



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE RECURSOS DA AMAZÔNIA
(PPG-ENGRAM)**



**ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE METAIS EM SEDIMENTOS DE FUNDOS NOS
RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS DE BALBINA- AM E SAMUEL- RO**

SEMÍRAMIDES BARROS DE SOUZA

**MANAUS-AM
2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE RECURSOS DA AMAZÔNIA
(PPG-ENGRAM)**



SEMÍRAMIDES BARROS DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE METAIS EM SEDIMENTOS DE FUNDOS NOS
RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS DE BALBINA- AM E SAMUEL- RO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia, área de concentração Recursos Naturais – Energia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Tereza Cristina Souza de Oliveira

**MANAUS-AM
2015**

Ficha Catalográfica

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

S729e Souza, Semíramides Barros de
ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE METAIS EM SEDIMENTOS
DE FUNDOS NOS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS DE
BALBINA- AM E SAMUEL- RO / Semíramides Barros de Souza.
2015
95 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Tereza Cristina Souza de Oliveira
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da
Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Metais. 2. Sedimentos. 3. UHE- Balbina. 4. UHE- Samuel. I.
Oliveira, Tereza Cristina Souza de II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

SEMÍRAMIDES BARROS DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DE METAIS EM SEDIMENTOS DE FUNDOS
NOS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS DE BALBINA- AM E SAMUEL- RO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia, área de concentração Recursos Naturais – Energia.

BANCA EXAMINADORA

Doutora Tereza Cristina Souza de Oliveira
PRESIDENTE DA BANCA

Doutora Keila Aniceto
MEMBRO TITULAR

Doutora Elizabeth Ferreira Cartaxo
MEMBRO TITULAR

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por tudo que fez em minha vida, principalmente por ter me dado força e proteção para superar cada dificuldade e concluir este trabalho. Por colocar pessoas maravilhosas que foram muito importantes no decorrer desse processo árduo.

Agradeço a minha mãe, a meus irmãos (Carly Anny e Saulus) e a Ana Carlyza minha amada sobrinha, pela paciência que tiveram comigo, buscando me apoiar em todas as dificuldades.

Ao Ricardo Rocha, por tudo que fez por mim durante minha caminhada no Mestrado, obrigada!

A minha orientadora Tereza Cristina Souza de Oliveira, por ter aceitado me orientar e por ter acreditado na minha capacidade, pelos ensinamentos profissionais e de vida além da amizade e carinho a mim dispensado.

A Professora Elizabeth Cartaxo, coordenadora do projeto PIRAHIBA, que apesar das dificuldades disponibilizou a oportunidade para que este trabalho fosse realizado.

A Danielle Vieira que realizou pelo projeto PIRAHIBA, a amostragem de sedimentos de fundo no reservatório de Balbina e iniciou o estudo de análises químicas nos sedimentos neste projeto.

Aos amigos Rafaelli Pereira e Dênis Castro pelas dicas, apoio e ajuda na realização deste trabalho.

A Karenn Silveira por se dispor me ajudar, apoiar e conduzir nas análises estatísticas, que enriquecem muito a interpretação dos dados.

Aos meus amigos-irmãos, Ecimar Gomes, Carliete Piedade, Regina Carla, Josilene, Gyordan, Gerson Junior, Caroline Fernandes e a minha vizinha Priscila Dayane, que lutaram junto comigo para a conquista desse sonho, além de ouvir

minhas angústias e aflições.

Às meninas do Laboratório de métodos Espectroscópicos – Absorção atômica (LAMESP – AA), Jessica Ribeiro e Vanessa Sales que sempre foram parceiras e compreensivas;

A Luana Monteiro pela parceria, amizade e ensinamentos;

Ao Erickson, Emanuelle Botelho e José Lozano que me acolheram no LAMESP – UV e que foram muito gentis comigo no decorrer de todo esse processo.

Ao LAMIN – CPRM, em particular a Nilda Pantoja, Larissa Torrezani e ao Antônio Paulo por abrirem as portas do laboratório, me permitindo realizar as minhas análises bem como a obtenção de novos amigos, além do aprendizado e crescimento profissional que me proporcionaram.

Aos profissionais do ICMBio em Balbina – AM e a ELETROBRAS em Samuel – RO, que deram importante suporte na logística de trabalho de campo, em especial ao motorista Marcos, que durante o período de coleta nos saudava com suas músicas sertanejas apaixonadas para começar bem o dia.

A todas as pessoas, que me apoiaram e foram compreensivas na minha luta para a concretização deste trabalho;

A todos, o meu “muito obrigada”!

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Os reservatórios hidrelétricos em estudo estão situados na maior bacia hidrográfica do país. A primeira, a UHE-Balbina está localizada no rio Uatumã que é um rio de águas ácidas de cor escura, classificado como rio de águas pretas e a segunda a UHE-Samuel situa-se no rio Jamari, suas águas possuem características ácidas e de cor clara. No reservatório hidrelétrico a velocidade da coluna d'água diminui e provoca a deposição gradativa dos sedimentos carregados pelas águas, tornam-se importantes fontes de informações sobre a evolução histórica dos ambientes aquáticos, terrestres, e sobre a intensidade e formas de impacto a que estes ecossistemas foram submetidos. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a presença de contaminantes metálicos nos reservatórios da UHE-Balbina-AM e UHE-Samuel-RO. Foram estudadas as características das águas dos reservatórios a fim de registrar possíveis diferenças entre ambas considerando os parâmetros de pH, OD, turbidez, temperatura e condutividade elétrica. Nos sedimentos os metais Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Pb foram analisados pela técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente, sendo necessário anterior tratamento ácido nas amostras para extração dos metais. Utilizou-se testes estatísticos de correlação para avaliar o comportamento desses elementos quanto a sua origem nos reservatórios. Os resultados obtidos permitem concluir que os parâmetros físicos e químicos da água para o reservatório da UHE-Balbina estão dentro dos padrões de qualidades sugeridos pela resolução CONAMA 357/05, porém o reservatório de UHE-Samuel mostra a ação antrópica está influenciando a qualidade da água deste ambiente. As concentrações de Cr, Cu, Ni e Zn para o reservatório da UHE-Balbina apresentaram-se fora do limite (TEL) estabelecido pela NOAA, entretanto altos valores de Mn, Pb, Zn e Fe foram determinados no reservatório da UHE-Samuel, assim a análise granulométrica e os testes estatísticos confirmam os resultados das concentrações dos elementos com alto teor percentual de silte e argila e elevadas concentrações dos elementos metálicos em estudo determinadas no ponto SP3 do reservatório de Samuel.

Palavras – Chaves: Metais, Sedimentos, UHE – Balbina e UHE- Samuel

ABSTRACT

The Hydroelectric reservoirs on study are located in the largest river basin in the nation. The first one, the HPP-Balbina is located on the Uatumã River which is of acidic waters and dark color, classified as blackwater river. The second one is the HPP-Samuel located in the Jamari River, its waters have acidic characteristics and light color. In the hydroelectric reservoir the water column velocity decreases and causes gradual deposition of sediment washed down by the water, become important sources of information about the historical evolution of the terrestrial and aquatic environments, about the intensity and forms of the impact that these ecosystems were submitted. The aim of this work was to conduct a study about the presence of metallic contaminants in the reservoirs of HPP-Balbina-AM and HPP-Samuel-RO. The characteristics of the waters of the reservoirs were studied in order to register potential difference between both considering the parameters pH, DO, turbidity, temperature and electrical conductivity. The Sediment metals Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Pb were analyzed by optical emission spectrometry with inductively coupled plasma, being necessary the samples for acid treatment previous extraction of metals. Statistical tests of correlation were used to evaluate the behavior of these elements as its origin in the reservoirs. The results showed that the physical and chemical parameters of water for HPP-Balbina reservoir are within the standards of qualities suggested by the resolution CONAMA 357/05, however the HPP-Samuel reservoir shows that an antropic action is influencing the water quality of this environment. The concentrations of Cr, Cu, Ni and Zn in the reservoir of HPP-Balbina were out of line (TEL) established by NOAA, however high values of Mn, Pb, Zn and Fe were determined in the HPP-Samuel reservoir, so the particle size analysis and statistical tests confirm the results of the concentrations of the elements with a high percentage of silt and clay content and high concentrations of metal elements under study as determined in section SP3 of Samuel reservoir.

Keywords: Metals, Sediments, HPP- Balbina, HPP-Samuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bacia Hidrográfica Amazônica	21
Figura 2: Aumento da disponibilidade dos metais: a) essenciais e b) não essenciais, no desempenho do desenvolvimento dos organismos aquáticos.	35
Figura 3: Usina Hidrelétrica de Balbina - AM.....	39
Figura 4: Paliteiros (árvores afogadas) no Reservatório Hidrelétrico de Balbina	40
Figura 5: Mapa de distribuição espacial dos pontos de amostragem.....	41
Figura 6: Barragem do Reservatório Hidrelétrico de Samuel	44
Figura 7: Distribuição de pontos de coleta no Reservatório Hidrelétrico de Samuel – RO.....	45
Figura 8: Procedimento de coleta e armazenamento das amostras de sedimento ...	49
Figura 9: Ilustração do procedimento de digestão ácida	51
Figura 10: Gráfico de pH dos reservatórios hidrelétricos, onde para o reservatório de Balbina –BP e para o reservatório de Samuel – SP.....	55
Figura 11: Gráfico de pH dos reservatórios hidrelétricos, onde para o reservatório de Balbina –BP e para o reservatório de Samuel – SP.....	59
Figura 12: Gráfico das Concentrações de OD nos pontos avaliados nos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina (BP) e Samuel (SP)	60
Figura 13: Gráficos dos valores da condutividade elétrica nos pontos estudados	61
Figura 14: Variação de temperaturas registradas nos reservatórios em estudo	63
Figura 15: Gráfico da variação dos valores de turbidez encontrados nos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina e Samuel	64
Figura 16: Concentrações de sólidos em suspensão dos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina e Samuel	65
Figura 17: Gráfico da análise granulometria de sedimento de fundo realizada nos reservatórios em estudo.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potencial de Geração dos recursos hídricos (GW).	21
Tabela 2: Parâmetros Físicos e Químicos de água.....	26
Tabela 3: Valores limites (mg Kg^{-1}) da NOAA para concentrações de metais em sedimento de fundo.....	30
Tabela 4: Pontos de Amostragem Georeferenciados do Reservatório Hidrelétrico de Balbina	42
Tabela 5: Pontos de Amostragem georeferenciados do Reservatório Hidrelétrico de Samuel.....	46
Tabela 6: Parâmetros físico-químicos analisados	47
Tabela 7: Comprimentos de onda dos metais analisados por ICP-OES	52
Tabela 8: Condições de análises do ICP-OES (mg L^{-1})	53
Tabela 9: Teste de Tukey para verificar a diferença entre os reservatórios através dos parâmetros pH, OD,CE, T	66
Tabela 10: Teste de Kruskal-Wallis para verificar se havia diferença entre os reservatórios.....	67
Tabela 11: Concentrações de metais nos reservatórios (mg Kg^{-1}).....	70
Tabela 12: Teste de Kruskal – Wallis para verificar a diferença entre os reservatórios para os metais em estudo	73
Tabela 13: Matriz de correlação de Spearman entre os metais analisados no reservatório da UHE-Balbina.....	74
Tabela 14: Matriz de correlação de Spearman para os metais analisados no reservatório da UHE-Samuel.....	75
Tabela 15: Concentrações de elementos traços nos reservatórios da UHE-Balbina e UHE-Samuel em mg Kg^{-1}	93

Tabela 16: Resultados de pH, CE, OD, turbidez, temperatura, STS e os valores de referência do CONAMA 357/05 para o reservatório da UHE-Samuel.....	93
Tabela 17: Resultados de pH, CE, OD, turbidez, temperatura, STS e os valores de referência do CONAMA 357/05 para o reservatório da UHE-Balbina	94
Tabela 18: Análise granulométrica do sedimento de fundo coletado nos reservatórios da UHE-Balbina e UHE-Samuel.....	94

LISTA DE SIGLAS

AM	Amazonas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	American Public Health Association
B	Boro
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EPA	Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Hg	Mercúrio
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
HCl	Ácido CLorídrico
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICP – OES	Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado

KI	Iodeto de Potássio
Mn	Manganês
MnSO ₄	Sulfato Manganoso
Mo	Molibdênio
NaN ₃	Azida Sódica
NaOH	Hidróxido de Sódio
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Chumbo
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PEL	Probable Effect Level (Nível de Efeitos Adversos Prováveis)
PIRAHIBA	Planejamento Integrado de Reservatórios em Hidrelétricas da Bacia Amazônica
RO	Rondônia
RHB	Reservatório Hidrelétrico de Balbina
RHS	Reservatório Hidrelétrico de Samuel
STS	Sólidos Totais em Suspensão
TEL	Threshold Effect Level (Nível Limiar de Efeitos Adversos)
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1. OBJETIVO GERAL.....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS NA AMAZÔNIA	19
3.2. QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	23
3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS.....	24
3.2.2. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA.....	26
3.3. SEDIMENTOS.....	28
3.3.1. ÍNDICE DE QUALIDADE DE SEDIMENTOS.....	29
3.4. METAIS NO MEIO AMBIENTE.....	30
3.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS METAIS.....	34
3.4.2. TOXICIDADE DOS METAIS.....	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1. ÁREAS DE ESTUDO E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	38
4.1.1. RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE BALBINA	38
4.1.2. RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE SAMUEL.....	43
4.2. AMOSTRAGEM.....	46
4.2.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SUAS DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS.....	47
4.2.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO DE FUNDO.....	48
4.3. DETERMINAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTO DE FUNDO.....	49
4.3.1. DIGESTÃO DA AMOSTRA	50
4.3.2. MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO.....	51
4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO DE FUNDO.....	53

4.4.1. METODOLOGIA EMBRAPA(1999).....	53
4.4.2. GRANULOMETRO DE DIFRAÇÃO A LASER.....	55
4.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	55
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	57
5.1.1 pH.....	57
5.1.2 OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	59
5.1.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	61
5.1.4 TEMPERATURA.....	62
5.1.5 TURBIDEZ.....	63
5.1.6 SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO.....	64
5.1.7. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	66
5.2. GRANULOMETRIA.....	67
5.3. PARÂMETROS QUÍMICOS: METAIS.....	69
5.3.1 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS.....	73
6. CONCLUSÕES	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APENDICE - A	93
APENDICE - B	94

1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso essencial para a vida na terra, com isso há necessidade de se preservar. A poluição antrópica de rios, lagos e igarapés ocorrem intensamente em todo país e apresentam dados alarmantes nos últimos anos que tem gerado graves consequências aos seres vivos (FONSECA, 2010).

O Brasil é um país cujo potencial hídrico estimula a implantação de reservatórios com o objetivo de suprir as necessidades de abastecimento d'água da sociedade. Com as construções de barragens ocorre uma transformação abrupta de um ambiente lótico (rio) em lêntico (lago), provocando alterações nos regimes dos rios e consideráveis desequilíbrios na estrutura físico-química e hidrobiológica do meio aquático, podendo gerar significativos impactos ambientais, muitas vezes negativos, a montante e a jusante do barramento (SILVA et. al. 2009 apud BASTOS, 1998).

Estudos nos últimos anos em reservatórios hidrelétricos no mundo demonstram que mesmo no atual estado, em que o uso da tecnologia é constante, seu uso é indispensável, entretanto, os problemas ambientais são grandes, principalmente devido ao mau gerenciamento dos recursos hídricos nacionais (LI et al. 2010).

O uso dos reservatórios, a mitigação dos impactos e a preservação da qualidade destes dependem de manejo integrado, para o que é fundamental o conhecimento aprofundado desses sistemas, incluindo informações sobre a qualidade de suas águas e do uso do solo em seu entorno.

A Usina Hidrelétrica de Balbina está localizada no rio Uatumã e até hoje é demasiadamente criticada pelo alto custo de investimentos, pois, sua construção

ocasionou um dos maiores desastres ao meio ambiente, devido a grande área inundada para sua construção.

Fearnside (2008), relata que ficaram submersos cerca de 59 milhões de metros cúbicos de cedro, angelim, andiroba, castanheira, jatobá e maçaranduba, dos quais, pelo menos, 9,3 milhões de metros cúbicos poderiam ter sido aproveitados para serraria, segundo inventário realizado à época pelo Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

O reservatório da Usina Hidrelétrica de Samuel situa-se na bacia do rio Jamari, no município de Candeias e os solos inundados na formação deste reservatório contêm mercúrio que pode ser originado de fontes naturais, agravando consequências para o meio ambiente (HOLANDA, 2008).

As usinas hidrelétricas de Balbina-AM e Samuel-RO, apresentam grandes impactos ambientais, devido a enorme área alagada, desta forma, o estudo sobre a presença de metais é considerado de grande importância para a saúde e bem estar da população ribeirinha que habita no entorno do reservatório utilizando essas águas para atividades de pescas, irrigação, recreação e consumo doméstico.

Os metais estão presentes naturalmente no ambiente a níveis traço, ou seja, partes por milhão ou até menos que isto (MANAHAN, 1983). A presença de grandes concentrações desses metais no organismo é danosa à saúde dos seres vivos, podendo acarretar em doenças devido à capacidade de bioacumulação desses elementos.

A ocorrência de pequenas concentrações de metais no ambiente aquático não é um fato anormal; contudo a atividade industrial, a ocupação humana nas proximidades destes ambientes, assim como também o despejo de esgoto

proveniente dos centros urbanos, tem elevado as suas concentrações naturais ocasionando a contaminação dos ecossistemas aquáticos (OLIVEIRA, 2008). E o transporte de contaminantes dissolvidos nas águas superficiais pode ser conduzido pela rápida mudança das características físicas e químicas que ocorrem no meio ambiente (VAROL, 2013).

A presente proposta é bastante relevante, pois apesar de muitos estudos realizados sobre a contaminação ambiental por metais, oriunda da mineração, não acontece o mesmo em reservatórios hidrelétricos, principalmente na região amazônica, para avaliar a qualidade da água. A avaliação e controle da poluição ambiental tornam-se complexa, ao passo que a liberação de elementos tóxicos em grandes quantidades nos rios pode ser causada tanto por meio natural quanto através de processos de industrialização.

Desta forma, pretende-se investigar, analiticamente, a presença de metais (Co, Cr, Mn, Fe, Zn, Pb, Ni e Cu) em sedimento de fundo através da técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), nos reservatórios hidrelétricos de Balbina no Amazonas e Samuel em Rondônia, sendo estes localizados em diferentes regiões hidrográficas na Amazônia, utilizando parâmetros físicos e químicos para avaliar as características da águas dos reservatórios.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar estudo sobre a presença de contaminantes metálicos nos reservatórios hidrelétricos de Balbina (AM) e Samuel (RO).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a presença de metais-traços, tais como: **Fe** (Ferro), **Co** (Cobalto), **Mn** (Manganês), **Cr** (Cromo), **Zn** (Zinco), **Ni** (Níquel), **Cu** (Cobre) e **Pb** (Chumbo), presentes nas amostras de sedimentos de fundo dos Reservatórios hidrelétricos de Balbina no Amazonas e Samuel em Rondônia por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP- OES);
- Determinar parâmetros auxiliares na investigação de comportamento hidroquímico das águas dos reservatórios, tais como, temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais em suspensão (STS), e observar as características entre os reservatórios hidrelétricos estudados.
- Relacionar a contaminação do sedimento de fundo com espécies metálicas tóxicas e suas concentrações.
- Correlacionar as concentrações de metais encontradas nas análises de sedimentos do Reservatório Hidrelétrico de Balbina e Samuel utilizando testes estatísticos de correlação de Spearman e Pearson.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS NA AMAZÔNIA

O Brasil possui a maior quantidade de recursos hídricos do planeta e de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), dos 261 mil MW de potencial hidrelétrico brasileiro 172 mil ainda não foram explorados (ELETROBRÁS, 2010). A construção de usinas hidrelétricas no país trouxe estabilidade econômica e inúmeras variáveis que se consolidaram com o acesso a energia.

Nos países em desenvolvimento, é grande o uso dos recursos naturais para obtenção de energia, tendo em vista o alto crescimento populacional e industrial, esses países ainda obtêm do meio ambiente os recursos que necessita para conforto e sobrevivência da população.

Cerca de 65% do potencial hidrelétrico não explorado está na região norte, onde situa-se a floresta Amazônica, foco das preocupações de ambientalistas de todo o mundo (ROCHA, 2013).

Os rios brasileiros há mais de 50 anos vêm sendo utilizados com grande escala na produção de energia elétrica, entretanto, muitas delas já estão com seu potencial energético praticamente esgotado.

Nos próximos anos, dentro do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), estão previstas construções de hidrelétricas, grande parte na região amazônica. Constata-se que grandes empreendimentos hidrelétricos estão associados a significativos impactos e sua viabilidade atrelada à obtenção das

respectivas licenças ambientais (QUEIROZ E MOTTA-VEIGA, 2012), além de inúmeros requisitos de ordem social e de infraestrutura.

Com a construção das Hidrelétricas na Amazônia observou-se um grande progresso no fornecimento de eletricidade indispensável às indústrias, comércios e residências como também a intensificação de investimentos que promovem empregos e renda para a população estimulando o crescimento econômico. Porém, a construção dessas usinas juntamente com suas barragens geram diversos impactos sociais e ambientais muitas vezes negativos.

A região hidrográfica Amazônica (Figura 1) se destaca como a maior do mundo, ocupa cerca de 42% da superfície brasileira compreendendo os estados do Acre, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará e Amapá. Seus rios se caracterizam por grande volume de água, revelo tipicamente de planície e baixa declividade. Seu principal curso de água é o rio Amazonas com extensão de 6.570 km (ANEEL, 2015).

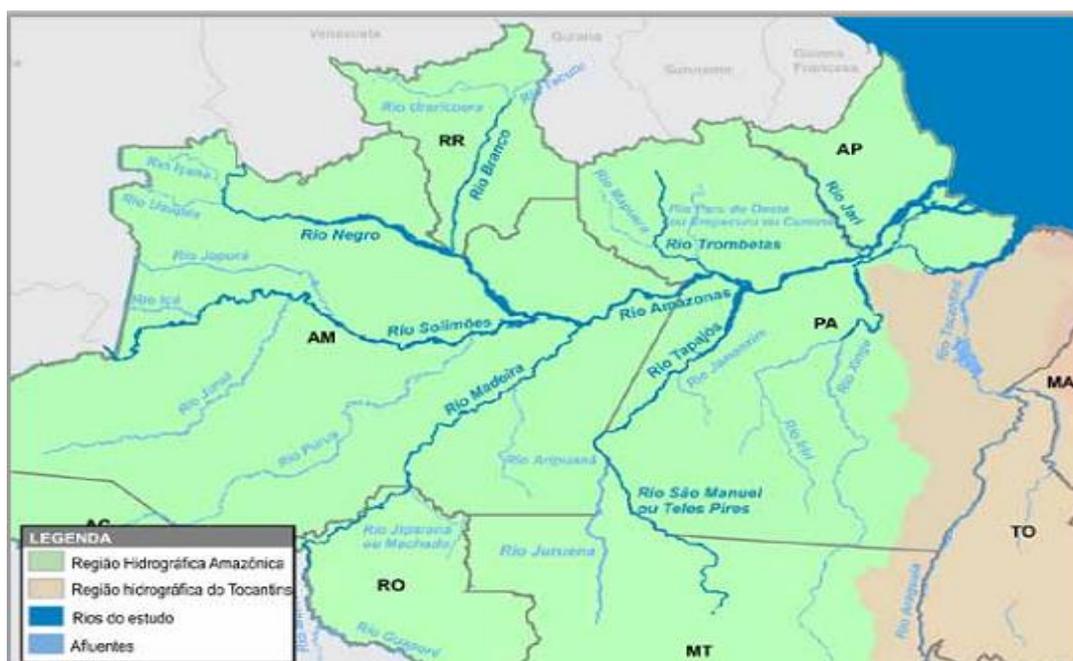


Figura 1: Região Hidrográfica Amazônica e seus principais rios

(Fonte: ANTAQ, 2015)

A participação da bacia amazônica na oferta de energia elétrica nacional poderá saltar até 2030, de atuais 1 GW para 74 GW instalados, ou seja, um aumento de 7.400%. Olhando para o âmbito nacional, percebe-se que 76% do potencial hidrelétrico a ser aproveitado no país nesse horizonte de tempo viria dessa bacia, e 7% da bacia Araguaia-Tocantins (que é parcialmente amazônica, mesmo não fazendo parte da bacia do Amazonas) (BRASIL, 2007). Portanto, mais de 80% da hidroeletricidade a ser produzida no país até 2030 virá de rios amazônicos (Tabela 1).

Tabela 1: Potencial de Geração dos recursos hídricos (GW).

Bacia	Amazonas	Araguaia-Tocantins	Outros rios	Total
Potencial aproveitado	1	12	65	78
Expansão potencial até 2015	12	2	6	20
Expansão potencial após 2015	61	5	10	76
Total	74	19	81	174

Fonte: (BRASIL, 2007)

A primeira usina de porte construída na região amazônica foi a de Brokopondo, no Suriname, com operação iniciada em 1964 e potência de 189 MW (ROCHA, 2013).

A criação da Zona Franca de Manaus motivou a construção da hidrelétrica de Balbina no rio Uatumã, cerca de 100 km de distância de Manaus, a qual foi iniciada em 1973 e concluída em 1989. A implantação deste empreendimento é caracterizada por uma série de problemas de ordem técnica que marcaram definitivamente a década e a própria história da gestão ambiental brasileira (MORETTO et.al., 2012).

De 1980 a 1999, foram instaladas além das usinas hidrelétricas de Balbina e Tucuruí, que tiveram sua instalação iniciada no período anterior, outras três hidrelétricas na região Amazônica: Samuel (216 MW), Corumbá I (1988) e Serra da Mesa (1275), porém, neste período ocorreu ainda o planejamento do complexo hidrelétrico do rio Xingu no Pará, com destaque para a hidrelétrica de Kararaô - atual Belo Monte, que não foi construída (MORETTO et.al., 2012).

A construção de hidrelétricas implica numa série de alterações físicas no rio. A correnteza diminui muito alterando assim a natureza do ambiente aquático. Normalmente as hidrelétricas são construídas em lugares de correnteza rápida, sendo que estes oferecem as melhores condições para geração de energia elétrica. O reservatório torna estes lugares ecossistemas lóticos, com uma correnteza bastante lenta. Este fato altera o fluxo de sedimentos no rio, fazendo com que eles fiquem no fundo do reservatório (ROSA et. al., 1995).

Os impactos das construções de hidrelétricas na Amazônia decorrem principalmente do efeito da decomposição de vegetação terrestre inundada, deterioração da qualidade da água, perda de serviços dos ecossistemas terrestres e aquáticos, assim como danos a biodiversidade.

De acordo com Carvalho et al. (2013), os reservatórios hidrelétricos podem ser aproveitados para múltiplas finalidades tais como regularização de vazões, transporte fluvial, irrigação de grandes áreas visando à produção agrícola, pesca interior, turismo ecológico, etc. Todos esses usos requerem a proteção das nascentes e a preservação das matas ciliares, sendo, portanto, ambientalmente benéficos.

A qualidade das águas superficiais e dos sedimentos de reservatórios está

submetida a um conjunto de impactos de origem antrópica derivado dos usos múltiplos das bacias hidrográficas (FLAUZINO, 2014).

3.2. QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade de um ambiente aquático pode ser definida segundo a presença de substâncias inorgânicas ou orgânicas, em diferentes concentrações e especiações, e segundo a composição e estrutura da biota aquática presente no corpo d'água (SILVA, 2012).

A qualidade da água é medida utilizando quatro parâmetros básicos: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura, durante as campanhas para a medição de vazão dos rios. Porém esses parâmetros não permite que se avalie adequadamente a qualidade das águas brasileiras, sendo necessários outros parâmetros que requerem a coleta de amostras e análises laboratoriais (ANA, 2015).

A ANA – Agência Nacional de Águas foi criada em 2000, pela lei nº 9.984 com o intuito de fiscalizar e orientar sobre a qualidade dos recursos hídricos. A agência dispõe de um programa para avaliar a qualidade das águas em âmbito nacional visando a expansão do conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil.

Para auxiliar na política de recursos hídricos, o CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, instituiu a resolução 357/05 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, e dá outras providências.

3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

A classificação das águas é realizada segundo seu uso preponderante de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 podendo ser classificada como águas doces, salobras e salinas observado no art. 3º desta resolução.

Art.3º. As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Paragrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

As águas em que se localizam os reservatórios em estudo são classificadas como água doce de classe 2, onde a resolução 357/05 estabelece limites e condições máximas para os parâmetros físicos, químicos e biológicos, estando as águas de acordo com o inciso 3 do art. 4º da resolução acima citada.

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) a proteção das comunidades aquáticas;

c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274/00;

d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
e

e) a aquicultura e a atividade de pesca (CONAMA 357/05).

Esta classificação baseia-se na delimitação dos corpos hídricos levando em consideração os níveis de qualidade do ambiente aquático existentes para atender às necessidades das comunidades, à saúde e o bem-estar humano e o equilíbrio ecológico aquático.

As águas da Bacia Amazônica possuem características químicas distintas das outras regiões do país, por apresentar um solo diferenciado, diferentes tipos de vegetação as margens dos rios e igarapés e ao clima da região (SIOLI, 1950; JUNK, 1983).

Com base nessas características Gibbs (1967) e Sioli (1950) Classificaram os rios amazônicos em três grandes sistemas aquáticos:

a) **rios de águas brancas**, que nascem na região andina e pré – andina, onde os processos erosivos são mais intensos. São rios de águas turvas, com elevada carga de sedimentos em suspensão, constituem de alta concentração de nutrientes e eletrólitos, o seu pH variam 6,2 a 7,2. Os principais representantes desta classe são os rios: Solimões-Amazonas, Madeira e Juruá e Purus;

b) **rios de águas pretas**, são rios de cor escura devido as substâncias húmicas e fúvicas dissolvidas, que atribui às águas ácidas (pH 3,8 a 4,9) e pobres em sólidos dissolvidos e em suspensão. Os rios: Negro, Urubu e Uatumã fazem parte desta classificação;

c) **rios de águas claras** tem origem em terras pré-cambrianas e drenam rochas cristalinas dos escudos das Guianas e do Brasil Central. São rios de águas transparentes, com pouca quantidade de material em suspensão. Essas águas

apresentam um pH de ácido a neutro (4,5 a 7,0) e quantidades de sais dissolvidos variável, dependendo das suas nascentes. Os rios: Tapajós, Trombetas e Xingu se enquadram nesta classificação.

Para atendimento à regiões que as características físicas e químicas são diversificadas e não se enquadram na legislação vigente, é necessário avaliar as características químicas regionais afim de adaptar a legislação, ou seja, permitindo o enquadramento na distribuição e no uso das águas para a região Amazônica (SILVA et. al., 2011).

3.2.2. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA

Os parâmetros utilizados como indicadores ambientais para avaliar a qualidade da água nos reservatórios Hidrelétricos de Balbina e Samuel foram: pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão e turbidez, que apresentam valores de referência estipulado pela resolução CONAMA 357/05 os quais foram utilizados na comparação dos dados obtidos (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros Físicos e Químicos de água

Variáveis Físicas e Químicas	V.R.* CONAMA 357/05
Oxigênio dissolvido	5 mg L ⁻¹
Potencial hidrogeniônico - pH	6 a 9
Temperatura	-
Turbidez	Até 100UNT
Condutividade	-
Sólidos Totais em Suspensão	500 mg L ⁻¹

*Valores de Referência de acordo com a resolução 357/05 do CONAMA

- a) **pH:** Indica a concentração ácida no corpo hídrico sendo importante em

processos de mobilidade de outras substâncias no ambiente aquático e que segundo a resolução CONAMA 357/05 deve estar entre 6 e 9 os quais, são os limites estipulados por esta resolução.

b) **Condutividade Elétrica:** é a medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, temperatura, mobilidade dos íons, valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon (CPRM, 2007).

c) **Sólidos Totais em Suspensão:** Corresponde a toda matéria que fica como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura de 103 a 105°C durante um período de tempo fixado. As determinações para a série de sólidos passam por um processo de secagem em estufa e o uso de balança analítica até o peso constante.

d) **Oxigênio Dissolvido:** refere-se ao (O₂) oxigênio molecular dissolvido na água (CPRM, 2007), pois é essencial para a preservação do ambiente aquático, uma vez que vários organismos vivos precisam de oxigênio para respirar (ANA, 2015). Para o CONAMA 357/05 este parâmetro deve estar acima de 5 mg L⁻¹.

e) **Temperatura** - é a medida da intensidade de calor expresso em uma determinada escala (CPRM, 2007). É um parâmetro de grande importância devido a seu efeito na vida aquática, e na mobilidade de substâncias químicas.

f) **Turbidez:** É a redução da transparência de uma amostra de água pela presença de material em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, plâncton em geral, etc.. a redução da transparência, se dá por absorção e espalhamento, pois as partículas que originam a turbidez nas

águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca. Os valores de referencia dentro da resolução 357/05 é de até 100 UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez.

3.3. SEDIMENTOS

A redução da correnteza resulta na deposição dos sedimentos dentro dos reservatórios. A carga sedimentar relativamente baixa de rios de água clara e água preta garante aos reservatórios hidrelétricos amazônicos teoricamente uma vida útil de centenas de anos. Porém, deve-se salientar que estes tipos de rios são pobres em sedimentos por causa de uma floresta densa e quase contínua, que cobre as bacias hidrográficas e protege os solos contra a força erosiva de cerca de 2 mil mm/a de chuva (JUNK E MELLO, 1990).

No reservatório hidrelétrico, com as construções das barragens ocorre a deposição gradual dos sedimentos carregados pelo curso d'água, ocasionando assim o assoreamento e diminuindo gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo inviabilizar a operação do aproveitamento e ocasionar problemas ambientais (CARVALHO et. al. 2000).

Os sedimentos são considerados agregados das concentrações de elementos traços, matéria orgânica degradada, deposições atmosféricas, intemperismo e erosão de rochas e solos que são transportados pelas águas.

Carvalho et. al. (2000) afirma que os processos de sedimentação são complexos e que à medida que os sedimentos se acumulam no lago, a capacidade de armazenamento de água do mesmo diminui, pois ocorre uma contínua deposição

ao longo do reservatório cuja forma de distribuição é influenciada pela operação e também pela ocorrência de grandes enchentes, os quais são responsáveis pelo carreamento das grandes quantidades de sedimento ali depositados.

Os sedimentos compõem o compartimento ambiental que está em contato permanentemente com a água, por esse motivo sua compreensão é importante para entender os diversos ciclos biogeoquímicos do ecossistema aquático (LOPES, 2010). As características da coluna sedimentar podem fornecer informações importantes sobre a evolução histórica dos ambientes aquáticos e terrestres, e sobre a intensidade e as formas de impacto a que estes ecossistemas estão ou estiveram submetidos (ESTEVES, 1998).

De acordo com Amaral (2014), na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais, a concentração dos compostos químicos no sedimento de fundo é expressivamente maior do que na água. Os elementos traços e outras espécies químicas, provenientes da alteração das rochas, solos e também de poluições antropogênicas, ficam acumuladas nos sedimentos de fundos (PEREIRA et al., 2007; ESTEVES, 2011) podendo contaminar a água e outros sistemas ambientais, levando a bioacumulação por meio da transferência na cadeia trófica (FROENHER & MARTINS, 2008).

3.3.1. INDICE DE QUALIDADE DE SEDIMENTOS

A qualidade desses sedimentos, sejam de fundo ou em suspensão, reflete a composição das rochas, a partir das quais se desenvolvem os processos pedogênicos de terra-firme, e modificações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no ambiente aquático.

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), agência Americana fundada em 1970 tem como objetivo proteger e conservar a vida e os recursos naturais. A NOAA foi a junção das agências: *United States Coast*, a primeira agência americana de ciências físicas, e *Geodetic Survey*, a primeira agência nacional dedicada à ciências atmosféricas e conservação (NOAA, 2015).

Os valores de referência para a concentração de metais em sedimentos podem ser observados na tabela 3 (BUCHMAN, 2008).

Tabela 3: Valores limites (mg Kg⁻¹) da NOAA para concentrações de metais em sedimento de fundo

METAIS	*TEL	**PEL
Co	-	-
Cr	37,3	90,0
Mn	-	-
Zn	123,0	315,0
Ni	18,0	36,0
Cu	35,7	197,0
Fe	-	-
Pb	35,0	91,3

***TEL (Threshold Effect Level) = Nível Limiar de Efeitos Adversos (efeitos possíveis);**

****PEL (Probable Effect Level) = Nível de Efeitos Adversos Prováveis (efeitos prováveis);**

(-) não existe critério para este parâmetro.

3.4. METAIS NO MEIO AMBIENTE

Os componentes metálicos no meio ambiente podem também ser conhecidos como metal potencialmente tóxicos e a este grupo heterogêneo de elementos pode haver metais, ametais e semi-metais. Frequentemente são utilizados alguns sinônimos, como: “elementos-traços” ou “metais-traços”, termos não adequados, uma vez que o quantitativo “traço” na química analítica quantitativa é utilizado para indicar concentrações ou teores de quaisquer elementos que não podem ser quantificados pelos métodos clássicos de análises empregados na sua determinação por serem muito baixos (TAVARES, 2013).

Os metais estão entre os poluentes ambientais mais comuns, e sua presença em concentrações elevadas nas águas e na biota associada indica a presença de fontes naturais ou antropogênicas destes elementos (PAPAFILIPPAKI et al., 2008).

São amplamente distribuídos pela crosta terrestre e, junto com os outros elementos, fazem parte da estrutura cristalina das rochas (LOUREIRO et. al. 2012). Os componentes metálicos são contaminantes ambientais estáveis, pois não podem ser degradados ou destruídos (TUNA et. al. 2006). Estes poluentes quando acumulados no sedimento de fundo podem ser disponibilizados para a coluna de água, afetando os organismos vivos (AMARAL et. al. apud SOARES et al., 1999).

Lopes (2010) afirma que os metais geralmente são divididos em dois grupos de acordo com a sua origem sendo : a) Litogênica (origem geoquímica): formado, por aqueles metais derivados de processos físicos e químicos, principalmente intemperismo e o carreamento de solo e rochas e; b) Antrópica, que é proveniente da atividade humana e natural (NOVOTNY, 1995).

O ciclo biogeoquímico é controlado pelos processos naturais como o intemperismo, erosão de rochas e transportes nos continentes, entretanto suas concentrações são alteradas quantitativamente pelas atividades antrópicas em geral (LOPES, 2010).

Os metais presentes no sedimento podem estar sob diferentes formas químicas, denominadas fases geoquímicas, devido às condições ambientais do próprio sedimento e também da coluna d'água, podem ser encontrados naturalmente no ambiente oriundos de processos intempéricos de solos e rochas, lixiviação (LOUREIRO et. al. 2012) e também por fontes antropogênicas como

processo de mineração, lançamento de efluentes industriais e domésticos, e através da precipitação de materiais particulados (EBRAHIMPOUR e MUSHRIFAH. 2008).

As atividades de mineração e industrialização são perigosas fontes poluidoras do meio ambiente, principalmente quando efluentes são lançados ou depositados sem tratamento no solo ou lagoas sem impermeabilização, proteção ou contenção (KRISHNA et al., 2009; LI et al., 2010).

A Amazônia tem uma contribuição significativa na atividade de extração e transformação mineral realizada em território brasileiro, considerando a ocorrência na região de diversos minerais que influenciam na balança comercial do país, sendo o Pará o segundo maior Estado exportador de minérios (mineração sudeste paraense, 2010).

Os lagos dos reservatórios podem ter sido afetados por liberação de elementos tóxicos das atividades mineradoras, pois a extração de cassiterita foi um dos grandes fatores que influenciaram no crescimento do estado de Rondônia (Fearnside, 2004) e a extração de estanho, nióbio e tântalo ainda ocorre intensamente no Lago do Pitinga nas proximidades do reservatório hidrelétrico de Balbina no estado do Amazonas.

A propriedade dos metais de serem acumulados nos sedimentos e de não serem naturalmente degradáveis neste compartimento faz com que estes elementos sejam considerados bons marcadores de mudanças ambientais (ARNASON et al.2013).

Muitos metais, como Mg, Fe, Zn, Cu, Co, Mo e B são essenciais à vida na Terra. Geralmente, as concentrações naturais estão na faixa de parte por milhão (ppm) ou parte por bilhão (ppb) e a natureza se encarrega de oferecer as

quantidades necessárias para a manutenção saudável do ciclo de vida (BARROS, 2009).

Os fenômenos de acúmulo e de redistribuição de espécies nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação (BELO et.al., 2010).

O elevado desenvolvimento industrial ocorrido nas últimas décadas tem sido um dos principais responsáveis pela contaminação das águas e solos, seja pela negligência no seu tratamento antes de despejá-las nos rios ou por acidentes e descuido cada vez mais frequente, que propiciam o lançamento de muitos poluentes nos ambientes aquáticos. A mineração também tem contribuído com a liberação de substâncias que se constituem como uma das principais formas de contaminação do solo e da água por metais (MUNIZ et. al. 2006).

Em reservatórios podem ser encontrados altas concentrações de metais na área da barragem, onde o fluxo d'água é menor e por serem predominantes os processos de sedimentação e de partículas de pequeno tamanho que apresentam mais sítios de adsorção para os metais (FÖSTNER e WHITTMANN 1981; RODRIGUES et. al. 2006; LUOMA et.al. 2008).

A determinação de metais-traço em sedimentos permite quantificar o estoque mobilizável de um determinado contaminante em um local específico e, assim, detectar o grau de contaminação a que a água e os organismos vivos estão sujeitos ao longo do tempo (BELO et. al., 2010).

3.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS METAIS

Os metais diferem de outros agentes tóxicos, pois não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminuiu significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta (CAVALCANTE, et al. 2013).

Guilherme et. al. (2005) afirma que, por meio dos processos naturais as contribuições para o aumento da concentração de metais-traço em águas superficiais derivam-se do intemperismo de rochas e escoamento superficial das águas das chuvas após lavagem e lixiviação dos elementos do perfil do solo da região.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas nos últimos anos sobre a contaminação por metais nos ambientes aquáticos, pois tem se tornado frequente o descarte de poluentes nos rios e lagos, contaminando não apenas o corpo hídrico, por estes elementos serem biodisponíveis.

Os metais traços podem ser classificados como: essenciais ou não essenciais ao meio ambiente.

Huertos e Baena (2008) descreve que o Cu, Mn, Zn e Fe são metais classificados como essenciais, pois são necessários para os processos metabólicos, mas podem reduzir o desenvolvimento do organismo quando em baixas concentrações.

Os metais-traços não essenciais (Hg, Cd, Pb) podem ser tolerados pelos organismos, desde que estejam em pequenas concentrações. Entretanto, quando

teores de metais – traços passam certo limiar , que varia de organismo para organismo, pode causar toxicidade (SILVA, 2013), provocando graves doenças, sobretudo em mamífero (Figura 2).

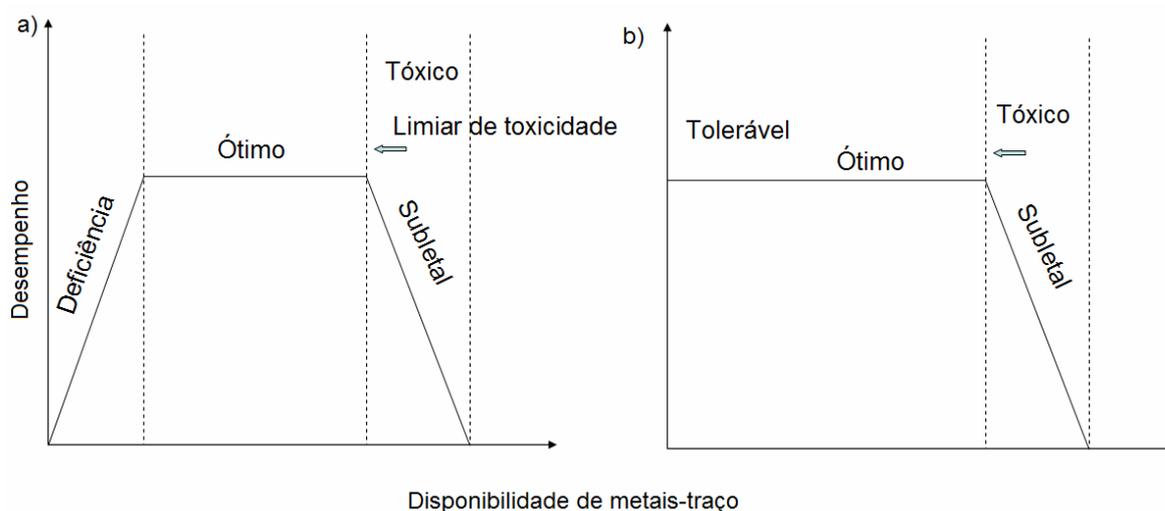


Figura 2: Aumento da disponibilidade dos metais: a) essenciais e b) não essenciais, no desempenho do desenvolvimento dos organismos aquáticos.

Fonte: (HUERTOS et al , 2008)

Rodella *et al.*(2001), Salgado (1996) classifica os metais como:

1. **Micro-contaminantes ambientais:** são elementos que em baixas concentrações tornam-se contaminantes ambientais, como por exemplo : arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio.

2. **Elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes:** são elementos importantes para a metabolização do nosso organismo, porém ainda que, em baixas concentrações no meio ambiente tornam-se contaminantes, como por exemplo: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel.

Os metais são geralmente agregados a ideia de contaminação e toxicidade,

entretanto, muitos destes elementos são necessários a vida. Os problemas relacionados aos metais estão em geral associados á interferência humana nos ciclos biogeoquímicos destes elementos, que promoveram o acúmulo em certas regiões, causando contaminação ambiental e expondo a biota a riscos.

3.4.2. TOXICIDADE DOS METAIS

Midio (2000) afirma que os metais que não apresentam características benéficas ao organismo vivo e produz efeitos que ocasionam danos ao metabolismo mesmo que em quantidades traços, são considerados tóxicos.

Os elementos metálicos podem está distribuídos no ambiente, derivado da deposição destes nos solos, águas, plantas e animais sendo decorrente dos processos naturais, lixiviação, deposição atmosférica e poluição antropogênica.

Distúrbios nas funções metabólicas podem ser manifestados pela toxicidade, implicando em possíveis mudanças na distribuição e na abundância de populações (ELDER, 1988). Connell e Miller (1984), afirmam que efeitos subletais também podem ocasionar mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, comportamentais e na reprodução.

Alguns elementos tóxicos são utilizados em indústrias: na produção de baterias, aditivos, galvanoplastia, metalurgia, curtição de couro, também na produção de fertilizantes e atividades de mineração, expondo desta forma o ser vivo e aumentando a possibilidade de contaminação por estes metais.

Oliveira (2008), afirma que os efeitos tóxicos dos metais sempre foram considerados como eventos de curto prazo, agudos e evidentes, porém ocorrências

a médio e longo prazo foram observadas estabelecendo uma relação causa-efeito, sendo possível verificar que estes são pouco evidentes.

As plantas e os animais aquáticos podem acumular uma quantidade de elementos-traços maior do que na coluna d'água e no sedimento pois, estes organismos ao permanecerem em contato com o ambiente poluído, permitem que os componentes metálicos penetrem nesses organismos através da superfície corporal e das vias respiratórias, criando uma condição de toxicidade.

Por essa facilidade de absorverem esses elementos, muitos pesquisadores tem estudado a presença desses metais nos organismos aquáticos com a finalidade de determinar a contaminação ou não daquele ambiente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREAS DE ESTUDO E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

As áreas de estudo localizam-se na Bacia Amazônica, onde foram selecionados duas usinas hidrelétricas e seus respectivos reservatórios: a primeira UHE-Balbina, localizada no rio Uatumã, afluente da margem direita do rio Amazonas, no estado do Amazonas, e a segunda localizada no rio Jamari, afluente da margem esquerda do rio Madeira, no estado de Rondônia, considerando a observação de diferentes características físicas e químicas entre os sistemas hidrográficos.

4.1.1. RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE BALBINA

Está localizada na bacia do Rio Uatumã, afluente da margem esquerda do rio Amazonas, a 146 km em linha reta de Manaus, município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas, localiza-se a 59° 28' W e 01° 55' S. A Usina Hidrelétrica de Balbina (Figura 3), foi construída no período de 1983 a 1987 e represou parte do Rio Uatumã, originando em 1987 um reservatório com área de 2.360 km² e afogando grandes áreas de floresta (FEARNSIDE, 1990). Além do acesso fluvial à Hidrelétrica de Balbina, também é possível chegar por uma extensão de 72 km de rodovia pavimentada, localizada no km 103 da BR-174, AM 240 (VIEIRA, 2014).



Figura 3: Usina Hidrelétrica de Balbina - AM

(Fonte: www.assisramalho.com.br)

A hidrelétrica de Balbina produz uma quantidade insuficiente de energia de 250 MW para área de 2.360 km² que foi inundada. A formação do lago aconteceu a partir de 1987, vindo a formar cerca de 3.300 ilhas. Bermann (2004) afirma que o resultado disto, foram as margens dendríticas, em função do relevo, e grande quantidade de “paliteiros” (árvores afogadas) (Figura 4) devido somente cerca de 8 a 10% da mata nativa ter sido previamente retirada.



Figura 4: Paliteiros (árvores afogadas) no Reservatório Hidrelétrico de Balbina.

Fonte: Daniele Vieira

Esta usina é bastante criticada pelo alto custo de investimentos e por ter causado um dos maiores desastres ao meio ambiente, devido a grande área inundada para sua construção.

No reservatório da UHE - Balbina foram selecionados sete pontos (Figura 5) para determinação dos parâmetros físicos e químicos da água, assim como para a coleta de sedimento. Todos os pontos foram coletados a montante da área de controle, exceto o BP7 que foi coletado a jusante da barragem do reservatório. As coletas de água e sedimento foram realizadas no período de Setembro de 2011.

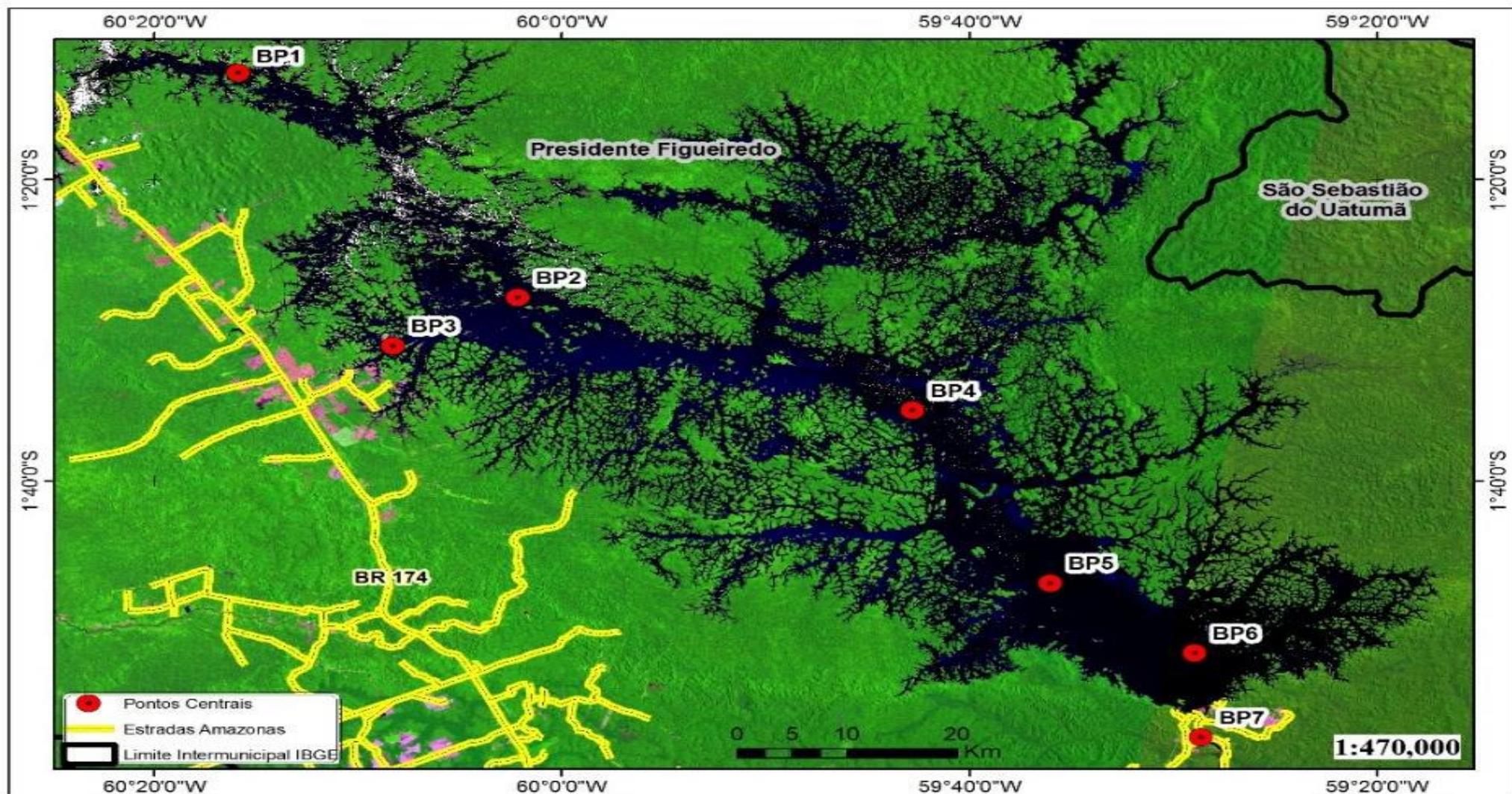


Figura 5: Mapa de distribuição espacial dos pontos de amostragem
(Fonte: Danielle Vieira)

O deslocamento entre os pontos de coleta no reservatório da UHE-Balbina, foi executado através das embarcações cedidas pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes de Pesquisa) que as disponibilizou por meio de protocolos de cooperação pré-estabelecidos entre o projeto PIRAHIBA e aquela instituição.

A identificação dos pontos foi feita por abreviação, tendo como inicial a letra B de Balbina, P de ponto e numeração correspondente ao ponto. Nos pontos de estudo realizou-se registros dos dados físicos e químicos para as amostras de água, tal como a coleta de sedimento para granulometria e análise de metais, na margem esquerda, na margem direita e na parte central do rio.

Os pontos de coleta foram devidamente georeferenciados, com o auxílio de um aparelho GPS (modelo Garmin & Trex) com precisão de ± 15 m, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Pontos de Amostragem Georeferenciados do Reservatório Hidrelétrico de Balbina

PONTOS	DESCRIÇÃO DE REFERÊNCIA	LATITUDE	LONGITUDE
BP1	Montante do reservatório	S 01°12'50,9"	W 060°15'54,1"
BP2	Montante do reservatório	S 01°27'50,2"	W 060°02'10,3"
BP3	Montante do reservatório	S 01°31'01,0"	W 060°08'17,0"
BP4	Montante do reservatório	S 01°35'18.8"	W 059°42'45,9"
BP5	Montante do reservatório	S 01°46'47,6"	W 059°36'01,5"
BP6	Montante do reservatório	S 01°51'28.6"	W 059°28'57.9"
BP7	Jusante do reservatório	S 01°57'02.4"	W 059°28'38.9"

4.1.2. RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE SAMUEL

O rio Jamari é um rio da Bacia Amazônica que tem sua nascente no sudoeste da Serra dos Pacaás Novos, no estado de Rondônia, e seu fluxo vai à direção norte no qual este ao desembocar a margem direita do Rio Madeira torna-se afluente deste. Em seu curso o Rio Jamari drena uma área de aproximadamente 29.066,68km² (ELETROBRAS, 2012).

Seus principais afluentes a margem direita são os rios: Branco, Preto do Crespo e Quatro Cachoeiras e a margem esquerda os rios: Massangana e Candeias. A margem direita do Rio Madeira e no município de Candeias do Jamari onde existia uma cachoeira chamada Samuel, foi construído a barragem da Hidrelétrica de Samuel (Figura 6), por ser considerado um rio de planalto com inúmeras cachoeiras.

A usina começou a ser construída no ano de 1982, onde os governantes tinham um plano para que a usina fosse construída no período de quatro anos, mas devido à falta de verbas, esta só foi concluída quatorze anos depois. A Usina Hidrelétrica dispõe de uma potência instalada de 216,0 MW, porém por não possuir uma bacia acentuada, o Rio Jamari recebeu em seu leito um dique de 45 km de extensão na margem direita e de 22 km na margem esquerda (ELETROBRAS, 2012).

O reservatório que alagou uma área de 560km² estende-se desde a localidade de Cachoeira de Samuel no município de Candeias do Jamari, até as proximidades da foz do Rio Branco, no município de Ariquemes e está a uma distância de 52km da cidade de Porto Velho, pela rodovia BR-364.

Este empreendimento foi destinando-se a abastecer o mercado de energia elétrica do Sistema Acre – Rondônia.



Figura 6: Barragem do Reservatório Hidrelétrico de Samuel
Fonte: Tereza Cristina Oliveira

No reservatório da UHE – Samuel foi selecionado seis pontos (Figura 7) para determinação dos parâmetros físicos e químicos da água e também para a coleta de sedimentos. Todos os pontos foram coletados a montante da área de controle, exceto o ponto seis, que foi coletado a jusante da barragem do reservatório. As coletas de água e sedimento foram realizadas no período de Setembro de 2014.

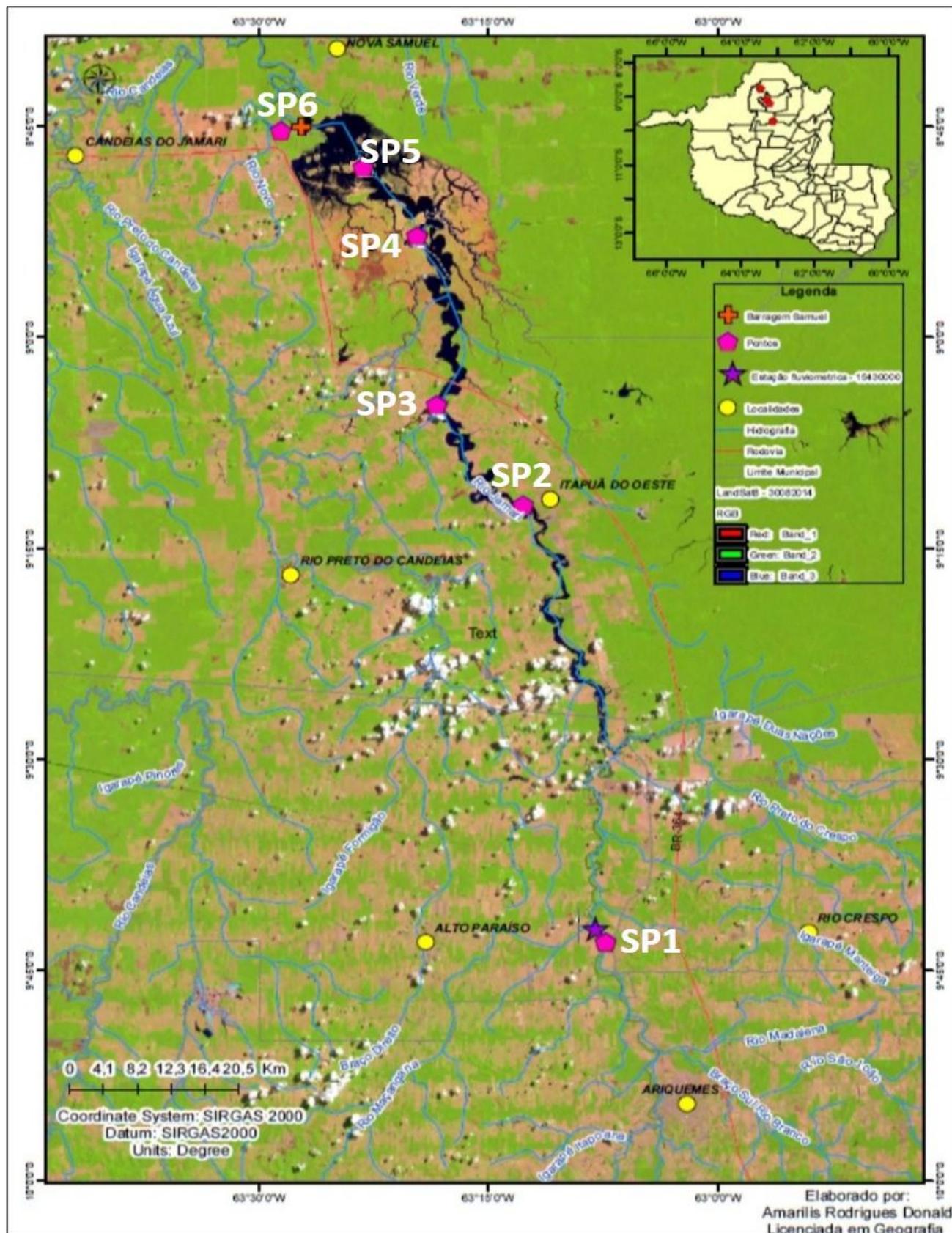


Figura 7: Distribuição de pontos de coleta no Reservatório Hidrelétrico de Samuel – RO
 Fonte: Amarilis Donald

O suporte para o deslocamento tanto pela Rodovia quanto pela hidrovia para acesso aos pontos de coleta no Reservatório Hidrelétrico de Samuel foram disponibilizados pela ELETRONORTE.

A identificação dos pontos foi realizada utilizando a abreviação para facilitar o acesso ao material coletado em relação a armazenagem e posterior análise, tendo como inicial a letra S de Samuel, P de ponto e numeração correspondente ao ponto.

Nos pontos de estudo realizou-se os registros dos dados físicos e químicos para as amostras de água e a coleta de sedimento para granulometria e análise de metais, na margem esquerda, na margem direita e na parte central do rio, obtendo assim, dados de amostra composta do ambiente de cada ponto de estudo no reservatório.

Os pontos de coleta foram devidamente georeferenciados, com o auxílio de um aparelho GPS (modelo Garmin & Trex), como mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Pontos de Amostragem georeferenciados do Reservatório Hidrelétrico de Samuel

PONTOS	DESCRIÇÃO DE REFERÊNCIA	LATITUDE	LONGITUDE
SP1	Montante do reservatório	S 09°42'9.59"	W 63°07'2.91"
SP2	Montante do reservatório	S 09°11'8.70"	W 63°12'5.93"
SP3	Montante do reservatório	S 09°04'7.27"	W 63°18'4.02"
SP4	Montante do reservatório	S 08°58'59.3"	W 63°17'19,2"
SP5	Montante do reservatório	S 08°48'33.6"	W 63°22'34.3"
SP6	Jusante do reservatório	S 08°45'2.72"	W 63°28'6.12"

4.2. AMOSTRAGEM

As metodologias adotadas seguiram as recomendações do Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater.22 ed. (APHA, 2012) para as amostras de água e EPA (Environmental Protection Agency) 3050B para as amostras de sedimento.

4.2.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SUAS DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS.

A coleta de água para análise física e química foi realizada com auxílio de uma garrafa de *Van Dorn*, retirando às amostras a 50 cm da superfície aquática e em seguida foi separado 1L para análise de sólidos totais em suspensão e turbidez, a outra parte da água foi transferida para uma garrafa de polietileno onde eram medidos os parâmetros com equipamento portáteis: temperatura, pH, condutividade elétrica, utilizando os métodos mostrados na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros físico-químicos analisados

Parâmetros físicos e químicos	Aparelho	Método
pH	PHmetro	potenciométrico – eletroanalítico SMWW 2130 B
Condutividade elétrica	Condutivímetro	-
Temperatura	Condutivímetro	Método eletroquímico SMWW 2130 B
Oxigênio dissolvido	-	-
Sólidos Totais em Suspensão	-	Método gravimétrico SMWW 2540 B
Turbidez	Turbidímetro	Método nefelométrico SMWW 2130 B

Após a coleta das amostras de água foi feita a interpretação e observação do comportamento ambiental, tais como: Temperatura, pH e condutividade elétrica (CE), realizado nos locais de coleta.

Para as Análises de Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Totais em Suspensão (STS), as amostras foram armazenadas, refrigeradas e levadas para o

Laboratório da Central Analítica, localizada no campus da UFAM onde se realizou as análises.

A filtração para a determinação de STS foi realizada em campo a partir de 1L de água superficial filtrada a vácuo, com filtros de fibra de celulose *WATHMAN* GF/F nº 0,45 μm , após a filtração os filtros foram armazenados e congelados para posterior análise gravimétrica.

Para as análises de oxigênio dissolvido é realizado em campo a fixação das amostras coletadas nos frascos de Winkler acrescentando 1 mL de mista de ázida sódica (NaN_3), hidróxido de sódio (NaOH) e iodeto de potássio (KI) e 1 mL de sulfato manganoso (MnSO_4), levando a formação de um precipitado de cor amarela, em seguida lacrado com papel alumínio e armazenado a uma temperatura de aproximadamente 4°C negativos até chegada ao laboratório de análise.

4.2.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO DE FUNDO

As coletas de sedimento de fundo foram realizadas nos dois reservatórios estudados no período de Setembro. No reservatório hidrelétrico de Balbina, os sedimentos foram coletados em todos os pontos de estudo, porém na Campanha de Samuel, não foi possível a obtenção de sedimento em todos os pontos amostrados (SP4), sendo possível em apenas cinco dos seis pontos estudados.

A coleta de sedimento de fundo foi realizada com o auxílio de uma draga confeccionada em aço inoxidável, da marca Petersen (Figura 8), coletou-se os 5 cm superficiais do sedimento de fundo, na área central e nas margens do rio, produzindo amostra composta do ponto estudado. Aplica-se devida e adequada

separação de amostras para determinação de metais, assim como, para determinação granulométrica. Seguiu-se todos os cuidados para evitar contaminações das amostras e preservação sob congelamento das amostras à $\pm 4^{\circ}\text{C}$ até posteriores análises.



Figura 8: Procedimento de coleta e armazenamento das amostras de sedimento
Fonte: Daniele Vieira

4.3. DETERMINAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTO DE FUNDO

Os sedimentos foram retirados da geladeira para atingir a temperatura ambiente e em seguida colocados na estufa a uma temperatura de aproximadamente 80°C para a secagem das amostras. Essas amostras foram homogêneas e maceradas para realização dos métodos de digestão (EPA – 3050B) para análise e determinação dos metais por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma de Argônio indutivamente Acoplado (ICP/OES).

4.3.1. DIGESTÃO DA AMOSTRA

O Sedimento após seco foi submetido ao tratamento ácido de acordo com o método EPA 3050B, que propõe uma digestão (abertura química da amostra) ácida muito forte que dissolve quase todas as fases metálicas.

As amostras foram pesadas com aproximadamente 1,0 g (amostra seca) e transferidas para os tubos de digestão. Em seguida adicionado 10 mL de HNO₃ – ácido nítrico e aquecido por um período de 15 minutos sem ebulição no bloco digestor a uma temperatura de ± 95 °C. Adicionou-se 5,0 mL de HNO₃ e aqueceu-se por mais 30 minutos.

Com a produção de fumos marrons, o que indica que está ocorrendo a degradação da matéria orgânica, foi adicionado 5,0 mL de HNO₃ e deixado em aquecimento por 2hrs, mantendo a temperatura de ± 95 °C. Após o período de aquecimento foi adicionado 2,0 mL de água deionizada e lentamente 3,0 mL de Peróxido de Hidrogênio - H₂O₂ 30%, deixando em repouso até redução da efervescência.

Por fim, foi adicionado 10 mL de ácido clorídrico – HCl concentrado e aquecido por 15 minutos, com posterior esfriamento da amostra sendo possível submeter a filtração em papel de filtro Whatman n° 45 e correção do volume (Figura 9).



Figura 9: Ilustração do procedimento de digestão ácida
Fonte: Semíramides Barros

4.3.2. MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO

A quantificação dos metais Fe, Mn, Zn, Co, Pb, Cu, Cr e Ni foi realizada usando-se um Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado, Perkin Elmer, Optima 8000DV.

As curvas de calibração foram preparadas utilizando soluções padrão multielementares (Merck), para Mn, Cr, Co, Cu e Ni e unielementar (Merck) para Pb, Fe e Zn rastreáveis ao NIST (National Institute of Standards and Technology) e o controle de qualidade da quantificação dos resultados foi feito com o uso da amostra certificada da Fluka, com leitura dos metais nos comprimentos de onda indicados na Tabela 7.

Tabela 7: Comprimentos de onda dos metais analisados por ICP-OES

Elemento	Comprimento de Onda (nm)
Cu	327,393
Ni	231,604
Fe	238,204
Pb	220,353
Zn	206,200
Mn	257,610
Co	230,786
Cr	267,712

O ICP-OES é uma técnica espectrométrica multielementar bastante utilizada para análises ambientais por suas características, que permite a determinação simultânea de seus constituintes maiores, menores e traços. Baseia-se na radiação eletromagnética das regiões visível e ultra violeta do espectro eletromagnético por átomos neutros ou átomos ionizados excitados. O espectro de emissão contém todas as radiações provocadas pelas transições de energia.

Os átomos gasosos no estado fundamental absorvem energia radiante em comprimentos de onda específicos e são capazes de promover a excitação eletrônica de elétrons da camada de valência. A frequência da radiação emitida determina-se pelo balanceamento (GINÉ-ROSIAS, 1998).

Descargas elétricas em gases são denominadas "plasmas", essa mistura gasosa contém uma concentração significativa de cátions e elétrons. O Plasma de argônio é capaz de absorver potência suficiente de uma fonte externa para manter a temperatura em um nível que a ionização adicional sustente o plasma indefinidamente. O Plasma acoplado indutivamente, do inglês *inductively coupled plasma*- ICP, é mais vantajoso por apresentar maior sensibilidade e menor efeito de interferências (SKOOG, 2006).

A introdução de amostras ocorre comumente através da formação de aerossol gás/líquido num nebulizador. A amostra líquida é bombeada para um nebulizador pneumático, convertendo-a em um fino aerossol com um fluxo de argônio. O aerossol passa por uma câmara de nebulização para remoção de gotas grandes formadas e, em seguida o aerossol é introduzido no plasma através do tubo injetor da tocha.

Na Tabela 8, é possível observar as condições de análises do ICP-OES.

Tabela 8: Condições de análises do ICP-OES (mg L⁻¹)

Equipamento	ICP OES
Modelo	Optima 8000DV
Marca	Perkin Elmer
Software	Winlab 32
Gás	Argônio e Nitrogênio
Fluxo do Plasma (Co, Cr, Fe, Cu, Mn, Ni, Zn)	8 L/min.
Fluxo do Plasma (Pb)	10 L/min.
Fluxo do gás auxiliar	0,2 L/min.
Nebulizador (Co,Cr, Fe, Cu, Mn, Ni, Zn)	0,70 L/min.
Nebulizador (Pb)	0,80 L/min.
Potencia da Fonte (Co,Cr, Fe, Cu, Mn, Ni, Zn)	1.300 Wats
Potencia da Fonte (Pb)	1.500 Wats
Fluxo da Amostra	1,5 mL/min.
Vista do Plasma	Axial

4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO DE FUNDO.

4.4.1. METODOLOGIA EMBRAPA(1999)

As amostras de sedimento de fundo para a análise granulométrica, no laboratório, foram secas em estufa a uma temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$, em seguida retirado os pedregulhos e folhas.

A determinação granulométrica dos sedimentos foi iniciada com o quarteamento das amostras para melhor homogeneização dos grãos. Em seguida, eliminou-se a matéria orgânica, através do tratamento com peróxido de hidrogênio 30 V até não se observar mais a liberação de gás. As amostras foram lavadas várias vezes com água destilada e secas em estufa a 50°C – 60°C.

Após tratamento foram pesados 20 g de solo em copo plástico de 250 mL. Adicionou-se 100 mL de água e 10 mL de solução normal de Hidróxido de Sódio - NaOH, agitou-se com bastão de vidro e deixou-se em repouso durante uma noite, cobrindo o copo com vidro de relógio, para que não houvesse contaminação.

Após o repouso as amostras foram agitadas com auxílio de um bastão de vidro por 15 min e passadas através de peneiras de 500 μm , 250 μm e 60 μm sucessivamente. Lavou-se o material retido nas peneira com água destilada, recolhendo-se o material menor que 60 μm em Becker de 1000mL. As frações retidas nas peneiras foram secas e pesadas (Figura10).



Figura 10: Gráfico de pH dos reservatórios hidrelétricos, onde para o reservatório de Balbina –BP e para o reservatório de Samuel – SP

Fonte: Daniele Vieira

4.4.2. GRANULOMETRO DE DIFRAÇÃO A LASER

As frações recolhidas no Becker de 1000 mL, referente a argila e silte foram quantificadas em um analisador por difração de laser Malvern Instruments e os resultados analisados pelo programa Mastersizer 2000, versão 5.6. Os dados serão apresentados nas classes de tamanho de areia ($> 62,5 \mu\text{m}$), silte (entre $4 \mu\text{m}$ e $62,5 \mu\text{m}$) e argila ($< 4 \mu\text{m}$) de acordo com a Tabela American Geophysical Union.

4.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Utilizou-se o programa *Action* versão 3.2.1, um software de estatística gratuito que está integrado ao Excel desenvolvido sob plataforma R, para cálculo de todos os testes estatísticos.

Aplicou-se em todos os parâmetros o teste de normalidade Shapiro-Wilk, para verificar se havia uma distribuição normal entre eles a um nível de significância (α) de 0,05. Quando o p -valor $> 0,05$ diz-se que estes apresentam uma distribuição normal e p -valor $< 0,05$, uma distribuição não normal.

Após o teste de normalidade aplicou-se teste de correlação de Pearson (dados normais) e correlação de Spearman (dados não normais) a um nível de significância (α) de 0,05, para analisar a dependência entre as variáveis. Valores de correlações iguais ou maiores que 0,7, quer seja positivo ou negativo, serão considerados como uma alta dependência entre essas variáveis.

Para os parâmetros classificados como normais, após o teste de normalidade, fez-se uma ANOVA (teste de variância) com um teste de comparação múltipla, Teste de Tukey, a fim de se estudar a influência destes fatores na característica de interesse. Este teste consiste em calcular e definir se há diferença significativa entre as variâncias dos parâmetros estudados, e desta forma observar a dinâmica nos comportamentos dos pares de variáveis.

Para os dados não normais, o teste de comparação múltipla aplicado foi o teste de Kruskal-Wallis, que consiste em testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes (PORTAL ACTION, 2015). Se a diferença calculada for maior que a diferença observada então há diferença entre as funções de distribuição das variáveis comparáveis. Ambos os testes de comparações, foram feitos a um nível de significância (α) de 0,05.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

Na maior bacia hidrográfica do mundo, a água possui características diferenciadas no decorrer de seus rios e afluentes, e para investigar as características entre os reservatórios hidrelétricos de Balbina – AM e Samuel – RO, foram coletadas amostras em sete pontos equidistantes em Balbina e seis pontos em Samuel, para estudar as características dos reservatórios através de suas águas e sedimentos. Este estudo inicia a apresentação dos resultados mostrando as determinações nas águas, dos parâmetros físicos e químicos, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e turbidez. Seguidamente serão apresentadas as determinações das concentrações de metais nos sedimentos dos reservatórios.

Os reservatórios hidrelétricos de Balbina e Samuel estão localizados em regiões hidrográficas afastadas entre si, na Amazônia brasileira. Em comum, são empreendimentos causadores de grande alteração no meio ambiente ao longo do tempo, por isso torna-se necessário demonstrar dados da observação dos reservatórios hidrelétricos em estudo.

5.1.1 pH

O reservatório Hidrelétrico de Balbina é formado pelo rio Uatumã que segundo Cunha e Pascoaloto (2006) é um rio de águas pretas, que apresenta características ácidas com pH variando entre 3,8 e 4,9. Entretanto a faixa de pH registrado para este reservatório foi de 5,99 (BP1) a 6,68 (BP6), onde observa-se

uma dinâmica singular entre o pH e a distância da barragem, pois quanto mais adjacente à esta (BP5, BP6) (Figura 2) maior o valor do pH. Estes valores são similares a outros estudos feitos em diferentes pontos e períodos no rio Uatumã: pH de 5,30 (HORBE, 2008) e 5,90 (CUNHA e PASCOALOTO, 2006), demonstrando a alta variação sofrida pelo grau de acidez neste rio, influenciado diretamente pelo período sazonal e local estudado.

Para o reservatório de Samuel o valor mínimo registrado foi de 4,90 no ponto SP1, apresentando características mais ácidas que no reservatório de Balbina. Dos pontos SP2 a SP5 houve uma diminuição na acidez da água indicados pelos valores crescentes de pH que variam de 5,27 a 6,23. Estudos realizados por SIOLI (1984) confirmam tais resultados, afirmando que a água do rio Jamari é levemente ácida, com baixa condutividade elétrica, caracterizando-o como um típico rio de águas claras, com pH que variam entre os extremos de águas brancas e pretas (4,5 - 7,8). Vieira (2014 *apud* QUEIROZ et. al., 2009) afirma que a matéria orgânica tende a acidificar a água, enquanto que a geologia e os sedimentos em suspensão contribuem para manter o pH próximo a neutralidade, pois a dissolução dos silicatos por hidrólise consomem íons H^+ e eleva o pH das águas.

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 são considerados como ambientes aquáticos ideais, quando apresentam valores de pH de 6 a 9 (BRASIL, 2005), os quais podemos considerar que o reservatório de Balbina está classificado como dentro dos padrões da resolução, pois os valores encontram-se igual ou maiores que seis. Para os valores registrados no reservatório hidrelétrico de Samuel, estes divergem dos padrões de referência, pois estão abaixo caracterizando um ambiente ácido (Figura 11).

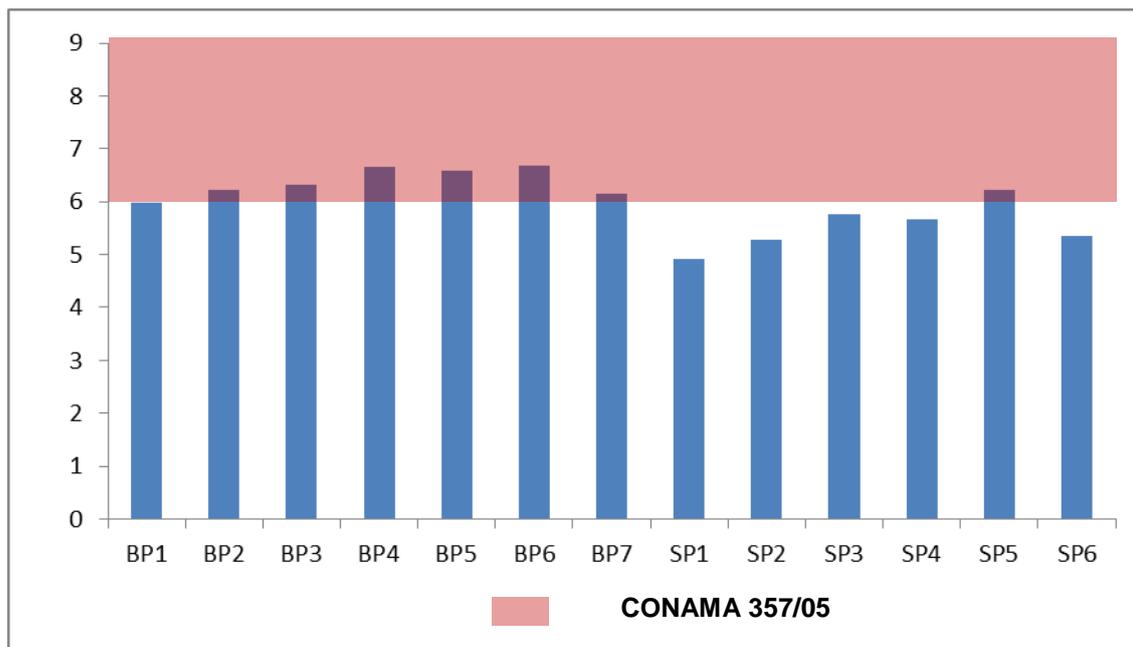


Figura 11: Gráfico de pH dos reservatórios hidrelétricos, onde para o reservatório de Balbina –BP e para o reservatório de Samuel – SP

Os reservatórios em estudo pertencem a mesma bacia hidrográfica (bacia Amazônica), assim apresentam características semelhantes para um ambiente aquático ácido, pois as águas da região em estudo são consideradas ácidas (SIOLI, 1950, CUNHA e PASCOALOTO, 2006 e HORBE, 2008).

5.1.2 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Para verificar as condições naturais da água e detectar os impactos ambientais como eutrofização e a poluição orgânica, foi analisado o Oxigênio Dissolvido – OD nas águas dos reservatórios, outro parâmetro muito importante, para avaliar a qualidade da água nos reservatórios.

Na Figura 12, é possível observar que os pontos BP3, BP4, BP5, BP6 e BP7 apresentam boa oxigenação no reservatório da UHE- Balbina com os valores de $7,32 \text{ mg L}^{-1}$, $7,98 \text{ mg L}^{-1}$, $7,83 \text{ mg L}^{-1}$, $8,08 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,67 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Silva (2012) mostra que os rios de água preta transportam baixas concentrações de nutrientes dissolvidos e de material em suspensão, o que pode justificar o baixo valor nos pontos BP1 e BP2. Pinto (2004) encontrou no rio Negro que também é um rio de águas pretas valores de OD que variam entre 5,9 e 7,0 mg L⁻¹. Podemos observar que o reservatório da UHE-Balbina apresenta uma boa oxigenação.

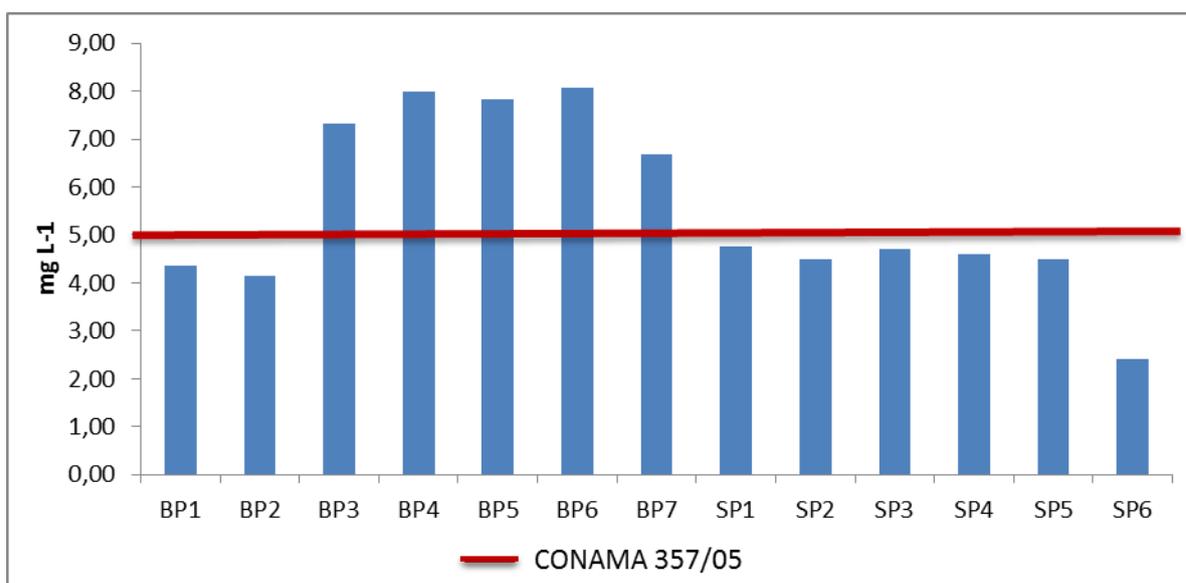


Figura 12: Gráfico das Concentrações de OD nos pontos avaliados nos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina (BP) e Samuel (SP)

A Figura 12, mostra que os valores de OD encontrados no reservatório da UHE-Samuel apresentam pontos com maiores concentração registrados em SP1 e SP3 com resultados de 4,75 mg L⁻¹ e 4,70 mg L⁻¹. De acordo com a resolução CONAMA 357/05 os níveis de OD devem estar acima de 5,00 mg L⁻¹ para águas de classe 2 serem considerados ideais para a qualidade da água (BRASIL, 2005). VIEIRA, (2014) afirma que a presença de concentrações abaixo do limite de referência de qualidade ambiental, é decorrente de variações naturais do ambiente, como maiores temperaturas, podendo seu valor sofrer grandes variações ao longo do dia para as mesmas condições de trofia no corpo d'água (FONSECA, 2010),

maior concentração de sólidos suspensos e turbidez, com acúmulo de matéria orgânica proveniente de vegetação, no período avaliado.

A concentração do oxigênio dissolvido pode ser alterada pela temperatura elevada, que torna os gases menos solúveis e sendo os reservatórios um sistema aberto o oxigênio da água desprende-se para o ar (FIORUCCI e BENEDETTI-FILHO, 2005).

5.1.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, podendo assim representar, uma medida indireta da concentração de poluentes (VERONEZ, 2011). Em geral, níveis superiores a $100\mu\text{S cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados (Figura 13).

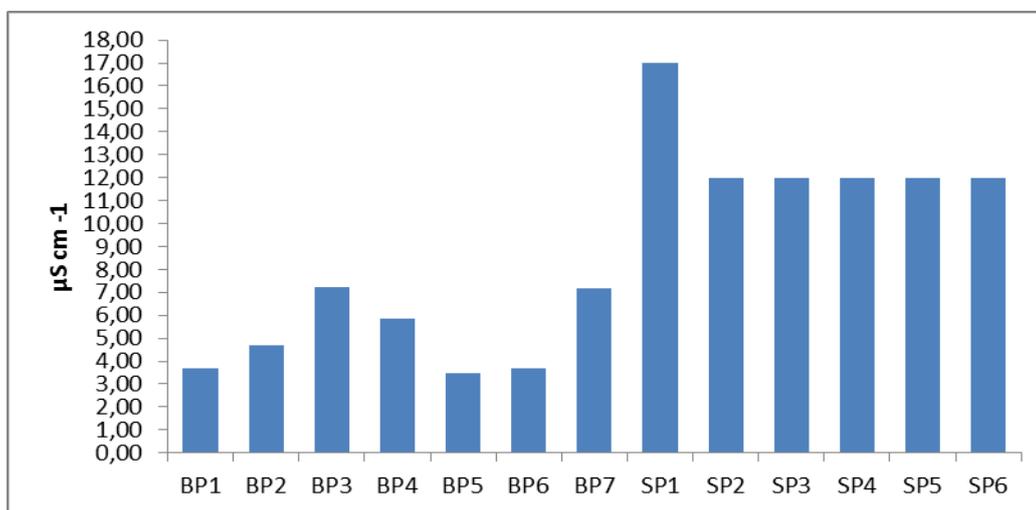


Figura 13: Gráficos dos valores da condutividade elétrica nos pontos estudados

A condutividade elétrica apresentou valores máximos no reservatório de Balbina de $7,22\mu\text{S cm}^{-1}$ no ponto BP3 e o valor mínimo de $3,47\mu\text{S cm}^{-1}$ em BP5. Vieira (2014) encontrou também no reservatório de Balbina, valores entre 2,16 e

10,62 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Para Horbe e Oliveira (2008) os valores de condutividade elétrica representam medidas indiretas da quantidade de íons dissolvidos presentes na água, pelo aporte de soluções mais concentradas em elementos solúveis, em consequência das características dos meios por onde percolam.

O reservatório da UHE-Samuel tem como valor máximo 17 $\mu\text{S cm}^{-1}$ registrado no ponto SP1, porém ela se manteve constante dos pontos SP2 a SP6, respectivamente com 12 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Silva (2012) encontrou nos rios de água clara Tapajós e Arapiuns, uma uniformidade entre si nos dois em relação aos valores de CE com médias de 15,81 e 9,72 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Registros obtidos pela Eletrobrás (2012) indicam valores de 14,06 $\mu\text{S cm}^{-1}$ nas águas do rio Candeias e de 19,09 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Jamari. Esteves (1998) diz que a condutividade elétrica pode ser influenciada pelo transporte de materiais para dentro do reservatório causado pelo escoamento superficial em função da composição dos totais de sólidos suspensos, dependendo ainda da composição iônicas dos corpos d'água. A condutividade da água aumenta à medida que mais sais sólidos dissolvidos são adicionados (CETESB, 2009; BREDA, 2011).

5.1.4 TEMPERATURA

A temperatura é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água, como a solubilidade dos gases dissolvidos. Desempenha um importante papel no controle de espécies aquáticas, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas, podendo ser considerada uma das características mais importantes do meio aquático e seu valor pode variar entre 0°C e 30°C (SILVA *et. al.* 2008; BREDA, 2011) (Figura 14).

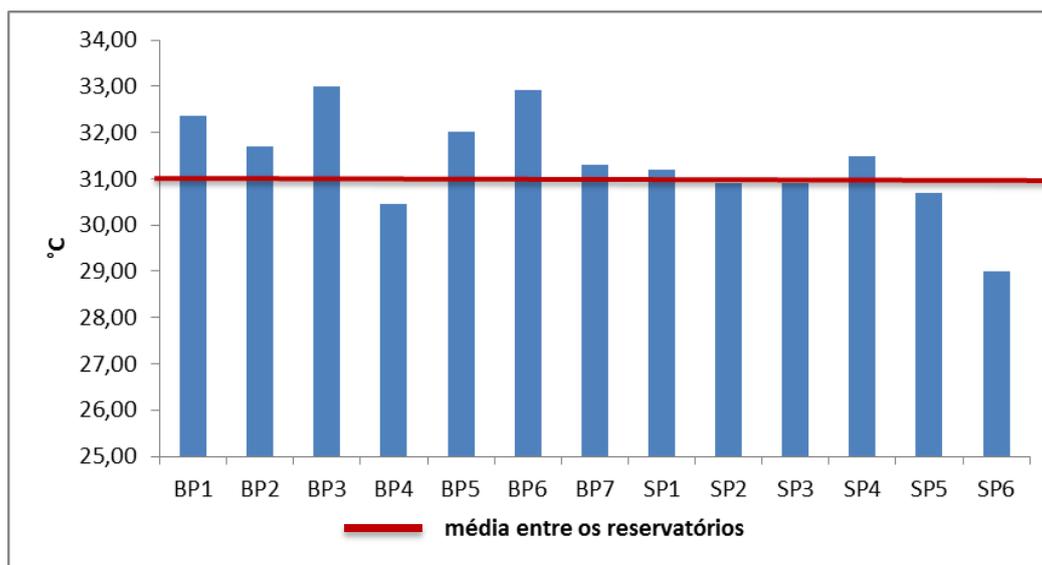


Figura 14: Variação de temperaturas registradas nos reservatórios em estudo

A temperatura de ambos os reservatórios foi elevada com valores máximos que alcançaram os 32,99°C (BP3) e mínimo de 29,00 °C (SP6), os valores mais altos foram registrados nos pontos BP1, BP3 e BP6 no reservatório de Balbina. Silva et. al. (2008) encontrou no rio Purus, rio de água branca sobre influência do rio Amazonas, temperaturas de até 30,2 °C.

Temperaturas medidas no reservatório de São Simão, que apresenta uma grande bacia de drenagem com rios que englobam o estado de Goiás e as principais cidades do triângulo mineiro, apresentaram valores que variam de 23°C a 33°C (FONSECA, 2010). A média entre os reservatórios foi de 31,30 °C.

5.1.5 TURBIDEZ

Para os corpos de água doces de classe II a turbidez indicada pela resolução CONAMA 357/05 para o seu valor máximo permitido é de até 100 UNT, porém é possível observar que em nenhum dos dois reservatórios atingiu este valor, mas observa-se significativa diferença nos níveis entre os reservatórios. A turbidez

referente ao reservatório hidrelétrico de Balbina apresentou variações de 1,64 UNT (BP6) a 2,79 UNT (BP4). Para o reservatório hidrelétrico de Samuel obteve-se variações de 3,95 UNT (SP4) a 19,80 UNT (SP1). Levando em consideração o período de coleta no mês de Setembro, o reservatório hidrelétrico de Balbina obteve menores valores de turbidez que no reservatório hidrelétrico de Samuel (Figura 15).

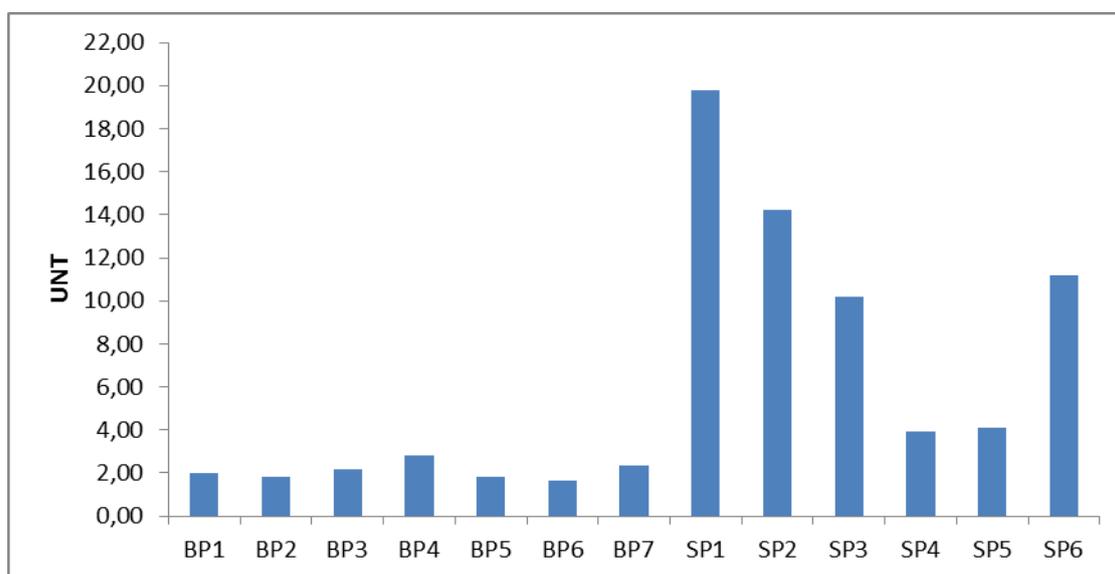


Figura 15: Gráfico da variação dos valores de turbidez encontrados nos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina e Samuel

Para justificar estes resultados no reservatório hidrelétrico de Samuel, ZAN et. al. (2012), afirma que a maioria das águas dos rios brasileiros é naturalmente turva, em decorrência da natureza geológica de sua bacia de drenagem. Havendo também a contribuição das chuvas tropicais que carregam partículas de argila, silte e fragmentos de rocha do solo para os ambientes aquáticos.

5.1.6 SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO

No período avaliado as concentrações de sólidos em suspensão são

menores, devido os sedimentos estarem depositados no fundo do rio. Contudo, visivelmente observado a diferença entre os reservatórios com valores que variam de $1,38 \text{ mg L}^{-1}$ no reservatório hidrelétrico de Balbina e $21,23 \text{ mg L}^{-1}$ no reservatório hidrelétrico de Samuel (Figura 16).

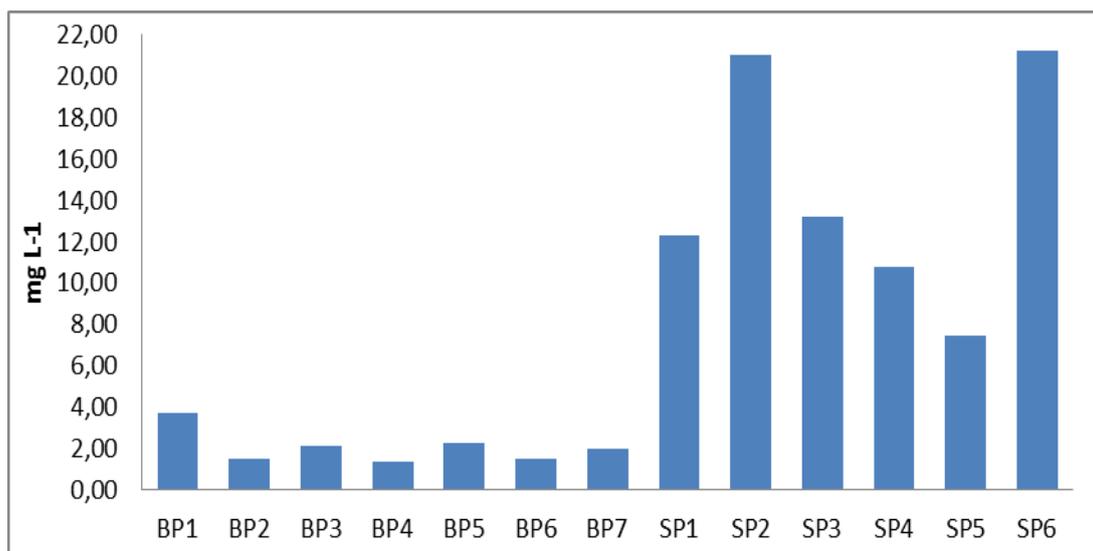


Figura 16: Concentrações de sólidos em suspensão dos Reservatórios Hidrelétricos de Balbina e Samuel

No reservatório Hidrelétrico de Balbina observam-se valores abaixo de $4,00 \text{ mg L}^{-1}$, sendo o valor máximo encontrado de $3,75 \text{ mg L}^{-1}$ em BP1 e mínimo de $2,38 \text{ mg L}^{-1}$ em BP4. Esses valores podem ser justificados pelo fato de o rio Uatumã ser um rio de águas pretas e por isso, não transportam grandes quantidades de sedimentos, a não ser quando recebem afluentes de rios de água branca, como acontece com o rio Negro (IBGE, 1977). Estudos realizados por SILVA (2012) em rios de água preta no Amazonas, registraram sólidos suspensos variando entre $1,4$ a $11,8 \text{ mg L}^{-1}$. O reservatório da UHE-Balbina situa-se num rio de águas pretas, o que significa que possuem pequenas quantidades de sólidos dissolvidos e maior concentração de matéria orgânica dissolvida.

Em relação aos valores registrados no reservatório hidrelétrico de Samuel, pode-se observar que os maiores valores encontrados de 21,03 e 21,23 mg L⁻¹ foram em SP2 e SP6 respectivamente, e valor mínimo de 7,46 mg L⁻¹ em SP5.

5.1.7. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para verificar se os parâmetros analisados aproximavam-se da distribuição normal a um nível de significância (α) de 0,05.

O teste mostrou que os parâmetros pH, OD, CE e temperatura, comportam-se como **normais** ou paramétricos, pois apresentaram um p-valor maior que 0,05. Turbidez e sólidos totais em suspensão ao contrário dos outros parâmetros apresentaram p-valor menor que 0,05, portanto são **não-normais** ou não-paramétricos.

Após verificar a normalidade, foi aplicado os testes de Tukey (normais) e Kruskal-Wallis (não normais) para verificar o comportamento destes parâmetros entre os reservatórios (Tabela 9).

Tabela 9: Teste de Tukey para verificar a diferença entre os reservatórios através dos parâmetros pH, OD,CE, T

	pH	OD	CE	Temperatura
p-valor	0,0018	0,01	1,11E-05	0,027
Diferença	Sim	Sim	Sim	Sim

Para os resultados do teste de Kruskal-Wallis (Tabela 10) nota-se que existe uma diferença significativa entre os reservatórios confirmada pelo p-valor de 0,003.

Tabela 10: Teste de Kruskal-Wallis para verificar se havia diferença entre os reservatórios.

	Turbidez	STS
p-valor	0,003	0,003
Diferença	Sim	Sim

Observa-se que todos os parâmetros de água apresentaram diferença no comportamento dos reservatórios (Figura 17), possivelmente pelos rios que os formam, sofrerem influência da formação geológica comprovado pelos testes estatísticos de Tukey (Tabela 9) e Kruskal-Wallis (Tabela 10).

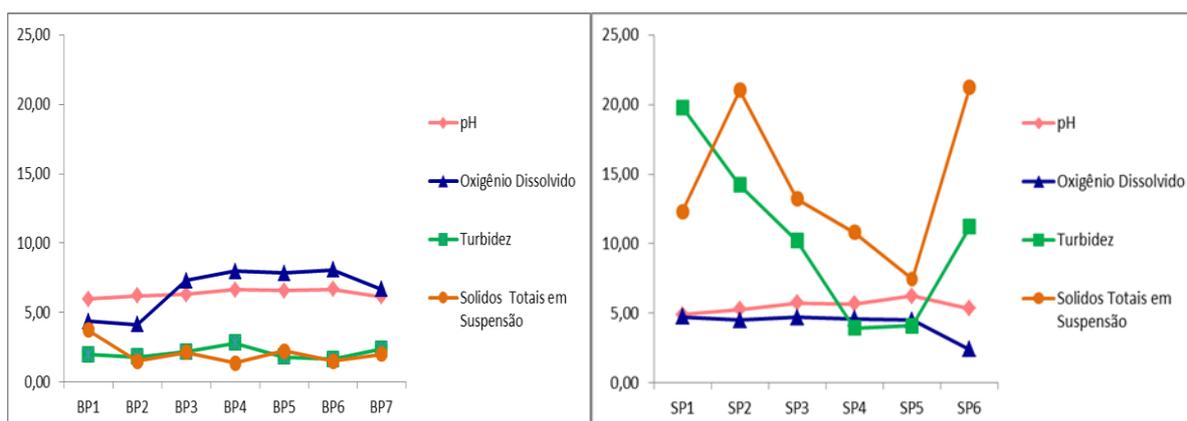


Figura 17: Comportamento dos parâmetros nos reservatórios Hidrelétricos de: a) Balbina e b) Samuel.

5.2. GRANULOMETRIA

Os valores obtidos na determinação granulométrica do sedimento coletado em setembro de 2011 e Setembro de 2014 foram organizados e expostos em um gráfico (Figura 18).

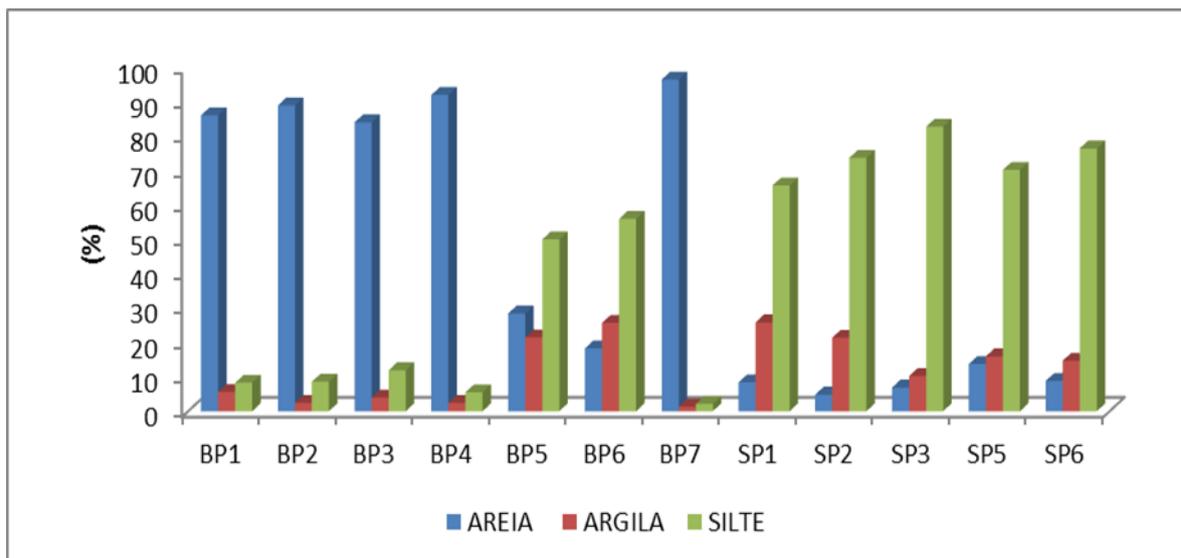


Figura 18: Gráfico da análise granulometria de sedimento de fundo realizada nos reservatórios em estudo

Observou-se que a partir dos dados granulométricos obtidos nos reservatórios das UHE- Balbina e UHE- Samuel, a fração de areia do reservatório hidrelétrico de Balbina varia entre 96,55% (BP7) e 18,3% (BP6) e são maiores que os valores determinados no reservatório hidrelétrico de Samuel variando entre 4,83% (SP2) e 13,74% (SP5).

A fração de argila mostra grande variação ao longo dos pontos de coleta na UHE-Balbina de 1,35% (BP7) e 25,70% (BP6), observa-se ainda que os pontos BP5 e BP6 apresentam predominância de silte e argila e baixo teor de areia percentual de 28,47% e 18,43% respectivamente.

No reservatório da UHE-Samuel observa-se grande variação em relação ao reservatório da UHE-Balbina, pois apresenta predominância de silte e argila e baixo teor de areia percentual para todos os pontos. O valor máximo de silte foi determinado nos pontos SP3 e SP6 com 82,84% e 76,51%, sendo que as frações de argila foram maiores com valores de 25,87% e 21,41% nos pontos SP1 e SP2

(montante). As frações de areia variaram entre 4,83% (SP2) e 13,74% (SP5).

Observa-se, portanto que o reservatório da UHE-Balbina apresenta menor percentual de argila e silte, e maior teor de areia. Os pontos BP5 e BP6 destacam-se em relação aos outros pontos neste reservatório, possivelmente por estes pontos estarem localizados próximos a barragem e ser ali a maior fonte de deposição de sedimentos.

O reservatório da UHE-Samuel apresenta maior percentual de silte e argila. Lopes (2010) afirma que a quantidade de metais está ligada a fração argila e silte do sedimento, principalmente por sua elevada área superficial (menor granulometria) e maior conteúdo de substâncias húmicas. Na fração areia, o conteúdo de metais é bem mais baixo.

5.3. PARÂMETROS QUÍMICOS: METAIS

Os resultados das concentrações de metais analisados nos reservatórios hidrelétricos de Balbina e Samuel podem ser observados na Tabela 13, sendo estes comparados aos valores estabelecidos pela NOAA afim de, identificar algum tipo de contaminação nos ambientes pesquisados.

As concentrações apresentadas referem-se aos metais extraídos do sedimento, esses elementos-traços possuem capacidade em quebrar suas ligações e formar outras ligações com compostos mais estáveis, podendo assim ocorrer maior interação entre o sedimento (fonte de maior concentrações de metais) e a água.

Os três metais mais abundantes foram: Fe, Mn, e Zn, sendo o Fe o de maior concentração média entre eles, e os menos abundantes foram: Ni e Co.

Tabela 11: Concentrações de metais nos reservatórios (mg Kg⁻¹)

PONTOS	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Fe	Pb
BP1	2,52	69,49	185,19	99,19	53,66	1024,47	26599	42,42
BP2	4,47	18,69	42,74	123,28	8,02	95,23	56333	24,5
BP3	ND	81,95	98,68	88,59	41,28	641,32	41616	30,24
BP4	7,19	15,18	19,52	164,65	4,5	116,37	67046	30,9
BP5	7,98	74,93	60,29	399,77	22,6	216,67	73223	ND
BP6	5,2	48,44	18,48	191,45	11,73	87,54	61689	ND
BP7	1,59	36,53	1,43	84,97	1,47	35,11	75988	13,99
SP1	14,34	61,62	14,75	892,58	10,14	135,9	62074	38,49
SP2	12,01	34,86	6,95	1071,36	6,23	82,98	44801	19,89
SP3	92,37	315,07	96,22	4757,86	67,46	590,53	571905	119,88
SP5	0,99	89,02	7,93	359,83	9,13	66,67	123768	26,26
SP6	3,79	22,73	ND	133,56	3,14	40,03	15983	17,8
*Tel	-	37,30	35,70	-	18,00	123,10	-	35,00
*Pel	-	90,00	197,00	-	35,90	315,00	-	91,30

ND – Não Detectado

* Critérios de qualidade de sedimentos propostos pela NOAA (2008).

TEL (Threshold Effect Level) = Nível Limiar de Efeitos Adversos (efeitos possíveis);

PEL (Probable Effect Level) = Nível de Efeitos Adversos Prováveis (efeitos prováveis);

(-) não existe critério para este parâmetro.

As maiores concentrações de Fe foram encontradas a montante do Reservatório de Samuel, sendo provavelmente uma influência natural devido ao fato deste metal compor o solo da região, tendo em vista que Carvalho (2011) também determinou altas concentrações de Fe em Rondônia, Estado onde se situa o reservatório da UHE-Samuel, entretanto em solos de terra firme na região de Morrinhos (2103,63 a 67869,41 mg Kg⁻¹). Segundo Lopes (2010), os sedimentos da região amazônica são formados pelos minerais caulinita, goethita, feldspatos, gibsitita que são ricos em Fe e Al.

No reservatório da UHE-Balbina as concentrações de Fe variaram de 26599 – 75988 mg Kg⁻¹. Albuquerque *et al.* (2013), realizaram um estudo no entorno do reservatório de Balbina sobre as condições dos riscos erosivos e determinaram em suas análises uma estrutura tipicamente conhecida como superfície de Laterização, derivada da ação intempérica local e de concentrações elevadas de Ferro, o que mostra a ocorrência natural de altos valores de Fe neste reservatório.

Outros metais que chamam a atenção são o Zn e Mn, com valores elevados em relação aos outros metais, nos dois reservatórios. O zinco é encontrado na natureza principalmente sob a forma de sulfetos mineralizados e pode sofrer grandes transformações, levando à formação de óxidos, carbonatos e silicatos (GOMES, 2010).

O ponto BP1, apesar de ser o ponto coletado mais a montante do reservatório apresentou concentrações elevadas TEL para alguns metais (Cr, Cu, Ni, Zn e Pb). Contudo, o ponto com maiores concentrações de metais no reservatório da UHE-Balbina foi BP3, escolhido com maior proximidade de influência antrópica, com proximidades à comunidade Rumo Certo.

O Zn no Reservatório da UHE-Balbina tem concentrações que variam de 35,11 – 1024,47 mg Kg⁻¹, com valor máximo registrado a montante (BP1, BP3 e BP5) e menor valor a jusante (BP7) do reservatório. O baixo valor a jusante pode ser devido à abertura das comportas influenciarem no fluxo d'água evitando uma alta taxa de sedimentação e possível acúmulo desse elemento no ponto (BP7) amostrado.

Na UHE-Samuel as concentrações de Zn variaram de 40,03 - 590,53 mg Kg⁻¹, obtendo-se os maiores valores a montante do reservatório (SP1 e SP3), onde no

entorno dessa área há evidências do uso da terra para a agricultura e pecuária, além da existência de transportes fluviais, locais recreativos e do transporte constante de veículos ao longo da rodovia a margem da barragem, ocasionando assim maior liberação de materiais particulados.

Na Tabela 11, é possível verificar que a maioria dos pontos estão acima do limite de referência estabelecido pela NOAA (TEL) para as concentrações de Cr, com exceção dos pontos BP2 e BP4 da UHE-Balbina e SP2 e SP6 da UHE-Samuel. Para os metais Cu, Ni, Zn e Pb também acima dos limites de referência da NOAA (TEL), houve uma variação nos pontos da UHE-Balbina (BP1, BP3 e BP5) e nos pontos da UHE-Samuel (SP1 e SP3), possivelmente por haver algum tipo de contribuição antrópica. Os valores acima dos limites da NOAA indicam que está havendo uma grande influência no entorno destes reservatórios, que pode ser decorrente da industrialização, do sistema portuário ou turismo, despejos domésticos e lançamentos de efluentes.

No reservatório da UHE-Samuel as concentrações de Mn são superiores aos do reservatório da UHE-Balbina, com valores que variam de 133,56 mg Kg⁻¹ (SP6) a jusante e 4757,86 mg Kg⁻¹ (SP3) a montante como pode ser observado (Tabela 11). Não podemos dizer que estes valores estão acima ou abaixo com base nos valores de referências da NOAA, tendo em vista que não foi estipulado critérios para este parâmetro.

As menores concentrações de Co foram determinadas no reservatório da UHE-Balbina com variação de 1,59 a 7,58 mg Kg⁻¹, no reservatório da UHE-Samuel as concentrações variam de 0,99 a 92,87 mg Kg⁻¹. Os teores de Co são confirmado por Siqueira et. al. (2006), que determinou na região da bacia Amazônica teores de

Co que variam de 4,60 a 7,02 mg Kg⁻¹ comprovando a baixa biodisponibilidade deste metal nas regiões em estudo.

Vale ressaltar que o ponto SP3 na UHE-Samuel apresentou teores mais altos em relação a UHE-Balbina para todos os metais, possivelmente por nesta região haver grandes influências antrópicas (rodovia, atividades recreativas, transporte fluvial, etc.), além da degradação dos destroços de uma ponte metálica, em que os elementos metálicos componentes vão sendo liberados em forma de íons e carreados pelas correntes.

5.3.1 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS

Os testes de normalidades de Shapiro-Willk entre os reservatórios para os metais estudados apresentaram uma distribuição não-normal ($p < 0,05$). Diante da anormalidade foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 12) para verificar se havia diferença entre os reservatórios ($p < 0,05$).

Tabela 12: Teste de Kruskal – Wallis para verificar a diferença entre os reservatórios para os metais em estudo

	Co	Cr	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Cu
p-valor	0,223	0,464	0,686	0,371	0,028	0,807	0,371	0,122
Diferença	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não

O teste mostra que apesar da diferença no valor numérico entre as concentrações dos metais Co, Cr, Fe, Pb, Ni, Zn e Cu, estatisticamente esses dados tem a mesma variação dentro do conjunto dos dados. Para o Mn o teste de Kruskal-Wallis sugere que há uma possível diferença na fonte deste metal entre os reservatórios, visto que houve diferença estatística entre os conjuntos de valores. Entretanto não há como aprofundar a discussão pela falta de dados de solos no

O reservatório hidrelétrico de Balbina (Tabela 13) apresenta alta correlação entre a maioria dos metais, com correlação positiva entre Co, Fe e Mn; Cr, Ni, Zn e Cu, podendo estas correlações sugerir que os metais analisados estão associados às superfícies de argilominerais que constituem o sedimento. No entanto, os metais que apresentam correlação inversa com o Fe: Cr, Pb, Zn e Cu; e com o Pb: Mn e Co, possivelmente não possuem a mesma fonte de origem.

Fernandez (1994) afirma que os elementos metálicos podem chegar aos ambientes lagunares por diversas formas de transporte e estes transportes podem ocorrer através da descarga fluvial, por deposição atmosférica ou mesmo por percolação de água a partir do lençol freático.

Tabela 14: Matriz de correlação de Spearman para os metais analisados no reservatório da UHE-Samuel.

Matriz de Correlação: Spearman								
	Co	Cr	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Cu
Co	1,000	0,400	0,400	0,700	0,800	0,700	0,900	0,700
Cr		1,000	1,000	0,900	0,600	0,900	0,700	0,900
Fe			1,000	0,900	0,600	0,900	0,700	0,900
Pb				1,000	0,700	1,000	0,900	1,000
Mn					1,000	0,700	0,900	0,700
Ni						1,000	0,900	1,000
Zn							1,000	0,900
Cu								1,000

A Matriz de correlação de Spearman para o reservatório hidrelétrico de Samuel (Tabela 14) mostra que a maioria dos metais apresenta alta correlação, provavelmente por serem originados da mesma fonte. O Fe, no entanto, apesar de altas concentrações como observado na Tabela 11, possui apenas alta correlação com quatro dos oito metais analisados, possivelmente por haver outra fonte deste metal no meio ambiente.

Os sedimentos de fundo, assim como o material em suspensão, estão em

constante interação com a água, havendo frequentes trocas iônicas e dependendo das mudanças das condições físico-químicas do ambiente, podem conduzir a sorção ou a liberação de contaminantes para o meio aquoso, tendo em vista a fraqueza das ligações dos elementos metálicos (especialmente os de origem antropogênica) com as frações mais finas (RAMOS, 2007).

A presença de metais no lago do reservatório pode ser proveniente de esgotos urbanos não tratados que são descarregados nos rios e da atividade agrícola limitada - principalmente a pecuária. As emissões veiculares e a presença de elementos tóxicos em combustíveis agem como grandes causadores da poluição ambiental, o que desperta preocupações em relação à saúde humana (VAROL, 2011).

6. CONCLUSÕES

A comparação entre os reservatórios foi satisfatória podendo observar a contaminação nesses ambientes bastante impactados e a contribuição com obtenção de dados para estudos futuros sobre estes ambientes.

Com base nos resultados obtidos nas análises de água e sedimentos conclui-se que o reservatório de Balbina, possui águas ácidas com pH variando entre 5,99 (BP1) e 6,68 (BP6), baixa condutividade elétrica, turbidez e pouco material em suspensão. O OD mostrou-se dentro dos limites do CONAMA357/05. A temperatura medida foi elevada com resultados entre 31,3°C e 32,99°C, essa temperatura pode influenciar nos os processos físicos, químicos e biológicos da água.

O reservatório de Samuel apresenta uma variação em níveis de contaminação maiores que o reservatório de Balbina. Os resultados dos parâmetros físicos e químicos da água, mostram que o reservatório possui uma água ácida com pH variando entre 4,9 (SP1) e 6,2 (SP5), a condutividade elétrica, turbidez e sólidos totais em suspensão e OD apresentam maior diferença em suas concentrações em relação ao reservatório de Balbina.

O reservatório da UHE-Balbina pode ser considerado não poluído para os parâmetros de água e os metais Fe, Co, Pb e Mn, que encontram-se dentro do limite previsto pelo CONAMA 357/05 (água) e NOAA (sedimentos).

Verifica-se ainda um ambiente moderadamente poluído em relação aos metais Cr, Cu, Ni e Zn que aparecem em níveis acima dos previstos pela agência fiscalizadora NOAA para a maioria dos pontos.

A análise granulométrica evidencia um alto percentual de areia na maioria dos pontos do reservatório de Balbina, com exceção dos pontos BP3 e BP5 situados próximos a barragem que apresentam maior percentual de silte e argila. No reservatório de Samuel ocorre um aumento no percentual de silte e argila para todos os pontos, exceto no ponto SP3 em que a fração de silte é maior que nos outros pontos, o que confirma os resultados obtidos pelas análises para a quantificação desses elementos-traços, pois, os metais acumulam-se nas frações de silte e argila do sedimento por haver um maior contato na área superficial deste elemento.

Os pontos que apresentam maior diferença nos resultados de granulometria possuem altos teores das concentrações dos metais Cr, Cu, Ni, Zn e Fe ultrapassando o limite estipulado (TEL) da NOAA o que confirmam a teoria de Lopes (2010) de que os metais acumulam-se nas frações de silte e argila.

Possivelmente o aumento desses elementos no sedimento esteja ocorrendo por ação antrópica ou por características dos rios e presença de matéria orgânica natural, resultado da degradação da vegetação nestes ambientes lênticos e as constantes queimadas que ocorrem na região podem estar influenciando no aumento da concentração desses elementos-traços por deposições de material particulado na coluna d'água e conseqüentemente no sedimento.

Tais fatos podem estar associados por pertencerem à mesma bacia hidrográfica, e por nessa região predominar uma temperatura mais elevada principalmente no período de coleta (Setembro).

A correlação entre os metais Fe (Cr, Pb, Zn e Cu) e Pb (Mn e Co) indica que exista outra fonte de origem destes elementos. Este reservatório apresenta alta correlação entre a maioria dos metais presentes o que sugere que possam estar associados a superfície de argilomineral que constituem o sedimento.

Verificou-se ainda a influência no comportamento dos parâmetros pH, OD, CE e T através do teste de Tukey e turbidez, STS e metais através do teste de Kruskal-Wallis. Nota-se que há uma diferença para os parâmetros de água, provavelmente por estes reservatórios pertencerem a rios com características diferentes e influencia geológica de cada região; para os metais apenas o Mn apresenta diferença, o que sugere uma diferença na fonte desse metal.

Não foi possível identificar a origem de alguns elementos como o Pb, Mn e Ni, sabendo-se que no entorno de ambos os reservatórios foram bastante influenciados por atividade mineradora, enfatizando a importância desse estudo para aumentar a quantidade de registros científicos desses ambientes.

Observa-se ainda que os pontos a jusante dos reservatórios BP7 e SP6

apresentaram, em geral, menores concentrações de metais nos sedimentos, em relação aos demais pontos estudados dentro dos reservatórios, indicando, portanto, possível retenção dos metais dentro do reservatório devido ao tempo de residência da água dentro do reservatório, proporcionando assim a deposição dos metais nos sedimentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: < <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: maio 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). Bacia do Rio Amazonas: Características Físicas. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=105>. Acesso em: Janeiro 2014.

ALBUQUERQUE, A. R. C; CHATEAUBRIAND, A. D; PEREIRA, M. C. M; ROCHA, J. C. F; NOGUEIRA, L. D; CARTAXO, E. F. Análise das condições do risco erosivo no entorno do reservatório de Balbina – AM. XIII Safety, Health and Environment World Congress. Portugal, 2013.

AMARAL, A. A.; PIRES, S. C.; FERRARI, J. L. Qualidade da água e do sedimento de fundo de alguns córregos do município de Castelo, estado do Espírito Santo. Rev. Agro@mbiente. V.8. nº 2. p. 194 – 203. 2014.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Relatório Executivo. Plano Nacional de Integração Hidroviária. Bacia Amazônica. Disponível em: <[http:// www.antaq.gov.br/portal/PNIH/BaciaAmazonica.pdf](http://www.antaq.gov.br/portal/PNIH/BaciaAmazonica.pdf)>. Acesso em: Outubro 2015.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 ed., 2012.

ARNASON, J. G.; FLETCHER, B. A. A 40+ year record of Cd, Hg, Pb, and U deposition in sediments of Patroon Reservoir, Albany Country, NY, USA. *Environmental Pollution*. V. 123, p. 383-391, 2013.

BASTOS, R. K. X. Impactos da construção de centrais hidrelétricas relacionados com a água: pressupostos para a avaliação e proposição de medidas mitigadoras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 1., 1998, Poços de Caldas. Anais. São Paulo: CMGB, p.63-75, 1998.

BELO, A.; QUINÁIA, S.P.; PLETSCHE, A. Avaliação da Contaminação de Metais em Sedimentos Superficiais das Praias do Lago de Itaipu. *Química Nova*, vol.33. nº3.613 – 617, 2010.

BERMANN, C. Exportando a nossa natureza - produtos intensivos em energia: implicações sociais e ambientais. Rio de Janeiro: FASE, 2004.

BUCHMAN, M. F., NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OE&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages. 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética Nacional 2030. Brasília, 2007. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030>> acesso em: Dezembro 2014.

_____. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Resenha mensal do mercado de Energia. Ano VII. nº74. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Search/Results.aspx?k=resenha%20mensal&s=All%20Sites>> . Acesso em Dezembro 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em Dezembro 2013.

BREDA, L. S. Avaliação espaço – temporal da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado). UFMG, 294f. Minas Gerais, 2011.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA Jr, N. P.; SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. - Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios Brasília-DF: ANEEL, 185p. 2000.

CARVALHO, D. P. Quantificação de Elementos traços em diferentes solos na área de influência do futuro reservatório da usina hidrelétrica de Santo Antônio, Porto Velho – RO. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – UFRO. Porto Velho – Rondônia, 2011.

CARVALHO, J. F.D; SAUER, I.L. Um Sistema Interligado Hidroelétrico para o Brasil. Estudos Avançados. 27 (77), 2013.

CAVALCANTE, Y.L., HAUSER-DAVIS, R.A., SARAIVA, A.C.F, BRANDÃO, I.L.S., OLIVEIRA, T.F. SILVEIRA, A.M. Metal and physico-chemical variations at a hydroelectric reservoir analyzed by Multivariate Analyses and Artificial Neural Networks: Environmental management and policy/decision-making tools . Science of The Total Environment, Vol.442, 509-514, 2013.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Brasil). Eletronorte. Plano de Atividades do Programa de Limnologia e Qualidade da água; Consolidação dos dados limnológicos medidos na área de influência da UHE Samuel – ano de 2011. 25p. ELETROBRAS, 2012.

_____. Relatório de Sustentabilidade do Sistema Eletrobrás 2010. Brasília: ELETROBRAS, 2010.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. São Paulo: CETESB, 528 p. 2009.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Manual de Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido, versão 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf>. Acesso em: Junho 2015.

CUNHA. H.B.; PASCOALOTO, D. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de Estado da Cultura, Centro Cultural dos Povos da Amazônia. Série Pesquisas, 127pp. 2006.

EBRAHIMPOUR, M.; MUSHRIFAH, I.. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. *Environ Geol.* v. 54, p. 689–698. 2008.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análises de Solo e Planta. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, p.212, 1999.

EPA. Environmental Protection Agency United States. Method 3050 B. 1996. Disponível em: <
<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>> .Acesso em: Janeiro 2014.

ELDER, J.F.. Metal Biogeochemistry in Surface-Water Systems - A Review of Principles and Concepts. U.S. Geological Survey Circular 1013,1988.

ESTEVEES, F. A. Fundamentos de Liminologia. 2.ed. - Rio de Janeiro: Interciência, 602p. **1998**.

ESTEVEES, F. A. Limnologia. Rio de Janeiro: INEP: Interciência. 602p. 2011.

FEARNSIDE, Philip M. A Hidrelétrica de Balbina – O Faraonismo Irreversível Versus o Meio Ambiente na Amazônia. Instituto de Antropologia e Meio Ambiente, São Paulo (Estudos IAMÁ 1). 1990.

FEARNSIDE, P. M. Hidrelétricas como fábricas de metano: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecol. Bras.*,12(1):100-115, 2008.

FIORUCCI, A. R; BENEDETTI-FILHO, E. Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. *Química Nova Interativa*. Disponível em: <<http://qnit.sbq.org.br/qni/visualizartema.pHd?idtema = 20>> . Acesso em Março 2015.

FONSECA, G. A. B. D.; Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: o Caso da Usina Hidrelétrica de São Simão - GO/MG. Dissertação (Mestrado em Ciências). UFRJ/COPPE/. Rio de Janeiro, 2010.

FÖSTNER, U. G.; WITTMANN, G. T. W. *Metal Pollution in the Aquatic Environmental*, Springer-Verlag: Berlin, 1981.

GINÉ-ROSIAS, M. F. Espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES). Piracicaba: CPG/CENA, 1998.

GIBBS, R. J. The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geology Society of America Bulletin*, v.78, p.1203–1232, 1967.

GUILHERME, L.R.G. et al. Elementos-traço em Solos e Sistemas Aquáticos. *Tópicos em Ciências do Solo*, v. 4, p. 345-390, 2005.

GOMES, M. V. T.; COSTA, S. A.; GARCIA, C. A. B.; PASSOS, E. A.; ALVES, J. P. H. Concentrações e associações geoquímicas de Pb e Zn em sedimentos do rio São Francisco impactados por rejeitos da produção industrial de zinco. *Química Nova*, vol.33, n.10, pp. 2088-2092. ISSN 0100-4042. 2010.

HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil. *Acta Amazonica*, vol.38, n.4, pp. 753-759. ISSN 1809-4392. 2008.

HOLANDA, I. B. B. Investigação das Concentrações de Mercúrio no Tecido Muscular e Hepático de Peixes (UHE-Samuel/Rondônia). 38 p., Porto Velho, 2008.

HUERTOS, E. G.; BAENA, A. R. Contaminacion de solos por metales pesados. *Revista de la sociedade espanola de mineralogia*, n. 10, p. 48-60, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: região norte. IBGE, Rio de Janeiro, vol. I. 123-125. 1977.

JUNK, W.J. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. *Acta Amazônia*. 9, pp. 37-51. 1983.

KRISHNA, A. K., SATYANARAYANAM, M., GOVIL, P. K.; Assessment of heavy metal pollution in Walter using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India. *Journal of Hazardous Materials*, 167, p. 366 – 373, 2009.

LI, S.;ZHANG, Q.; Spatial characterization of dissolved trace elements and heavy metals in the upper Han River (China) using multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 176, p. 579 – 588, 2010.

LOUREIRO, D.; FERNANDEZ, M.; HERMS, F.; LACERDA, L.D. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. *Oecologia Australis* 16 (3), 353 – 364, 2012.

LUOMA, S. N.; RAIMBOW, P. S. *Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral management*. Cambridge University. 573p. 2008.

MANAHAN, S. E. 1993. *Environmental Chemistry*. 7nd ed. Lewis Publishers. Londres, 1983, p. 374-475.

MAGALHÃES, S.C.G. Estudos dos impactos sociais e ambientais dos projetos hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio – Reflexões Preliminares. Mestrado em desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho. 2006.

MIDIO, A. F.; Martins, D. I. *Toxicologia de Alimentos*. São Paulo: Varela Editora e Livraria LTDA, 2000.

MORETTO, E.M.; GOMES, C.S.; ROQUETTI, D.R.; JORDAO, C.O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. *Ambiente e Sociedade*. vol.15, n.3, pp. 141-164. 2012.

MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C.. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. Universitas: Ciências da Saúde, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006.

NOAA – NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC AMERICAN . Disponível em: <<http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf>> . Acesso em Junho 2015.

NOVOTNY, V. Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In Heavy Metals: Problems and Solutions. Eds. Salomons, W, Förstner, U, Springer-Verlag, Berlin, 1995, 33- 52.

OLIVEIRA, T. C. S. Caracterização de marcadores moleculares e uso de diferentes proxies para o estudo do registro de combustão em sedimento na Amazônia Central (Coari-Manaus). Programa de Pós-Graduação em Química da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 193 f. 2007.

OLIVEIRA, G. R. F. Estudo dos teores e da bioacumulação de metais traço em tecido de peixes capturados no reservatório da hidrelétrica de Tucuruí-PA. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Pará, Belém, 22-36; 116-125 p. 2008.

PAPAFILIPAKI,A.K; KOTTI, M. E; STAVROULAKIS G.G. Seasonal Variations in dissolved heavy metal in the Keritis River, Chania, Greece. Globo Nest Journal. vol 10 n°3. 320-325. 2008.

PEREIRA, J. C.; GUIMARÃES-SILVA, A. K.; NALINI JÚNIOR, H. A.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J. C. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos-traço em sedimentos superficiais. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1249- 1255, 2007.

PINTO, A.G.N. Geoquímica dos sedimentos do rio negro na orla de Manaus/Am. Dissertação (Mestrado em geociências) – ICE/ Departamento de Geologia. UFAM, 100p. Manaus. 2004.

PORTAL ACTION. Equipe Estatcamp (2014). Software Action. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. Disponível em :<<http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em julho 2015.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.; MOURA, C. A. V. Hidroquímica do rio Solimões entre Manacapuru e Alvarães – Amazonas – Brasil. *Acta Amazonica*. v. 39 (4). p. 943-952, 2009.

QUEIROZ, A. R. S.; MOTTA-VEIGA, M. Análise dos impactos sociais e à saúde de grandes empreendimentos hidrelétricos: lições para uma gestão energética sustentável. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.17, n.6, p.1387-1398, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600002>>. Acesso em 23 de janeiro de 2015.

ROCHA, J. C.F. Procedimentos Metodológicos de intervenção para caracterização de comunidades-piloto visando a gestão integrada de reservatórios de hidrelétricas na Amazônia. Dissertação (Mestrado). 220p. UFAM. Manaus, 2013.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C.; Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M. E. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq; FAPESP, Potafos, 599p. 2001.

SALGADO, P. E. T. Toxicologia dos metais. In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo, cap. 3.2, p. 154-172. 1996.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. Acta Amazônica, v.38, p.733-742, 2008.

SILVA, A.P.S.; DIAS, H.C.T.; BASTOS, R.K.X.; SILVA, E.. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. Rev. Árvore [online]. vol.33, n.6, pp. 1063-1069. ISSN 0100-6762. 2009

SILVA, L. M.; Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 108p. 2012.

SIOLI, H. Das Wasser in Amazonasgebiet. Forschung Fortschritt, 26: 274-280, 1950.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: hydrogeography, morphology of the river courses and river types. In: Sioli, H. (ed.) The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. p. 127-165. 1984.

SILVA, M. S. R.; CUNHA, H. B. ; MIRANDA, S. A. F. ; Santana, G.P. ; PASCOALOTO, D. . Química das Águas de Superfícies dos Rios da Bacia Amazônica: Uma Contribuição para Classificação de Acordo com seus Usos Preponderantes. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió, 2011.

SIQUEIRA, Gilmar Wanzeller; PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro and APRILE, Fábio Marques. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. Acta Amazônia. 2006, vol.36, n.3, pp. 321-326. ISSN 1809-4392.

SOARES, H. M. V. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; MACHADO, A. A. S. C.; ESTEVES da SILVA, J. C. G. Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave River Basin (Portugal): multivariate analysis of data. Environmental Pollution, v. 105, p. 311-323, 1999.

SKOOG, D. A; WEST, D. M; HOLLER, F. J; CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica. Tradução Marco Grassi, revisão técnica Celio Pasquimi. São Paulo, Cengage Learning, 2006.

TAVARES, S. R. L. Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados. Conceitos e fundamentos. Rio de Janeiro/RJ. 147p. 2013.

VAROL, M.; Assessment of heavy metal contamination in sediments of de Tigris Rivers (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. Journal of Hazardous Materials, 195, p. 355-364, 2011.

VAROL, M.; Dissolved heavy metal concentrations of the kralkizi, Dille and Batman dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Chemosphere* 93, p. 954-962, 2013.

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 Ocidental. 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico – UFES. Vitória , 2011.

VIEIRA, D.O. Estudo da presença de Hidrocarbonetos alifáticos em sedimentos de fundo do reservatório da hidrelétrica de Balbina. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia). UFAM, 97f. Manaus, 2014.

YAMASOE, M. A; ARTAXO, P; MIGUEL, A. H; ALEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water – solubles species and traces elements. *Atmospheric Environment*. 34, 1641 – 1653, 2000.

ZAN, R. A; ANDRÉ, A.P.A; COUTINHO, A.P.M; BARBOSA, N.V; BRODANI, F.M.M; MENEGUETTI, D.U.O. Avaliação da qualidade das águas superficiais do rio Jamari na região de uma construção de uma PCH no município de Monte Negro-Rondônia, Amazônia Ocidental. *Rev. Eletr. Em Gestão e Tecnologia Ambiental*. V (8). nº 8. p. 1876-1888, 2012.

APENDICE - A

Tabela 15: Concentrações de elementos traços nos reservatórios da UHE-Balbina e UHE-Samuel em mg Kg⁻¹

	Co		Cr		Fe		Pb		Mn		Ni		Zn		Cu	
	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV
BP1	2,519	0,26	69,490	0,10	26599	0,20	42,421	0,12	99,186	0,09	53,656	0,25	1024,471	0,67	185,194	0,008
BP2	4,475	0,34	18,689	0,26	56333	12,79	24,498	3,33	123,281	0,60	8,019	0,09	95,229	2,71	42,738	0,71
BP3	N.D.***	-	81,951	0,08	41616	64,97	30,237	0,31	88,591	1,16	41,284	0,02	641,315	0,74	98,676	0,37
BP4	7,189	0,13	15,176	0,42	67046	9,41	30,896	1,21	164,647	0,71	4,501	0,31	116,367	3,61	19,521	0,25
BP5	7,983	0,41	74,931	0,28	73223	49,71	N.D.	-	399,774	3,70	22,598	0,14	216,669	1,25	60,289	0,31
BP6	5,204	0,32	48,440	0,33	61689	51,13	N.D.	-	191,449	2,63	11,730	0,25	87,538	0,56	18,478	0,82
BP7	1,588	0,38	36,527	0,25	75988	33,12	13,987	5,48	84,967	0,73	1,470	0,16	35,110	0,73	1,431	0,15
SP1	14,343	0,25	61,625	0,07	62074	17,30	38,489	0,59	892,577	0,39	10,136	0,02	135,904	0,46	14,751	0,001
SP2	12,013	0,39	34,856	0,38	44801	43,98	19,886	3,92	1071,359	0,10	6,226	0,12	82,976	0,43	6,955	0,003
SP3	92,368	0,35	315,073	0,49	571905	13,05	119,879	0,82	4757,862	5,65	67,458	0,20	590,534	0,75	96,222	0,003
SP5	0,987	0,59	89,015	1,09	123768	8,98	26,258	1,19	359,827	0,43	9,127	0,15	66,672	0,72	7,935	0,32
SP6	3,787	0,19	22,734	0,30	15983	1,47	17,804	0,14	133,561	3,19	3,145	0,23	40,032	0,29	N.D.	-

*X = Média ; **DV= Desvio Padrão *** Valores abaixo do limite de detecção do método.

Tabela 16: Resultados de pH, CE, OD, turbidez, temperatura, STS e os valores de referência do CONAMA 357/05 para o reservatório da UHE-Samuel

	pH		OD (mg L ⁻¹)		CE (µS)		Temp. (°C)		Turb. (UNT)		STS (mg L ⁻¹)	
	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV
SP1	4,908	0,270	4,750	0,218	17,000	0,470	31,200	0,208	19,800	0,153	12,330	0,003
SP2	5,268	0,236	4,500	0,000	12,000	0,243	30,900	0,173	14,200	0,252	21,033	0,022
SP3	5,756	0,266	4,700	0,153	12,000	0,600	30,900	0,289	10,200	0,306	13,230	0,011
SP4	5,674	2,005	4,600	0,000	12,000	0,507	31,500	0,100	3,950	0,095	10,800	0,014
SP5	6,230	6,244	4,500	0,000	12,000	0,600	30,700	0,100	4,115	0,035	7,467	0,005
SP6	5,343	0,125	2,400	0,000	12,000	0,702	29,000	0,153	11,200	0,361	21,230	0,011
CONAMA 357/05	6 a 9		≥ 5		-		-		Max. 100		-	

*X = Média ; **DV= Desvio Padrão

APENDICE - B

Tabela 17: Resultados de pH, CE, OD, turbidez, temperatura, STS e os valores de referência do CONAMA 357/05 para o reservatório da UHE-Balbina

	pH		OD (mg L ⁻¹)		CE (µS)		Temp. (°C)		Turb. (UNT)		STS (mg L ⁻¹)	
	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV	*X	**DV
BP1	5,99	0,10	4,36	0,24	3,67	1,15	32,37	0,25	1,97	0,03	3,75	0,54
BP2	6,21	0,10	4,14	0,39	4,67	1,15	31,7	0,61	1,81	0,02	1,50	0,58
BP3	6,32	0,07	7,32	0,15	7,22	1,35	32,99	0,43	2,16	0,03	2,15	0,31
BP4	6,65	0,24	7,98	0,54	5,86	3,21	30,45	0,09	2,79	0,06	1,38	0,48
BP5	6,59	0,10	7,83	0,31	3,47	1,32	32,03	0,15	1,81	0,02	2,25	1,26
BP6	6,68	0,05	8,08	0,07	3,67	0,58	32,93	0,38	1,64	0,03	1,50	0,00
BP7	6,14	0,18	6,67	0,10	7,17	0,29	31,3	0,20	2,36	0,02	2,00	0,71
CONAMA 357/05	6 a 9		≥ 5		-		-		Max. 100		-	

*X =Média ; **DV= Desvio Padrão

Tabela 18: Análise granulométrica do sedimento de fundo coletado nos reservatórios da UHE-Balbina e UHE-Samuel

	AREIA	ARGILA	SILTE
BP1	86,130	5,590	8,280
BP2	89,000	2,400	8,600
BP3	84,110	3,950	11,940
BP4	92,100	2,400	5,500
BP5	28,470	21,510	50,020
BP6	18,300	25,700	56,000
BP7	96,550	1,350	2,100
SP1	8,380	25,870	65,750
SP2	4,830	21,410	73,760
SP3	6,910	10,250	82,840
SP5	13,740	15,990	70,270
SP6	8,810	14,680	76,510

BP = Pontos da UHE-Balbina ; **SP**= Pontos da UHE-Samuel