de 7,56 na região, já para o período de maior estiagem, mínimas de 4,45 e máximas de 6,37

SILVA (2014) levantou índices de qualidade para a região (mananciais da área ambiental), constatando valores de pH entre 5,9, e 7,56 para o período chuvoso.

Estudos realizados na área mostram que o pH é influenciado pela maré, pois pode funcionar como agente depurador nos rios da região quando estes são afetados por descargas de efluentes (PEREIRA *et al.*, 2007)

2.7.1.2 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem ao peso total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume, sendo medidos em ppm ou em termos de mg/L (SANTOS, 1997). Podem diminuir por diluição (água de chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais. O aumento de sulfatos, fosfatos e nitratos, deve-se, frequentemente, às atividades agropecuárias (CETESB 1993).

Altas concentrações destes sólidos são objetáveis devido aos possíveis efeitos fisiológicos, ao sabor mineral e as consequências econômicas (BATALHA e PARLATORE, 1977).

Os sólidos em suspensão aumentam a turbidez da água, diminuindo assim sua transparência. Segundo BRAGA *et al.* (2002), com o aumento da turbidez ocorre à redução nas taxas de fotossíntese, prejudicando assim a procura de alimento para algumas espécies, ocasionando um desequilíbrio na cadeia alimentar.

OLAVO FILHO e ANTÔNIO JÚNIOR (2009), realizaram estudo na área de abrangência do parque ambiental do Utinga, envolvendo análises de vários parâmetros no curso do Rio Aurá, com a realização de coletas em períodos seco e chuvoso. Os teores de sólidos totais dissolvidos, observados no ponto 1 (localizado bem a montante de bacia) de coleta do Rio Aurá no período seco variaram de 3020 mg/l até 3800 mg/l, e no período chuvoso variaram de 2320 mg/l a 3580 mg/l.

De acordo com SANTOS e MORAES (2012), a entrada de sólidos nas águas pode ocorrer de forma natural por meio dos processos erosivos, organismos e detritos orgânicos ou de forma antrópica pelo lançamento de lixo e esgoto, ou ainda pelo uso do solo no entorno.

2.7.1.3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A demanda bioquímica de oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Assim, a DBO₅ é a quantidade de oxigênio consumido durante “5” dias em uma temperatura de 20°C, na ausência de luz (ANA, 2018).

Para ROCHA *et al.* (2004), a informação mais importante que esse parâmetro pode entregar é a concentração dos compostos biodegradáveis presentes; desta forma

acaba sendo muito utilizada para avaliar o potencial poluidor de efluentes domésticos e industriais.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) salienta que valores altos de DBO_5 em um corpo d'água são, geralmente, causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos.

Quanto maior a concentração de DBO_5 na água, haverá uma tendência de redução na concentração do oxigênio que está dissolvido na água (DERISIO, 2000; FEPAM 2006).

Essa demanda pode ser suficientemente grande para consumir o oxigênio dissolvido da água, que proporcionaria a morte de todos os organismos aeróbicos de respiração subaquática. (BRANCO, 1978, 1991; BRAGA *et al.*, 2002).

Para SIQUEIRA *et al* (2012) ao avaliar a qualidade da água do rio Parauapebas, registrou valores de DBO com média de 3,83, mínima de 2,20 mg/L e máxima de 9,79 mg/L. Sendo as maiores concentrações registradas nos trechos de ocupação urbana, o que significa maior produção e lançamento de efluentes domésticos.

Em estudos, CARVALHO (2011) encontrou elevados valores de DBO localizado em áreas urbanizadas (média de 39,44 mg/L) e baixas concentrações (0,05 mg/L) nos pontos próximos às nascentes do canal são joaquim, situados em áreas verdes que deveriam receber pouca influência antropogênica.

SILVA *et al.* (2014) em estudo na região do parque estadual do Utinga, Guamá e rio Aurá, obteve valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) de 0,8 a 0,7 mg/L.

SANTI *et al* (2012) observaram no igarapé São Francisco na cidade de Rio Branco-AC, diferenças de DBO_5 ao longo dos 5 pontos de amostragem. A DBO encontrada na nascente do igarapé foi igual a 30 mg/L, enquanto no último ponto (foz do igarapé) foi obtido um valor de 3,20 mg/L, mostrando a capacidade de autodepuração desse igarapé.

2.7.1.4 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A definição de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é dita como a quantidade de oxigênio necessário para que se ocorra a oxidação de matéria orgânica, isto, através de um agente químico. A alta concentração deste parâmetro nas águas é decorrente de despejos industriais, haja vista que o alto valor de DQO indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio (DERISIO, 2000; UNIAGUA, 2006).

De forma genérica, pode-se dizer que a DQO é um teste indireto, pelo qual se mede a quantidade de oxigênio dissolvido “consumido” em meio ácido para degradar a matéria orgânica, não necessariamente biodegradável (PORTO *et al.*, 1991; VON SPERLING, 2005).

O uso da análise de DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica, teste este, comumente usado na operação de sistemas de tratamento de efluentes e caracterização de efluentes industriais, o despejo contínuo de efluentes com carga orgânica pode afetar a composição da fauna e da flora do ecossistema, aumentando o consumo de oxigênio dissolvido e, o que, modifica as condições aeróbicas no curso d’água. No caso da diminuição dos índices de oxigênio dissolvido, pode ocorrer à proliferação de organismos anaeróbicos, que estão relacionados aos fortes odores, pela liberação de gases como metano e o gás sulfídrico. Podendo ser também fonte de proliferação de vermes, larvas e insetos (SILVA, 2008).

2.7.1.5 - Série Nitrogenada - Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras chamam-se formas reduzidas e as duas últimas oxidadas (CETESB, 2018).

Em respeito à concentração de amônia, duas formas de nitrogênio amoniacal são relevantes (NH_3 e NH_4^+). O íon amônio (NH_4^+) é fundamental para os organismos produtores, sua absorção é mais viável, do ponto de vista energético. As altas concentrações do íon amônio (NH_4^+) podem ter grandes implicações ecológicas, pois influencia na quantidade de oxigênio dissolvido na água. Portanto, quando se encontra muito nitrogênio amoniacal na água pode-se dizer que esta é pobre em oxigênio dissolvido e que o ambiente deve ter muita matéria em decomposição (ESTEVES, 1998).

A resolução CONAMA 357/05/MMA em seu Art. 15V i), estabelece para águas doces classe 2, valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ de 3,7 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$. Portanto, 25% dos valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ do Rio Aurá estiveram em desacordo com o padrão classe 2 e 75% em acordo. A amplitude dos dados foi de (84,93) com máxima de 85,0 mg/ L e mínima de 0,07 mg/ L. Na mesma lógica, para o trecho estudado, 58,33% dos valores ficaram em níveis inaceitáveis para o DOE, para águas classe II entre 0,1 e 0,3 mg/L.

MOTA (1995) salienta que nitrogênio orgânico e amônia estão associados a efluentes e águas recém poluídas. Com o passar do tempo, o nitrogênio orgânico é

convertido em nitrogênio amoniacal e, posteriormente, se condições aeróbias estão presentes, a oxidação da amônia acontece transformando-se em nitrito e nitrato.

Conforme ressalta VON SPERLING (1996), em um corpo d'água, a determinação da parcela predominante de nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, A poluição mais recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato.

2.7.1.6 - Oxigênio Dissolvido (OD)

Os níveis de oxigênio dissolvido indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática (CETESB, 2018). Segundo VON SPERLING (2008), o oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

A presença de oxigênio é essencial para vários organismos aquáticos nos processos metabólicos de bactérias aeróbias e outros microrganismos responsáveis pela degradação de poluentes nos sistemas aquáticos (ROCHA *et al.*, 2004). Assim, as águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica, enquanto as águas limpas possuem maior concentração. O teor de oxigênio dissolvido na água varia principalmente com a temperatura e com a altitude. O aumento da temperatura faz com que a concentração de oxigênio dissolvido aumente (DERISIO 1992; TUCCI *et al.* 2001).

O oxigênio em elevadas concentrações favorece a vida aquática e beneficia a depuração da matéria orgânica lançada nos corpos hídricos. Em baixas concentrações (< 2,0 mg.L-1) pode causar a mortandade de peixes e outros seres vivos do meio, se o oxigênio for totalmente consumido pode-se apresentar as condições anaeróbias (ausência de oxigênio), com possível geração de maus odores (VON SPERLING, 2005; FEPAM, 2018).

A quantidade de oxigênio dissolvido é ainda menor em águas poluídas, do que em condições naturais. Pois a saturação de O₂ em água limpa é de 0,80 mg.L-1, por razões práticas, assume-se que 8 mg.L-1, seja o teor máximo de dissolução de oxigênio na pior situação ambiental (PORTO *et al.*, 1991).

Ao comparar os dados com as referências locais mais próximas observamos que SIQUEIRA *et al* (2012) ao estudar o rio Parauapebas-PA, encontrou valores de OD que

variaram entre 2,60 e 4,40 mg/L nos meses de Setembro dos anos de 2004, 2007 e 2009 ao longo de 20 pontos de amostragem.

SILVA et al (2014), em estudos nos Rios Guamá e Aurá encontrou médias de oxigênio dissolvido (OD) de 0,5 mg/L, sendo bem abaixo da legislação vigente, haja vista que a mesma determina, para qualquer amostra em águas doces de Classe 2, o limite não inferior a 5 mg/L O₂. Os valores obtidos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foram de 0,8 a 0,7 mg/L.

No igarapé São Francisco, na cidade de Rio Branco-AC, SANTI et al (2012) encontraram valores de oxigênio que variaram entre 0,8 e 5,0 mg/L entre os períodos seco e chuvoso ao longo de 5 pontos de amostragem.

2.7.2 – Demais parâmetros físico-químicos

2.7.2.1 – Cor

É uma característica derivada da existência de substâncias dissolvidas, consistindo do resultado de processos de decomposição de matéria orgânica que ocorrem no meio, do húmus dos solos adjacentes, ou ainda devido à presença de alguns íons metálicos, como ferro e manganês, além de plâncton, macrófitas e outros resíduos industriais e esgotos domésticos de origem antropogênica ou lixiviação de vias urbanas (PORTO *et al.*, 1991; BRAGA *et al.*, 2002; VON SPERLING, 2005). Pode-se destacar os ácidos húmicos como principais colaboradores, os ácidos húmicos em solução e em suspensão podem variar do verde ao amarelo, do amarelo ao marrom escuro, e preto quando apresentam muito húmus (KLEEREKOPER, 1990).

Os compostos dissolvidos são responsáveis pela cor verdadeira da água e o material em suspensão pela cor aparente (ESTEVES, 1988).

A unidade para medir a cor é da escala de Hazen (mg Pt-Co L⁻¹) e se expressa no resultado como unidade Hazen (uH) ou unidades de cor (uC).

2.7.2.2 – Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é definida como sendo 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) detritos orgânicos e plâncton em geral, etc. (CETESB, 2018).

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais do processo de erosão provocam elevações na turbidez das águas, esta também podem ocorrer naturalmente em função de partículas de rochas, argilas, siltes, algas e outros microrganismos (PORTO *et al.*, 1991;).

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 da água (CETESB, 2018).

Em estudo realizado por VERONEZ (2011), no Igarapé Praquiçara no município de Castanhal-PA, os menores valores de turbidez foram encontrados no ponto mais próximo às nascentes, com média de 1,5 NTU e máxima de 3 NTU. O maior valor de turbidez observado (18 NTU) ocorreu em áreas urbanizadas e durante o período chuvoso.

MOURA (2007), determinou na Baía do Guajará no trecho entre os bairros de Val de Cães e o Distrito de Icoaraci em Belém/Pa valores de turbidez com variações de 35 a 74 NTU no período chuvoso e no período seco essa variação foi de 14 a 22 NTU.

Um estudo realizado nos Igarapés Murucupi e Arapiranga localizados nos municípios Paraenses de Abaetetuba-PA e Barcarena-PA, respectivamente, MEDEIROS (2012) encontrou valores de turbidez mínima e máxima de 15 NTU e 38 NTU no período chuvoso e 13 NTU e 32 NTU no período seco, no Rio Arapiranga. Enquanto que no Rio Murucupi. os valores mínimos e máximos encontrados foram de 18 NTU e 47 NTU no período chuvoso e 22 NTU e 34 NTU no período seco.

2.7.2.3 – Ferro

Compostos de ferro (Fe) são comuns em águas naturais, originam-se da dissolução de compostos de rochas e solos, conferem à água sabor metálico e têm o inconveniente de manchar de amarelo ou avermelhado as roupas e a louça sanitária, também podem provocar corrosão das tubulações pelo desenvolvimento de bactérias ferruginosas, pois o ferro constitui nutriente para algumas espécies de bactérias do gênero *Chrenotrix* e *Gallionella* (DI BERNARDO, 2005; LIBÂNIO, 2005).

A sua presença em concentrações mais altas, acima deste limite, confere à água sabor metálico (EMBRATEL, 1983).

O ferro existe nas águas, em geral, sob a forma de bicarbonato solúvel. Quando, entretanto, a água é enriquecida em oxigênio o carbonato ferroso é transformado em hidróxido férrico, através da reação: $4 \text{Fe} (\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe} (\text{OH})_3 + 8 \text{CO}_2$ O hidróxido férrico resultante é insolúvel e precipita. O pH tem grande influência na velocidade dessa reação. Assim, em baixos valores de pH, a formação de hidróxido somente se torna apreciável quando a água se acha saturada de oxigênio, ao passo que com pH igual a 7, o ferro precipita em grande quantidade, mesmo em concentração de oxigênio de apenas 0,5 mg L⁻¹ (BRANCO, 1978)

Deve ser destacado que as águas de muitas regiões brasileiras apresentam teores elevados de ferro podendo superar os limites de potabilidade, em função das características geoquímicas das bacias de drenagem (VON SPERLING, 1998 apud BRIGANTE e ESPÍNDOLA).

A química do ferro é relativamente complexa, pois podem existir nos estados de valência de +2 e +3. A estabilidade dos íons Fe²⁺, Fe³⁺, Fe (OH)²⁺, Fe (OH)⁺, em relação, com o Fe (OH)₃ e Fe (OH)₂ precipitados ou coloidais, depende do pH, Eh e composição da solução (CUSTÓDIO e LLAMAS 1976).

Sendo possivelmente atribuído este valor ao fato da fragmentação das rochas da bacia de drenagem. Para MARGALEF (1983), a erosão e a dissolução das rochas da bacia hidrográfica são as principais fontes de ferro para as águas de rios.

O maior interesse no ferro é como um metal essencial, mas considerações toxicológicas são importantes em termos de repentinas exposições ou ingestões acidentais (BRIGANTE e ESPÍNDOLA, 2003).

2.7.2.4 – Alcalinidade

Alcalinidade é a capacidade que um ecossistema aquático tem de neutralizar ácidos. Ocorre na água devido principalmente à presença de bicarbonato (HCO₃⁻), carbonato (CO₃²⁻) e hidróxido (OH⁻), quase sempre de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio, lítio, berílio, rubídio, estrôncio, cério, bário, frâncio e rádio), em níveis elevados pode dar sabor desagradável a água (BATALHA e PARLATORE, 1977; BRAGA *et al.*, 2002; ESTEVES, 1998; LIBÂNIO, 2005).

A alcalinidade se torna muito importante na preservação dos ambientes aquáticos, pois está diretamente relacionada ao grau de decomposição de matéria orgânica e a consequente liberação de CO₂. Quando esses valores estão acima dos indicados caracteriza um elevado processo de decomposição que interfere diretamente no oxigênio dissolvido no meio, ocasionado assim um desequilíbrio no ambiente e nas diversas formas de vida presentes nele (BAIRD, 2002).

A partir da alcalinidade é possível determinar a quantidade de carbono inorgânico no recurso hídrico e a partir disso determinar a extensão de fotossíntese e o crescimento vegetal; pode se determinar também a partir da alcalinidade a capacidade tamponante do corpo d'água já que os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ associam se ao bicarbonato (COELHO, 2015).

A alcalinidade das águas ocorre na presença de bicarbonatos produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água sobre rochas calcárias. A alcalinidade não tem significado sanitário, a menos que seja devido a hidróxidos ou que contribua na qualidade de sólidos totais (VASCONCELOS, 2010)

Ainda para esse mesmo autor, valores de alcalinidade em águas superficiais raramente excedem 500 mg/l. Águas com alcalinidade alta são indesejáveis, por causa da excessiva dureza ou altas concentrações de sais de sódio.

Para LIMA e KOBAYASHI (1988), índices baixos de alcalinidade total são típicos de águas de “igarapés” ou de rios amazônicos com influência de terrenos do quaternário.

2.7.2.5 – Cloretos

O cloreto é um íon que facilmente se desloca em solução, assim, este íon quando adicionado ao solo por meio da água de irrigação facilmente pode atingir as águas subterrâneas alterando o padrão de qualidade das mesmas (SILVA *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009).

Outra fonte em potencial de aporte de cloreto ao solo e as águas subterrâneas, nas regiões costeiras, são os aerossóis marinhos (MEIRELES *et al.*, 2007).

O conhecimento do teor de cloretos das águas tem por finalidade obter informações sobre o seu grau de mineralização ou indícios de poluição, como esgotos domésticos e resíduos industriais (AQUAMEC, 2018).

As fontes antropogênicas incluem: esgoto doméstico, efluentes industriais, fertilizantes e pesticidas. O esgoto tem grande contribuição alterando os níveis de Cl em

sistemas receptores, que é um importante indicador de contaminação por fontes de origem antropogênica (APRILE *et al.* 1998)

PIRATOBA *et al.*, (2016) ao avaliar a qualidade da água da zona portuária de barcarena encontrou concentrações de cloretos variando entre 0,26 e 0,44 mg/ L para o período menos chuvoso, ja no período de chuvas a mudança naó se mostrou tão relevante entre 0,23 e 0,43 mg/ L

SANTOS *et al.* (1984) analisou 29 afluentes do rio Negro e o resultado deste estudo mostrou o maior valor no rio Urubaxi , com 2,84 mg/ L e o menor, no rio Branquinho, afluente do rio Cuieiras com 0,60 mg/l

As concentrações no Aurá são quase 100 vezes maior do que o maior valor encontrado em barcarena e quase 20 vezes maior que o encontrado no rio “Branquinho”.

2.7.2.6 – Dureza

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais freqüentemente associados à dureza são os de cálcio e magnésio (Ca^{2+} , Mg^{2+}) e, em menor escala, ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), estrôncio (Sr^{2+}) e alumínio (Al^{3+})(MS, 2006).

Quando o alumínio é de origem natural é devido à dissolução das rochas calcárias e dolomíticas ricas em cálcio e magnésio, ou ainda, decorrente do lançamento de efluentes industriais (DI BERNARDO, 2005; LIBÂNIO, 2005).

Normalmente a quantidade de cálcio é duas vezes maior do que a de magnésio, estes valores podem ser diferentes em determinados tipos de água. A dureza pode ser classificada em dureza carbonato, quando associada a HCO_3^- e CO_3^{2-} ou dureza não carbonato associada a outros ânions, especialmente Cl^- e SO_4^{2-} (VON SPERLING, 2005).

A dureza total da água pode ser classificada como dureza temporária e permanente, quando temporária desaparece com o calor e permanente não desaparece com o calor, ou seja, não é removida com a fervura da água. Uma água caracterizada como dura é desagradável ao paladar, gasta muito sabão para formar espuma, mancha louças, deposita sais em equipamentos e dá lugar a depósitos perigosos nas caldeiras e aquecedores (APHA, 1998).

Em termos de tratamento e abastecimento público de água, a dureza pode ser classificada em água mole (dureza < 50 mg L⁻¹), dureza moderada (entre 50 a 150 mg L⁻¹), água dura (de 150 a 300 mg L⁻¹) ou ainda água muito dura (> 300 mg L⁻¹) (BRASIL,

2004; VON SPERLING, 2005).

A dureza reduzida confere à biota aquática maior sensibilidade à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água (BRIGANTE e ESPÍNDOLA, 2003).

2.7.2.8 – Série nitrogenada – Nitrato

De acordo com VON SPERLING (2007), em um corpo d'água a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição. A poluição mais recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato.

Para BRAGA *et al.* (2005), o nitrogênio por seguir um ciclo que o conduz à mineralização total sob a forma de nitratos, permite avaliar o grau e a distância de uma poluição pela quantidade e forma de apresentação dos derivados nitrogenados.

A presença de nitrato é considerada como indicadora de matéria orgânica na água, o excesso pode resultar em metahemoglobinemia, doença caracterizada pelo aparecimento de coloração azulada na pele e nas mucosas devida à destruição dos glóbulos vermelhos do sangue, pode ocorrer em bebês recém-nascidos, como em adultos com uma determinada deficiência enzimática (EMBRATEL, 1983; BAIRD, 2002; DI BERNARDO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Concentrações de nitrato superior a 5 mg L⁻¹ demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e de animais. O nitrato estimula o crescimento de plantas, sendo que organismos aquáticos como algas, florescem na presença deste, quando em elevada concentração pode conduzir a um desenvolvimento exagerado (BAIRD, 2002).

O nitrato é um ânion muito móvel que pode facilmente percolar das camadas superiores do solo para a água e a presença de nitrato na água é indicadora de matéria orgânica, concentrações acima de 5 mg/ L⁻¹ indica condições sanitárias inadequadas (BOWER, 1978).

BAHIA *et al.*, (2011) ao estudar a área de abrangência do reservatório do Utinga notou concentrações de nitrato com médias de 1 mg/ L⁻¹

SOUZA (2015) em um estudo sobre o Rio Macapá, região amazônica, observou concentrações menores no período de estiagem 0,01 mg. L⁻¹ e máxima de 0,06 mg/ L⁻¹ na estação chuvosa.

Segundo MEYBECK, 1982 *apud* ALLAN, 1997, em rios de regiões naturais não impactadas, os níveis de nitrato, nitrito, íon amônio, fósforo total, fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico são naturalmente baixos quando comparados aos rios afetados pelas atividades humanas, desta forma altas concentrações destes elementos podem ser atribuídas a fontes antropogênicas.

BRANCO (1991) cita que a presença de nitrogênio nos mananciais, em concentrações superiores a 0,01 e 0,3 mg/L, respectivamente, determina proliferações algais, as quais causam sérios problemas à utilização desses locais.

2.7.2.9 - Série Nitrogenada – Nitrito

Estado de transição na oxidação de amônia a nitrato, a ocorrência de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica (ESTEVES, 1998).

Segundo TOLEDO e NICOLELLA (2002), cada corpo hídrico possui características próprias, o que torna difícil estabelecer um único índice geral, que explique a qualidade do sistema hídrico. Por isto uma comparação entre índices é interessante na adoção da avaliação da qualidade da água para evidenciar assim a poluição média existente.

Em vista disto, vale ressaltar a importância de estudos recentes que demonstram comportamentos anômalos na região.

2.8 - ESTUDOS CORRELATOS

SILVA *et al.*, (2014) enfocaram uma pesquisa no Parque Estadual do Utinga (PEUt), Rios Guamá e Aurá, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA). O IQA calculado para os pontos de coleta do Rio Aurá para esses pesquisadores foi de aceitável. Para a verificação da distribuição do IQA, esses autores apresentaram gráficos produzidos pelo Software Surfer 10, através do método de interpolação por krigagem, permitindo uma melhor visualização deste índice ao longo das áreas estudadas, Figura 2.5:

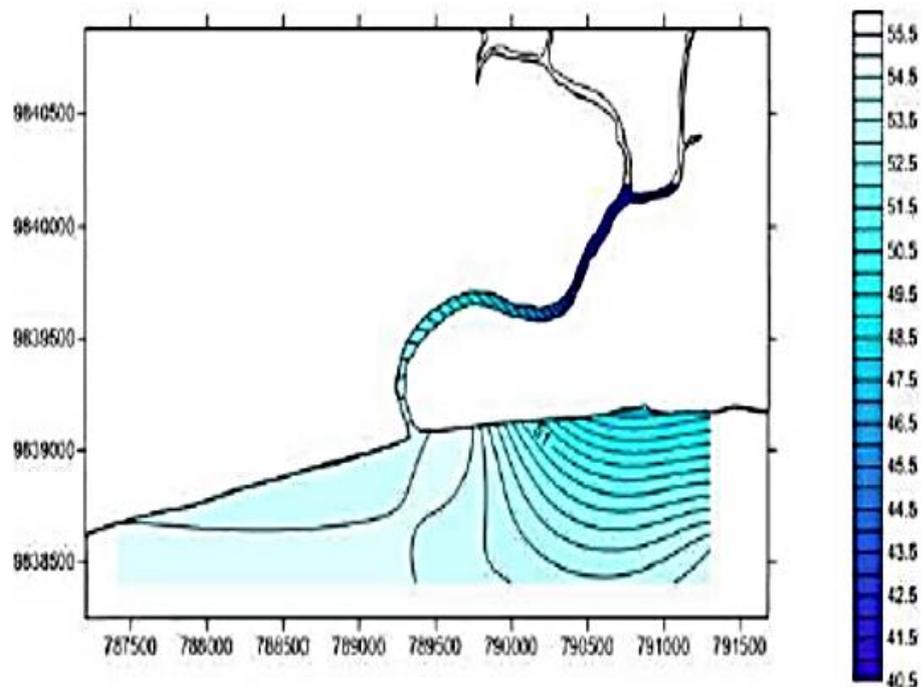


Figura 2.5 - Variação do IQA ao longo do espaço amostral, *Surfer 10*.
 Fonte: SILVA *et al.*, (2014).

MARQUES (2014) em seu trabalho sobre contaminantes metálicos, o qual abrangia o rio Guamá, Aurá e Manancias do Utinga, aplicou o índice de qualidade do aterro de resíduos (IQAR), um indicador usado como uma ferramenta de gestão ambiental para atuar como um diagnóstico sobre a disposição final de resíduos sólidos urbanos, permitindo observar e acompanhar a situação do meio ambiente.

A pontuação final do aterro do Aurá, após adaptação para definir os valores em escala de avaliação de 0 a 10, gerou um índice final que enquadrou o aterro em condições inadequadas de funcionamento. O índice IQAR, que varia em uma escala de 0 a 10, apontou 2,7 para o Aurá, caracterizando o local como lixão.

SIQUEIRA (2013) ao estudar a área entre os anos de 2008 e 2013 aplicou um total de 7 índices de qualidade da água (IQA CETESB, IGQA, ISTO, IAP, IET^a, IET^b, IPMCA, IVA e 8 de qualidade do sedimento, incluindo índices de toxicidade e de preservação da vida aquática, os resultados confirmaram contaminação da água e sedimentos em diferentes graus, com a qualidade da água superficial variando de regular a péssima, como pode ser conferido na Figura 2.6 que demonstra o índice de substâncias tóxicas e organolépticas (ISTO) e o índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público (IAP)

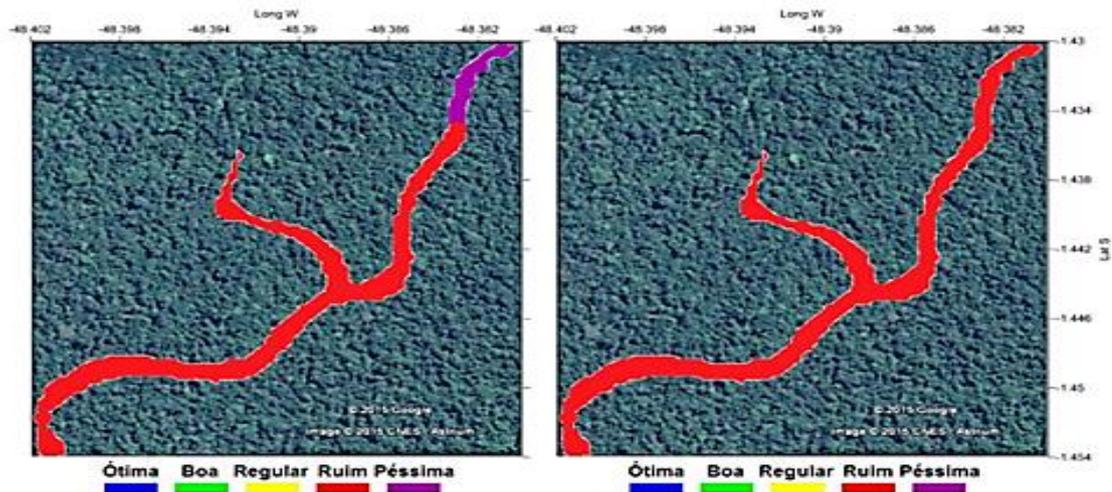


Figura 2.6 - Mapa de isovalores da bacia do Aurá de 2008 a 2013.
 A) ISTO e B) IAP
 Fonte: SIQUEIRA, 2013.

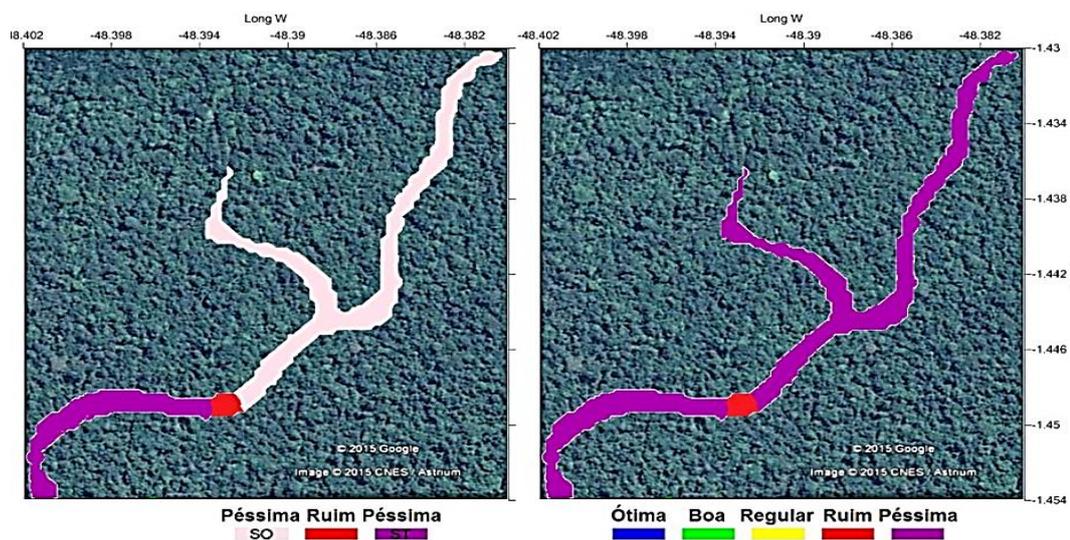


Figura 2.7 - Mapa de isovalores da bacia do Aurá de 2008 a 2013.
 A) IQA e B) IGQA
 Fonte: SIQUEIRA, 2013.

Neste trabalho destacou-se a aplicabilidade do Índice de Qualidade das Águas (IQA) sugerindo um forte comprometimento na qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Aurá, todos os pontos amostrados dentro do período de 2008 a 2013. Do total analisado, 87% dos pontos amostrados foram classificados como “Ruim” e 13% permaneceram na categoria “Péssima”. Os piores níveis de qualidade da água foram observados na região da cabeceira do canal principal como observado na Figura 2.7.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 - Caracterização da área

A Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém (APA Belém) foi criada por meio do Decreto Estadual nº 1.551, de 03/05/1993 e está localizada nos municípios de Belém e Ananindeua, é uma Unidade de Conservação classificada como de uso sustentável, sendo admitido o uso direto dos seus recursos naturais, através de práticas sustentáveis de uso dos recursos naturais. No território da APA (Figura 3.1) não são permitidas atividades de terraplanagem, mineração, dragagem e escavação que venha causar danos ou degradação do meio ambiente e/ou perigo para pessoas ou para o meio ambiente, e nem qualquer atividade industrial, potencialmente capaz de causar poluição, segundo Decreto Estadual 1.551/1993 (PARÁ, 2018).

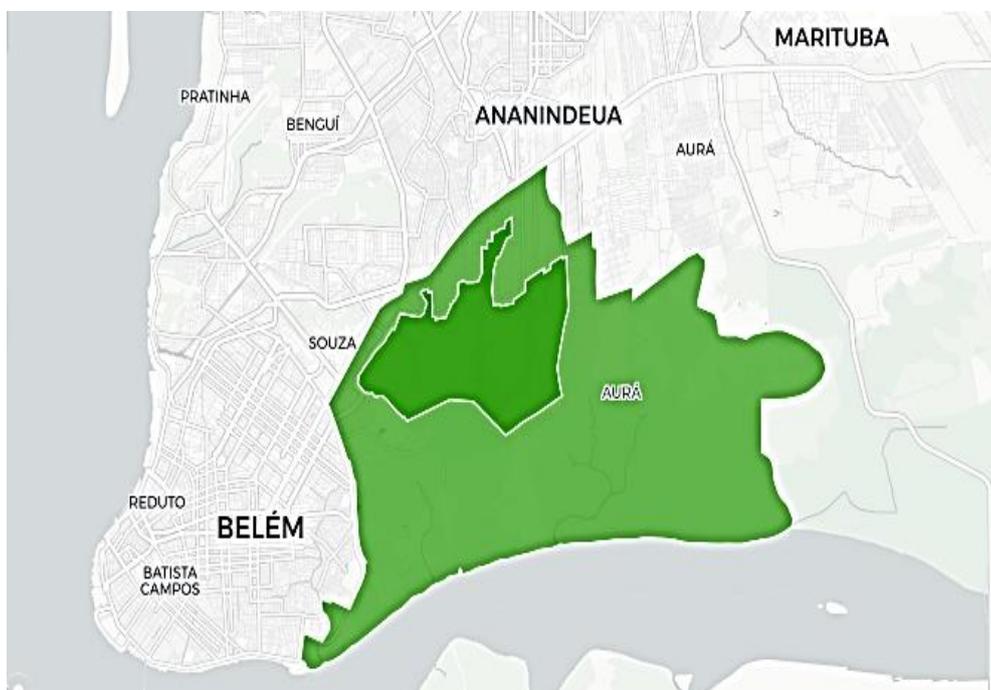


Figura 3.1 - Área de proteção ambiental de Belém (APA).
Fonte: IDEFLORBIO (2018).

O distrito administrativo de Belém situa-se nas coordenadas 01°27'20"S 48°30'15"W (PARÁ, 2011).

O Censo do IBGE (2010) indica que a população residente em Belém estimada para 2014 foi de 1.432.844. A área da unidade territorial é equivalente a 1.059,458 Km² e a densidade demográfica de 1.315,26 (hab/km²). Nas últimas duas décadas, apresentou os menores valores de perda de vegetação em relação aos demais distritos centrais (RODRIGUES e LUZ, 2007).

A vegetação dos mangues é formada por florestas secundárias (capoeiras) de terra firme e matas de várzea nas áreas mais baixas. O relevo é baixo com uma altitude que varia de 4 metros a 57 metros (PARÁ, 2011).

Nesse contexto, o “Rio Aurá” figura como a área de estudo deste trabalho (Figura 3.2). Localizado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA), coexiste com os Lagos Bolonha e Água Preta, mananciais responsáveis pelo armazenamento de água que abastecem a região. Assegurar a potabilidade da água dos mananciais, através da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Água Preta, Bolonha, Aurá e respectivas bacias hidrográficas é imprescindível. Para proteger os mananciais, deve-se abranger toda a bacia hidrográfica que a compõem (SEMAS, 2018).

Entretanto, os lagos não são capazes de abastecer toda a população, sendo necessário a adução das águas brutas do rio Guamá, afluente do Rio Pará (RIBEIRO, 1992; MORALES *et al.* 2002), vide Figura 3.2:

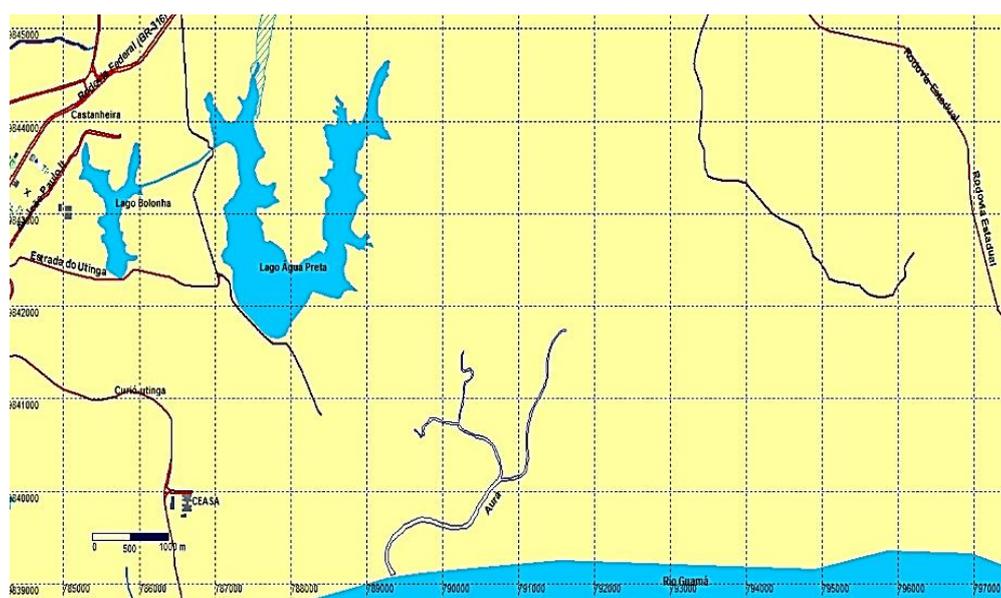


Figura 3.2 - Mapa da região de estudo.

Por sua vez, o Rio Aurá como afluente do Rio Guamá, exerce forte influência sobre os mananciais da APA, devido ser a terceira maior bacia em extensão da RMB, segundo SIQUEIRA e APRILE (2012), e por desembocar próximo à captação de água do rio Guamá feita pela concessionária local (Figura 3.2).

Fundado em 1987, o Aurá localiza-se nas proximidades do Rio Guamá, nos limites dos Municípios de Ananindeua-PA e Belém-PA, na Região Metropolitana de Belém (RMB). O espaço de destinação de resíduos está disposto em uma área conhecida como Santana do Aurá, distante 4 km da Rodovia BR-316, principal via de acesso ao município de Belém-PA. Pelo sistema de coordenadas geográficas Lat./Long., localiza-se no quadrante entre os paralelos 1° 10' 00'' S e 1° 30' 00'' S e os meridianos 48° 25' 00'' W e 48° 20' 00'' W. (MARQUES, L. C *et al*, 2015), Figura 3.3:

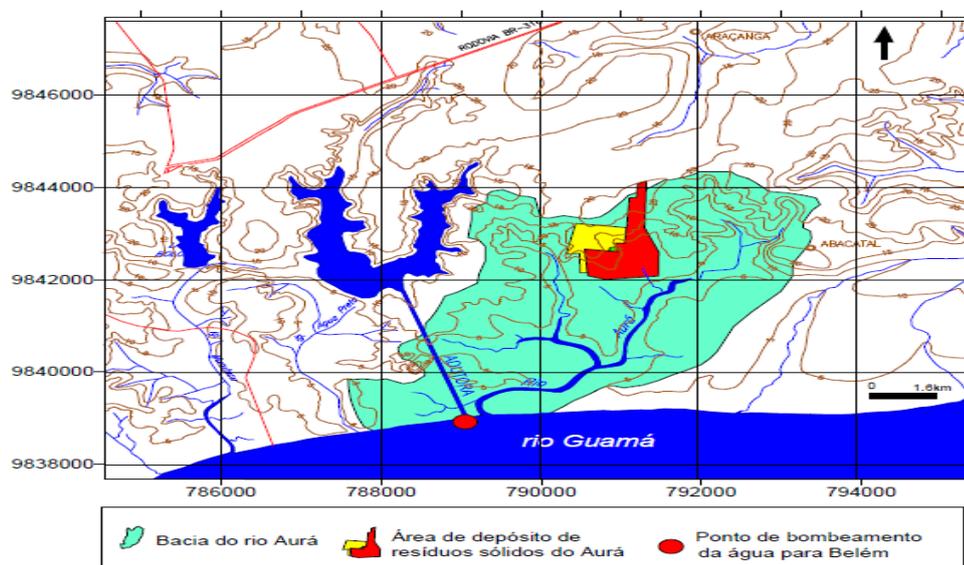


Figura 3.3 - Mapa geral da área de estudo, área de destinação dos resíduos sólidos “Aurá”.

Fonte: MORALES, 2002.

Ao norte do Rio Guamá, o Aurá está inserido em uma microbacia com drenagens de pequeno porte e pouca extensão, como igarapés. A oeste, a cerca de 1,4 km de distância, situam-se os lagos Bolonha e Água preta, fontes de abastecimento de água da RMB (MARQUES *et al*, 2015) Figura 3.4:

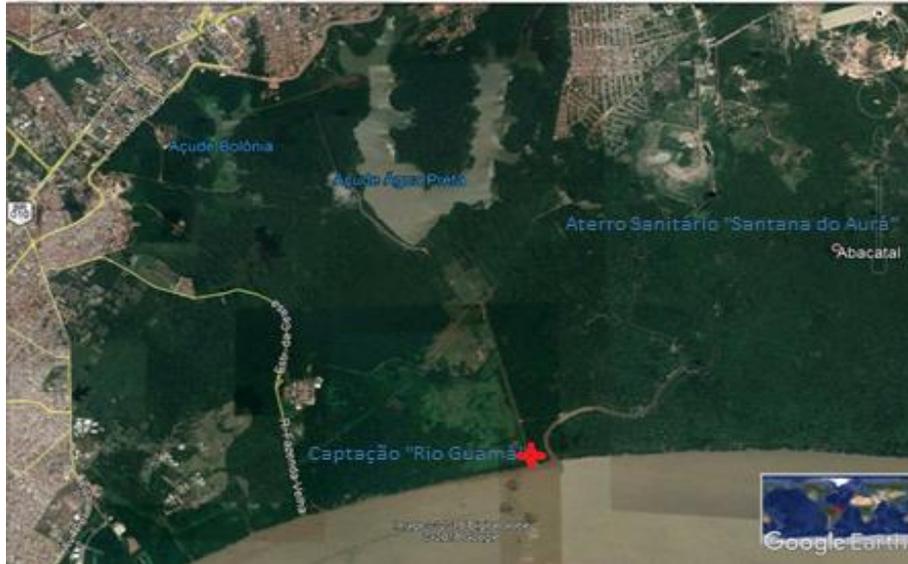


Figura 3.4 - Mapa Geral da área de estudo.
Fonte: “google earth”, 2018.



Figura 3.5 - Captação de água bruta do Rio Guamá
(Concessionária de abastecimento de água).

As instalações de captação de água bruta da concessionária de abastecimento da região, localizam-se bem próximas a área de acesso à região (Figura 3.5), há uma distância de aproximadamente 215m entre a captação e a jusante do rio aurá, fato este, que não maximiza os efeitos ou cria alarde à população, mas que deve ser visto com atenção, pois em grande parte das cidades a água de consumo é oriunda de rios que sofrem com o despejo de poluentes (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Perfil da área.

3.2 - INFLUÊNCIA CLIMÁTICA

As amostras foram coletadas na ordem “montante” para “jusante” no mês de abril quando a densidade pluviométrica tende a apresentar valores mais elevados (INMET, 2018).

TUCCI (2006) afirma que a precipitação tende a influenciar os diversos parâmetros de qualidade da água na bacia afetando a evolução ou diminuição da poluição da água, tornando o sistema mais diluído.

Tendo em vista a referência, as informações pluviométricas da véspera e do dia de coleta devem ser levadas em consideração, uma vez que, estas informações possam ter alguma influência no resultado das análises.

Observa-se que no dia da amostragem não houve ocorrência de chuva até a hora da coleta das amostras.

O período de referência para a climatologia é de 1981-2010, e as séries históricas foram reconstituídas por procedimentos de interpolação (INMET, 2018), as informações referentes ao comportamento da precipitação no município de Belém/PA no período de maior densidade pluviométrica para o ano de 2018 é representado na figura 3.7:

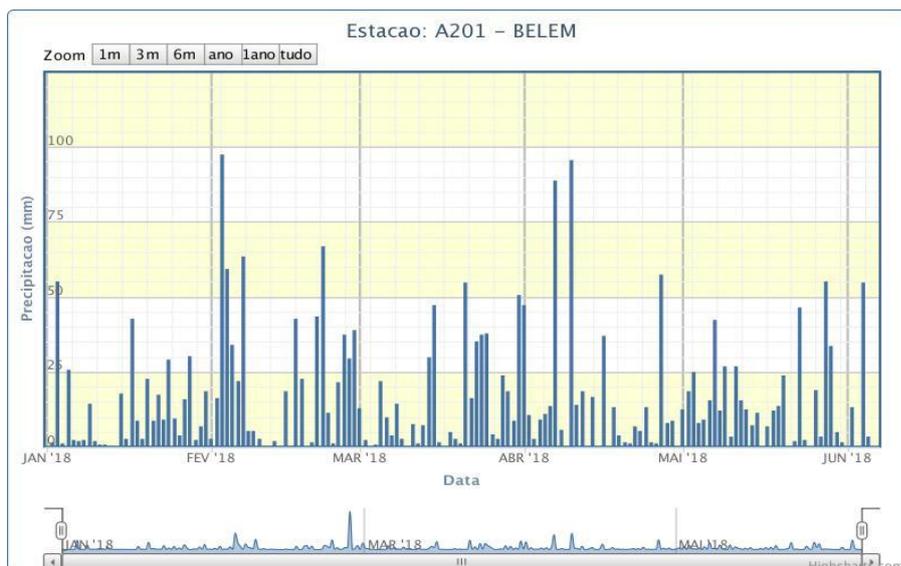


Figura 3.7 - Estações automáticas índice pluviométrico “Belém 2018”.

Fonte: INMET, 2018.

3.3 - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os pontos de amostragem remontaram um total de 12 amostras devidamente distribuídas na porção a extrema esquerda do rio “Aurá”, configurando um percurso em linha reta de aproximadamente 2,66 km entre o primeiro ponto a montante e o último ponto a jusante (Figura 3.8).



Figura 3.8 - “12” Pontos de Coleta no rio “Aurá”.

Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

3.3.1 - Período de Coleta

Foi realizada uma campanha no mês de maio de 2018, um dos períodos mais chuvosos na região (Figura 3.7) segundo informações do INMET (2018). As amostras de água foram coletadas a nível superficial, por volta de 20% da profundidade, começando em horário de baixa-mar (07:00 h), de acordo com o apresentado na Figura 3.9:

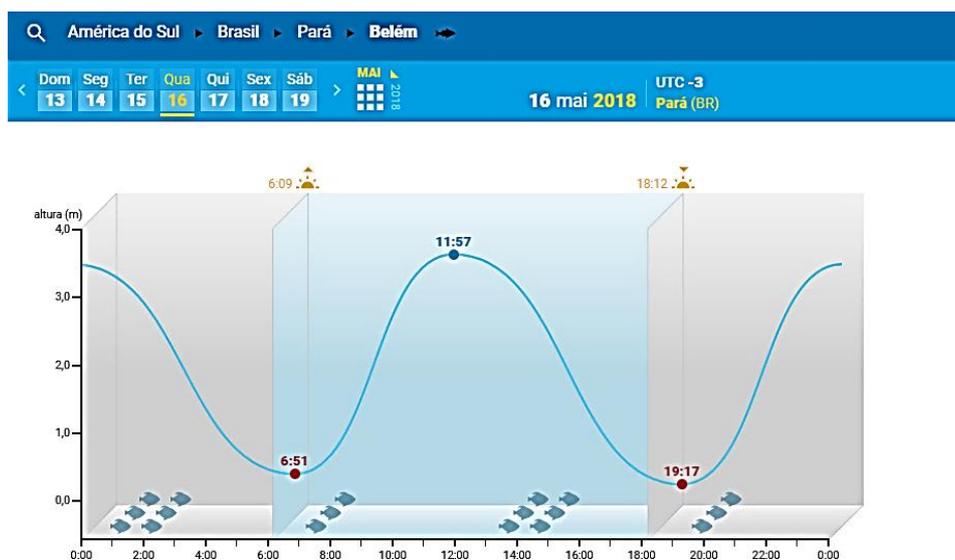


Figura 3.9 - Tábuas de marés – Belém (16/05/2018).
Fonte: Tábua de Marés e Solunares, 2018.

3.3.2 - Caracterização dos pontos de amostragem

A área de estudo observa-se como uma área bastante uniforme quanto às características naturais, diferenciando-se apenas dos pontos de coleta mais a montante por localizarem-se em uma região de menores fluxos e velocidades de correnteza, além de, perceptivelmente apresentarem grande quantidade de resíduos sólidos em seu entorno. O ponto “P01”(Figura 3.10) localiza-se em uma área bem próxima à região das “águas lindas” que abrange o conjunto “Verdejante” e o “Aurá”. É o ponto mais próximo ao cenário de poluição causado pela falta de saneamento urbano adequado.



Figura 3.10 - Ponto “P01” (Extremo norte do Rio “Aurá”).

Contrastando com os cinco primeiros pontos de coleta, a partir do ponto P06” (Figura 3.11) o rio estende-se e toma maiores proporções em largura e fluxo.



Figura 3.11 - Ponto “P06” (Extremo norte do Rio “Aurá”).

Tabela 3.1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de amostras de água.

Códigos	Latitude	Longitude
P01	1°25'31.78"S	48°23'30.23"O
P02	1°25'35.01"S	48°23'30.54"O
P03	1°25'44.48"S	48°23'30.78"O
P04	1°25'51.53"S	48°23'27.53"O
P05	1°26'2.88"S	48°23'26.19"O
P06	1°26'12.31"S	48°23'29.00"O
P07	1°26'23.02"S	48°23'31.11"O
P08	1°26'26.10"S	48°23'24.68"O
P09	1°26'30.24"S	48°23'16.78"O
P10	1°26'40.72"S	48°23'13.81"O
P11	1°26'47.89"S	48°23'20.44"O
P12	1°26'57.60"S	48°23'28.07"O

3.4 - PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES

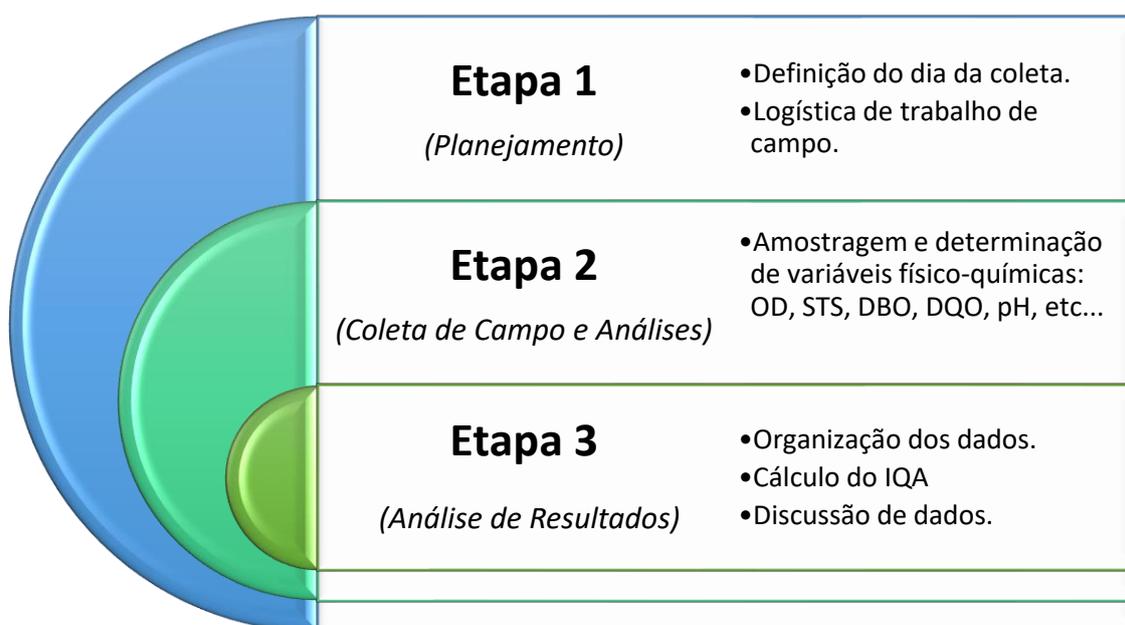


Figura 3.12 – Esquematização das etapas de trabalho.

3.5 - COLETA DAS AMOSTRAS

Para a realização da coleta, foram utilizados os seguintes materiais: frascos de polipropileno com volumes de 2000 mL e 1000 mL; gelo, caixas isotérmicas para refrigeração e preservação de amostras, corda e balde (confeccionado em aço inox AISI 316L polido). Para a medição das variáveis de campo foi utilizada sonda multiparamétrica YSI EXO 2 599502-00 da Xylem Brand®, a seguir descritos nas figuras 3.13 e 3.14:



Figura 3.13 - Georreferenciamento dos pontos de coleta.



Figura 3.14 - Sincronização da sonda para leitura dos dados.

A amostragem para determinação das variáveis físico-químicas nos pontos de coleta segue as técnicas propostas pela CETESB (2018): imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm de coluna d'água.

As amostras de água para análise de DBO e DQO foram coletadas em frascos de polipropileno com capacidade de 1L, preservadas em caixas isotérmicas sob refrigeração de aproximadamente 4°C e transportadas para o laboratório “Monitora” Ltda.(Figura 3.15):



Figura 3.15 - Coleta de Amostras de DBO e DQO.

3.5.1 - Variáveis Físico-Químicas

Neste estudo, as variáveis analisadas compreendem as utilizadas no cálculo do IQA e: sólidos totais suspensos (STS), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (NH_3-N) e pH.

Os procedimentos analíticos utilizados para determinação das variáveis analisadas seguiram a metodologia padronizada e validada conforme recomendações descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater proposta por APHA (2005).

As variáveis de campo como pH, Temperatura, Sólidos Totais Suspensos e oxigênio dissolvido foram determinadas através da sonda multiparamétrica YSI EXO 2 599502-00 da Xylem Brand®.

3.5.2 - Análise das variáveis físico químicas

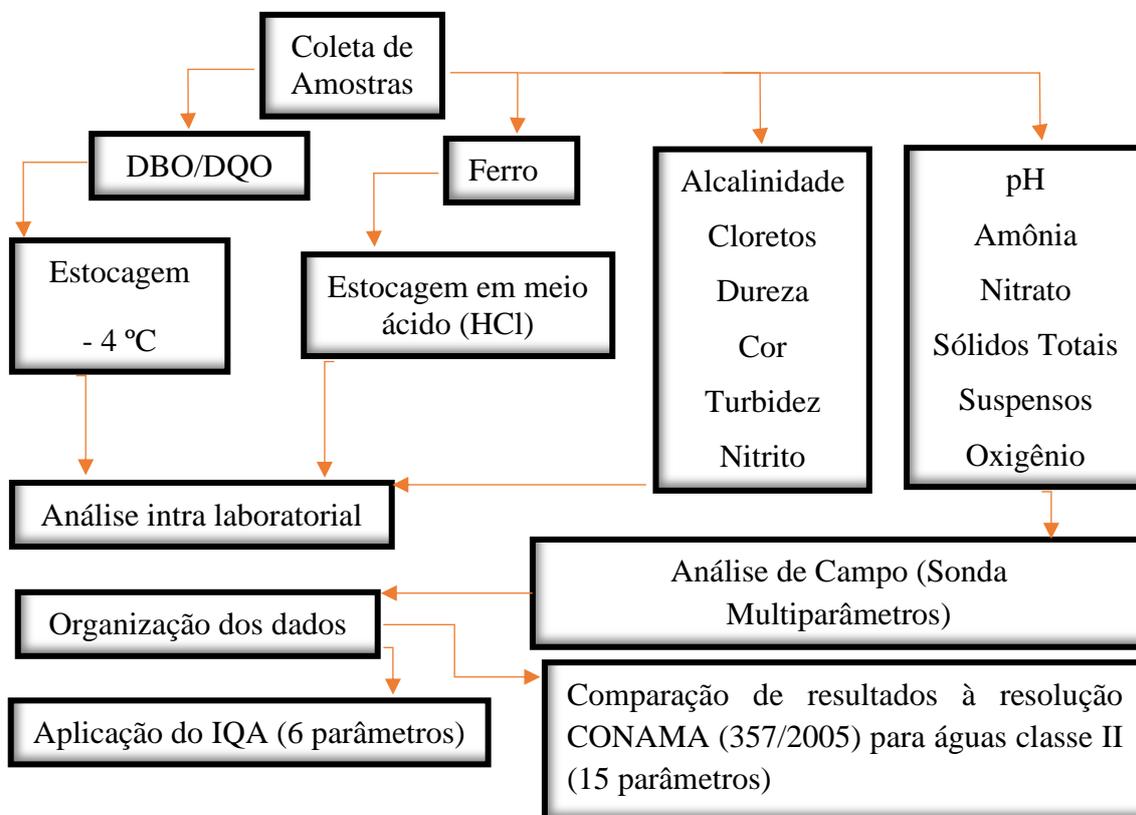
A metodologia analítica empregada para a análise físico-químico dos parâmetros estudados foi a do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1999) as análises e metodologias são explicitadas na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Análises e Metodologias.

Análise	Método	Laboratório
DBO ₅	Método respirométrico de incubação por cinco dias a 20°C através do equipamento HACH BODTRAK (SM 5210 D)	Análise Particular (Laboratório Monitora©)
DQO	Método respirométrico de incubação por cinco dias a 20°C através do equipamento HACH BODTRAK (SM 5210 D)	
Oxigênio Dissolvido	Sonda multiparamétrica YSI EXO 2 599502-00	Análise de Campo
Nitrato		
Amônia		
Sólidos Totais Suspensos		
pH		
Cor	Comparador colorimétrico de bancada para análise de cor.	LCQ Cosanpa
Turbidez	Turbidímetro digital faixa de medição de 0-1000 NTU, resolução de 0,01 NTU.	
Alcalinidade	Titulação volumétrica com H ₂ SO ₄ 0,02 N e indicador Metil-Orange.	
Cloretos	Método de Mohr AgNO ₃ 0,0141 N e indicador cromato de potássio.	
Dureza	Titulação volumétrica com EDTA 0,02N e indicador negro de eriocromo T	
Ferro	Método Colorimétrico com Tiocianato de potássio (KSCN)	
Nitrito	Método Colorimétrico de Alfa Naftilamina	

3.6 - METODOLOGIA

Fluxograma de procedimentos realizados no estudo



3.7 - DETERMINAÇÃO DO IQA

O IQA do trecho estudado no rio “Aurá” foi determinado a partir dos dados coletados nos doze pontos (maio/ 2018).

A determinação dos valores dos sub índices de cada variável foi realizada de acordo com as curvas de qualidade dos parâmetros da metodologia do DOE - IQA em equações, de acordo com a especificação de cada parâmetro.

3.7.1 - Equações das curvas de qualidade do “DOE - IQA”

3.7.1.1 - Determinação dos valores de “qi”(Sub-Índices) para as seis variáveis no cálculo do IQA.

Entende-se “X” como sendo as concentrações respectivas dos indicadores abaixo, Tabela 3.3 (equações 3.a à 8.c):

Tabela 3.3 - Equações para os sub-índices.

Sub-índices para OD (% de saturação)		Sub-índices para STS	
SI OD = 0 <i>Para 8 < X</i>	(3.a)	SI STS = 0 <i>Para X > 1000</i>	(6.a)
SI OD=100 <i>Para X > 92</i>	(3.b)	SI STS = $71e^{(-0,0016X)}-0,015X$ <i>Para 100 < X < 1000</i>	(6.b)
SI OD = $- 0,395 + 0,030X^2 - 0,00020X^3$ <i>Para 8 < X < 92</i>	(3.c)	SI STS = $97,5 \times e^{((-0,00676X)} + 0,05X$ <i>Para X < 100</i>	(6.c)
Sub-índices para DBO		Sub-índices para DQO	
SI DBO = $100,4 - 4,23X$ <i>Para 5 < X</i>	(4.a)	SI DQO = $-1,33X+99,1$ <i>Para 20 < X</i>	(7.a)
SI DBO = $108 e^{((-0,055X))} - 0,1X$ <i>Para 5 > X</i>	(4.b)	SI DQO = $103 e^{((-0,0157X))- 0,04X}$ <i>Para 20 > X</i>	(7.b)
Sub-índices para pH		Sub-índices para NH ₃ -N	
SI pH = $536- 77X - 2,76 X^2$ <i>Para X > 8,75</i>	(5.a)	SI NH ₃ -N = 0 <i>Para 4 < X</i>	(8.a)
SI pH = $-181 + 82,4X - 6,05X^2$ <i>Para 7 ≤ X < 8,75</i>	(5.b)	SI NH ₃ -N = $94 \times e^{((-0,573X)} - 5 \times X - 2 $ <i>Para 0,3 > X > 4</i>	(8.b)
SI pH = $-242 + 95,5X - 6,67X^2$ <i>Para 5,5 ≤ X < 7</i>	(5.c)	SI NH ₃ -N = $100,5 - 105X$ <i>Para 4 > X</i>	(8.c)
SI pH = $536- 77X - 2,76 X^2$ <i>Para X < 5,5</i>	(5.d)		

Após a análise laboratorial das variáveis, os resultados foram organizados em planilhas para fins de enquadramento de classes conforme a resolução vigente em nosso

país CONAMA 357/2005 e o posterior enquadramento do IQA Malasiano para a resolução DOE (WEPA). Ao fim, foi realizado o cálculo do IQA, objetivando a comparação com a classe em que esse corpo hídrico se enquadra (águas doces classe 2).

Quanto aos procedimentos metodológicos, propõe-se também, realizar um estudo analítico, utilizando pesquisa bibliográfica e documental, descrições mais detalhadas da bacia do Rio Aurá incluindo informações sobre hidrologia, geologia e clima podem ser encontradas nos estudos de MORALES (2002), SIQUEIRA e APRILE (2013), SANTO (2014), MARQUES (2014), SIQUEIRA, *et al.*, (2014), SIQUEIRA *et al.*, (2016) e SIQUEIRA e APRILE (2017).

A pesquisa bibliográfica está preconizada de acordo com OLIVEIRA (2002), para este estudo, foi realizada ampla discussão de uma série histórica de dados obtidos por vários pesquisadores acerca da qualidade das águas superficiais do Rio Aurá, por um período de 14 anos nessa região.

A influência direta do depósito de resíduos sólidos sobre as águas superficiais localizados próximos ao lixão foi constatada pela primeira vez por MORALES (2002), que coletou amostras de água em cinco pontos de coletas distribuídos nos Rios Santo Antônio, Santana do Aurá e Igarapé Juruca, todos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Aurá, a fim de verificar a variação dos parâmetros traçadores de chorume (pH, condutividade, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto, sódio, cálcio, magnésio e potássio).

Os maiores valores foram encontrados nos pontos mais próximos do aterro sanitário a céu aberto (montante dessa bacia), indicando que o chorume naquele momento já atingia esses rios.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as diversas variáveis de qualidade da água foram analisados e permitiram o enquadramento, conforme as classes estabelecidas pelo conselho nacional de meio ambiente (CONAMA) Resolução N°357 de 17 de março de 2005.

Os resultados das análises físico-químicas, obtidas no trecho estudado do Rio Aurá, são descritos nas Tabelas (4.1 e 4.2):

Tabela 4.1 - Variáveis físico-químicas (I).

Pontos	Turbidez	Cor	Alcalinidade	Cloretos	Dureza	Ferro
P01	64,9	230	46,0	44	12	2,3
P02	60,6	250	21,3	39	10	2,7
P03	55,7	260	15,3	31	11	2,3
P04	45,4	260	8,0	30	12	2,3
P05	40,3	180	2,2	33	10	2,3
P06	45,9	210	1,9	30	10	1,7
P07	52,4	210	1,9	29	11	2,3
P08	55,2	230	2,0	29	10	1,7
P09	39,5	195	2,0	29	11	1,7
P10	41,15	210	2,0	32	11	2,3
P11	41,8	230	2,0	39	10	2,3
P12	46,4	260	2,0	14	10	3,4
Média	49,1	227,1	8,9	31,6	10,7	2,3
Desvio	8,5	26,8	13,3	7,4	0,8	0,5
Mínimo	39,5	180,0	1,9	14,0	10,0	1,7
Máximo	64,9	260,0	46,0	44,0	12,0	3,4
Amplitude	25,4	80,0	44,1	30,0	2,0	1,7
Classe II CONAMA 357/2005	100 NTU	75 UH	(-)mg/ L como CaCO₃	250mg/ L de Cl-	(-)mg/ L como CaCO₃	0,3mg/ L

Tabela 4.2 – Variáveis físico-químicas (II).

Pontos	N Amoniacal	Nitrito	Nitrato	OD	DBO	DQO	STS	pH
P01	85,0	1,840	0,8	3,85	5	17	90	7,29
P02	66,8	1,610	0,6	4,16	14	39	89	7,1
P03	23,7	0,001	0,08	4,28	21	35	86	6,7
P04	3,2	0,004	0,12	4,1	25	38	85	6,15
P05	1,1	0,012	0,35	5,13	29	42	80	6,13
P06	0,6	0,005	0,17	5,43	27	43	71	5,98
P07	0,4	0,003	0,08	5,84	26	44	63	6,18
P08	0,1	0,001	0,07	5,91	22	44	67	6,28
P09	0,1	0,001	0,06	5,85	19	52	60	6,18
P10	0,1	0,001	0,04	5,81	17	46	64	6,15
P11	0,1	0,001	0,04	5,87	17	44	78	6,27
P12	0,1	0,001	0,04	5,88	18	44	88	6,35
Média	15,1	0,3	0,2	5,2	20,0	40,7	76,8	6,4
Desvio	29,4	0,7	0,3	0,8	6,6	8,6	11,2	0,4
Mínimo	0,1	0,0	0,0	3,9	5,0	17,0	60,0	5,98
Máximo	85,0	1,8	0,8	5,9	29,0	52,0	90,0	7,3
Amplitude	84,9	1,8	0,8	2,1	24,0	35,0	30,0	1,3
Classe II CONAMA 357/2005	3,7mg/L	1mg/ L	10mg/ L	5mg/ L	5mg/ L	(-)	100mg/L	6 a 9

4.1 – ANÁLISE DOS PARÂMETROS

4.1.1 - Turbidez

O Gráfico a seguir (Figura 4.1) apresenta a variabilidade dos valores de Turbidez ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

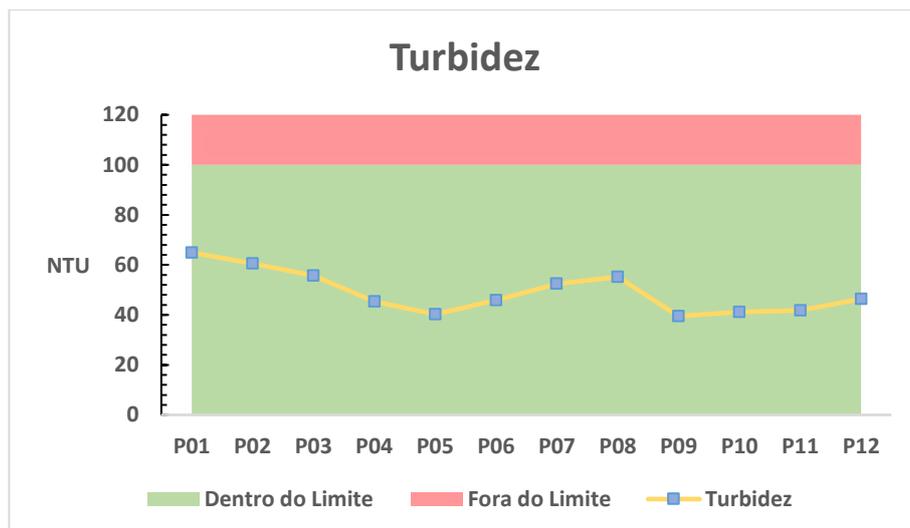


Figura 4.1 - Gráfico para a variável “*Turbidez*” no trecho estudado.

O ponto (P09) foi o que apresentou a menor concentração, enquanto as maiores concentrações foram encontradas nos pontos (P01), (P02) e (P03), sendo o ponto 01 o que apresentou maior amplitude (25,4), com máxima de 64,9 NTU e mínima de 39,5 NTU.

Apesar das condições de nascente em que esses pontos se encontram, onde é possível visualizar a preservação da vegetação nativa local e baixa vazão, observar-se-ia pouco arraste de material suspenso, entretanto, os elevados valores de turbidez nos pontos 01, 02 e 03 são justificados pela localização em áreas densamente urbanizadas, com precárias condições de saneamento que acaba por proporcionar um maior arraste de material suspenso, enquanto que as seguintes concentrações mais baixas para os valores de turbidez se devem, principalmente, a ocorrência de chuvas, aliada ao aumento da diluição do rio, para o mês de abril.

Como visto, o período chuvoso agrava as condições do sistema, para este parâmetro, aumentando a turbidez dos corpos hídricos.

A Resolução CONAMA 357/2005/MMA estabelece o limite de 100 NTU para o parâmetro turbidez nas águas doces classes 2 (Art. 15 IV e Art. 16 II). Sendo os valores determinados ao longo do rio, de acordo com os valores máximos estabelecidos.

4.1.2 - Sólidos Totais Suspensos (STS)

O Gráfico a seguir (Figura 4.2) apresenta a variabilidade dos valores de “*Sólidos Totais Suspensos*” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

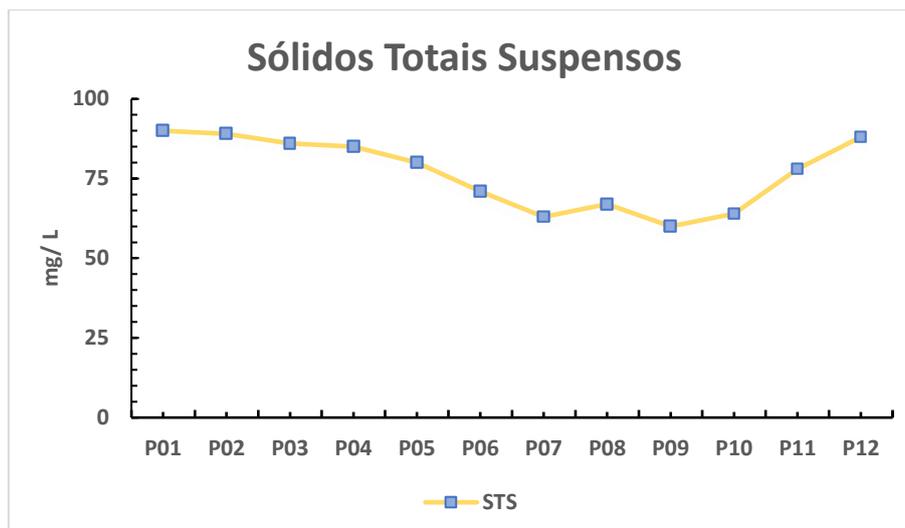


Figura 4.2 - Gráfico para a variável “*Sólidos Totais Suspensos*” ao longo do trecho estudado.

O ponto (P01) foi o que apresentou a maior concentração de sólidos totais suspensos, sendo o ponto (P01) o que apresentou maior amplitude (30), com máxima de 90,0 mg/ L e mínima de 60,0 mg/ L.

A partir dos dados percebe-se um alto teor de sólidos totais suspensos no ponto (P01), que podem estar diretamente ligados com a característica litológica da região (grande quantidade de íons presente na água) sofrendo influência de um carreamento de íons do escoamento lixiviado das proximidades, como o lixão do Aurá, presente ao norte do ponto, os Sólidos Suspensos, são responsáveis por acarretar um incremento no valor da turbidez e na cor, como foram comprovados através dos gráficos de cor e turbidez.

Nesse caso considerou-se os sólidos totais como um dos responsáveis pelo aporte de material orgânico na água. Esse aporte de material orgânico pode ser explicado pela condição sanitária da bacia, os despejos produzidos nos arredores entram em contato com o corpo d’água sem nenhum tipo de tratamento, para BASTOS, (2009) isto contribuiria para o aumento da carga orgânica nos sólidos suspensos totais.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece limites para sólidos totais, porém, menciona limites para sólidos dissolvidos e em suspensão, sendo de 500 e 100 mg.L⁻¹ para corpos de água doce classes 2 e 1, respectivamente.

4.1.3 - Cor

O Gráfico a seguir (Figura 4.3) apresenta a variabilidade dos valores de “Cor” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

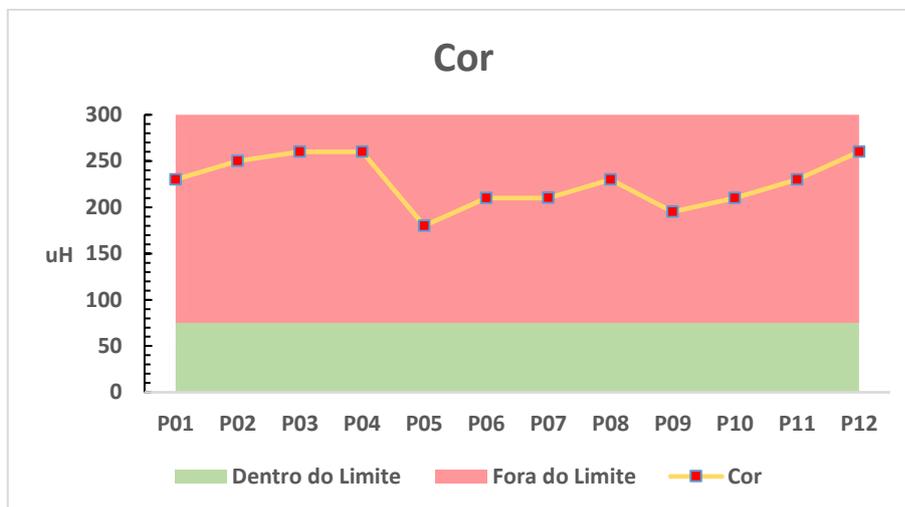


Figura 4.3 - Gráfico para a variável “Cor” no trecho estudado.

O ponto (P04) e (P12) foram os que apresentaram as cores mais elevadas, com amplitude (80), máxima de 260,0 mg/ L e mínima de 180,0 mg/ L.

O ponto (P04) encontra-se na região de maior concentração de sólidos totais suspensos, bem como com o grau mais elevado de turbidez, o que poderia facilmente explicar os valores elevados para esse parâmetro, mesmo em uma região de maior estabilização e com pouco fluxo.

O ponto (P12), diferentemente do caso anterior, encontra-se na área mais ampla e diluída do trecho estudado, o que acarretaria em uma possível diminuição no parâmetro em questão, entretanto esta tendência pode estar ligada ao fato de que há grande turbulência e fluxo intenso de água, aumentando a quantidade de sólidos suspensos, consequentemente, diminuindo a penetração da luz e aumentando a cor do trecho.

4.1.4 - Alcalinidade

O Gráfico a seguir (Figura 4.4) apresenta a variabilidade dos valores de “Alcalinidade” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

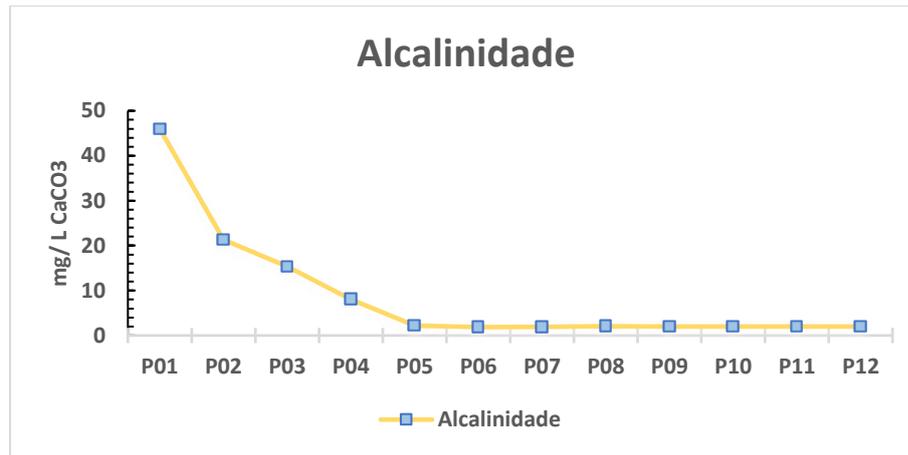


Figura 4.4 - Gráfico para a variável “Alcalinidade” no trecho estudado.

O ponto (P01), (P02), (P03) e (P04) foram os que apresentaram as concentrações mais elevadas, com amplitude (80), máxima de 260,0 mg/ L e mínima de 180,0 mg/ L.

Para EPA (2006) não se pode estabelecer valores padrões para a alcalinidade uma vez que esta pode ser influenciada por outros constituintes.

Embora seja notório que o rio sofra influência de despejo de esgoto doméstico, as águas aqui estudadas apresentaram valores poucos expressivos de alcalinidade total, oscilando entre 1,97 mg/L a 46,0 mg /L

4.1.5 - Cloretos

O Gráfico a seguir (Figura 4.5) apresenta a variabilidade dos valores de “Cloretos” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

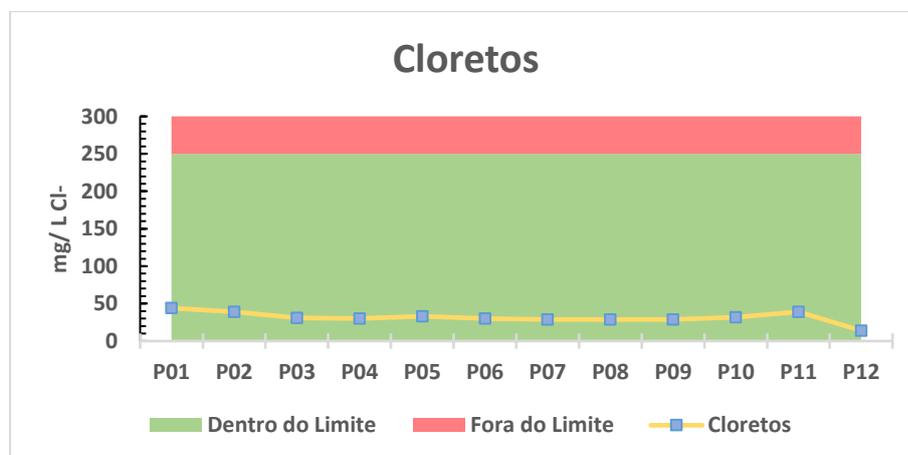


Figura 4.5 - Gráfico para a variável “Cloretos” no trecho estudado.

Valores de cloretos muito abaixo do limite admitido foram encontrados ao longo da série amostral do rio Aurá, como mostra a Figura 4.5. O ponto (P01) e (P02) foram os que apresentaram as concentrações mais elevadas, com amplitude (30), máxima de 44,0 mg/ L e mínima de 14,0 mg/ L.

Todos os valores obtidos neste estudo estavam abaixo do limite de resolução, entretanto: diversos estudos mostraram valores bem mais discretos quando se tratam de águas amazônicas.

Sobre esta informação, é pertinente dizer que o níveis de cloretos das águas do Aurá são de fontes antropogênicas, em particular.

4.1.6 - Dureza

O Gráfico a seguir (Figura 4.6) apresenta a variabilidade dos valores de “Dureza” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

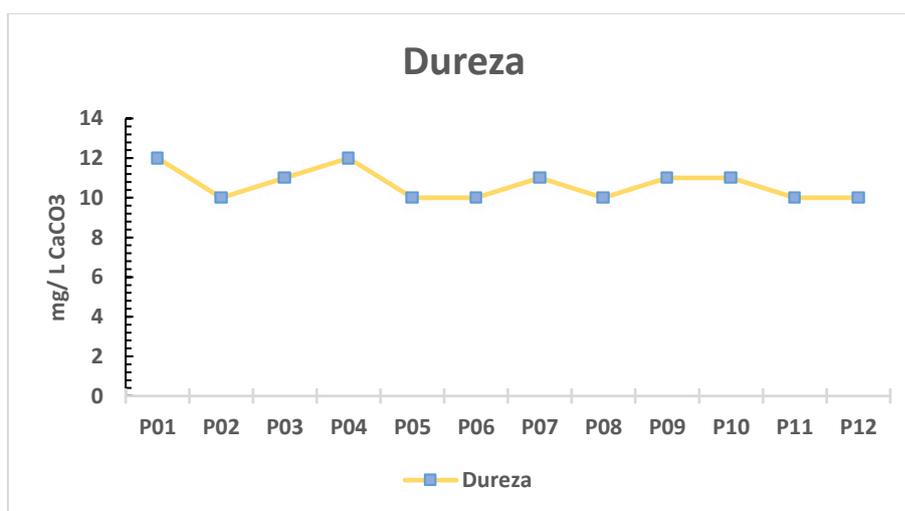


Figura 4.6 - Gráfico para a variável “Dureza” ao longo do trecho estudado.

Os valores de dureza encontrados oscilaram entre 10,0 mg/L a 12,00 mg/L.

De modo geral, classifica-se um corpo de água segundo suas concentrações totais de sais LANGELIER, 1994 *apud* ROCHA *et al.* (2004). Quando se observa os valores médios determinados no trabalho atual, pode-se sugerir uma classificação dessas águas como sendo água mole/macia, de acordo com a classificação abordada pelo autor acima.

4.1.7 - Ferro total

O Gráfico a seguir (Figura 4.7) apresenta a variabilidade dos valores de “*Ferro total*” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

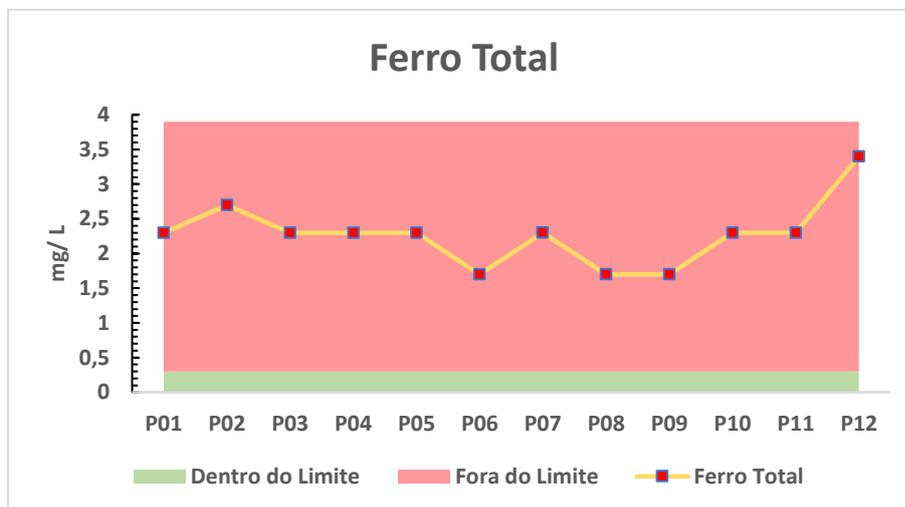


Figura 4.7 - Gráfico para a variável “*Ferro total*” no trecho estudado.

Valores de “*Ferro total*” muito acima do limite admitido foram encontrados ao longo da série amostral do rio Aurá, como mostra a Figura 4.7. O ponto (P12) apresentou a concentração mais elevada e (P06, P08 e P09) tiveram os menores resultados, ainda assim, fora dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para águas classe II de 0,3 mg/ L.

Devendo-se, provavelmente, a grande quantidade de dissolução de rochas no meio.

4.1.8 - Oxigênio dissolvido

O Gráfico a seguir (Figura 4.8) apresenta a variabilidade dos valores de “*Oxigênio dissolvido*” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

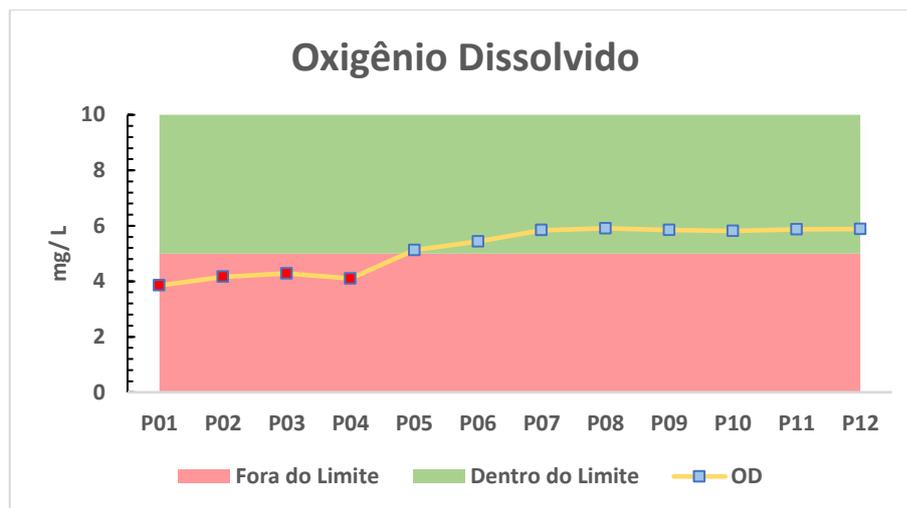


Figura 4.8 - Gráfico para a variável “*Oxigênio dissolvido*” no trecho estudado.

Os pontos (P01), (P02), (P03) e (P04) foram os que apresentaram as concentrações mais baixas, com amplitude (2,03), máxima de 5,88 mg/ L e mínima de 3,85 mg/ L.

O valor de oxigênio dissolvido pode ser influenciado pela vazão do rio, a depender das características físicas dos leitos dos mesmos, segundo BARROSO (2006) apud VERONEZ (2011), quanto maior a vazão, maior a velocidade e maior o turbilhonamento causado na água, isso ocasiona incorporação de OD no corpo d’água. O ponto (P01) apresenta baixa vazão, fato que pode justificar os valores mais baixos de OD observados neste ponto.

Os pontos (P01), (P02), (P03) e (P04), localizados em áreas mais urbanizadas, tiveram os menores valores de OD. A diminuição dos teores de OD nos corpos d’água pode estar relacionada com o crescimento populacional no entorno do Manancial do Utinga, lançamento de esgotos domésticos e industriais, além do “próprio resíduo sólido oriundo de lixões em contato direto com a água superficial poderá também causar a redução do OD” (CHAPMAN, 1992). Portanto, o decréscimo de OD é um indicador de poluição orgânica de um corpo d’água, além da intensa atividade microbiológica no processo de decomposição da matéria orgânica, que é responsável por consumir o oxigênio da água.

Neste trabalho foi possível observar que os pontos localizados em áreas com preservação da vegetação apresentaram concentrações de OD maiores que os pontos localizados em áreas mais urbanizadas.

As baixas concentrações de OD coincidem com a alta turbidez apresentada nos mesmos pontos em questão, decorrente do lançamento de efluentes contendo elevada carga de material em suspensão e matéria orgânica.

Este resultado foi bastante compatível, já que esse sítio se apresentou com águas bastante turvas, característica de despejo de matéria orgânica, tal aspecto leva a um consumo muito grande de oxigênio disponível, devido sua decomposição bacteriana fazendo com que o ambiente se torne menos aerado.

4.1.9 - Demanda bioquímica de oxigênio

O Gráfico a seguir (Figura 4.9) apresenta a variabilidade dos valores de “*DBO*” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

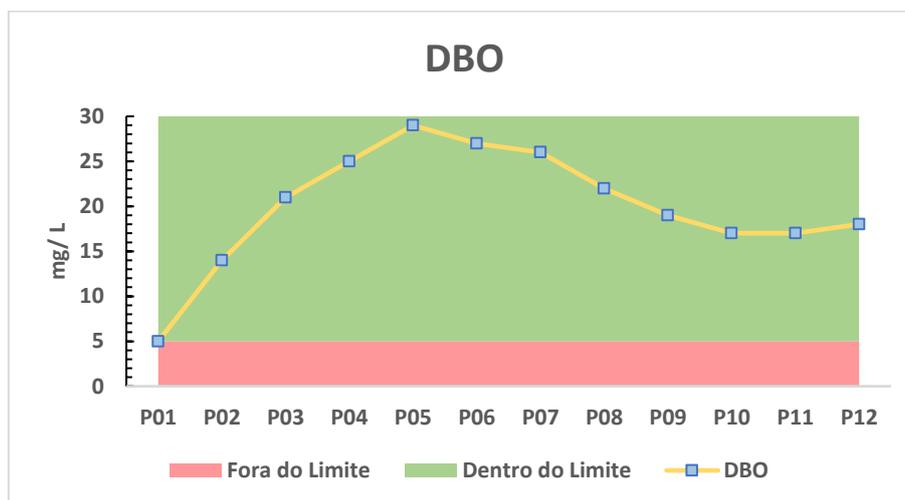


Figura 4.9 - Gráfico para a variável “*DBO*” no trecho estudado.

O ponto (P01) apresentou a menor concentração, ainda assim dentro do estipulado pela resolução CONAMA 357/2005 que estabelece o mínimo de 5 mg/ L para a DBO.

Os resultados de DBO no Rio Aurá revelaram oscilações ao longo dos pontos de amostragem, no gráfico pode-se observar um aumento gradual na demanda, as reações de oxidação da matéria orgânica e inorgânica no sistema, mediante conversão de gás carbônico e água, estão ocorrendo de forma mais localizada nas áreas de maior concentração urbana, o que conseqüentemente significa maior produção e liberação de efluentes, especialmente de origem doméstica.

Tal aumento da concentração deve-se, provavelmente, à alta pluviosidade e à alta taxa de evaporação devido ao aumento da temperatura e à alta incidência solar da região

durante o período é provável que a matéria orgânica sedimentável tenha sido detectada, o que provavelmente justifica esta alteração.

4.1.10 - Demanda química de oxigênio

O Gráfico a seguir (Figura 4.10) apresenta a variabilidade dos valores de “DQO” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

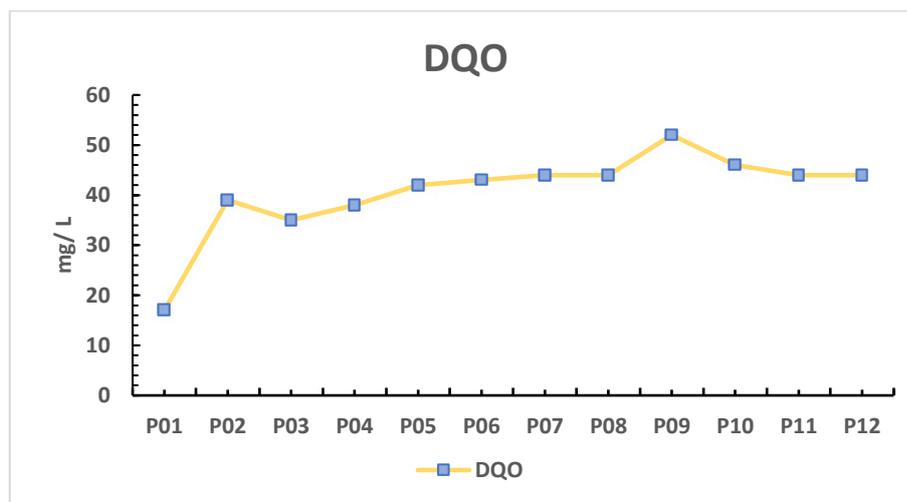


Figura 4.10 - Gráfico para a variável “DQO” ao longo do trecho estudado.

Seguindo o comportamento dos parâmetros anteriores os primeiros pontos do trecho estudado apresentaram as menores concentrações para DQO, com amplitude (35), máxima de 52 mg/ L e mínima de 17 mg/ L.

De acordo com o CONAMA 357/05 não há um valor padrão de DQO, mas de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) em águas superficiais naturais o valor de DQO é de 20 mg O₂ L⁻¹ ou menos. No contexto de saúde pública, é importante ressaltar que muitas populações ribeirinhas da região Amazônica coletam água diretamente do rio para consumo.

Os altos valores de DBO e DQO encontrados nestas amostras indicam uma alta carga de compostos orgânicos transportada, os valores altos de DQO levam a crer na quantidade alta de matéria orgânica, o que sugere, as características litológicas da região como também a possibilidade de um fator antrópico nas proximidades.

Como a determinação da DQO é mais simples e mais rápida ela cresce em importância, principalmente em se tratando de controles de efluentes ou de estações de

tratamento de efluentes. Entretanto, os resultados podem ser alterados devido à presença de espécies possíveis de sofrer oxidação, tais como cloretos, nitritos, ferro (II).

De um modo geral, os valores encontrados para este parâmetro, estão indicando uma pequena atividade microbiana no sistema estudado. De certa maneira, as reações de oxidação da matéria orgânica e inorgânica no sistema mediante conversão de gás carbônico e água, estão ocorrendo sem influência biológica, satisfazendo o conceito de SAWUER e MCCARTY, (1978).

4.1.11 - Nitrogênio amoniacal (NH₃-N)

O Gráfico a seguir (Figura 4.11) apresenta a variabilidade dos valores de “Nitrogênio Amoniacal” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

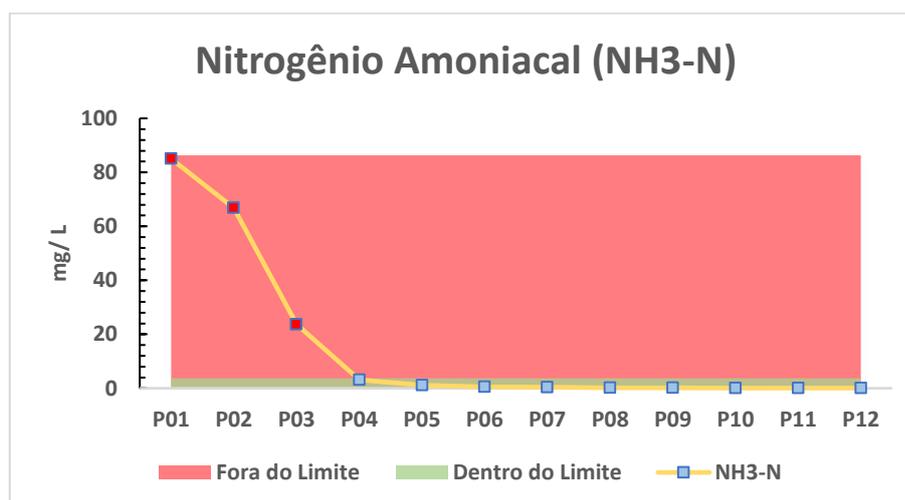


Figura 4.11 - Gráfico para a variável “Nitrogênio Amoniacal” no trecho estudado.

Seguindo o comportamento dos parâmetros anteriores os primeiros pontos do trecho estudado apresentaram as maiores concentrações para “Nitrogênio amoniacal” Os níveis do íon amônio nas águas do rio Aurá seguiram os padrões observados para nitrato e nitrito, ou seja, aumento dos níveis no sentido nascente foz.

O aporte de material no Rio Aurá ocorre devido principalmente ao material poluente oriundo do “antigo” aterro sanitário da cidade de Belém, que alteram o IQA significativamente nos pontos (P01), (P02), (P03), (P04) e (P05), promovendo decréscimo na concentração de OD, devido ao consumo deste elemento nos processos respiratórios da comunidade hídrica.

4.1.12 - Nitritos

O Gráfico a seguir (Figura 4.12) apresenta a variabilidade dos valores de “Nitritos” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

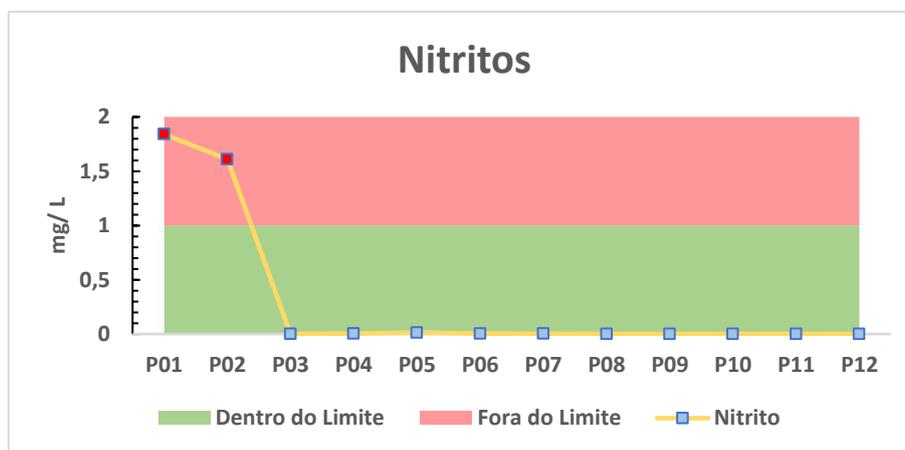


Figura 4.12 - Gráfico para a variável “Nitritos” ao longo do trecho estudado.

Valores de nitritos acima do limite foram encontrados ao longo da série amostral do rio Aurá, como mostra a Figura 4.12. O ponto (P01) e (P02) foram os que apresentaram as concentrações mais elevadas, com amplitude (1,839), máxima de 1,84 mg/ L e mínima de 0,001 mg/ L. O limite máximo para que não cause danos à saúde é de 1,0 mg/L para águas classe II segundo a resolução CONAMA 357/2005.

O nitrito é uma fase intermediária da amônia e do nitrato e está diretamente ligado à poluição orgânica, os valores elevados levam a conjectura de grande atividade microbiana, indício de poluição orgânica da água nesse trecho. PRADELA FILHO *et al.* (2015) alertam que o nitrito é um poluente que merece atenção, uma vez que quantidades excessivas deste ânion em água representam alto risco à saúde humana.

Possivelmente o nitrito encontrado à montante do rio é resultado da decomposição biológica, da ação de bactérias consequentes da geração de chorume depositado no rio Aurá.

4.1.13 - Nitratos

O Gráfico a seguir (Figura 4.13) apresenta a variabilidade dos valores de “Nitratos” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

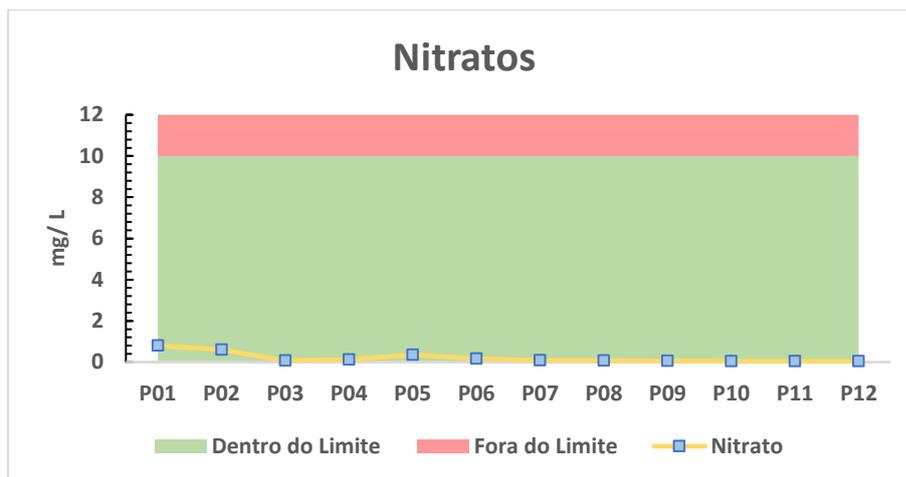


Figura 4.13 - Gráfico para a variável “Nitratos” ao longo do trecho estudado.

O ponto (P01) e (P02) foram os que apresentaram as concentrações mais elevadas, com amplitude 0,8 e 0,6 mg/ L respectivamente, ainda assim, mantendo-se dentro do esperado segundo a resolução CONAMA 357/2005, para águas classe II que define o limite de 10 mg.L⁻¹, para o parâmetro nitrato.

4.1.14 - pH

O Gráfico a seguir (Figura 4.14) apresenta a variabilidade dos valores de “pH” ao longo dos “12” pontos coletados no rio Aurá.

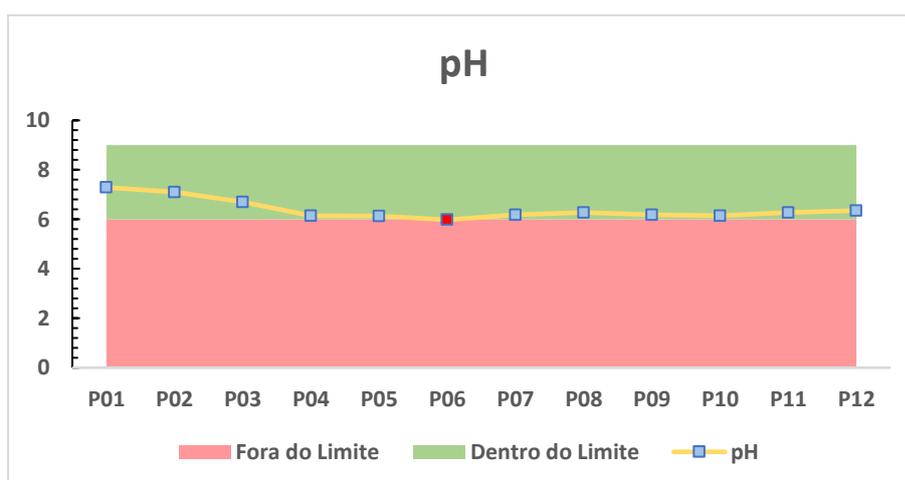


Figura 4.14 - Gráfico para a variável “pH” ao longo do trecho estudado.

Nos pontos coletados ao longo do rio Aurá, observou-se uma variação dos valores de pH de forma bem semelhante, apresentando-se com características ligeiramente ácidas, no geral tendo valores máximos e mínimos de 7,29 e 5,98. Um fator contribuinte para valores mais baixos de pH dar-se-á por conta do período chuvoso, já que as características naturais de águas de precipitação atmosférica possuem baixo pH (DAMASCENO *et al*, 2015).

Esperava-se nessa pesquisa valores mais baixos, principalmente, em função das características das águas regionais amazônicas, que são bastante ácidas. O teor médio determinado do pH no sistema local de 6,225, denotam uma pequena variação espacial (desvio padrão = 0,4, ver Tabela 4.2).

4.2 - ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO AURÁ

A determinação da qualidade das águas do Rio Aurá foi realizada a partir da aplicação do índice de qualidade da água Malasiano.

4.2.1 - Qualidade da água de acordo com o IQA Malasiano

Para as análises das águas e a avaliação correta de parâmetros que serão utilizados neste estudo, a definição das propriedades (físicas e químicas) é de suma importância, por serem os indicadores da qualidade da água, avaliados por condições e padrões específicos, pois estas podem apresentar concentrações superiores às estabelecidas na legislação vigente.

Estes conceitos de qualidade da água e poluição são comumente interligados, no entanto, a qualidade da água reflete sua composição quando afetada por causas naturais e por atividades antropogênicas.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados do cálculo do índice de qualidade para os subíndices obtidos a partir do IQA adotado pelo DOE (Departamento de meio ambiente malasiano), bem como o IQA, que reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos, em si, o qual apresentou variações entre a classe poluída a ligeiramente poluída.

Os subíndices são as bases de formação do índice de qualidade, cada parcela que compõe o índice é responsável por contribuir com o resultado.

Variam de acordo com as concentrações de cada elemento componente e com o peso referido para cada elemento dentro do sistema, conforme Tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Sub índices para equações de estimativa “DOE – IQA” Resultado da aplicação do IQA Malasiano para o “Rio Aurá”.

Códigos	SI OD	SI DBO	SI DQO	SI pH	SI STS	SI NH3	IQA
P01	51,0	79,250	76,490	98,174	57,562	0,000	59,4967
P02	58,1	48,605	54,277	99,060	57,871	0,000	51,8518
P03	61,4	31,926	58,056	98,434	58,816	0,000	50,0759
P04	66,4	24,807	55,200	93,049	59,136	8,148	50,005
P05	71,4	19,014	51,588	92,777	60,773	42,799	54,8579
P06	78,0	21,762	50,718	90,568	63,884	61,340	59,7013
P07	81,8	23,245	49,861	93,447	66,836	69,668	62,7458
P08	83,6	30,005	49,861	94,686	65,337	86,850	66,9236
P09	84,1	36,083	43,448	93,447	67,991	86,850	67,4274
P10	83,9	40,699	48,185	93,049	66,457	92,100	69,5074
P11	86,3	40,699	49,861	94,568	61,445	93,150	69,8429
P12	87,2	38,330	49,861	95,474	58,184	93,150	69,1865

No caso do “IQA” em questão, O oxigênio dissolvido é o elemento de maior relevância(peso 0,22), e o pH de menor(peso 0,12).

*Observação: Cada cor representa a fórmula específica para o parâmetro de acordo com o DOE(Department of Environment), fórmulas estas, descritas no capítulo anterior.

A Figura 4.16 apresenta o gráfico com os resultados obtidos com a aplicação do IQA segundo o IQA Malasiano para o rio Aurá.

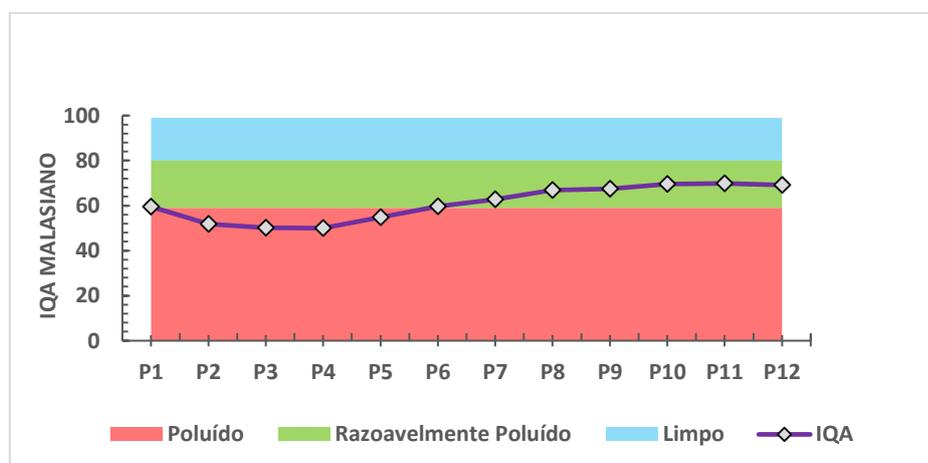


Figura 4.16 - IQA Malasiano aplicado ao rio Aurá.

É possível observar que os pontos 01 à 06 apresentaram qualidade da água poluída durante o período de amostragem, enquanto os pontos 07 à 12 apresentaram qualidade da água, em sua maioria, classificada como ligeiramente poluída.

O índice de qualidade da água foi classificado de forma mais regular nos pontos 07 à 12 devido às elevadas concentrações de OD (registradas em relação aos outros pontos de amostragem) e devido a maior relevância deste parâmetro como “peso” para o cálculo do IQA, o que contribuiu para o aumento do índice.

Baseando-se na classificação do IQA para os doze pontos de coleta, verificou-se que a variação desses índices foi distinta em relação às variáveis físico-químicas e esses resultados estão coerentes com a localização dos pontos, já que os pontos 01 à 06 referem-se à uma área densamente urbanizada que sofre influência de fontes pontuais de contaminação por efluentes líquidos, enquanto que nos pontos 07 à 12, tem sua qualidade mais preservada em relação aos outros dois pontos por se localizar em área com preservação da vegetação nativa.

Ao avaliar o trecho estudado como um todo, verifica-se que sua qualidade é classificada como ligeiramente poluída (com média geral igual a 61,22). Esse resultado deve-se à localização dos pontos 07 à 12 que se encontram em área relativamente preservada e de maior diluição não sofrendo efeitos da percolação de chorume oriundo do antigo aterro sanitário. Todavia, se o canal fosse avaliado somente em relação aos pontos 01 à 06 esse corpo hídrico seria classificado como poluído, já que o uso e ocupação do solo nesses dois pontos são os responsáveis pela degradação da qualidade da água,

Os estudos descritos no referencial bibliográfico (SIQUEIRA; MARQUES; PIRATOBA) não são evidências comparativas com o método escolhido para determinar o índice de qualidade das águas, todavia, tendem a corroborar para o uso do índice de qualidade de água malasiano por demonstrar que é possível haver correlação entre a natureza do sistema e o método escolhido para representá-lo.

O fácil acesso (quantidade de parâmetros utilizáveis), sensibilidade semelhante aos índices já comumente utilizáveis em nosso país (resultados que respondem similarmente), além de ser ligeiramente mais rigoroso que a resolução CONAMA 357/2005 quanto aos limites de contaminantes envolvidos, tornam deste índice (IQA Malasiano) uma proposta para avaliações futuras, ainda pouco utilizadas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados demonstram que ao longo de mais de uma década, as águas superficiais do Rio Aurá vêm sofrendo contaminação ambiental frequente, oriunda do lançamento direto de dejetos do aterro sanitário de Santana do Aurá, no seu curso ou nos seus tributários. A partir deste levantamento bibliográfico de uma série de dados de vários pesquisadores que realizaram estudos nessa região, é possível afirmar que o Rio Aurá sofre influência direta e indireta do lixão do Aurá existente na cabeceira desse sistema, mas devido a prováveis mecanismos naturais diversos, como autodepuração, diluição, adsorção, sedimentação, complexação, quelação e outros processos, ao chegar aos mananciais dos Lagos Bolonha e Água Preta para adução, os padrões ambientais estão timidamente comprometidos.

As condições inadequadas de funcionamento do Aurá apontadas pelo método IQA, já conhecidas e alvo de diversas controvérsias, indicam que o serviço de gestão ambiental prestado pelo município foi e ainda é ineficiente e necessita de reformulação. A falta de avaliação do órgão competente e a ausência de fiscalização do poder público são fatores determinantes à involução da qualidade ambiental.

A adequada gestão destes espaços pode inovar e modificar por completo os processos de causa e efeito que norteiam as relações existentes, principalmente, nos processos de geração e acondicionamento de resíduos, resultando na mitigação de impactos ambientais antes constatados, proporcionando melhoria da qualidade ambiental.

De modo geral, esse estudo proporcionou dados significativos da situação ambiental no que se refere à contaminação da bacia hidrográfica do Aurá no que tange a qualidade ambiental das suas águas. Estudos como esse são relevantes para que a sociedade esteja ciente da situação ambiental do entorno de bacias hidrográficas.

A determinação de outros parâmetros, além dos utilizados para determinar o IQA é importante, pois podem indicar graus de poluição que não são determinados somente pelas variáveis utilizadas no cálculo do IQA. A partir dos resultados das variáveis físico-químico e microbiológicas para as águas do Rio Aurá foi possível diagnosticar a atual situação em que o mesmo se encontra.

Salienta-se que os padrões ambientais estão timidamente comprometidos. Tendo por base a Resolução CONAMA nº 357 para águas doces de classe 2 pode-se concluir

que há indícios de que o rio Aurá apresente um quadro de moderada poluição e contaminação ambiental.

Um dos fatores mais importantes destacados no estudo atual foi a concentração do nitrogênio amoniacal e do oxigênio dissolvido nas águas superficiais. Os níveis desses parâmetros a montante do rio ficaram acima e abaixo, respectivamente, dos valores permissíveis para rio de classe II segundo a Resolução 357 de 17/03/2005 do CONAMA., levantando a hipótese de influência direta do Aurá sobre os corpos hídricos.

Os valores da variável cor aparente foram influenciados diretamente pelas elevações da turbidez, e sólidos totais suspensos que estão associadas à maior produção de lixos, esgotos e quantidades de poluição que são lançadas no corpo d'água ou levadas pelas chuvas até os lagos.

Com a análise dos resultados obtidos, pode-se considerar que, as variáveis de qualidade da água, analisadas, indicaram uma degradação do Rio Aurá, pois na análise foi possível perceber que as mesmas estão em desacordo com a resolução CONAMA nº 357/2005. As variáveis que mais influenciaram para tal resultado foram: oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); nitrogênio amoniacal, os quais indicam uma poluição por matéria orgânica. Os demais parâmetros (pH, Nitratos, Turbidez) apresentaram valores que estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, nos pontos de amostragem.

Também se notou uma melhoria significativa nos parâmetros analisados a partir do ponto (P07) de coleta até as proximidades do rio Guamá para adução pela companhia de saneamento, podemos conjecturar, desta forma, que eles apresentam boa capacidade de diluição apesar de sofrer influência direta e indireta do lixão do Aurá, devido a mecanismos naturais diversos, como autodepuração.

Considerando que as águas do Aurá e de seu receptor (rio Guamá) são captadas muito próximo da foz do rio Aurá (200 m a jusante), e redistribuídas nos mananciais usados no abastecimento público da RMB, a indicação de moderada poluição deve ser vista com grau de atenção para o estabelecimento de um programa efetivo de monitoramento das bacias envolvidas. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) indicou que 50% da área estudada encontra-se imprópria para tratamento convencional para abastecimento público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS, Associação Brasileira de águas subterrâneas, Legislação, 2018, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo, 2018. Disponível em : < <http://www.abas.org/legislacao.php> > . Acesso em: 12 mar. 2018, 15h47min.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, Ed.18, São Paulo, 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2018.pdf> > Acesso em: 15 de ago. 2018, 19h37min.

ALMEIDA, P. S; “Armazenamento de lixo urbano em Lixões e Aterros Sanitários: Contaminação do solo, proliferação de macro e micro vetores e contaminação do lençol freático”, Sociedade, Meio Ambiente e Cidadania, Escola de Artes Ciências e humanidades da cidade de São Paulo, USP, 2009, 35pp.

AMAZONIA NA REDE, “Tratamento do lixo é problema na RMB”, Amazonas, 2013. Disponível em: < <https://amazonianarede.com.br/para-tratamento-do-lixo-e-problema-na-rmb/>> Acesso em : 10 de fev. 2018, 08h47min.

ANA - Agência Nacional De Águas (Brasil), Indicadores da qualidade da água Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx> > . Acesso em: 08 de jan. 2018, 20h35min.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v.39, n.1, pp. 88 - 95, 2009.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1998.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

APRILE F. M, SHIMIZU G. Y, LORANDI R, SILVA LA. Lagoas costeiras do Espírito santo, Brasil: caracterização química do sedimento e água destes ecossistemas. **In: 8 Sem. Reg. Ecol.** v.3, pp. 1361-1371, São Carlos: UFSCar, 1998.

AQUAMEC, Portal de tratamento de água, São Paulo, 2017. Disponível em: < <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-de-cloretos/> > Acesso em: 15 Jul. 2018, 09h22min.

ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBURQUERQUE, C. de.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI; R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & saúde coletiva**, v.12, n.1, pp. 61 – 72, 2007.

Assessoria de imprensa “Edmilson Rodrigues Brito”, Situação dos catadores do Aterro Sanitário do Aurá requer uma solução negociada, Pará, 2014 Disponível em: < <http://www.edmilsonbritorodrigues.com.br/situacao-dos-catadores-do-aterro-sanitario-do-aura-requer-uma-solucao-negociada/> > Acesso em : 10 de fev. 2018, 14h56min.

AWAL, KAJIAN; KUALITI AIR, INDEKS; LEMBANGAN, DI; TERENGGANU, SUNGAI; SURATMAN, SUHAIMI; I MOHD SAILAN, M; HEE, YET YIN; A BEDURUS, E; LATIF, MOHD TALIB. (2015). A Preliminary Study of Water Quality Index in Terengganu River Basin, Malaysia. *Sains Malaysiana*, **Publish.csiro**, v.44, n.10, pp. 67-73, 2015.

BORDALO, A. A., TEIXEIRA, R., & WIEBE, W. J. A water quality index applied to an international shared river basin: The case of the Douro River. **Environmental Management**, v.38, n. 6, pp. 910–920, 2006.

BAHIA, V. E; FENZL, N; LEAL, L. R. B; MORALES, G. P; LUÍZ, J. G. Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do utinga – belém (pa), **Águas Subterrâneas**, v.25, n.1, pp. 43-56, 2011.

BAIRD, **Química Ambiental**. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carera. 2.ed, Porto Alegre, Colin (Eds.) Bookman, 2002.

BARBI, F; JACOBI, R. P; Governança dos recursos hídricos e participação da sociedade civil. **In: II seminário nacional: movimentos sociais, participação e democracia**, pp. 27, UFSC, Florianópolis, Abril de 2007.

BASTOS, R. K. X.; PEREIRA, C. M.; PIVELLI, R. P.; LAPOLLI; F. R., LANNA, E. A. T, Utilização de esgotos sanitários em piscicultura.Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES, pp. 163-223, 2003.

BATALHA, BEN - HUR LUTTEMBARCK; PARLATORE, A. C. **Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano – Bases Conceituais e Operacionais**, Ed. CETESB, São Paulo, 1977.

BOWER, H. Groundwater hidrology, New York, McGraw-Hill Book Company, 1978.

BRAGA JR. BPF, HESPANHOL I, LOTUFO CONEJO JG, BARROS MTL DE, VERAS JUNIOR MS, PORTO MF DO A, NUCCI NLR, EIGER S, JULIANO NM DE A, Introdução à Engenharia Ambiental, 1.Ed., São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRANCO, SAMUEL MURGEL (Eds.) Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 2.ed., São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.

BRANCO, SAMUEL MURGEL, Hidrologia Ambiental: A Água e o Homem. **In: PORTO, Rubem La Laina (Org)**, pp. 3-26, São Paulo, 1991.

BRASIL, decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, Código das águas, Rio de Janeiro, 1934, Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html> >. Acesso em: 15 mar. 2018, 15h45min.

BRASIL, Lei nº 9.433 de 1997, da política nacional de recursos hídricos, Brasília, 1997, Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19433.html > Acesso em: 15 mar. 2018, 12h14min.

BRASIL, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, da lei de crimes ambientais, Brasília, 1998, Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.html > Acesso em: 15 mar. 2018, 18h49min.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama do enquadramento dos corpos d'água. Brasília: Cadernos de Recursos Hídricos, pp. 44, 2004.

BRIGANTE, J; ESPÍNDOLA E. L. G. Avaliação das modificações na qualidade da água do rio Mogi-Guaçu, Limnologia Fluvial um estudo no rio Mogi-Guaçu, São Carlos-SP, ed. Rima, 2003.

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. da M. Bases para a estruturação de indicadores de qualidade de águas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n. 1, pp. 37- 60, 2000. CARVALHO, J. R. F. **Avaliação da qualidade da água: um estudo na**

sub-bacia do Canal São Joaquim (Belém-Pa). Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano. Universidade da Amazônia. Belém. 2011.

CASTILHOS JUNIOR, ARMANDO BORGES DE, “Resíduos **Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**”, Florianópolis – SC, Editora Rima Artes e Textos, 2003.

CELERE, M.S.; OLIVEIRA, A.S.; TREVILATO, T.M.B.; MUÑOZ, S.I.S. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil e sua relevância para a saúde pública. **Caderno de Saúde Pública.** v.23, n. (4), pp. 939-947, 2007.

COELHO, DEISY DE ASSIS; SILVA, ADEID RODRIGUES SANTOS; CASTRO, TÉRCIA OLIVEIRA; DOS SANTOS, REBECCA CAMILLY GALVÃO; DOS PASSOS, ADENILDE SOUZA, Análise da alcalinidade total e concentração de carbono inorgânico em trechos urbanos de rios: o exemplo do rio santa rita, região sudoeste da bahia, **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**, pp. 1, Porto Alegre/RS, 2015.

CESTEB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Controle da qualidade da água para consumo humano., São Paulo, 1993.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Variáveis de Qualidade da água, São Paulo, 2012 Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81uas-superficiais/109-Vri%C3%A1eis-de-Qualidade-das-%C3%81uas> >. Acesso em: 10 jan. 2018, 22h57min.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental,. Índice de Qualidade da Água, São Paulo, 2018 Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br> > Acesso em: 08 de Dez. de 2018, 11h39min.

CHAPMAN, D. **Selection of water quality variables. In: Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.** 2 ed. London: E & FN Spon, 1992.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 20, de 17 de março de 1986. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente, pp. 23, 2005.

MARIA DA CONCEIÇÃO SILVA DAMASCENO; HEBE MORGANNE CAMPOS RIBEIRO; LUÍS ROBERTO TAKIYAMA; MANOEL TAVARES DE PAULA, Avaliação Sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 10, n. 3, pp. 605, 2015.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT MALAYSIA - DOE, “Desenvolvimento de Critérios de Qualidade da Água e Normas para a Malásia”, 1985.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT MALAYSIA - DOE. “Classification of Malaysian Rivers”. Final report on development of water quality criteria and standards for Malaysia (Phase IV – River Classification). Government of Malaysia, Ministry of science, technology and the environment, Malaysia, 1994. Disponível em: < <https://www.doe.gov.my/portalv1/en/info-umum/pemantauan-kualiti-air-sungai/280> > Acesso em: 15 abril 2018, 12h12min.

DERISIO J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 1ª ed. CESTEB, São Paulo, 1992.

DERISIO, J. C., **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Editora Signus, 2000.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ÂNGELA DI BERNARDO, **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, São Carlos, Ed. Rima, 2005.

DIDONET, M. **Águas – Goles de Pura Informação**. Livro zero, 1, 2, 3, 4. 6. ed., Rio de Janeiro: CIMA, 1997.

EMBRATEL. Empresa Brasileira de Telecomunicações, **Guia de Águas. Divisão de Benefícios.- Medicina do Trabalho**, São Paulo, 1983.

ESTEVES 1988, **Fundamentos de Limnoquímica**, Rio de Janeiro, Editora Interciência. 1988.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**, 2. ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1998.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Qualidade das Águas do Rio dos Sinos**. Departamento de Qualidade Ambiental – Divisão de Planejamento e Diagnóstico – Monitoramento da Qualidade da Água. Relatório interno, 1999, Disponível em: < <http://www.fepam.rs.gov.br/> > Acesso em: 15 de Fev. 2018, 20h15min.

HUGO FISCHER, JOHN LIST C., KOH JORG, IMBERGER NORMAN BROOK, **Mixing in Inland and Coastal Water**, 1 st edition, California, Academic Press, Inc, 1979.

FREIRIA, RAFAEL COSTA. Direito das Águas: Aspectos legais e institucionais na perspectiva da qualidade. **In: Âmbito Jurídico**, , v.10, pp.49 , Rio Grande , abr 2007.

GASTALDINI, M. C. C.; SOUZA, M. D. S., "Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim através de Índices de Qualidade de Água", **1º Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul**, v.1, pp. 25, Porto Alegre, 1994.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Indicadores de desenvolvimento sustentável: disposição de resíduos sólidos urbanos, 2006, 2010, Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 10 nov. 2018, 24h58min.

IDRIS, AZNI; A. A, MAMUN; MOHD SOOM, M.A; SULAIMAN, WAN. Review of water quality standards and practices in Malaysia, **Pollution Research**, v.22, n. 2, pp. 145-155, 2003.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, 2008, Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/faixaNormalPrecipitacaoTrimestral2> > Acesso em : 05 jan. 2018, 24h45min.

KLEEREKOPER, HERMAN. **Introdução ao Estudo da Limnologia**. 2.ed. Porto Alegre, Ed. UFRGS, 1990.

LANDWEHR, J.M.; DEININGER, R.A..“A Comparison of Several Water Quality Indices,” **J. Water Poll. Control Fed.** v. 48, n. 5, pp 954 – 958, 1976.

LEITE, F.; FONSECA,O., Aplicação de índices de qualidade das águas na lagoa Caconde, Osório, RS. **in: Seminário de Qualidade das Águas Continentais no Mercosul**, pp. 393, Hong Kong, 1986.

LIBÂNIO, M., **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2º Ed., São Paulo, Ed. Átomo, 2005.

LIMA, JOSE DANTAS DE, “**Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**”, 1ª Ed., Paraíba, Ed. João Pessoa, 2001.

LIMA, W & C. N. KOBAYASHI. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvioestuarino de Barcarena-PA. **Geochimica Brasiliensis**, v. 2 , n. 1, pp. 53-71, 1988.

MARGALEF, R., **Limnologia**, Barcelona, Ed. Omega., 1983.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação de Engenharia, Rio de Janeiro- RJ, 2007.

MARQUES, L. C.; PONTES, A. N.; GUTIERREZ, L. A. C. L.; BANNACH, M. P., avaliação do espaço de destinação final de resíduos sólidos urbanos da cidade de belém, **enciclopédia biosfera**, v.11, n.21, pp.2876, 2015.

MARQUES, L. C. A; **Avaliação da contaminação das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá por metais pelo depósito de resíduos sólidos do Aurá**, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Estado do Pará, Belém - PA, 2014.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKOM, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.25-31, 2007.

MELO, J. J. SPIA: Sistema Pericial para aplicação e Análise de Índices Ambientais. In: **5ª Conferência Nacional da Qualidade do Ambiente**. Universidade de Aveiro. 1996.
MS - Ministérios da Saúde, **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**, Brasília, ABES, 2006.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos resíduos hídricos, solo e sedimentos na área da abrangência do depósito sólidos do Aurá – Belém. 2002**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2002.

MORALES, G. P.; FENZL, N. Environmental impact for of the deposit of solid waste of the "Aurá" Belém-PA. **in: international geological congress**, v.31, 2000.

MORETTO, D. L., **Calibração do índice de qualidade da água (iq) para bacia hidrográfica do rio pardo**, Dissertação (mestrado em tecnologia ambiental), Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

MOTA, S. **Preservação de Recursos Hídricos**. 2ª Ed, Rio de Janeiro, ABES, 1995.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, Água, Brasília/DF, 2010. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/agua#footer> > Acesso em: 10 de Fev. 2018, 15h45min.

MUCELIN, C.A; BELINI, M, lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano, Sociedade & Natureza, **Uberlândia**, v.20, n.1, pp.111-124, 2008.

National Sanitation Foundation – NSF, Water Quality Index (WQI), USA, 2018 Disponível em: < http://www.nsf.org/consumer/earth_day/wqi.asp >. Acesso em: 2018, 15h47min.

OECD, O que é a Lei das Águas. Dicionário Ambiental. ((o)) eco, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28797-o-que-e-a-lei-das-aguas/> > . Acesso em: 13 de mar. 2018, 12h25min.

OTT, W. R, Environmental Indices: theory and practice, **Ann Arbor Science**, Michigan, pp. 371, 1978.

PARÁ, **Caracterização do território, Anuário estatístico do município de Belém, Pará**, 2011.

PARÁ, Ideflorbio, Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém, Pará, 2018, Disponível em: < <http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/regiao-administrativa-de-belem/area-de-protecao-ambiental-da-regiao-metropolitana-de-belem/> > Acesso em: 03 jan. 2018, 14h56min.

PEREIRA, S de F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do Rio Murucupi- Barcarena, PA, Brasil área impactada pela produção de alumínio. **Revista Água & Ambiente**, pp. 10, v.2, n.3, 2007.

PEREIRA, I. S., **Índices de Qualidade da Água para Consumo Humano: Modelagem e Influência do Uso e Ocupação do Solo**, Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Viçosa, 2014.

PIRATOBA A. R. A; RIBEIRO, H. M. C; MORALES, G. P; GONÇALVES, W. G. e, Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil, *Ambiente & Água, An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 12, n. 3, pp. 240-250, 2016.

PORTO, MÔNICA F.A.; BRANCO, SAMUEL MURGEL; LUCA, SÉRGIO DE J. **Caracterização da Qualidade da Água Hidrologia Ambiental**. 1ªEd., São Paulo, Ed. ABRH, 1991.

PRADELA FILHO, LAURO A.; TAKEUCHI, REGINA M.; TRINDADE, MAGNO A. G.; SANTOS, ANDRÉ L. Determinação Voltamétrica de Nitrito Empregando o Íon [Fe (CN) 6] 3-como Mediador Eletroquímico. *Orbital-The Electronic Journal of Chemistry*, v. 7, n. 1, pp. 10-20, 2015.

RIBEIRO, H. M. C. **Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pa)**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.

ROCHA, J. C.; A. H. ROSA & A. A. CARDOSO. **Introdução a Química Ambiental**. Porto Alegre. Editora. Bookman, 2004.

RODRIGUES, J. E. C.; LUZ, L. M. da, 2007. Mapeamento da cobertura vegetal da Área Central do município de Belém PA, através de sensores remotos de base orbital (sensor TM, LANDSAT 5 e sensor CCD, CBERS 2). **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, pp. 1066, 2007.

GIULIANA MARCONATI SANTI, CYDIA DE MENEZES FURTADO, RUI SANT'ANA DE MENEZES, ERLEI CASSIANO KEPPELER, Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Ecología Aplicada**, v. 11, n. 1, pp. 23 – 31, 2012.

SANTOS, U. DE M; BRINGEL, S. R. B; FILHO, H. B; RIBEIRO, M. DE N. G; BANANEIRA, M, Rios da Bacia amazônica, Afluentes do Rio Negro, **ACTA Amazônica** v.14, n.(1 – 2), pp. 222-237p, 1984.

SANTOS, A. C. Noções de hidrogeoquímica. **In: Feitosa F. A. C. & Manoel Filho J. Hidrogeologia, conceitos e aplicações.** v.3 pp. 81-108, Fortaleza , 1997.

SANTOS, I. DOS; FILL, H. D.; SUGAI, M.R.V.B; BUBA, H.; KISHI, R. T.; LAUTERT, L. F., **Hidrometria Aplicada.** LACTEC- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, PR. pp. 372, 2001.

SANTOS, R. F. DOS. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo, 2004.

SANTOS, H.C.R.G. & MORAES, M.E.B. Variáveis limnológicas da água e usos do solo: elementos fundamentais para a avaliação de duas microbacias da Bacia Hidrográfica do Rio Almada, Sul da Bahia/Brasil. **In: Seminário Nacional de Gestão de Ecossistemas Aquáticos,** v.1, pp. 1 - 53, 2012.

SCHAFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais.** Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - GTz. (Alemanha), 1985.

SEMAS, Áreas protegidas, área de proteção ambiental da região metropolitana de belém (apa belém), Pará, 2018, disponível em: < <https://www.semas.pa.gov.br/diretorias/areas-protegidas/peut/apresentacao/> >, Acesso em: 05 jan. 2018, 17h11min.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FERNANDES, M. B.; OLIVEIRA, D. A. Composição do lixiviado de quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. **Revista Caatinga,** v.21, n.1, p.189-203, 2008.

SILVA, L. M. da; **Qualidade ambiental das águas dos mananciais do utinga e dos rios guamá e aurá, belém, Pará,** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Estado do Pará, Belém -Pa, 2014.

SILVA, I. M., **Comparação dos índices de qualidade da água e usos do fator de contaminação e índice de geoacumulação para os sedimentos da microbacia do arroio João Corrêa, São Leopoldo, RS, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Ambiental) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Rio Grande do Sul, 2018.

SIQUEIRA, G. W., APRILE, F., MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará-Brasil), **Revista Acta Amazônica.** v. 42, n. 3. pp. 413-422, 2012.

SIQUEIRA G.W., APRILE F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém - PA. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, pp. 51-62, 2013.

SIQUEIRA G.W., APRILE F., ALVES C.N., OLIVEIRA M.L., MENDES A.M., SANTOS V.C.D., RIBEIRO A.A., BENTES B.A. 2014. Metal fractionation on fluvial bed sediments and the risk assessment for water supply (Amazonian–Brazil). **Global Journal of Interdisciplinay Social Sciences**, v. 3, n. 2, pp. 93-102, 2014.

SIQUEIRA, G.W., MENEZES, B.T.A; ROSA, W.L; BENTES, B.A. 2016. Indicadores da qualidade dos sedimentos do Rio Aurá, e suas implicações ambientais (Região Metropolitana de Belém). **IV Congresso Nacional de Educação Ambiental & VI Encontro Nordestino de Biogeografia. UFPB**, v. 1, n. 9, pp. 2360, Maio/2016.

SOUZA, N. S. DE; SÁ-OLIVEIRA, J. C; SILVA, E. S. E, Avaliação da qualidade da água do Alto Rio Pedreira, Macapá, **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, pp. 107-118, 2015.

TOLEDO, L. G. DE; NICOLELLA, G. Índice de Qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano, **scientia agrícola**, v. 59, n. 1, pp. 181 – 186, 2002.

TUCCI C. E., HESPANHOL I., CORDEIRO OSCAR, **Gestão de água no Brasil**, 2 ed. Brasília, Ed. Unesco, 2001.

TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A; **Processos hidrológicos naturais e antrópicos, Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**, Brasília/DF, 2006.

UNIAGUA. Universidade da Água, São Paulo, 2006, Disponível em: < <http://www.uniagua.gov.br/> > Acesso em: Fev. 2018, 13h43min.

VARGAS, E. V., A água, a lei, a política...e o meio ambiente, **Revista brasileira de política internacional**, v. 48, n.1, pp. 4, 2004.

VASCONCELOS, V. M. M., **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial utinga, Belém-pa**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Taubaté, São Paulo, 2010.

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no Nordeste paraense**,

Amazônia oriental. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

VILCHES, M. **Análise genotóxica do rio Cadeia/RS através do ensaio cometa e teste de micronúcleo e anormalidades nucleares utilizando peixes como bioindicadores.** Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo– RS, 2009.

VON SPERLING, M., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos,** Ed. 1, Minas Gerais, Ed. UFMG, 1995.

VON SPERLING, M., **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Ed.1, Minas Gerais, Ed. UFMG (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental), 1998.

VON SPERLING, M., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed., Belo Horizonte, Ed. DESA, 2005.

WEPA, Water Environment Partnership in Asia, Asia, 2015, Disponível em: < http://www.wepa-db.net/policies/law/malaysia/eq_surface.htm > Acesso em: 15 abril 2018, 22h38min.

ZAGATTO, P.A.; INQUE, J.; NAKAHIRA, S.; BERTOLETTI, E.; GHERARDI-GOLDSTEIN, E., 1993. Dispersão de efluentes e os padrões ambientais; **ambiente**; v. 7, n. 1, pp. 7-12, 1993.

APÉNDICE A

CÁLCULO DOS SUB ÍNDICES DO IQA MALASIANO

Sub Índice de Oxigênio Dissolvido (% saturação)

P01 - P12:

$$SI\ OD = -0,395 + 0,030X^2 - 0,00020X^3 \quad \text{para } 8 < X < 92$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI OD</i>	69,224	72,110	73,189	63,828	71,157	77,117

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI OD</i>	83,641	84,092	82,955	81,790	82,259	81,908

Sub índice para DBO

P01:

$$SI\ DBO = 100,4 - 4,23X \quad \text{para } X \leq 5$$

P02 - P12:

$$SI\ DBO = 108 e^{(-0,055X)} - 0,1X \quad \text{para } X > 5$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI DBO</i>	79,250	48,605	31,926	24,807	19,014	21,762

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI DBO</i>	23,245	30,005	36,083	40,699	40,699	38,330

Sub Índice para DQO

P01:

$$SI\ DQO = -1,33X + 99,1 \quad \text{para } X \leq 20$$

P02 - P12:

$$SI\ DQO = 103 e^{(-0,0157X)} - 0,04X \quad \text{para } X > 20$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI DQO</i>	76,490	54,277	58,056	55,200	51,588	50,718

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI DQO</i>	49,861	49,861	43,448	48,185	49,861	49,861

Sub Índice para NH₃-N

P01 - P03:

$$SI_{NH_3} = 0 \quad \text{para } X \geq 4$$

P04 - P07:

$$SI_{NH_3} = 94 \times e^{(-0,573X)} - 5 \times |X - 2| \quad \text{para } 0,3 < X < 4$$

P08 - P12:

$$SI_{NH_3} = 100,5 - 105X \quad \text{para } X \leq 0,3$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI NH₃-N</i>	0,000	0,000	0,000	8,148	42,799	61,340

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI NH₃-N</i>	69,668	86,850	86,850	92,100	93,150	93,150

Sub Índice para STS

P01 - P12:

$$SI_{STS} = 97,5 \times e^{(-0,00676X)} + 0,05X \quad \text{para } X \leq 100$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI STS</i>	57,562	57,871	58,816	59,136	60,773	63,884

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI STS</i>	66,836	65,337	67,991	66,457	61,445	58,184

Sub Índice para pH

P01 - P02:

$$SI_{pH} = -181 + 82,4X - 6,05X^2 \quad \text{para } 7 \leq X < 8,75$$

P03 - P12:

$$SI_{pH} = -242 + 95,5X - 6,67X^2$$

para $5,5 \leq X < 7$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>SI_{pH}</i>	98,174	99,060	98,434	93,049	92,777	90,568

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>SI_{pH}</i>	93,447	94,686	93,447	93,049	94,568	95,474

$$WQI = [(0,22 \times SI_{OD}) + (0,19 \times SI_{DBO}) + (0,16 \times SI_{DQO}) + (0,15 \times SI_{NH_3}) + (0,16 \times SI_{STS}) + (0,12 \times SI_{pH})]$$

Códigos	P01	P02	P03	P04	P05	P06
<i>WQI</i>	63,516	54,930	52,679	49,437	54,798	59,506

Códigos	P07	P08	P09	P10	P11	P12
<i>WQI</i>	63,153	67,023	67,177	69,050	68,960	68,019