



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DE NOVA PONTE (MG) E SUA RELAÇÃO COM O VOLUME DE
ÁGUA DO RESERVATÓRIO

GABRIELA RODRIGUES BARROSO

BELO HORIZONTE

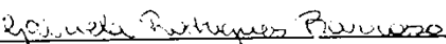
2016

GABRIELA RODRIGUES BARROSO

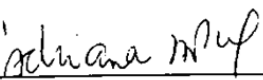
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DE NOVA PONTE (MG) E SUA RELAÇÃO COM O VOLUME DE
ÁGUA DO RESERVATÓRIO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Orientadora: Prof.^a Dra. Adriana Alves Pereira Wilken



Aluna
Gabriela Rodrigues Barroso



Professora orientadora CEFET-MG
Adriana Alves Pereira Wilken

BELO HORIZONTE

2016



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Aos vinte e oito dias do mês de junho de 2016, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores Adriana Alves Pereira Wilken, Patrícia Procópio Pontes e Thiago Cotta Ribeiro, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE NOVA PONTE (MG) E SUA RELAÇÃO COM O VOLUME DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO” de autoria do(a) aluno(a) Gabriela Rodrigues Barroso, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 28 de junho de 2016.

Banca Examinadora:

Prof.^a. Orientadora Adriana Alves Pereira Wilken

Prof.^a. Patrícia Procópio Pontes

Prof. Thiago Cotta Ribeiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela paz e conforto nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os meus familiares e ao meu namorado, pela compreensão nos momentos de ausência, pela paciência nos momentos de estresse e por sempre acreditarem no meu potencial.

Agradeço aos meus colegas e amigos, pelos momentos de descontração. Em especial, agradeço as minhas amigas “Rapas do Tacho”, por tornar os estudos mais agradáveis e pela parceria nos trabalhos acadêmicos desde o início do curso.

Agradeço aos funcionários da CEMIG pelo suporte dado a este trabalho. Especialmente, agradeço ao Rodrigo Vargas, que além de me supervisionar com toda atenção possível durante o período de estágio, nunca mediu esforços para me ajudar na realização deste trabalho. A Clara, agradeço pelo auxílio na aquisição de relatórios da Usina de Nova Ponte e pela constante dedicação em esclarecer minhas dúvidas. A Marcela David e a Fabiana Gama, agradeço por me ajudar na obtenção dos dados de qualidade da água do reservatório da usina em estudo. A Jeanne Abreu, agradeço por disponibilizar os dados de volume útil e precipitação do reservatório da usina e pela comunicação sempre atenciosa comigo.

Agradeço imensamente os meus professores, pelos ensinamentos, conselhos e oportunidades. Em especial, agradeço ao professor Wagner Pinheiro pelo suporte nas análises estatísticas, fundamentais para a concretização deste trabalho. Também agradeço ao professor Thiago Cotta pela prontidão em me ajudar na análise dos dados.

A minha orientadora, Adriana Wilken, agradeço por ter aceitado me orientar neste trabalho, pelo apoio durante toda a jornada, pelas sugestões e conhecimentos repassados.

RESUMO

O desenvolvimento de diversas atividades depende intimamente da disponibilidade e qualidade de água. No Brasil, o uso da água para a geração de energia elétrica assume grande importância, considerando que as usinas hidrelétricas compõem a maior parte da matriz energética brasileira. Na maioria dos casos a construção desses empreendimentos requer a formação de reservatórios. A qualidade da água de tais reservatórios sofre influência de um conjunto de fatores, dentre eles, o volume de água do reservatório, relacionado principalmente à capacidade de diluição do mesmo. Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar a influência da diminuição do volume de água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte sobre parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água, a partir de análises estatísticas. Também foi avaliada a influência de outros fatores (precipitação e uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica) nos resultados desses parâmetros e o atendimento aos padrões ambientais legais vigentes. Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Foram analisados 3 pontos de monitoramento ao longo do reservatório considerando o período compreendido entre os anos de 2009 a 2015, período em que foi registrada uma diminuição sistemática no volume de água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte. Os resultados indicaram que os parâmetros temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, ortofosfato e clorofila a mostraram-se dependentes do volume de água do reservatório, apresentando maiores valores quando os volumes registrados eram menores, evidenciando o menor fator de diluição das águas do reservatório da Usina de Nova Ponte. No geral, os valores encontrados para os parâmetros de qualidade de água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte apresentaram-se em acordo com os padrões ambientais legais, com algumas exceções pontuais para os parâmetros pH, OD, fósforo total, cianobactérias e coliformes termotolerantes, não representando maiores riscos aos usos múltiplos de suas águas.

Palavras-chave: Qualidade da água. Usina hidrelétrica. Reservatório. Volume de água.

ABSTRACT

The development of some activities depends intimately of the water availability and quality. In Brazil, the use of water for power generation is very important, considering that hydroelectric power plants represent most of the Brazilian energy matrix. In most of the cases the construction of these enterprises require the creation of reservoirs. The water quality of them is influenced by a number of factors, including the volume of water in reservoirs, mainly related to the dilution capacity. In this context, this study aims to evaluate the influence of the decreasing water volume of the reservoir of the Nova Ponte hydroelectric power plant on physical, chemical and biological parameters of water quality, using statistical analysis. It also evaluated the influence of other factors (precipitation and land use and occupation in the basin) on the results of these parameters and the compliance with legal environmental standards. The data used in this study were obtained with Electrical Company of Minas Gerais (CEMIG). It was analyzed 3 monitoring points along the reservoir considering the period between 2009 and 2015, period that was recorded a systematic decreasing in the volume of water from the Nova Ponte hydroelectric power plant's reservoir. The results indicated that the parameters water temperature, pH, dissolved oxygen, DBO, nitrate, orthophosphate and chlorophyll a were dependent on the water volume of the reservoir, with higher values when the volume recorded were smaller, showing the lowest dilution factor of the Nova Ponte hydroelectric power plant's reservoir. In general, the values found for the quality parameters of water of Nova Ponte hydroelectric power plant's reservoir were in accordance with legal environmental standards, with some specific exceptions to the parameters pH, dissolved oxygen, total phosphorus, cyanobacteria and fecal coliforms, but it does not represent greater risks to the multiple uses of the water.

Keywords: Water quality. Hydroelectric power plant. Reservoir. Volume of water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica do Brasil - Dez/2015.....	33
Figura 2 - Perfil esquemático de uma usina hidrelétrica.....	34
Figura 3 - Compartimentalização em reservatórios evidenciando a zona fluvial, a zona intermediária e a zona lacustre	36
Figura 4 - Mapa de localização do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte e sua área de drenagem	43
Figura 5 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Araguari	45
Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	50
Figura 7 - Precipitação média mensal na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	52
Figura 8 - Evolução espaço-temporal da temperatura da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	53
Figura 9 - Evolução espaço-temporal da turbidez no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	55
Figura 10 - Evolução espaço-temporal do pH da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	58
Figura 11- Evolução espaço-temporal do oxigênio dissolvido no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	60
Figura 12 - Evolução espaço-temporal da DBO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	62
Figura 13 - Evolução espaço-temporal da DQO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	64
Figura 14 - Evolução espaço-temporal do nitrogênio amoniacal no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	67
Figura 15 - Evolução espaço-temporal do nitrato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	69
Figura 16 - Evolução espaço-temporal do fósforo total no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	71

Figura 17- Evolução espaço-temporal do ortofosfato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	74
Figura 18 - Presença de macrófitas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte em abril de 2015	75
Figura 19 - Evolução espaço-temporal de cianobactérias no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	76
Figura 20 - Evolução espaço-temporal de clorofila a no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	78
Figura 21 - Evolução espaço-temporal de coliformes termotolerantes no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	44
Tabela 2 - Relação dos parâmetros de qualidade da água analisados no presente trabalho	47
Tabela 3 - Descrição dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	49
Tabela 4 - Valores do volume útil médio e da precipitação média na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	52
Tabela 5 - Estatística descritiva do parâmetro temperatura da água (°C) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	54
Tabela 6 - Estatística descritiva do parâmetro temperatura da água (°C) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	54
Tabela 7 - Estatística descritiva do parâmetro turbidez (UNT) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	56
Tabela 8 - Estatística descritiva do parâmetro turbidez (UNT) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	56
Tabela 9 - Estatística descritiva do parâmetro pH da água para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	58
Tabela 10 - Estatística descritiva do parâmetro pH da água para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	58
Tabela 11 - Estatística descritiva do parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	60
Tabela 12 - Estatística descritiva do parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	60
Tabela 13 - Estatística descritiva do parâmetro DBO (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	62
Tabela 14 - Estatística descritiva do parâmetro DBO (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	63
Tabela 15 - Estatística descritiva do parâmetro DQO (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	65
Tabela 16 - Estatística descritiva do parâmetro DQO (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	65

Tabela 17 - Estatística descritiva do parâmetro nitrogênio amoniacal (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	67
Tabela 18 - Estatística descritiva do parâmetro nitrogênio amoniacal (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	67
Tabela 19 - Limites para a concentração de nitrogênio amoniacal em função do pH da água para águas doces classe 2.....	68
Tabela 20 - Estatística descritiva do parâmetro nitrato (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	69
Tabela 21 - Estatística descritiva do parâmetro nitrato (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	70
Tabela 22 - Estatística descritiva do parâmetro fósforo total (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	71
Tabela 23 - Estatística descritiva do parâmetro fósforo total (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	72
Tabela 24 - Estatística descritiva do parâmetro ortofosfato (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	74
Tabela 25 - Estatística descritiva do parâmetro ortofosfato (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	74
Tabela 26 - Estatística descritiva do parâmetro cianobactérias (cel/mL) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte	76
Tabela 27- Estatística descritiva do parâmetro cianobactérias (cel/mL) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	77
Tabela 28 - Estatística descritiva do parâmetro clorofila a ($\mu\text{g/L}$) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	78
Tabela 29 - Estatística descritiva do parâmetro clorofila a ($\mu\text{g/L}$) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	78
Tabela 30 - Estatística descritiva do parâmetro coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	80
Tabela 31- Estatística descritiva do parâmetro coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	80
Tabela 32 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença	

significativa dos parâmetros de qualidade da água entre os pontos de monitoramento do reservatório da UHE de Nova Ponte	92
Tabela 33 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água entre os períodos analisados no reservatório da UHE de Nova Ponte	94
Tabela 34 - Resultados do teste Qui-Quadrado realizado com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar se os parâmetros de qualidade da água dependem ou não da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CERH-MG – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DN – Deliberação Normativa

DQO – Demanda Química de Oxigênio

IET – Índice de Estado Trófico

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA – Índice de Qualidade da Água

LO – Licença de Operação

MME – Ministério de Minas e Energia

MW – Megawatt

OD – Oxigênio Dissolvido

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

pH – Potencial Hidrogeniônico

SISÁGUA – Sistema de Informação da Qualidade da Água dos Reservatórios da CEMIG

UHE – Usina Hidrelétrica

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Água: quantidade e qualidade	18
3.2 Parâmetros de qualidade da água	21
3.2.1 Parâmetros físicos	21
3.2.1.1 <i>Temperatura</i>	21
3.2.1.2 <i>Turbidez</i>	22
3.2.2 Parâmetros químicos	23
3.2.2.1 <i>pH (Potencial Hidrogeniônico)</i>	23
3.2.2.2 <i>Oxigênio Dissolvido</i>	24
3.2.2.3 <i>Matéria orgânica</i>	25
3.2.2.4 <i>Nutrientes</i>	26
3.2.3 Parâmetros biológicos	30
3.2.3.1 <i>Parâmetros hidrobiológicos</i>	30
3.2.3.2 <i>Parâmetros microbiológicos (coliformes)</i>	31
3.3 Matriz energética brasileira e o uso da água para a geração de energia elétrica	32
3.4 Qualidade da água em reservatórios	35
3.4.1 Alguns estudos sobre a qualidade da água de reservatórios de usinas hidrelétricas	40
4 METODOLOGIA	43
4.1 Área de estudo	43
4.2 Amostragem e análises dos parâmetros de qualidade da água	47
4.3 Locais de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água	49
4.4 Dados do volume útil do reservatório e de precipitação	50
4.5 Análise estatística	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 Relação da precipitação com o volume útil do reservatório nos períodos analisados	52

5.2 Temperatura	53
5.3 Turbidez	55
5.4 pH	57
5.5 Oxigênio Dissolvido	59
5.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	62
5.7 Demanda química de oxigênio (DQO)	64
5.8 Nitrogênio Amoniacal	66
5.9 Nitrato	69
5.10 Fósforo Total	71
5.11 Ortofosfato	73
5.12 Cianobactérias	76
5.13 Clorofila a	77
5.14 Coliformes termotolerantes	79
6 CONCLUSÕES	82
7 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A - TESTES ESTATÍSTICOS PARA A ANÁLISE ESPACIAL DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	92
APÊNDICE B - TESTES ESTATÍSTICOS PARA A ANÁLISE ENTRE PERÍODOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	94
APÊNDICE C - TESTE QUI-QUADRADO DE INDEPENDÊNCIA PARA A ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA UHE DE NOVA PONTE NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	97

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e para o desenvolvimento socioeconômico, uma vez que, seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas. Considerando a distribuição da água na Terra, apenas 0,8% do total, é água doce, sendo que, somente 3% desta parcela apresenta-se prontamente disponível para ser utilizada. Daí, a grande importância da conservação dos recursos hídricos e avaliação de sua qualidade e disponibilidade (von SPERLING, 2014).

Essa importância torna-se ainda maior ao considerar o crescimento da população registrado nas últimas décadas, que ocasionou um aumento da demanda de água em qualidade adequada aos diversos usos (FARIAS, 2006; FONTENELE et al, 2011). Além disso, o aumento das interferências antrópicas sobre os recursos hídricos, tais como, a poluição difusa oriunda do uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, os despejos de efluentes domésticos e industriais, as atividades de mineração exercidas ao longo da bacia hidrográfica, entre outras, têm contribuído para deterioração da qualidade das águas superficiais (ALVES et al, 2008; BRAGA et al, 2005; von SPERLING, 1996).

No Brasil, um importante tipo de uso de águas superficiais é para a geração de energia elétrica, pois as usinas hidrelétricas (UHEs) compõem a maior parte da matriz energética brasileira (RUAS, 2006). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, ao final de 2015, por meio de hidrelétricas, independente do porte, correspondia a aproximadamente 65% da capacidade instalada total do país (MME, 2015). Apesar da tendência de aumento de outras fontes de geração de energia, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil (BREDA, 2011).

Os projetos de UHEs requerem, na maioria dos casos, a formação de reservatórios de acumulação (CRUZ, 2012; TUNDISI, 1986). A qualidade da água de tais reservatórios sofre influência de um conjunto de fatores relacionados com processos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio reservatório. A precipitação pluviométrica desempenha um importante papel na alteração da qualidade da água dos reservatórios, seja, pela diluição de suas águas ou pelo aporte

de cargas poluidoras advindas do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica (MARQUES, 2011).

O volume de água dos reservatórios sofre variação em decorrência da precipitação, da evaporação, das vazões afluentes e defluentes, constituindo outro fator que pode influenciar a qualidade da água dos reservatórios. Segundo Ruas (2006), o volume de um corpo hídrico interfere na capacidade de diluição do mesmo. Geralmente, os lagos e os reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos. Dessa forma, as substâncias tendem a ficar mais concentradas quanto menor o fator de diluição. Com a redução do volume a radiação solar também pode atingir mais profundamente o corpo hídrico, elevando a temperatura da água e aumentando a produtividade primária (von SPERLING, 1999).

A variação do volume do reservatório pode portanto afetar de forma significativa diversos processos relacionados à qualidade das suas águas. Nesse contexto, torna-se extremamente relevante avaliar a influência da variação do volume de água de reservatórios sobre a qualidade da água dos mesmos.

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2016) e os dados disponibilizados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), o volume útil do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte) está diminuindo desde o ano de 2009. Isto pode estar relacionado com a diminuição dos níveis de precipitação que incidem na área de sua bacia hidrográfica, implicando na redução do seu volume útil. Esta redução do volume pode estar contribuindo para alterar a qualidade da água do reservatório.

Tendo em vista que a água do reservatório da UHE de Nova Ponte é utilizada para diversos fins além da geração de energia elétrica (como por exemplo, irrigação, dessedentação de animais, piscicultura e lazer), é necessário um estudo para avaliar a influência da diminuição do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte na qualidade da água do mesmo, identificando possíveis implicações nos diversos usos da água do reservatório.

Embora existam estudos de avaliação da qualidade da água para esse reservatório (FLAUZINO, 2014; VIANA et al, 2013; VIANA, 2014), os mesmos não focaram na relação entre quantidade e qualidade de águas. Considerando que os aspectos de qualidade e quantidade de águas são indissociáveis, é de suma importância um estudo que aborde este tema no reservatório da UHE de Nova Ponte.

Dessa forma, o presente trabalho busca avaliar a influência da diminuição do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte nos parâmetros de qualidade da água do mesmo. Os dados utilizados neste estudo, referentes ao período de 2009 a 2015, foram disponibilizados pela CEMIG e analisados por meio de ferramentas estatísticas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Ampliar o conhecimento a respeito da influência da variação do volume de água de reservatórios sobre parâmetros de qualidade da água.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar ao longo do tempo e do espaço parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte, analisando possíveis fatores naturais ou antrópicos que influenciam esses parâmetros.

- Identificar os parâmetros de qualidade da água influenciados pela diminuição do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte.

- Verificar o atendimento dos parâmetros de qualidade de água aos padrões ambientais legais.

3 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Água: quantidade e qualidade

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida, sendo o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva. Além disso, a água está intimamente relacionada com o desenvolvimento socioeconômico, tendo em vista os diversos usos associados a mesma. Considerando a distribuição da água na Terra, dos $1,36 \times 10^{18}$ m³ de água disponível, 97% encontram-se no mar, 2,2% nas geleiras e 0,8% é constituído por água doce. No entanto, dos 0,8% de água doce, 97% é água subterrânea e apenas 3% é água superficial (von SPERLING, 2014).

Nesse sentido, fica claro que, da pequena fração de 0,8% da água doce distribuída na Terra, somente 3% apresenta-se prontamente disponível para ser utilizada. Isto ressalta a grande importância da conservação dos recursos hídricos e avaliação de sua qualidade e disponibilidade. É importante lembrar que essa parcela de água doce apresenta uma distribuição bastante heterogênea no espaço e no tempo (BRAGA et al, 2005; ESTEVES, 2011), de forma que, atualmente, várias regiões do planeta já sofrem por sua escassez, seja pela diminuição da sua quantidade ou pela má qualidade associada a mesma (REIS et al, 2005).

Desta forma, torna-se cada vez mais urgente a necessidade de se investigar e diagnosticar os fatores que afetam a qualidade da água decorrentes de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com propostas ou alternativas concretas e realmente eficazes (GASTALDINI et al, 2002).

No Brasil, durante muitos anos a gestão de recursos hídricos esteve voltada apenas para a avaliação quantitativa das reservas hídricas, especialmente para fins de produção de energia (LIBÂNIO et al, 2005). Somente a partir da década de 90, principalmente com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) pela Lei 9.433/1997, que foi afirmada a importância de se avaliar simultaneamente os aspectos quantitativos e qualitativos da água, visto que os mesmos são indissociáveis (BRASIL, 1997). Assim, dentre as diretrizes gerais de ação para implementação da PNRH, pode-se citar a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade.

A qualidade da água pode ser considerada como uma integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico (TUNDISI, 1986). Essas propriedades são resultantes das condições naturais e da ação do homem, no que diz respeito ao uso e a ocupação do solo na bacia hidrográfica (von SPERLING, 2014).

A bacia hidrográfica, mesmo que esteja preservada em suas condições naturais considerando as características da cobertura e da composição do solo, influencia na qualidade da água dos corpos hídricos a partir da precipitação atmosférica, onde a água, devido a sua propriedade de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas (von SPERLING, 2014). Logo, pode-se observar que a litologia da bacia e a sazonalidade do clima influenciam a qualidade da água (LEMOS, 2011). Assim, reforçando a relação entre os aspectos quantitativos e qualitativos da água, pode-se dizer que a qualidade da água depende diretamente da quantidade de água existente para dissolver, diluir e transportar substâncias benéficas e nocivas (BRAGA et al, 2005).

A qualidade da água depende também das interferências antrópicas no que diz respeito ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. As atividades antrópicas podem contribuir para a introdução de compostos na água, alterando a sua qualidade. Existem basicamente duas formas em que as fontes de poluentes podem atingir um corpo d'água: a poluição pontual (os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, como por exemplo, a descarga em um rio de um emissário transportando efluentes de uma comunidade) ou difusa (os poluentes atingem o corpo d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão, como no caso da poluição veiculada pela aplicação de defensivos agrícolas no solo) (BRAGA et al, 2005; von SPERLING, 2014).

Dentre algumas das ações antropogênicas que podem afetar, direta ou indiretamente, a qualidade das águas, von Sperling (1996) cita: o carreamento de defensivos agrícolas e fertilizantes utilizados em atividades agropecuárias, pelas ações das chuvas; o desmatamento e a alteração da cobertura vegetal; a impermeabilização advinda da urbanização; a mineração; o lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos; e a presença de reservatórios artificiais, construídos para diversos fins (controle de cheias, abastecimento de água, irrigações, piscicultura, recreação e lazer, navegação e geração de energia elétrica) que altera o fluxo natural das águas e o ecossistema aquático.

Em relação aos usos da água, cada um exige uma determinada qualidade. Desta forma, pode-se dizer que, além da qualidade existente para uma determinada água, tem-se a qualidade desejável para a mesma, que é função dos usos previstos. Os principais usos da água são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, criação de espécies, geração de energia elétrica, navegação, harmonia paisagística e diluição e transporte de despejos (BRAGA et al, 2005; von SPERLING, 2014).

O uso mais nobre, ou seja, que requer a satisfação de diversos critérios de qualidade é o abastecimento doméstico. Já o uso menos nobre, ou seja, que não possui nenhum requisito especial em termos de qualidade é a diluição e transporte de despejos. No caso dos corpos d'água com usos múltiplos, estes devem satisfazer simultaneamente os diversos requisitos de qualidade (von SPERLING, 2014).

Neste contexto, a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos existentes no planeta tem se tornado uma preocupação cada vez maior para a sociedade como um todo, não só pela importância da conservação dos ecossistemas aquáticos, mas também em virtude dos diversos tipos de usos previstos para a água (BREDA, 2011). Assim, é fundamental que os recursos hídricos sejam monitorados a fim de identificar as mudanças nas variáveis bióticas e abióticas, as quais afetam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, de forma a possibilitar o manejo, a conservação e a utilização dos recursos existentes.

Ecossistemas de água doce podem ser monitorados e caracterizados quanto à qualidade das águas por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Estes parâmetros, quando utilizados conjuntamente, fornecem informações mais abrangentes e detalhadas a respeito de um corpo d'água (PEIXOTO, 2007). Como estes parâmetros sofrem variações no tempo e no espaço, o acompanhamento de seus níveis pode contribuir com informações para tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos (FIGUEIRÊDO, 2008).

No Brasil, os corpos d'água devem atender aos padrões de qualidade determinados em função dos seus usos previstos. Esses padrões são definidos, em âmbito federal, na Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). Para o caso do estado de Minas Gerais os padrões de qualidade estão definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 01, de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008). A partir dos dados de qualidade da água

monitorados pode-se verificar se a condição de qualidade dos corpos d'água está em acordo com a legislação ambiental vigente.

3.2 Parâmetros de qualidade da água

Conforme foi dito anteriormente, os parâmetros de qualidade da água traduzem suas características físicas, químicas e biológicas. Estes parâmetros podem ser utilizados para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores. Dentre os parâmetros comumente utilizados na análise da qualidade de água de corpos d'água superficiais, destacam-se: temperatura, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, fitoplâncton e coliformes termotolerantes (von SPERLING, 2014). Inclui-se o parâmetro clorofila a, que é útil para a complementação da análise dos demais parâmetros. A seguir são apresentados cada um desses parâmetros.

3.2.1 Parâmetros físicos

3.2.1.1 Temperatura

Segundo Ruas (2006), a temperatura da água é a medida da intensidade de calor originada da transferência de calor por radiação, condução e convecção da atmosfera e do solo. Variações de temperatura são parte do regime climático normal. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a temperatura superficial da água é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2014). Além disso, intervenções antrópicas, tais como lançamento de águas de resfriamento ou de despejos industriais podem alterar a temperatura de um corpo d'água receptor.

A avaliação da temperatura do corpo d'água é de suma importância, visto que a temperatura influencia a taxa das reações físicas, químicas e biológicas, a solubilidade e a transferência dos gases. Uma elevação da temperatura aumenta a taxa das reações e faz diminuir a solubilidade dos gases como, por exemplo, do oxigênio dissolvido. Além disso, um aumento de temperatura pode aumentar a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação daqueles com odores desagradáveis (von SPERLING, 2014).

É importante ressaltar a influência da temperatura para os organismos aquáticos, tendo em vista que os mesmos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferencial em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação dos ovos (CETESB, 2014).

No estudo do reservatório de Itupararanga, localizado na Bacia do Alto Sorocaba (SP), Pedrazzi (2009) observou maiores valores de temperatura da água durante a estação chuvosa que na estação seca. Isso se explica pelo fato de ocorrer maior radiação solar no período de verão, época em que as chuvas são mais frequentes na região.

3.2.1.2 Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, ou seja, é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido a presença de sólidos em suspensão. Sua origem pode ser natural (partículas de rocha, argila e silte, além de algas e outros microrganismos) ou antropogênica (despejos domésticos, despejos industriais e erosão) (BREDA, 2011; von SPERLING, 2014).

O aumento da turbidez da água pode comprometer, direta ou indiretamente, os múltiplos usos de um ecossistema aquático, seja pela diminuição do valor estético de um corpo de água, ou também pelo fato dos sólidos suspensos fornecerem sítios de fixação de microrganismos patogênicos e de compostos tóxicos como os metais cádmio, chumbo e mercúrio e os pesticidas (von SPERLING, 2014). Em corpos d'água a presença de turbidez pode reduzir a penetração de luz, prejudicando a fotossíntese e o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica e conseqüentemente a oxigenação do meio. Isto pode afetar o desenvolvimento de organismos aeróbios, como a comunidade de peixes (BRANCO e ROCHA, 1987; CETESB, 2014).

Segundo Ruas (2006), a turbidez tende a se elevar no período de chuvas devido à lavagem superficial do solo na bacia de drenagem e o conseqüente carreamento de partículas orgânicas e minerais ao ambiente aquático, estando diretamente associada aos sólidos em suspensão. Esse comportamento também foi observado por Marques (2011) ao estudar a contribuição da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande para o reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, localizada

no estado de Tocantins, nos períodos de seca e chuva. Ela observou um incremento de material alóctone no escoamento superficial durante a estação chuvosa, o que ocasionou um incremento nos níveis de turbidez do reservatório.

3.2.2 Parâmetros químicos

3.2.2.1 *pH (Potencial Hidrogeniônico)*

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Os constituintes responsáveis pelo pH do meio são os sólidos dissolvidos e os gases dissolvidos, originados da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, da oxidação da matéria orgânica, da fotossíntese, além dos despejos domésticos e industriais. A faixa de pH é de 0 a 14. Um pH menor que 7 indica condições ácidas, um pH maior que 7 condições básicas e um pH igual a 7 indica neutralidade (von SPERLING, 2014).

O pH não tem implicação em termos de saúde pública, a menos que os valores sejam extremamente baixos ou elevados. Um pH baixo apresenta potencial de corrosividade, enquanto um pH alto confere possibilidade de incrustações. Os valores de pH afastados da neutralidade tendem a afetar a taxa de crescimento dos microrganismos e podem afetar a vida aquática (von SPERLING, 2014).

A variação do pH influencia o equilíbrio de compostos químicos. Determinadas condições de pH podem contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. Outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. As variações do pH em um corpo hídrico determinam o tipo de fauna e flora que habitam o local, sendo que o meio neutro é o que possibilita uma maior estabilidade do meio e diversificação dos ecossistemas, permitindo o desenvolvimento de diferentes espécies (CETESB, 2014).

Valores elevados de pH podem estar associados à proliferação de algas em corpos d'água superficiais (von SPERLING, 2014). Durante o processo de fotossíntese ocorre a absorção de gás carbônico dissolvido da água o que ocasiona um aumento do pH do meio. Por outro lado, um aumento na temperatura da água leva a uma diminuição do pH, pois o aumento na taxa de dissociação natural das moléculas de água decorrentes da elevação da temperatura da água proporciona uma maior

liberação de íons H^+ (SILVA e KULAY, 1999 *apud* BREDA, 2011). Além disso, o excesso de matéria orgânica contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico decorrente da decomposição, a qual proporciona a formação de ácido carbônico em meio aquoso e de diversos compostos orgânicos ácidos (MAROTTA et al, 2008).

3.2.2.2 *Oxigênio Dissolvido*

O oxigênio dissolvido (OD) apresenta-se na forma de gás dissolvido podendo ter origem natural (dissolução do oxigênio atmosférico e produção pelos organismos fotossintéticos) ou antropogênica (aeração artificial). É de essencial importância para os organismos aeróbios, sendo que quando o mesmo é totalmente consumido tem-se condições anaeróbias, com possível geração de maus odores. É também, o principal parâmetro de caracterização dos efeitos de poluição das águas por despejos orgânicos (von SPERLING, 2014).

A solubilidade do OD varia com a pressão e com a temperatura. Com a elevação da temperatura e a diminuição da pressão, ocorre a redução da solubilidade do oxigênio na água e conseqüentemente da sua concentração. Além destes, outros fatores contribuem para a redução da concentração de oxigênio da água, tais como as perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, processos de oxidação de íons metálicos, oxidação da matéria orgânica, demanda do sedimento e nitrificação (ESTEVES, 2011). Os valores de OD superiores à saturação são indicativos da presença de algas enquanto que os valores de OD bem inferiores à saturação são indicativos da presença de matéria orgânica (von SPERLING, 2014).

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Através da medição da concentração de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras durante a oxidação bioquímica podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2014). Assim o oxigênio dissolvido tem sido utilizado para determinar o grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água.

Quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido, a avaliação do grau de poluição de um corpo d'água pode ser "mascarada" pelo crescimento excessivo de algas. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que

apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação. Um corpo d'água com crescimento excessivo de algas pode apresentar uma situação de supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos com baixa velocidade da água, nos quais podem se formar crostas verdes de algas à superfície (CETESB, 2014).

3.2.2.3 *Matéria orgânica*

A matéria orgânica ou carbonácea constitui compostos como proteína, carboidratos, gordura, óleos, uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, dentre outros em menor quantidade. Pode ser subdividida em não biodegradável ou inerte (em suspensão e dissolvida) e biodegradável (em suspensão e dissolvida). A origem da matéria orgânica no corpo d'água pode ser natural, considerando a matéria orgânica vegetal e animal e os microrganismos, ou antropogênica, relacionada aos despejos domésticos e industriais. A principal importância desse parâmetro é que a matéria orgânica é a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de OD pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (von SPERLING, 2014).

A determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica na água é bastante difícil, devido à grande variedade de formas e compostos em que esta pode se apresentar. Levando isso em consideração, geralmente são utilizados métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica ou do seu potencial poluidor, como a medição do consumo de oxigênio pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou pela Demanda Química de Oxigênio (DQO). Métodos diretos também podem ser utilizados, como a medição direta do Carbono Orgânico Total (COT). A DBO e a DQO são os parâmetros tradicionalmente mais utilizados, sendo os parâmetros de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água (von SPERLING, 2014).

A DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Através deste parâmetro, é possível avaliar a quantidade de oxigênio dissolvido que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. A DBO é normalmente

considerada como a quantidade de oxigênio consumido pelos organismos durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Assim, num período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente referida como DBO_{5,20} (CETESB, 2014; RUAS, 2006).

Os maiores aumentos dos níveis de DBO num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática, além de alterar tanto o cheiro quanto o sabor da água (CETESB, 2014).

Já a DQO mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente na água. Logo, a principal diferença entre os testes de determinação da DBO e da DQO refere-se à forma de oxidação da matéria orgânica. No teste de DBO, enquanto a oxidação da matéria orgânica é realizada inteiramente por microrganismos, na DQO, a oxidação é obtida através de um forte oxidante, como o dicromato de potássio, em meio ácido. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial (RUAS, 2006).

3.2.2.4 Nutrientes

Nos ecossistemas aquáticos são os nutrientes que regulam a biomassa e são responsáveis pela manutenção do equilíbrio aquático. A sua falta ou excesso influenciará diretamente no estado trófico de um reservatório e, conseqüentemente, na qualidade da água do mesmo. Os principais nutrientes responsáveis pelo equilíbrio da biota aquática são o nitrogênio e o fósforo, pois são mais abundantes na natureza. Atualmente, a disponibilidade destes elementos vem sendo aumentada em função do uso de fertilizantes na agricultura e do despejo de esgotos urbanos e industriais sem tratamento adequado (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Um problema associado às altas concentrações de nutrientes nos corpos d'água, principalmente nitrogênio e fósforo, é a intensificação do processo de eutrofização. A eutrofização consiste no enriquecimento das águas com nutrientes

tendo como consequência o aumento da produtividade biológica (BRAGA et al, 2005; ESTEVES, 2011).

É importante ressaltar que esse fenômeno geralmente ocorre em lagos e represas, uma vez que, nos rios, as condições ambientais são menos favoráveis (exemplo: turbidez e velocidades elevadas) para o crescimento de plantas aquáticas (von SPERLING, 2014).

A eutrofização causa diversos efeitos indesejáveis. Dentre estes efeitos, pode-se citar: problemas estéticos e recreacionais devido ao crescimento excessivo de plantas aquáticas, condições anaeróbias no fundo do corpo d'água e consequente predomínio de compostos e elementos no estado reduzido na forma solúvel (ferro, manganês e fosfato), liberação de gás sulfídrico com geração de mau odor, eventuais condições anaeróbias no corpo d'água como um todo provocando grande deterioração da qualidade da água, liberação de toxinas por cianobactérias, redução da navegação e capacidade de transporte, etc. (BRAGA et al, 2005; von SPERLING, 2014).

a) Nitrogênio

No meio aquático o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia (não-ionizada ou livre (NH_3) e ionizada (NH_4^+)), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A soma das parcelas de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, constitui o nitrogênio total (von SPERLING, 2014).

As principais fontes de nitrogênio para ecossistemas aquáticos continentais podem ser de origem natural (como constituinte de proteínas e vários outros compostos biológicos ou como parte da composição celular de microrganismos; e a partir da fixação biológica feitas por certas bactérias e cianobactérias) ou antropogênica (aporte de efluentes domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes) (ESTEVES, 2011; von SPERLING, 2014).

O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes e na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia. No processo de nitrificação (conversão de amônia a nitrito e deste a nitrato) ocorre o consumo de oxigênio dissolvido do corpo d'água o que pode comprometer a sua qualidade e afetar a vida aquática. Em um corpo hídrico, a determinação da forma de nitrogênio pode

fornecer indícios sobre o estágio da poluição. Poluição recente geralmente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto que, uma poluição mais remota está associada basicamente ao nitrogênio na forma de nitrato (von SPERLING, 2014).

Via de regra, os nitratos aparecem em pequenas quantidades em águas superficiais. Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, normalmente indicando poluição por dejetos humanos e animais ou por águas de escoamento superficial de solos fertilizados (RUAS, 2006).

A presença de íons nitrito, mesmo em quantidades muito pequenas, indicam ocorrência de um processo biológico ativo, levantando suspeita de poluição por matéria orgânica (BRAGA, 2006). Em lagos e reservatórios a concentração de nitrito, comparada com as concentrações de nitrogênio amoniacal e de nitrato, é baixa, já que é rapidamente consumido principalmente pelos processos de nitrificação e desnitrificação (ESTEVES, 2011). Somente em lagos poluídos a concentração de nitrito pode assumir valores significativos.

Dentre as diferentes formas, o nitrato e o íon amônio assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos continentais, uma vez que são as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (ESTEVES, 2011). O nitrogênio, juntamente com outros nutrientes, é indispensável para o crescimento de algas. O nitrato estimula o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença deste. Quando em elevadas concentrações em lagos e represas, o nitrato pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, indicando condições de eutrofização nesses corpos d'água (RUAS, 2006; von SPERLING, 2014).

b) Fósforo

No meio aquático o fósforo apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos (PO_4^{3-} ; HPO_4^{2-} ; H_2PO_4^- ; H_3PO_4) são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água dependem do pH. Na faixa usual de pH, a forma mais encontrada é o HPO_4^{2-} . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo e se transformam em ortofosfatos por meio do mecanismo de hidrólise. O

fósforo orgânico é de menor importância. A soma das parcelas de todas essas formas constitui o fósforo total (RUAS, 2006; von SPERLING, 2014).

Os constituintes responsáveis pelo fósforo no corpo d'água podem se apresentar como sólidos suspensos e dissolvidos. Pode ter origem natural, como nas rochas da bacia de drenagem, na dissolução de compostos do solo, na decomposição da matéria orgânica ou na composição celular de microrganismos. Pode também ter origem antropogênica, como nos despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes (CORDEIRO, 2013; von SPERLING, 2014).

Segundo Esteves (2011), do ponto de vista da análise de qualidade da água, o fósforo total e o ortofosfato assumem maior relevância uma vez que, o fósforo total pode ser utilizado como estimativa do grau de fertilização (estado trófico) do ambiente aquático, e o ortofosfato por ser a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, microalgas e bactérias. Em ecossistemas aquáticos tropicais, devido à alta temperatura, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o ortofosfato seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa. Este é um dos principais motivos pelo qual, nestes lagos, excetuando os eutrofizados artificialmente, a concentração de ortofosfato é muito baixa, geralmente abaixo do limite inferior de detecção da maioria dos métodos analíticos atualmente disponíveis.

No estudo da qualidade da água do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães e seus afluentes (MARQUES, 2011), foram encontrados altos valores de ortofosfato em córregos da região na época de seca. A baixa pluviosidade, e conseqüentemente, pequena profundidade dos córregos estudados indicaram que o sedimento podia ser uma fonte significativa de fósforo para a coluna d'água. Quando prevalecem baixas concentrações de oxigênio, o fósforo pode ser disponibilizado para a coluna de água e, assim, mesmo sem fontes externas, o processo de eutrofização pode ocorrer.

Para Cunha et al. (2008), embora as chuvas contribuam com o escoamento superficial e conseqüentemente para o incremento das concentrações de fósforo nos sistemas aquáticos, a precipitação pluviométrica também acarreta o aumento no volume de água nos corpos hídricos e por conseguinte maior potencial de diluição de cargas poluidoras.

A dinâmica do fósforo armazenado nos sedimentos de rios e riachos é diferente da dinâmica do fósforo armazenado em sedimentos de reservatórios. Nos rios, a

deissorção do fósforo é facilitada pela ressuspensão dos sedimentos pelo fluxo turbulento da água (KOSKIVÄHÄLÄ e HARTIKAINEN, 2001). Por outro lado, nos reservatórios, a disponibilização do fósforo dos sedimentos para a coluna d'água depende das condições de oxi-redução e da atividade dos organismos bentônicos na interface água-sedimento (PANT e REDDY, 2001).

O fósforo não apresenta problemas de ordem sanitária para águas de abastecimento. No entanto, seu principal problema está associado à eutrofização, pois constitui um elemento fundamental ao crescimento de algas, juntamente com outros nutrientes. Dessa forma, em termos de corpos hídricos, os valores de fósforo total podem ser utilizados como indicativos aproximados do estado de eutrofização dos lagos. O fósforo é também essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (RUAS, 2006; von SPERLING, 2014).

3.2.3 Parâmetros biológicos

3.2.3.1 *Parâmetros hidrobiológicos*

a) Fitoplâncton

Fitoplâncton é o conjunto de organismos fotossintetizantes que vivem em suspensão nos corpos d'água. É composto principalmente por algas (clorofíceas, diatomáceas, euglenofíceas, crisofíceas, dinofíceas e xantofíceas) e cianobactérias (CETESB, 2014).

Dentre as mudanças na qualidade da água produzidas pela eutrofização artificial tem-se o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Estas florações se caracterizam pelo intenso crescimento desses microrganismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade. A carga de nutrientes, o tempo de retenção da água, a temperatura e a luz são os principais fatores que influenciam a formação e intensidade das florações. Assim, é fundamental analisar a comunidade fitoplanctônica em relação às alterações da qualidade da água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003). Esta comunidade é a base da cadeia alimentar e, portanto, a produtividade dos elos seguintes depende da sua biomassa (CETESB, 2014). Devido à sua predominância em determinados

ambientes, os organismos fitoplânctônicos constituem bioindicadores de ambientes degradados ou de boa qualidade ambiental (RUAS, 2006).

A presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, causando restrições ao seu uso. Atenção especial é dada às cianobactérias (cianofíceas), que possui espécies potencialmente tóxicas, tendo em vista a capacidade desses organismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas), as quais podem afetar a saúde humana. As cianotoxinas causam efeitos diversos, algumas são neurotoxinas bastante potentes, outras hepatotoxinas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003). Além disso, algumas espécies de cianobactérias são características de lagos eutróficos.

b) Clorofila a

A clorofila é um dos pigmentos, além dos carotenóides e ficobilinas, responsáveis pelo processo fotossintético, presente em todos os organismos fitoplânctônicos. A clorofila a é a mais universal (mais frequente) das clorofilas (a, b, c, d) e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal. Assim, a clorofila a é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (CETESB, 2014).

A clorofila a está relacionada diretamente com a quantidade de nutrientes, pois quanto maior a disponibilidade, maior a taxa de crescimento dos organismos fotossintetizantes e, conseqüentemente, maior a quantidade de clorofila no ambiente aquático (CORDEIRO, 2013).

3.2.3.2 *Parâmetros microbiológicos (coliformes)*

Segundo von Sperling (2014), os microrganismos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos. No entanto, muitos microrganismos podem transmitir doenças. A presença de organismos patogênicos em um curso d'água pode afetar alguns dos usos preponderantes a ele destinados, tais como abastecimentos de água, irrigação e alterações de suas características de

balneabilidade. Dessa forma, é importante determinar indiretamente a potencialidade de uma água transmitir doenças através de análises dos organismos indicadores de contaminação fecal (principalmente bactérias do grupo coliformes).

Os principais indicadores de contaminação fecal comumente utilizados são os coliformes totais, coliformes fecais ou coliformes termotolerantes e a *Escherichia coli*. Os coliformes totais compreendem um grande grupo de bactérias que pode estar presente em água e solos poluídos ou não poluídos, bem como em fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Dado a incidência em ambientes não contaminados também são chamados de coliformes ambientais, representando também outros organismos de vida livre e não intestinal. Com isso, não existe uma relação quantificável entre coliformes totais e microrganismos patogênicos, não sendo um bom indicador de contaminação fecal (von SPERLING, 2014).

Os coliformes fecais ou termotolerantes referem-se a um grupo de bactérias originárias predominantemente do trato intestinal. São definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Assim, os coliformes termotolerantes são bactérias que resistem a elevadas temperaturas, mas não necessariamente fecais, uma vez que algumas bactérias de vida livre também são resistentes a elevadas temperaturas. Na legislação brasileira, os coliformes termotolerantes são utilizados como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinada a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (CETESB, 2014).

Já a *Escherichia coli* (*E coli*), principal bactéria do grupo dos coliformes termotolerantes, dá garantia que a contaminação seja exclusivamente fecal. A *E coli* está presente em número elevado nas fezes humanas e de animais de sangue quente e é raramente detectada na ausência de poluição fecal. Por isso, é considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas (von SPERLING, 2014).

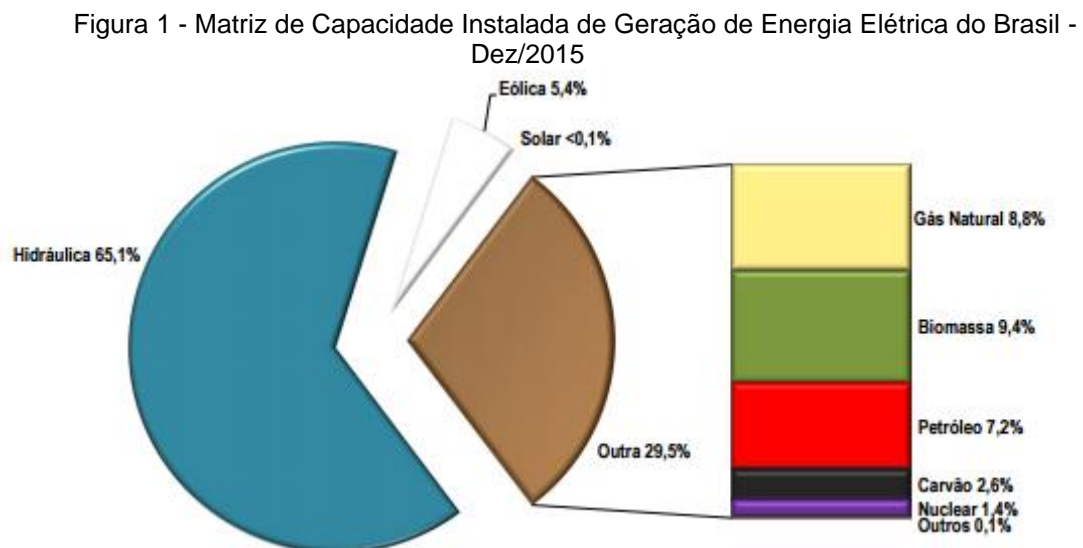
3.3 Matriz energética brasileira e o uso da água para a geração de energia elétrica

Dentre os usos da água existentes no Brasil, destaca-se o uso para geração de energia elétrica. A estrutura da matriz energética brasileira é composta em sua maioria

por usinas hidrelétricas (UHEs), que tem uma responsabilidade estratégica com o desenvolvimento socioeconômico do país (FACURI, 2004; RUAS, 2006).

Segundo Ruas (2006) e Breda (2011), embora exista um grande número de usinas hidrelétricas em instalação e operação, o Brasil possui um enorme potencial ainda a ser aproveitado para implantação de mais empreendimentos desta natureza, por ser um país rico em recursos hídricos.

A energia proveniente de hidrelétricas (matriz hidráulica), independente do porte, correspondia, ao final do ano de 2015, a aproximadamente 65% da capacidade instalada total do país (MME, 2015). Na Figura 1 é possível visualizar a matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil em dezembro de 2015.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2015)

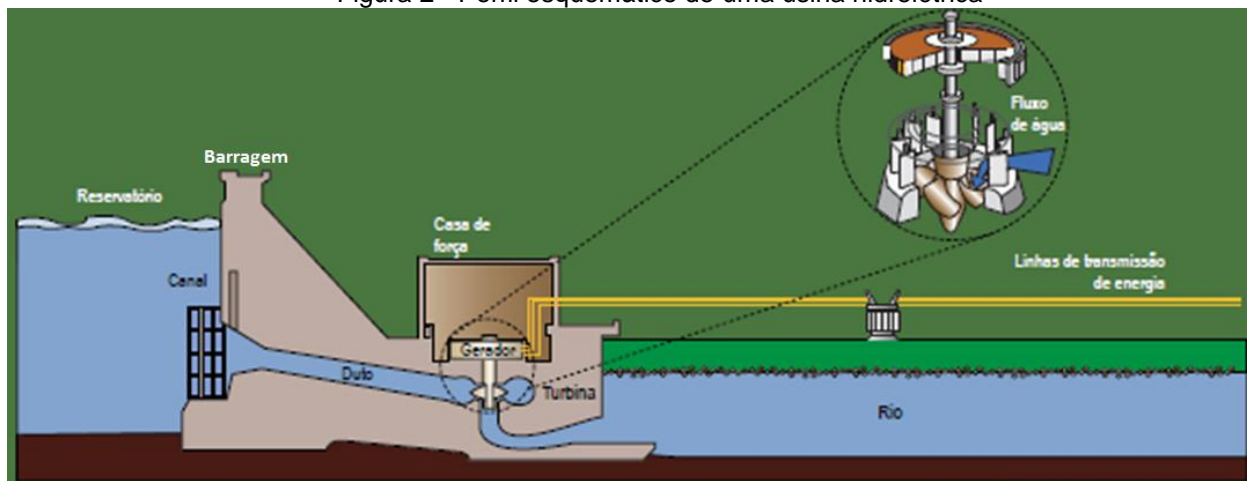
Embora o uso de outras fontes de geração de energia, tais como eólica, solar e térmica, tenha apresentado grande expansão ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento da economia do país ainda dependerá principalmente da ampliação do potencial de geração de energia referente às usinas hidrelétricas (REIS et al, 2005).

Segundo informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as usinas hidrelétricas são compostas, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada. Alguns destes componentes podem ser visualizados na Figura 2. A barragem tem por objetivo interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório, regularizando a vazão e criando o desnível necessário à produção de energia. Os sistemas de captação e adução conduzem a água do reservatório até a

casa de força, aonde se encontram as turbinas, formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. Durante o movimento giratório, as turbinas convertem a energia cinética (do movimento da água) em energia elétrica por meio dos geradores que produzirão a eletricidade. Depois de passar pela turbina, a água é restituída ao leito natural do rio pelo canal de fuga. Por último, há o vertedouro que tem a função de permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassarem os limites recomendados (ANEEL, 2008).

A potência instalada determina se a usina é de grande ou médio porte ou uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). A ANEEL adota três classificações: Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada); Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada); Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW) (ANEEL, 2008).

Figura 2 - Perfil esquemático de uma usina hidrelétrica



Fonte: Adaptado de ANEEL (2008)

Algumas usinas hidrelétricas são chamadas “a fio d’água”, ou seja, próximas à superfície, que utilizam turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia. Estas usinas reduzem as áreas de alagamento e não formam reservatório. Ou seja, usinas fio d’água geram energia com o fluxo de água do rio (pela vazão natural) realizando o mínimo ou nenhum armazenamento de água (ANEEL, 2008).

No entanto, na maioria dos casos, as usinas hidrelétricas requerem a construção de barramentos em rios e a inundação de áreas para a formação de reservatórios de acumulação, alterando dessa forma, o fluxo natural da água e consequentemente a dinâmica do meio aquático (RUAS, 2006).

A formação de um reservatório artificial promove uma transformação do ambiente aquático original, que passa de um ambiente de águas correntes (sistema lótico) para um ambiente com características intermediárias ou de águas paradas (sistema lêntico), modificando as condições físicas, químicas e biológicas da massa d'água e, portanto, alterando sua qualidade ao longo do espaço e do tempo (CRUZ, 2012; TUNDISI, 1986).

Além dos reservatórios serem utilizados para a geração de energia elétrica, os mesmos também são muitas vezes utilizados para diversos outros fins, como abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, cultivo de peixes, recreação e controle de cheias (RUAS, 2006).

Considerando a importância do uso da água de reservatórios para a geração de energia elétrica e para outros tipos de uso, assim como as modificações das características do corpo d'água decorrentes do barramento artificial, torna-se cada vez mais recorrente o estudo da qualidade da água de reservatórios de usinas hidrelétricas.

3.4 Qualidade da água em reservatórios

O crescimento acelerado da população no Brasil nas últimas décadas motivou a construção de reservatórios como maneira de suprir a demanda tanto de abastecimento de água para os centros urbanos, indústrias e irrigação quanto a demanda da geração de hidroeletricidade. Em virtude dessa demanda, muitos rios foram represados, se transformando em ambientes com características próximas a dos ambientes lênticos (von SPERLING, 1999).

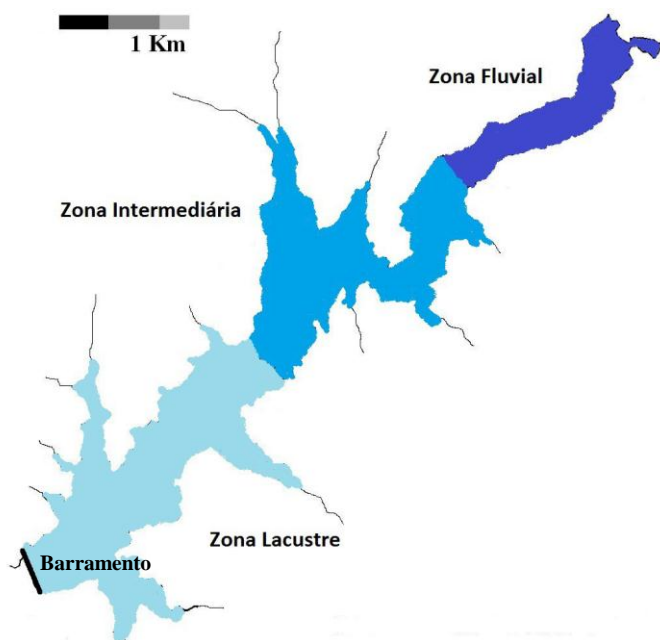
De acordo com Monteiro Junior (2006), os reservatórios são sistemas intermediários entre rios (ecossistemas lóticos) e lagos (ecossistemas lênticos), na medida em que o tempo de residência (volume/vazão) apresenta valores intermediários entre um e outro ambiente.

As distintas condições dos ambientes lóticos para lênticos e os impactos das atividades antrópicas conferem aos reservatórios diferentes características, em especial quanto à qualidade da água (BRANCO e ROCHA, 1987).

Assim, um fator importante na estrutura dos reservatórios diz respeito à sua possível compartimentalização. Geralmente, observa-se três compartimentos distintos em um reservatório (Figura 3): um com características próximas as de rio

(fluvial), localizado na parte alta do reservatório; outro semelhante ao ambiente de lago (lacustre), próximo ao barramento; e um de transição entre os dois ambientes. No geral, o compartimento fluvial é mais raso, com maior velocidade de fluxo e, por isso, menor tempo de retenção, menor penetração de luz, maior concentração de material em suspensão e de nutrientes, sendo a maior parte da produção alóctone. O compartimento lacustre possui características opostas à do fluvial, e o de transição possui características intermediárias. No compartimento de transição a produtividade primária fitoplanctônica tende a ser maior, pois nessa porção do reservatório há um ótimo na relação entre nutrientes e luminosidade, conferindo assim boas condições para as algas (THORNTON, 1990).

Figura 3 - Compartimentalização em reservatórios evidenciando a zona fluvial, a zona intermediária e a zona lacustre



Fonte: Adaptado de Serafim-Junior et al. (2011)

De acordo com Thornton (1990), a distinção dos três compartimentos não ocorre sempre de forma precisa em um reservatório particular, podendo, por exemplo, os compartimentos fluviais e de transição estarem limitados a uma pequena porção devido ao tempo de retenção ou tempo de residência da água (volume/vazão) ser longo, ou, ao contrário, o compartimento fluvial pode ser bastante grande por uma persistência de características de rio. Quanto menor o tempo de residência maior a tendência do reservatório se comportar como rio. Do contrário, com o aumento do

tempo de residência, há tendência de grande parte de o reservatório apresentar padrões típicos de ambientes lacustres (MEIRINHO, 2010).

Segundo Ruas (2006) e Breda (2011), a qualidade da água de reservatórios é determinada por um conjunto de fatores relacionados com processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio corpo hídrico. Dentre esses fatores, pode-se citar a área, o volume e a profundidade máxima do reservatório, a contribuição das águas das chuvas e as alterações vindas do próprio ambiente.

A área representa a superfície total do espelho d'água. Seu valor sofre variações em decorrência das oscilações do nível d'água (NA), causadas pelas alternâncias de períodos de evaporação e transpiração e em função dos usos dos reservatórios artificiais. A área do corpo hídrico influi na dinâmica do meio aquático na medida em que se considera a exposição da superfície do espelho d'água à radiação solar. O grau de exposição aos raios solares regula a atividade fotossintética, ou seja, a produção primária, que está diretamente associada ao fenômeno da eutrofização (RUAS, 2006).

A dimensão da área do lago também está relacionada aos fenômenos hidrológicos de precipitação e evaporação. Quanto maior a área do corpo hídrico, maior tende a ser o recebimento de chuva, implicando, portanto, em uma maior carga afluente de compostos químicos em forma particulada ou dissolvida. Similarmente, o processo de evaporação em grandes lagos ou reservatórios, principalmente naqueles de menor volume (isto é, mais rasos) provoca a volatilização de gases e a perda de água na forma de vapor, conduzindo a um aumento no teor de sais no ambiente aquático. Este fenômeno de salinização gradativa de sistemas lacustres é frequente em regiões áridas, provocando a formação de lagos de água salobra ou salina (RUAS, 2006).

O volume indica a quantidade de água acumulada na depressão (bacia hidráulica) que constitui o lago ou reservatório. O volume dos reservatórios sofre variação em decorrência da precipitação e das vazões afluentes. Este parâmetro também sofre variações em decorrência do clima local e de ações antrópicas como, por exemplo, da retirada de água a montante do reservatório. O significado limnológico do volume de um corpo hídrico está associado à dimensão de seus compartimentos aquáticos e à sua capacidade de diluição. Reservatórios de grande volume possuem uma maior massa de oxigênio dissolvido, apresentando, portanto, melhores condições

de assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica. Em suma, os lagos e os reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos (RUAS, 2006).

A profundidade máxima corresponde à maior distância existente entre a superfície da coluna d'água e o fundo do corpo hídrico, podendo ser obtida por levantamento batimétrico. O valor da profundidade depende de variações de nível que ocorrem no corpo d'água, as quais podem apresentar amplitudes significativas no caso de represas, em decorrência da operação das descargas do reservatório. Assim, normalmente utiliza-se o nível d'água máximo como referencial para a profundidade máxima (von SPERLING, 1999).

São marcantes as diferenças de comportamento entre ambientes rasos e profundos, principalmente no que se refere ao padrão de circulação e à distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água. Em lagos de baixa profundidade, a radiação solar pode atingir o fundo do corpo hídrico, o que implica em uma produtividade primária total bastante elevada em função do volume do lago. Isto significa que uma maior proporção de volume é exposta à influência dos raios solares, ocorrendo ainda um maior valor para a razão entre área do sedimento e volume. Todos estes fatores conduzem a um aumento da produtividade primária (RUAS, 2006; von SPERLING, 1999).

De acordo Mees (2016), geralmente, no momento em que o reservatório encontra-se seco (menores níveis de cota), há uma maior concentração dos nutrientes dissolvidos, e quando o mesmo começa a estabilizar-se (maiores níveis de cota), aumentando assim, o poder de diluição, diminui-se a concentração dos nutrientes. Os níveis baixos também contribuem para que a temperatura da água se eleve, reduzindo a capacidade de dissolução de oxigênio na água, prejudicando, conseqüentemente, os processos de depuração da matéria orgânica.

Assim, a variação do volume do reservatório pode afetar de forma significativa os diversos processos relacionados à qualidade das águas, dentre eles, a capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras, a produtividade biológica, a ciclagem de nutrientes e o grau de trofia, as dinâmicas dos processos de circulação, etc.

É importante ressaltar que os ambientes lacustres sofrem diversas modificações ao longo do tempo, as quais conduzem a uma redução gradativa do seu volume de água. Esta redução no volume de água ocorre devido a processos de

sedimentação natural, influências do clima, da operação da usina e de intempéries ou alterações hidrológicas de cunho antrópico, como a retirada excessiva de água a montante (von SPERLING, 1999).

Conforme abordado anteriormente, os processos que ocorrem na bacia de drenagem também podem influenciar a qualidade da água dos reservatórios. As diversas atividades desenvolvidas na bacia, bem como as condições pluviométricas na região podem contribuir com um aporte de cargas poluidoras no reservatório.

Além de contribuir com um aporte de cargas poluidoras advindas do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica, a precipitação pluviométrica pode também atuar como um agente diluidor de poluentes em reservatórios (MARQUES, 2011). A precipitação pluviométrica e a evaporação sobre a bacia de drenagem dos reservatórios, podem, por exemplo, influenciar o aporte de água e de nutrientes e, conseqüentemente, o comportamento hidrodinâmico do corpo d'água. Normalmente, a carga externa de nutrientes e matéria orgânica aumenta com eventos de precipitação intensa, perceptível visivelmente pelo aumento da turbidez. Períodos chuvosos podem tornar as águas mais turvas, diminuindo a produtividade. Por outro lado, em épocas de estiagem, a transparência das águas pode aumentar e, assim, a produtividade pode também aumentar (LEMOS, 2011).

O carreamento de sedimentos da área de drenagem para o reservatório pode desencadear um processo de assoreamento, fenômeno que tende diminuir a vida útil do barramento e reduzir o prazo para seu principal uso da água, que é a geração de energia elétrica.

Assim, a quantidade de água é um requisito essencial para o gerenciamento da qualidade da água. Percebe-se que as maiores dificuldades para o gerenciamento da qualidade da água ocorrem em épocas secas, porque a redução no volume de água pode vir a causar deterioração de sua qualidade. Por isso, é necessária a interligação entre os aspectos quantitativos e qualitativos das águas, considerando a totalidade do sistema envolvido (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

Diante do exposto, fica claro que os reservatórios são ecossistemas compostos por subsistemas ecológicos que interagem entre si: a bacia hidrográfica e sua rede hídrica (vazões afluentes), o reservatório propriamente dito e as descargas (vazões liberadas) e o sistema a jusante. Esses subsistemas são interativos, operam em conjunto, e os reservatórios dependem dessas interações (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

3.4.1 Alguns estudos sobre a qualidade da água de reservatórios de usinas hidrelétricas

Considerando a importância dos reservatórios das usinas hidrelétricas no nosso país e as implicações advindas das alterações da qualidade da água desses ambientes, vários estudos foram realizados no sentido de identificar e correlacionar fatores que afetam a qualidade da água desses reservatórios. A seguir serão apresentados alguns desses estudos.

Ruas (2006) avaliou os efeitos na qualidade da água decorrentes da instalação de barramentos de três usinas hidrelétricas no rio Pomba, localizado na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, estado de Minas Gerais. O autor avaliou tanto os efeitos decorrentes dos barramentos quanto de outros fatores que podem influenciar na qualidade das águas, como o clima, uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, contribuição de afluentes, dentre outros. Ele também avaliou a possível implicação dos barramentos sobre os usos atuais e potenciais da água, de acordo com o estabelecido pelo enquadramento do curso d'água. O autor concluiu que os parâmetros DBO, fosfato solúvel, sólidos sedimentáveis, fitoplâncton e zooplâncton foram influenciados pela instalação de um ou mais barramentos no curso d'água. No entanto, não foram verificados quaisquer riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade.

Breda (2011) também avaliou os efeitos da instalação de barramento sobre os parâmetros de qualidade de águas na UHE de Funil, instalada no rio Grande, bacia hidrográfica do rio Paraná, região sul do estado de Minas Gerais. De acordo com o autor, os parâmetros de qualidade da água que foram alterados devido à instalação do barramento no curso d'água foram: condutividade elétrica, dureza total, pH, sólidos suspensos, sólidos totais, temperatura, turbidez, clorofila-a, fósforo total, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, fitoplâncton e zooplâncton. Não foram verificados maiores riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade, tendo em vista a manutenção de boas condições de qualidade da água na maior parte do período estudado.

Silva et al. (2009) desenvolveu um trabalho no reservatório da UHE de Peti, em Minas Gerais, visando avaliar a influência do uso do solo do entorno do reservatório na qualidade da água. Os resultados de qualidade da água apresentaram variação sazonal. Na época chuvosa, parâmetros como sólidos, turbidez e cor aumentaram a

concentração. Maior variação entre as profundidades foi observada na época de estiagem, e à medida que se adentrava no reservatório (montante para jusante) parâmetros como turbidez, cor e sólidos totais em suspensão diminuía em função da sua própria dinâmica. Pelos parâmetros analisados, não foi possível detectar a influência dos diferentes usos do solo na qualidade da água.

Marques (2011) verificou a contribuição física, química e biológica da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande para o reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães, localizado no estado de Tocantins, nos períodos de seca e chuva. A autora observou que os níveis de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, fósforo e pH apresentaram maiores valores no período chuvoso, fato atribuído ao aporte de material alóctone carregado pelas chuvas ao reservatório. No entanto, os parâmetros nitrato e sólidos fixos apresentaram maiores concentrações no reservatório no período de estiagem. As condições de eutrofia tornaram-se mais intensas com o avançar da seca, podendo ser consequência dos processos de decomposição da matéria orgânica, que libera compostos nitrogenados. A maior concentração de sólidos fixos na estiagem provavelmente estava associada à baixa profundidade dos pontos, o que facilita a ressuspensão dos sedimentos pela ação dos ventos. A alta estabilidade da coluna de água e elevada disponibilidade de nutrientes propiciaram um expressivo desenvolvimento do fitoplâncton no reservatório.

Cordeiro (2013) avaliou o grau de trofia das águas do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros, localizada no estado de Goiás, por meio do Índice de Estado Trófico (IET) em dois períodos distintos, seco e chuvoso. As variáveis analisadas foram: fósforo, clorofila a e profundidade da transparência de Secchi. A autora verificou que o IET foi mais elevado no período chuvoso do que no período seco, sendo possível verificar a interferência da precipitação e uso do solo na bacia no estado trófico do reservatório.

Buzelli e Santino (2013) analisaram e diagnosticaram a qualidade da água e o estado trófico do reservatório de Barra Bonita utilizado para geração de energia elétrica e outros fins, localizado no estado de São Paulo, utilizando o Índice de Estado Trófico (IET). Para tanto, foram realizadas medições de diversas variáveis limnológicas nos períodos de estiagem e cheia, além de uma análise de dados fornecidos pelos relatórios anuais da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Os autores relataram que a principal categoria de uso do solo no entorno do reservatório era a atividade agrícola, e que a mesma estava contribuindo

diretamente para a alteração das características físicas e químicas da água desse ambiente, incrementando a fertilização das águas. O IET foi maior para o período de estiagem do que para o período chuvoso, embora as variações não tenham sido significativas, corroborando com os resultados apresentados por Marques (2011) para as condições de eutrofia.

Viana et al. (2013), utilizando ferramentas estatísticas multivariadas, estudou a qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte, localizada no rio Araguari, no estado de Minas Gerais. Para isso foram avaliados dados físico-químicos de 5 estações de monitoramento localizadas na sub-bacia do Araguari. Os autores buscaram identificar as regiões mais comprometidas pelas ações antrópicas e as possíveis fontes de alteração dos parâmetros de qualidade. De uma forma geral, os autores observaram que as estações de monitoramento localizadas na sub-bacia do rio Araguari sofriam alterações advindas de fontes poluidoras diversas, tais como fontes difusas agrícolas, áreas urbanas e atividade de mineração.

Viana (2014) realizou um estudo na UHE de Nova Ponte com o objetivo de analisar a consistência do banco de dados de qualidade da água do reservatório da usina a partir da aplicação de ferramentas estatísticas. Nesse estudo foram analisados parâmetros físico-químicos de qualidade de água do reservatório da usina e dos rios da sub-bacia do Araguari através das ferramentas estatísticas multivariadas, visando identificar variações espaciais e temporais nesses parâmetros. A associação das análises estatísticas com os dados de uso e ocupação do solo permitiu verificar a situação ambiental do local. Através do cruzamento dessas informações, a autora concluiu que as atividades exercidas na região apresentam um impacto direto na qualidade da água.

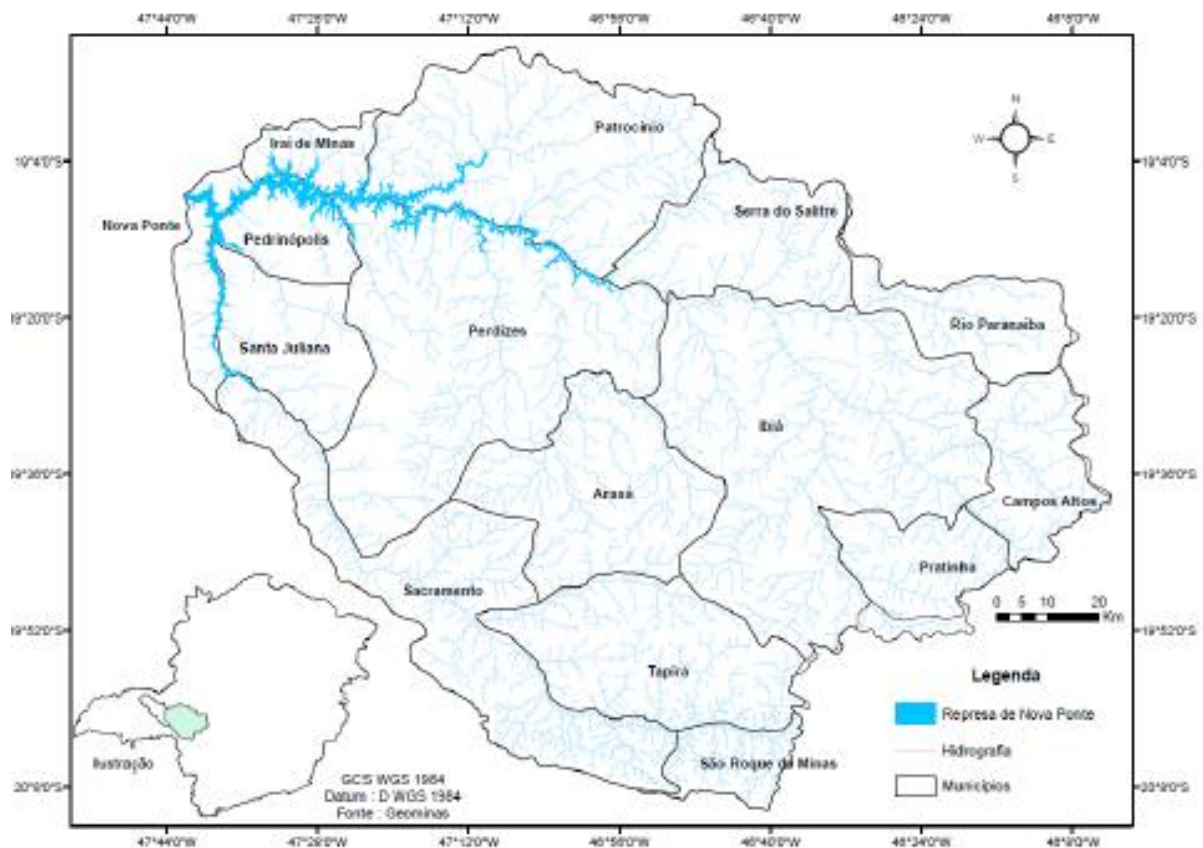
Flauzino (2014) estudou a qualidade da água e dos sedimentos nos reservatórios das UHEs de Nova Ponte e Miranda, estado de Minas Gerais, nas estações seca e chuvosa. Os resultados do trabalho indicaram que os recursos hídricos da área estudada estavam bastante vulneráveis à interferência humana direta ou indireta. A análise do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e do IET mostrou que os índices oscilaram em função da época do ano, estação seca ou chuvosa.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A UHE de Nova Ponte está situada no rio Araguari, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, no município de Nova Ponte, estado de Minas Gerais (Figura 4). Sua construção iniciou-se em 1987 e sua operação iniciou-se em 1994. A construção da UHE de Nova Ponte propiciou um significativo ganho de energia para o sistema interligado da região Sudeste, ocupando a posição de terceira maior usina do parque gerador da CEMIG, em virtude da localização privilegiada e grande capacidade de regularização de seu reservatório. O reservatório da usina ocupa uma área de 449,24 km², com volume útil máximo (volume efetivamente destinado a operação do reservatório) de 10.380 hm³ (CEMIG, 2006). Uma descrição das características da UHE de Nova Ponte é apresentada na Tabela 1.

Figura 4 - Mapa de localização do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte e sua área de drenagem



Fonte: Viana (2014)

Tabela 1 - Características da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Localização	
Município	Nova Ponte
Bacia Hidrográfica	
Rio	Araguari
Bacia	Rio Paranaíba
Área de drenagem (km ²)	15.338
Reservatório	
Área (km ²)	449,24
Volume útil máximo (hm ³)	10.380
Barragem	
Comprimento (m)	1.620
Altura máxima (m)	142
Casa de Força	
Potência instalada (MW)	510
Número de unidades geradoras	3
Energia assegurada (MW médio)	276

Fonte: Adaptado de CEMIG (2006) e Brandt Meio Ambiente (2016)

Oito municípios mineiros tiveram suas terras inundadas pelo reservatório da usina, nomeadamente Nova Ponte, Iraí de Minas, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Sacramento, Santa Juliana e Serra do Salitre, conforme mostrado na Figura 4 (CEMIG, 2006). Segundo informação contida no Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial da UHE de Nova Ponte (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016), atualmente a usina encontra-se em processo de renovação da licença de operação (LO) (111/2005) concedida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

O clima da região da UHE de Nova Ponte caracteriza-se pelo regime tropical, com período de seca entre os meses de abril e setembro e período de chuva entre os meses de outubro e março. A precipitação anual é de cerca de 1.350 mm/ano. A temperatura média do mês mais frio do ano (julho) é de 18°C e a do mês mais quente do ano (janeiro) é de 24°C (FLAUZINO, 2014).

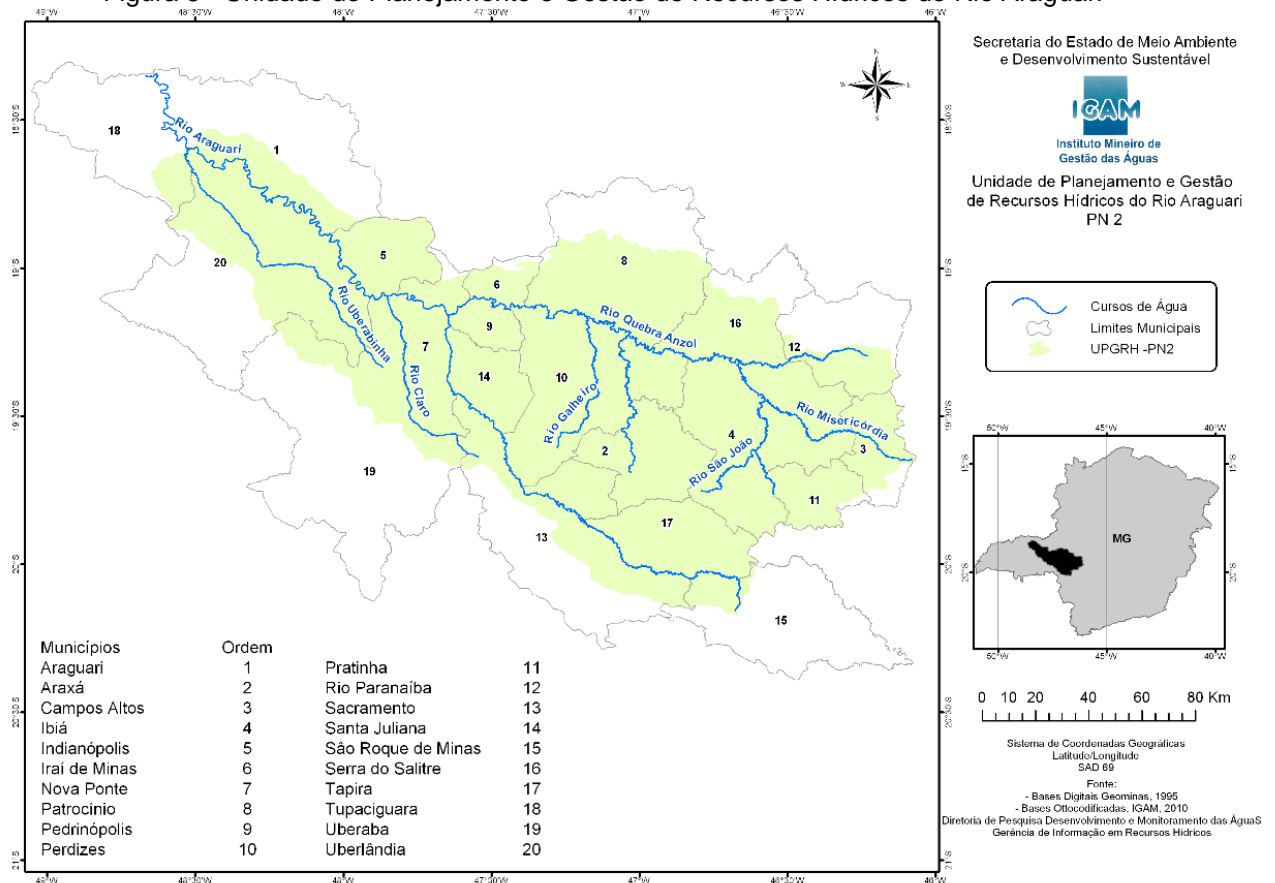
A área onde está localizada a UHE de Nova Ponte contém alguns remanescentes do Cerrado, Cerradão e Floresta Estacional Semidecidual. Predominam latossolos, argissolos e cambissolos na bacia. Nas áreas com altitudes menores encontra-se latossolo vermelho e vermelho-amarelo, que possuem elevada

acidez, presença de alumínio e elevados teores de Fe₂O₃ (ANA, 2013; BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016; VIANA et al, 2013).

Com relação aos usos dos solos na bacia hidrográfica em que se localiza a UHE de Nova Ponte, há predomínio da agropecuária, principalmente a cultura de soja e milho. Grande parte das práticas agrícolas caracterizam-se pelo consumo de insumos e defensivos (agrotóxicos). Ocorre também o uso do solo para silvicultura (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016; CARRIJO, 2003).

A área de entorno do reservatório está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Araguari, também conhecida como médio curso do rio Paranaíba, na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Araguari, conforme o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (Figura 5).

Figura 5 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Araguari



Fonte: IGAM (2013)

O enquadramento dos corpos de água segundo os usos preponderantes ainda não foi implementado na bacia hidrográfica do rio Araguari (IGAM, 2012). Assim, de

acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, os corpos d'água da área de estudo são considerados como classe 2 (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008). Conforme estabelecido pelas referidas legislações, estes cursos d'água são adequados aos seguintes tipos de usos: abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, e de parques, jardins, campos de esporte e lazer onde o público possa vir a ter contato direto com a água; e aquicultura e atividades de pesca.

Segundo informações do Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Rio Araguari elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2013), as principais atividades que utilizam o potencial hídrico da bacia são: irrigação, abastecimento humano, mineração, dessedentação animal, uso industrial e geração de energia. A região da bacia conta com quatro grandes hidrelétricas: Nova Ponte, Miranda e Amador Aguiar I e II (Antigas Capim Branco I e II).

O entorno do reservatório da UHE de Nova Ponte está situado, em sua grande maioria, na área rural, onde grande parte dos condomínios rurais (chácaras, ranchos e sítios) usam a água do reservatório para o plantio de hortaliças e legumes e para a irrigação de jardins. O uso da água do reservatório para dessedentação animal não é frequente, mas ocorre em pontos isolados, sendo possível observar trechos com áreas de pastagem às margens do reservatório (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

Outra informação relevante do uso da água do reservatório está relacionada à existência da prática de piscicultura (MORAIS et al, 2013). Os tanques de piscicultura no reservatório da UHE de Nova Ponte são utilizados para a produção de tilápias que são destinadas aos frigoríficos localizados em Nova Ponte e Patrocínio. De acordo com informações coletadas em campo, nos últimos anos, devido à baixa no nível do reservatório em função das anomalias climáticas, houve uma redução da prática de piscicultura no reservatório da UHE de Nova Ponte (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

Foram identificadas também atividades de dragagem de areia no reservatório da UHE de Nova Ponte. Além disto, em todos os condomínios localizados na área de entorno da UHE de Nova Ponte foi identificada a prática de pesca e de esportes náuticos (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016).

4.2 Amostragem e análises dos parâmetros de qualidade da água

Os dados de qualidade da água utilizados para a realização do presente trabalho são provenientes dos Relatórios do Monitoramento da Qualidade das Águas da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte disponibilizados pela CEMIG (ÁGUA E TERRA PLANEJAMENTO AMBIENTAL, 2010; ARAXÁ AMBIENTAL, 2011, 2012, 2013a, 2013b, 2014; BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015). Os resultados do monitoramento são armazenados no Sistema de Informação da Qualidade da Água dos Reservatórios da CEMIG – SISÁGUA e podem ser acessados no site: <www2.cemig.com.br/sag> (SISÁGUA, 2015).

Foram utilizados resultados de qualidade de água referentes a parâmetros físicos, químicos e biológicos reportados entre março de 2009 a julho de 2015, totalizando 24 campanhas de monitoramento. As campanhas foram realizadas em diferentes meses do ano, mas buscou-se abranger períodos secos (abril a setembro) e chuvosos (outubro a março).

Para este trabalho buscou-se selecionar os parâmetros de qualidade de água mais representativos do ponto de vista sanitário e ambiental, que normalmente são utilizados em avaliações de qualidade de águas de reservatórios, considerando aqueles com maior número de dados disponíveis nos relatórios de qualidade da água consultados no presente trabalho e no sistema SISÁGUA.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros selecionados no presente trabalho.

Tabela 2 - Relação dos parâmetros de qualidade da água analisados no presente trabalho

Classificação	Parâmetros
Físicos	Temperatura e turbidez
Químicos	pH, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, ortofosfato
Biológicos	Cianobactérias, Clorofila a e coliformes termotolerantes

As técnicas de amostragem, preservação e análise utilizadas neste estudo basearam-se no Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de

Água da CEMIG (CEMIG, 2009) e no Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os parâmetros temperatura da água, oxigênio dissolvido, turbidez e pH foram determinados *in loco*, utilizando-se sonda multiparâmetros em algumas campanhas. Em outras, essas análises foram realizadas utilizando-se oxímetro, turbidímetro e pHmetro. Para medição dos demais parâmetros, amostras de água foram coletadas na superfície da coluna d'água e armazenadas em frascaria adequada em isopor com gelo até serem transportadas para o laboratório (CEMIG, 2009).

A comunidade fitoplanctônica foi analisada qualitativamente e quantitativamente de acordo com as técnicas descritas no Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água da CEMIG (CEMIG, 2009).

Amostras para análises qualitativas de fitoplâncton foram coletadas através de arrastos verticais, utilizando rede de plâncton com poros de 20 μ , 25 μ ou 30 μ . As amostras foram armazenadas em frascos de 250ml e fixadas com formalina a 4%. Para as análises quantitativas de fitoplâncton, amostras foram coletadas em frascos de 1L, acondicionadas em garrafas opacas e fixadas com solução de lugol acético. A contagem dos organismos foi realizada utilizando microscopia invertida (aumento 200 vezes). A densidade total de cada organismo foi expressa em indivíduos por mililitro.

Para a análise qualitativa e quantitativa das Cianobactérias foi utilizada a mesma metodologia descrita acima, visto que essa comunidade está inserida na comunidade fitoplanctônica. Porém, para comparar com a legislação ambiental vigente, essa comunidade também foi avaliada quantitativamente na unidade de células por mililitro.

Foram utilizados os dados correspondentes às coletas superficiais de amostras. No entanto, em algumas campanhas (março/2009, maio/2009, setembro/2009 e dezembro/2009), os parâmetros não foram coletados na superfície nos pontos A e B (descritos no tópico 4.3) do reservatório. Nestes casos, foram utilizados os dados provenientes da coleta realizada na metade da zona fótica para a realização das análises estatísticas. Considerou-se que tal adaptação não traria interferências nos resultados obtidos no âmbito do presente trabalho, uma vez que Breda (2011) e Souza (2014) também procederam essa adaptação ao analisar a qualidade da água dos reservatórios da UHE de Funil e da UHE de Irapé, respectivamente, não verificando quaisquer comprometimentos em suas avaliações.

Considerou-se como padrão ambiental legal para cada parâmetro de qualidade da água os valores limites estabelecidos para águas doces classe 2 na Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005.

4.3 Locais de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água

A partir da rede amostral e dos dados reportados nos relatórios de qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte, foram selecionados, observando a maior frequência de campanhas e de maior número de parâmetros medidos, 3 pontos de monitoramento para serem analisados no presente estudo, sendo um localizado distante do barramento (ponto A), outro na porção intermediária do reservatório (ponto B) e o outro mais próximo do barramento (ponto C) (Figura 6).

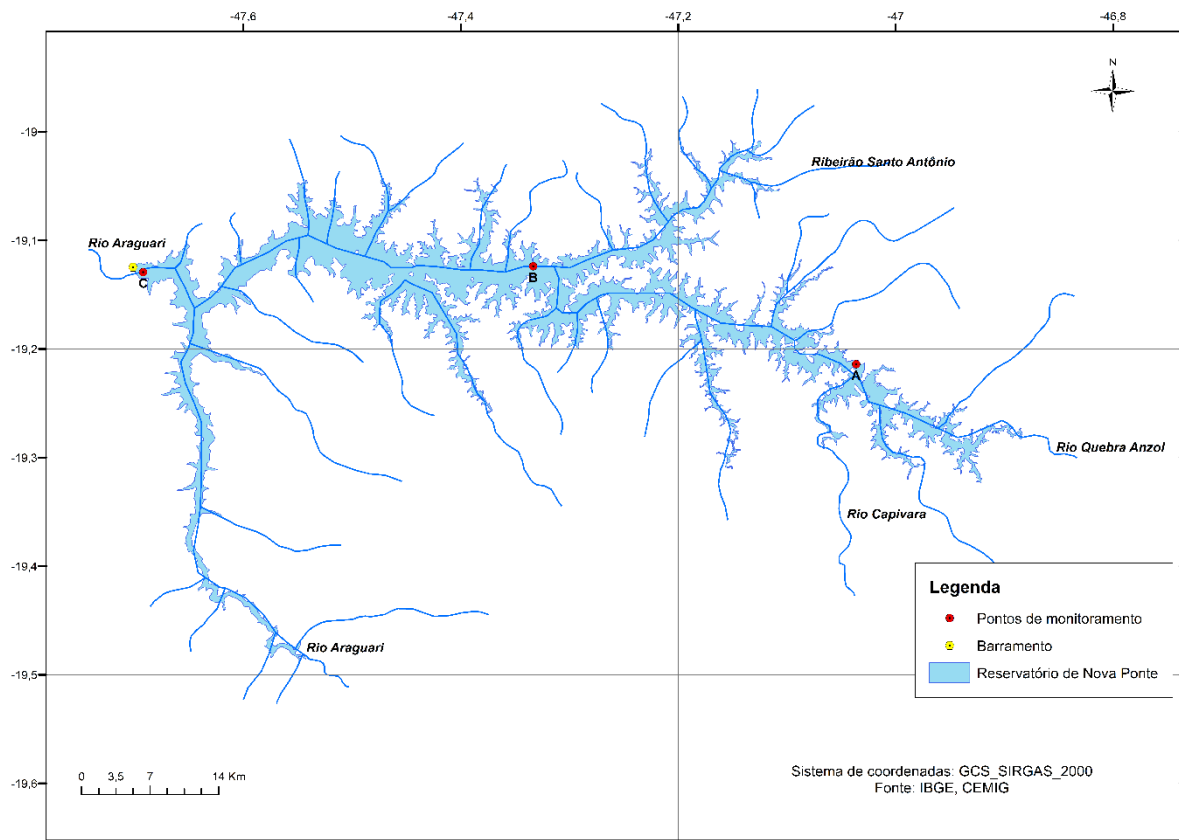
Na Tabela 3 são descritos os pontos de monitoramento utilizados neste trabalho, com informações sobre os cursos d'água e municípios nos quais os pontos estão localizados, além das coordenadas geográficas dos mesmos.

Tabela 3 - Descrição dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Descrição	Curso d'água	Município	Coordenadas Geográficas
A	Reservatório, a Jusante do Braço do Rio Capivara	Rio Quebra Anzol	Patrocínio	19°12'50,0" S 47°02'11,0" O
B	Reservatório, a Jusante do braço do Ribeirão Santo Antônio	Rio Quebra Anzol	Patrocínio	19°07'26,0" S 47°20'00,0" O
C	Reservatório, entre o Barramento e o Braço do Rio Quebra Anzol	Rio Araguari	Nova Ponte	19°07' 45,9" S 47°41'31,4" O

A Figura 6 mostra a localização dos pontos descritos acima.

Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte



4.4 Dados do volume útil do reservatório e de precipitação

Os dados referentes ao volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte e à precipitação que incide sobre a região do reservatório, foram obtidos diretamente com a Gerência de Planejamento Energético da CEMIG (CEMIG, 2016). Tais dados referem-se também ao período compreendido entre os anos de 2009 a 2015. Segundo informações desta gerência, os valores de volume útil são obtidos através da tabela de cota reservatório e a medição da precipitação é obtida por pluviômetro localizado próximo ao reservatório de Nova Ponte, com as seguintes coordenadas (19°07'59" S / 47°41'37" O).

4.5 Análise estatística

Primeiramente foi realizada uma análise descritiva dos dados com cálculo do valor mínimo, valor máximo, amplitude, média, mediana, desvio padrão e coeficiente

de variação para cada parâmetro de qualidade da água. Foram elaborados gráficos de linhas para ilustrar a tendência espaço-temporal dos parâmetros de qualidade da água e a variação do volume útil do reservatório no período analisado, assim como para verificar o atendimento aos padrões ambientais estabelecidos na Resolução CONAMA n.º357, de 17 de maio de 2005.

Para a análise temporal, o período avaliado (2009-2015) foi agrupado em 3 grupos: 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014-2015. Antes da análise estatística, foi testada a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov Smirnov (SUPORTE AO MINITAB 17, 2016a) e a homogeneidade de variância através do teste de igualdade de variância pelo método de comparações múltiplas (MONTGOMERY e RUNGER, 2009; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016b).

Para testar o efeito dos períodos e dos locais de coleta nos parâmetros de qualidade da água foi realizado o teste paramétrico t quando houve homogeneidade de variância (MONTGOMERY e RUNGER, 2009; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016c). Para os casos em que as variâncias não apresentaram-se homogêneas, realizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney (SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR, 2006; SUPORTE AO MINITAB 17, 2016d; SUPORTE AO MINITAB, 2016e).

No presente trabalho, além da análise estatística da variação espaço-temporal dos parâmetros de qualidade da água, também foi realizada a análise da influência da variação do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte nesses parâmetros. Para isso, os dados dos parâmetros de qualidade da água, assim como os dados de volume útil médio do reservatório, reportados no período de 2009 a 2015, foram organizados em categorias e analisados através do teste Qui-Quadrado de independência (CONTI, 2011; MORETTIN e BUSSAB, 2010).

Ressalta-se que para os dados reportados como abaixo do limite de detecção empregou-se a metade de tais valores na análise estatística (ex.: se DBO = "<0,5", utilizou-se o valor "0,25", ou seja, "0,5/2"). Tais valores devem ser considerados nas análises estatísticas e não excluídos dela como se não existissem (USEPA, 2006).

Todos os testes estatísticos foram realizados com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$). Os testes de normalidade, igualdade de variância, teste t e teste de Mann-Whitney foram realizados no software Minitab 17 (Minitab versão 17.3 trial, State College, USA). Já o teste Qui-Quadrado foi realizado no software Statistica (Statistica versão 12.0 trial, Dell StatSoft South America, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Relação da precipitação com o volume útil do reservatório nos períodos analisados

A Tabela 4 mostra o volume útil médio do reservatório da UHE de Nova Ponte e a precipitação média na região nos três períodos analisados.

Tabela 4 - Valores do volume útil médio e da precipitação média na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

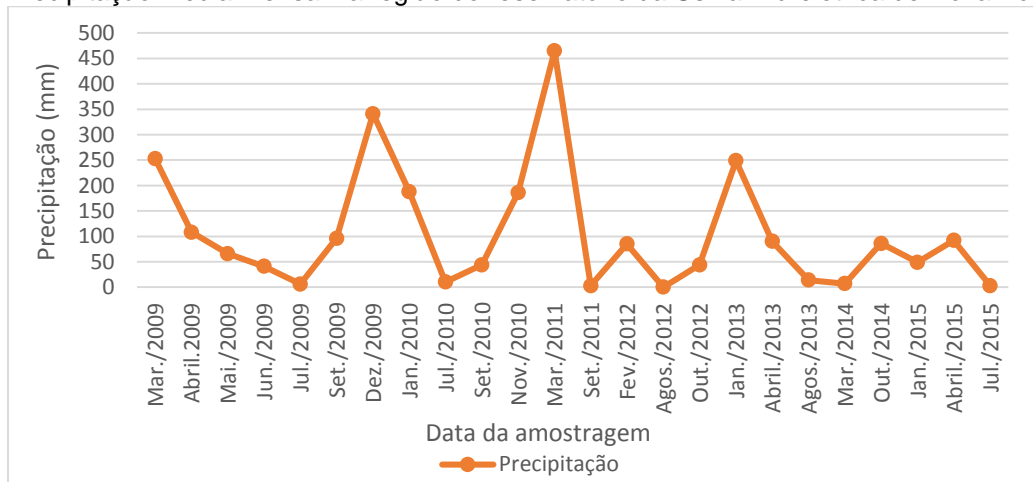
Período	Volume útil médio (%)	Precipitação média (mm)
2009-2010	81,1	1403
2011-2012	64,5	1275
2013-2014-2015	26,2	1062

Fonte: CEMIG (2016)

Como pode-se observar na Tabela 4, a precipitação média e o volume útil médio do reservatório da UHE de Nova Ponte seguiram a mesma tendência de redução ao longo dos períodos analisados.

A Figura 7 apresenta as precipitações médias registradas nos meses de realização das amostragens.

Figura 7 - Precipitação média mensal na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte



Fonte: CEMIG (2016)

A seguir são apresentados os resultados dos parâmetros de qualidade de água da UHE de Nova Ponte.

Os testes estatísticos realizados para verificar o efeito dos locais de coleta e dos períodos nos parâmetros de qualidade da água são apresentados nos Apêndices A e B, respectivamente. Os resultados do teste Qui-Quadrado para analisar a influência da variação do volume de água do reservatório nos parâmetros de qualidade de água são apresentados no Apêndice C.

5.2 Temperatura

A Figura 8 apresenta o gráfico das séries de temperatura da água em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. Já as Tabelas 5 e 6 apresentam a estatística descritiva do parâmetro temperatura da água para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 8 - Evolução espaço-temporal da temperatura da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

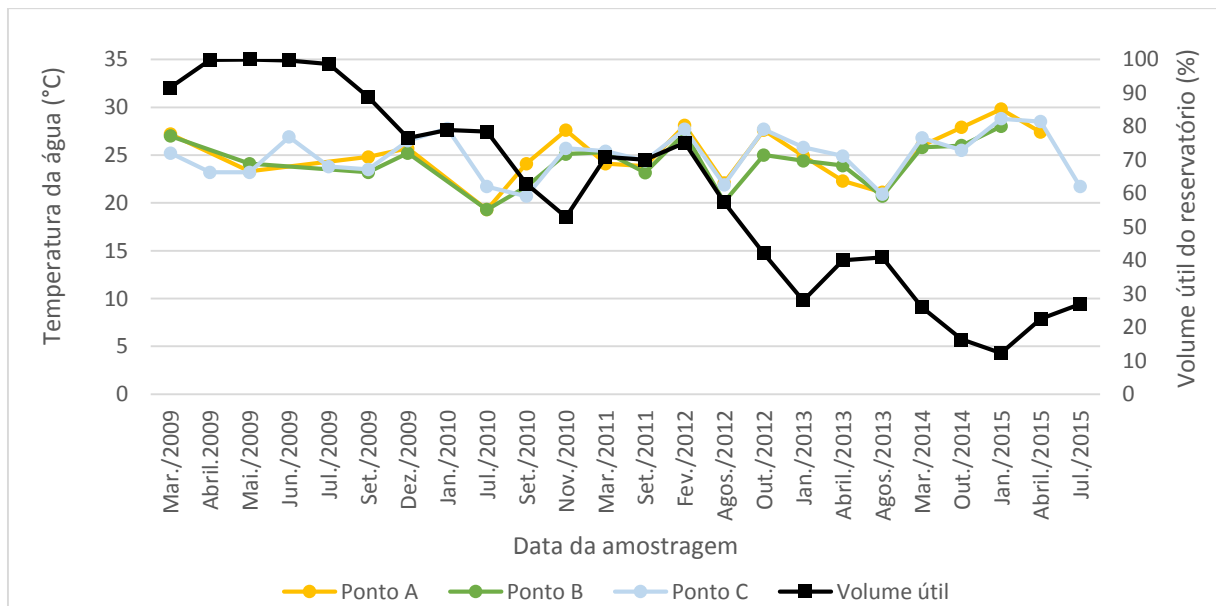


Tabela 5 - Estatística descritiva do parâmetro temperatura da água (°C) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	19,3	29,8	10,5	25,1	24,9	2,8	10,9
B	18	19,3	28,0	8,7	24,2	24,7	2,5	10,2
C	24	20,7	28,8	8,1	24,9	25,3	2,4	9,8

Tabela 6 - Estatística descritiva do parâmetro temperatura da água (°C) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	19,3	27,8	8,5	24,2	24,1	2,4	9,9
2011-2012	15	20,1	28,1	8,0	24,9	25,0	2,5	9,8
2013-2014-2015	21	20,7	29,8	9,1	25,3	25,8	2,7	10,8

Analisando-se a Figura 8 é possível perceber que os maiores valores de temperatura da água foram registrados nos meses mais quentes, entre outubro e março, enquanto os menores valores foram registrados nos meses mais frios, período de abril a setembro. Assim, a variabilidade entre as campanhas pode ser atribuída à influência do clima ao longo das estações, o que também foi constatado por Ruas (2006), Pedrazzi (2009) e Breda (2011) em estudos de qualidade de água de reservatórios.

Em relação ao atendimento à legislação ambiental vigente, não se tem um padrão definido para o parâmetro temperatura da água.

Os valores de média e mediana dos dados de temperatura da água no três pontos de monitoramento ficaram bem próximos (Tabela 5), o que demonstra um comportamento semelhante de variações de temperatura na rede amostral. O parâmetro temperatura da água não diferiu significativamente nos pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

O parâmetro temperatura da água também não apresentou diferenças significativas entre os períodos analisados (Tabela 6; teste t, $p > 0,05$).

No entanto, a temperatura da água mostrou-se dependente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Pode-se considerar que quanto menor o volume, maior tende a ser a temperatura da

água, uma vez que, segundo von Sperling (1999), quando ocorre uma diminuição do nível de água do reservatório, a radiação solar pode atingir mais profundamente o corpo hídrico. Isto significa que uma maior proporção de volume é exposta à influência dos raios solares. Tal fato foi constatado por Lemos (2011) no reservatório Pereira de Miranda, localizado no semiárido brasileiro, onde a partir da primeira campanha de monitoramento o volume do reservatório começou a decair em virtude da falta de chuvas no período, da intensa evaporação potencial e da contínua liberação de água pela tomada d'água. Segundo o autor, essa redução foi decisiva para o aumento na temperatura média do reservatório.

5.3 Turbidez

A Figura 9 apresenta o gráfico com os valores de turbidez em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 7 e 8 apresentam a estatística descritiva do parâmetro turbidez para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 9 - Evolução espaço-temporal da turbidez no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

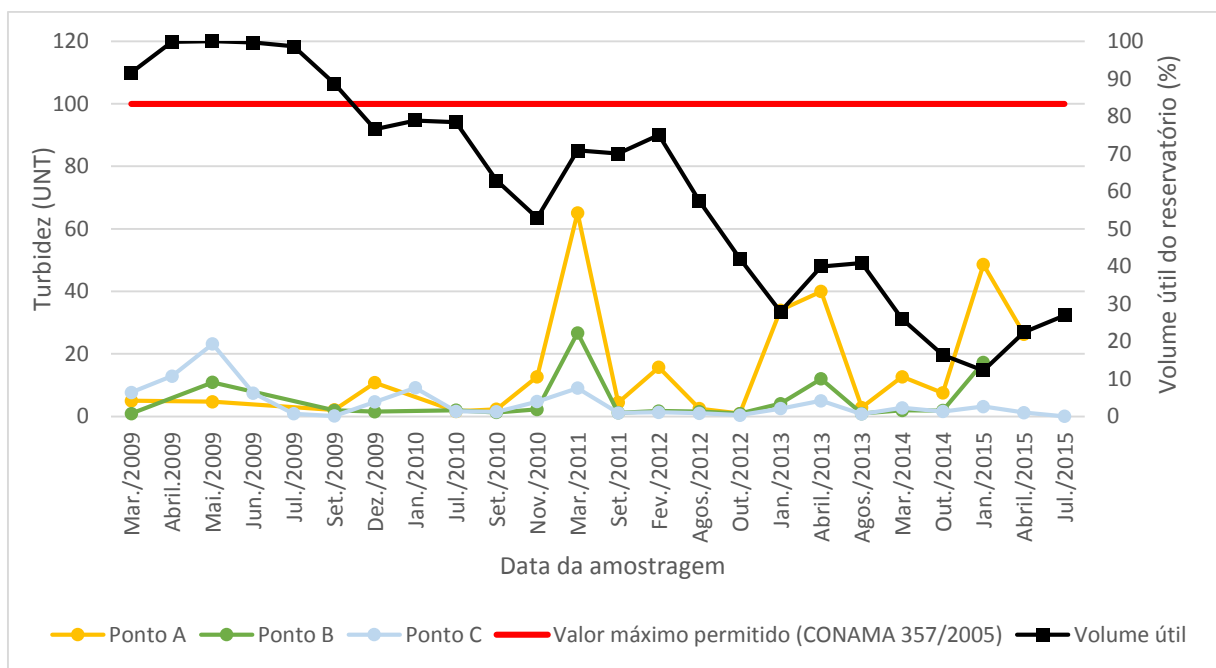


Tabela 7 - Estatística descritiva do parâmetro turbidez (UNT) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	0,9	65,1	64,2	15,8	7,5	18,5	117,2
B	18	0,9	26,7	25,8	5,1	1,9	7,1	141,4
C	24	<0,1	23,2	23,2	4,3	2,1	5,3	122,4

Tabela 8 - Estatística descritiva do parâmetro turbidez (UNT) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	0,1	23,2	23,1	5,4	2,3	5,4	101,6
2011-2012	15	0,4	65,1	64,7	8,9	1,5	17,2	193
2013-2014-2015	21	<0,1	48,6	48,6	10,8	3,1	14,3	132,4

Elevados valores de turbidez foram registrados nas campanhas de março de 2011 nos três locais de monitoramento e em janeiro de 2013 no ponto A (Figura 9). Nestes períodos também foram registradas elevadas precipitações médias na região do reservatório (465 mm e 249 mm, respectivamente) (Figura 7). Esses níveis mais altos de turbidez provavelmente ocorreram devido ao carreamento de partículas de solo para o reservatório pela ação da água das chuvas. Ruas (2006), Breda (2011) e Marques (2011) também encontraram elevados valores de turbidez em reservatórios nas campanhas realizadas nos meses que compreendem o período chuvoso, demonstrando a influência do maior carreamento de sólidos em função das precipitações. Apesar do valor de turbidez em abril de 2013 e janeiro de 2015 no ponto A terem sido maiores que os registrados na maioria das outras campanhas, 40,0 UNT e 48,6 UNT, respectivamente (Figura 9), a precipitação nesses períodos foi baixa, 90 mm e 49 mm, respectivamente (Figura 7). Este fato pode estar relacionado à ação dos ventos, que podem resuspender sedimentos especialmente em épocas de volumes baixos do reservatório.

A turbidez não ultrapassou o valor máximo de 100 UNT permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces classe 2 em nenhuma

amostragem (Figura 9). Dessa forma, em relação a este parâmetro de qualidade, pode-se dizer que os usos das águas do reservatório não foram comprometidos.

Os valores de turbidez encontrados no ponto de monitoramento A foram maiores que os encontrados nos pontos de monitoramento B e C (Tabela 7) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Tal fato pode ser atribuído à localização dos pontos. Os pontos B e C localizam-se mais próximos do barramento, enquanto o ponto A localiza-se mais distante do barramento. À medida que se aproxima do barramento a turbidez diminui em função do aumento da capacidade de sedimentação dos sólidos existentes na coluna d'água, pois características mais lânticas favorecem a ocorrência de tal processo. O mesmo padrão foi encontrado nos estudos desenvolvidos em reservatórios de usinas hidrelétricas reportados por Ruas (2006) e Silva et al. (2009).

O parâmetro turbidez não apresentou diferenças significativas entre os períodos analisados (teste t, $p > 0,05$; teste Mann-Whitney, $p > 0,05$).

Esperava-se que o volume do reservatório influenciasse o parâmetro turbidez em função do fator de diluição. Entretanto, a turbidez mostrou-se independente da variação do volume útil do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$). Isso pode ser justificado pelo fato que, apesar de um menor volume de água contribuir para o aumento da concentração de sólidos responsáveis pela turbidez, um menor volume de água pode também estar relacionado a uma menor incidência de chuvas na bacia, o que acarretaria um menor carreamento das partículas do solo para o reservatório. Estes efeitos opostos podem ter contribuído para a não detecção da influência do volume do reservatório no parâmetro turbidez.

5.4 pH

A Figura 10 apresenta o gráfico das séries de pH em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 9 e 10 apresentam a estatística descritiva do parâmetro pH para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 10 - Evolução espaço-temporal do pH da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

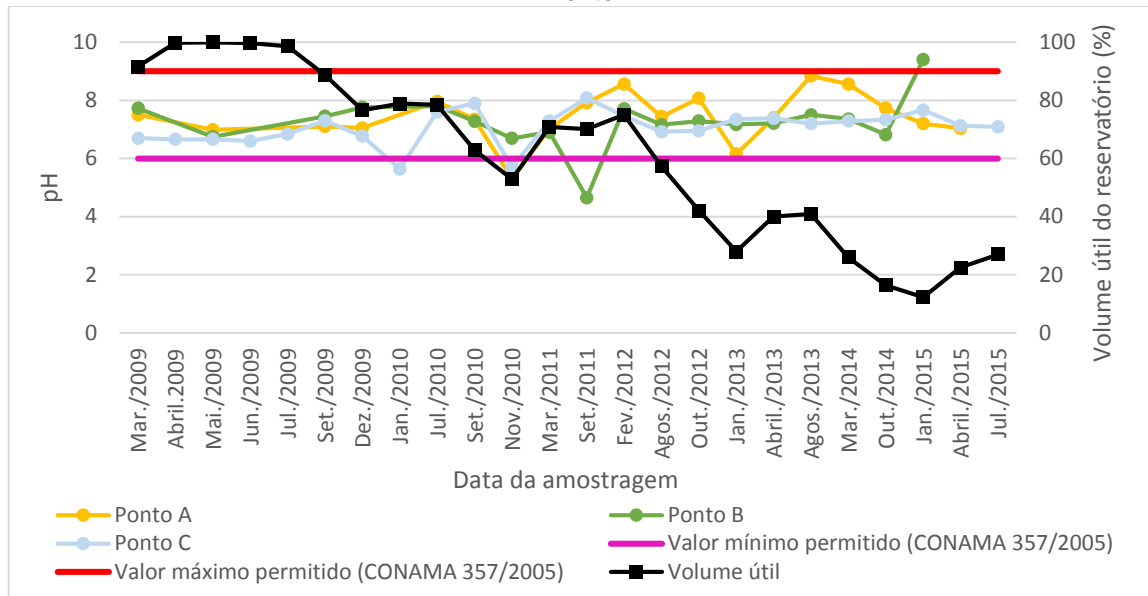


Tabela 9 - Estatística descritiva do parâmetro pH da água para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	5,3	8,8	3,5	7,4	7,4	0,8	11,2
B	18	4,7	9,4	4,8	7,3	7,3	0,9	12,2
C	24	5,6	8,1	2,4	7,1	7,2	0,6	8,2

Tabela 10 - Estatística descritiva do parâmetro pH da água para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	5,3	8,0	2,7	7,0	7,1	0,7	10,0
2011-2012	15	4,7	8,6	3,9	7,3	7,3	0,9	12,1
2013-2014-2015	21	6,2	9,4	3,3	7,5	7,3	0,7	9,4

Analisando-se a Figura 10 é possível perceber que, de uma forma geral, os valores de pH variaram pouco ao longo do tempo, com exceção do valor mínimo registrado no ponto B de 4,7, indicando condição de acidez, e do valor máximo observado no mesmo ponto de 9,4, indicando condições básicas.

No que diz respeito ao atendimento à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que o pH de águas doces de classe 2 deve situar-se entre 6,0 e 9,0. Valores abaixo do limite legal foram observados no ponto A em novembro de 2010 (5,3), no ponto B em setembro de 2011 (4,7) e no ponto C em janeiro de 2010 (5,6) e novembro de 2010 (5,7). Apenas o ponto B em janeiro de 2015 (9,4) apresentou-se acima do limite legal (Figura 10). No entanto, em média, os valores de pH apresentaram-se dentro dos limites definidos pela legislação (Tabela 9).

Os valores de média e mediana de pH nos três pontos de monitoramento ficaram bem próximos (Tabela 9), o que demonstra um comportamento semelhante de variações de pH ao longo da rede amostral (teste t, $p > 0,05$).

O parâmetro pH apresentou diferença significativa entre os períodos 2009-2010 e 2013-2014-2015 (teste t, $p < 0,05$). O pH pode ter apresentado valores mais elevados no último período de análise (Tabela 10) em função da maior presença de cianobactérias registrada neste período (item 5.12 deste trabalho), que ao realizarem fotossíntese sequestram o gás carbônico do meio. Tal fato também corrobora com os maiores valores de clorofila a (item 5.13 deste trabalho) encontrados no último período de análise, indicando o aumento da produtividade primária como um todo no reservatório. Além desses fatores, um menor volume de água no reservatório no último período de análise pode ter elevado a concentração de substâncias básicas no corpo d'água contribuindo também para essa elevação do pH. Granado et al. (2009) também encontrou valores maiores de pH quando o nível de água da Lagoa do Camargo (SP) estava mais baixo.

O pH da água mostrou-se dependente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Isto evidencia o efeito da diminuição do volume de água do reservatório nos valores de pH, que apresentaram-se mais elevados no período entre 2013 a 2015.

5.5 Oxigênio Dissolvido

A Figura 11 apresenta o gráfico das séries de oxigênio dissolvido em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 11 e 12 apresentam a estatística descritiva do parâmetro

oxigênio dissolvido para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 11- Evolução espaço-temporal do oxigênio dissolvido no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

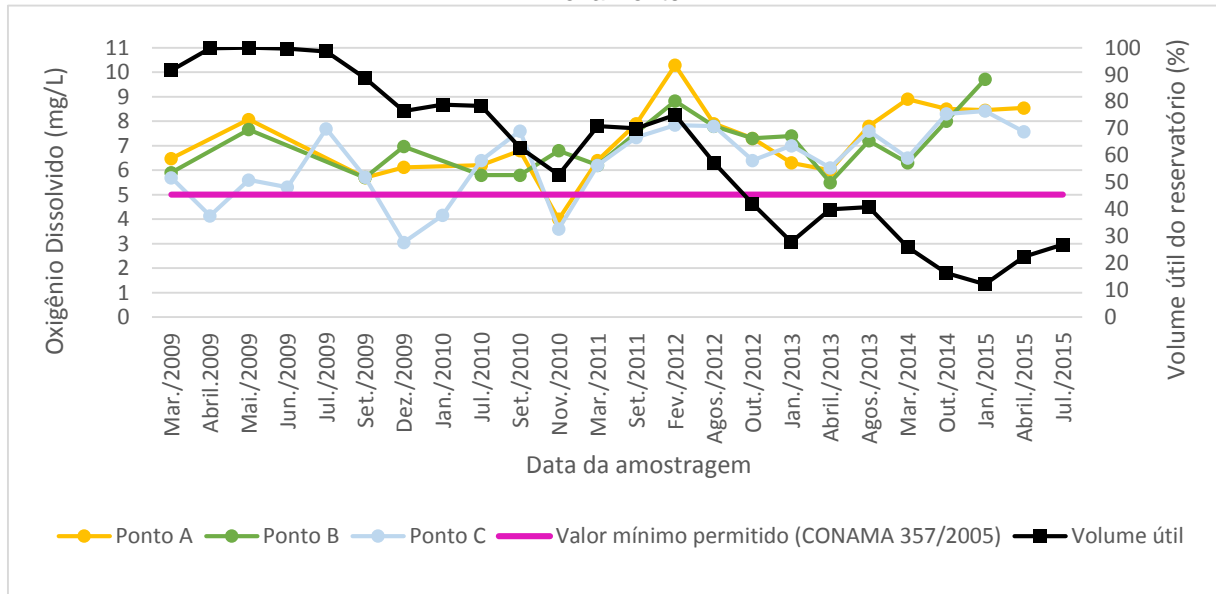


Tabela 11 - Estatística descritiva do parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	4,0	10,3	6,3	7,2	7,3	1,5	20,0
B	18	5,5	9,7	4,2	7,0	7,1	1,2	16,4
C	23	3,1	8,4	5,4	6,4	6,4	1,5	24,0

Tabela 12 - Estatística descritiva do parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	3,1	8,1	5,0	5,9	5,8	1,3	22,3
2011-2012	15	6,2	10,3	4,1	7,5	7,5	1,1	14,2
2013-2014-2015	20	5,5	9,7	4,2	7,5	7,6	1,1	15,0

Ao observar a Figura 11 é possível constatar que, de uma forma geral, o reservatório da UHE de Nova Ponte apresenta águas bem oxigenadas. Percebe-se

que as maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram encontradas principalmente nas amostragens de fevereiro de 2012 (ponto A= 10,3 mg/L; ponto B= 8,8 mg/L e ponto C= 7,8 mg/L) e janeiro de 2015 (ponto A= 8,5 mg/L; ponto B= 9,7 mg/L e ponto C= 8,4 mg/L). Já os menores valores foram encontrados em dezembro de 2009 no ponto C (3,1 mg/L) e em novembro de 2010 nos pontos A (4,0 mg/L) e C (3,6 mg/L). Percebe-se através da Figura 7 que as precipitações em fevereiro de 2012 (85 mm) e janeiro de 2015 (49 mm) foram bem menores que as precipitações em dezembro de 2009 (341 mm) e em novembro de 2010 (186 mm). Uma precipitação mais elevada pode resultar em um maior aporte de matéria orgânica para a água, proveniente do escoamento superficial na bacia de drenagem, contribuindo assim para a redução do OD no reservatório. Tal fato também foi constatado por Breda (2011) ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma concentração mínima de OD de 5 mg/L para águas doces classe 2. Observa-se na Figura 11 que a concentração de OD foi inferior ao valor mínimo estabelecido na legislação no ponto C nas campanhas de abril de 2009 (4,1 mg/L), dezembro de 2009 (3,1 mg/L), janeiro de 2010 (4,2 mg/L) e novembro de 2010 (3,6 mg/L). Essa violação também ocorreu na amostragem do ponto A em novembro de 2010 (4,0 mg/L). A maior parte das violações do limite mínimo imposto pela legislação ocorreu em período chuvosos com maior precipitação média (Figura 7), com exceção da amostragem referente a abril de 2009, onde a depleção de OD pode estar relacionada a algum lançamento pontual atípico.

O parâmetro OD não apresentou diferenças significativas entre os três pontos de monitoramento (Tabela 11) (teste t, $p > 0,05$).

A concentração média de OD no período de 2009-2010 foi significativamente menor que as concentrações médias registradas nos outros dois períodos (Tabela 12) (teste t, $p < 0,05$). Provavelmente tal fato relaciona-se a maior entrada de cargas poluidoras no reservatório nesse período (2009-2010) em função da maior média de precipitação (Tabela 4).

A concentração de OD mostrou-se dependente do volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). A redução do volume pode aumentar a concentração de matéria orgânica e nutrientes em função do menor fator de diluição, resultando em um maior consumo de OD. Os níveis baixos também podem contribuir para que a temperatura da água se eleve, reduzindo a capacidade de dissolução de oxigênio na

água (MEES, 2016). No entanto, ao mesmo tempo, tais fatores podem conduzir a um aumento da produtividade primária e, conseqüentemente, maior oxigenação do meio (RUAS, 2006; von SPERLING, 1999). Cabe ressaltar que a dinâmica da concentração de OD envolve vários fatores sendo bastante complexa.

5.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A Figura 12 apresenta o gráfico das séries de DBO em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 13 e 14 apresentam a estatística descritiva do parâmetro DBO para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 12 - Evolução espaço-temporal da DBO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

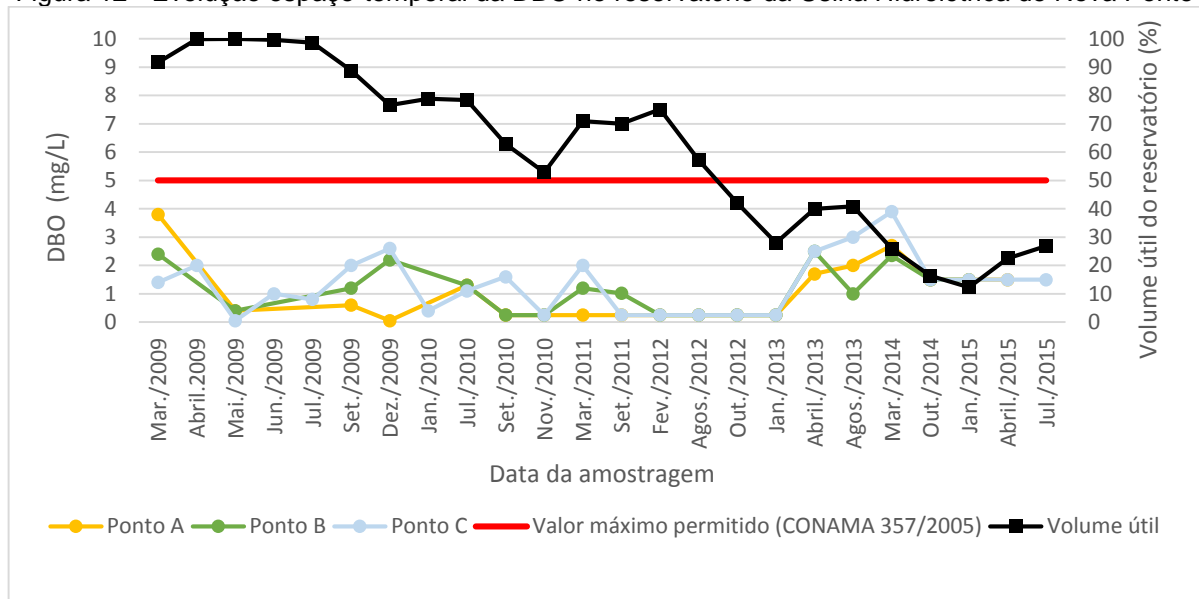


Tabela 13 - Estatística descritiva do parâmetro DBO (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	<0,1	3,8	3,8	1,0	0,4	1,0	102,4
B	18	<0,5	2,5	2,3	1,1	1,1	0,8	74,2
C	24	<0,1	3,9	3,9	1,3	1,5	1,0	76,8

Tabela 14 - Estatística descritiva do parâmetro DBO (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	<0,1	3,8	3,8	1,1	1,0	1,0	86,2
2011-2012	15	<0,5	2,0	1,8	0,5	0,3	0,5	107,6
2013-2014-2015	21	<0,5	3,9	3,7	1,7	1,5	0,9	53,1

Ao observar a Figura 12 percebe-se que valores mais elevados de DBO em relação às outras campanhas foram encontrados nas amostragens referentes a períodos chuvosos, como março de 2009 nos pontos A (3,8 mg/L) e B (2,4 mg/L) e em dezembro de 2009 nos pontos B (2,2 mg/L) C (2,6 mg/L). Estes resultados podem estar relacionadas à poluição orgânica advinda do escoamento superficial, considerando que as precipitações registradas em março de 2009 (253 mm) e dezembro 2009 (341 mm) foram mais elevadas comparadas à maioria das campanhas (Figura 7).

Pode-se observar exceções, como a amostragem realizada em abril de 2013 no ponto C (2,5 mg/L) e em março de 2014 nos pontos A (2,7 mg/L), B (2,4 mg/L) e C (3,9 mg/L), onde ocorreram elevações na DBO embora a precipitação tenha sido baixa. Em abril de 2013 a precipitação registrada foi 90 mm e em março de 2014 a precipitação foi de apenas 7 mm (Figura 7). A elevação da DBO em períodos de estiagem pode estar relacionada ao menor efeito diluidor e aos processos de decomposição (BUZELLI e SANTINO, 2013). Breda (2011) também encontrou valores altos de DBO em períodos secos ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma DBO máxima de 5 mg/L para águas doces classe 2. Observa-se na Figura 12 que em nenhuma amostragem a DBO ultrapassou esse valor máximo permitido. Pode-se dizer que, considerando este parâmetro, a qualidade da água do reservatório está adequada aos usos previstos para águas classe 2.

O parâmetro DBO não apresentou diferenças significativas nos três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

As concentrações de DBO foram significativamente diferentes em todos os períodos de análises (teste t, $p < 0,05$). O último período (2013-2014-2015) apresentou

uma DBO média maior que o segundo (2011-2012) e primeiro (2009-2010) períodos (Tabela 14). Isto provavelmente ocorreu devido à redução do volume do reservatório, que pode ter contribuído para aumentar a concentração de compostos orgânicos na água em função da menor diluição.

O teste Qui-Quadrado indicou que o volume do reservatório influencia nas concentrações de DBO no reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Isto pode estar relacionado a modificação da capacidade de diluição do reservatório, corroborando com maiores valores, em média, de DBO no último período de análise, quando o nível do reservatório se encontrava mais baixo.

5.7 Demanda química de oxigênio (DQO)

A Figura 13 apresenta o gráfico das séries de DQO em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 15 e 16 apresentam a estatística descritiva do parâmetro DQO para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 13 - Evolução espaço-temporal da DQO no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

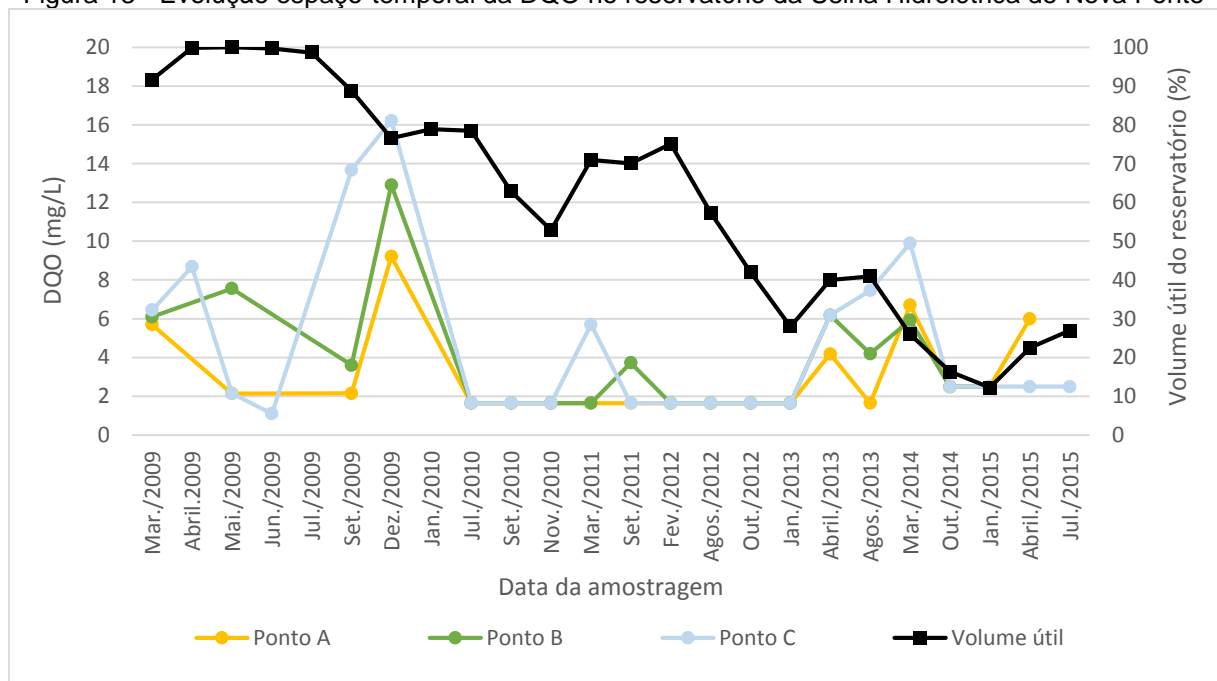


Tabela 15 - Estatística descritiva do parâmetro DQO (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	<3,3	9,2	7,6	3,0	1,7	2,2	73,8
B	18	<3,3	12,9	11,3	3,8	2,5	3,0	79,0
C	22	1,1	16,2	15,1	4,6	2,5	4,3	93,3

Tabela 16 - Estatística descritiva do parâmetro DQO (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	23	1,1	16,2	15,1	4,9	2,2	4,5	92,2
2011-2012	15	<3,3	5,7	4,1	2,1	1,7	1,1	55,4
2013-2014-2015	21	<3,3	9,9	8,2	4,0	2,5	2,4	59,5

Concentrações mais elevadas de DQO em relação à maioria das campanhas também foram encontradas nas campanhas realizadas em períodos chuvosos, como em março de 2009 nos pontos A (5,7 mg/L), B (6,1 mg/L) e C (6,5 mg/L) e em dezembro de 2009 nos pontos A (9,2 mg/L), B (12,9 mg/L) e C (16,2 mg/L) (Figura 13). Assim como observado para a DBO, essas elevações podem estar relacionadas ao carreamento de matéria orgânica advinda do escoamento superficial na bacia hidrográfica do reservatório. Também pôde-se observar as mesmas exceções observadas para a DBO, como a amostragem realizada em abril de 2013 no ponto C e B (6,2 mg/L) e em março de 2014 nos pontos A (6,7 mg/L), B (5,9 mg/L) e C (9,9 mg/L), onde ocorreram elevações na DQO embora a precipitação tenha sido baixa. A elevação da DQO em períodos de estiagem também pode estar relacionada ao menor efeito diluidor. Breda (2011) também encontrou valores altos de DQO em períodos secos ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Funil.

No entanto, mesmo considerando os picos de elevações, pode-se dizer que, geralmente, as concentrações de DQO no reservatório da UHE de Nova Ponte mantiveram-se baixas. Considera-se que as concentrações de DQO observadas em superfícies de águas variam de 20 mg/L ou menos para águas não poluídas (CHAPMAN e KIMSTACH, 1992).

Em relação ao atendimento à legislação ambiental vigente, não se tem um padrão definido para o parâmetro DQO.

As distribuições das concentrações de DQO seguiram uma tendência semelhante nos três pontos de monitoramento (Figura 13 e Tabela 15). De fato, não houve diferenças significativas nas concentrações de DQO entre os pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

As concentrações de DQO registradas foram mais baixas no segundo período de análise (2011-2012) que nos demais períodos (2009-2010; 2013-2014-2015) (Tabela 16) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Tal fato pode ser justificado pelos vários resultados de DQO abaixo do limite de detecção observados nesse período (2011-2012). Tanto o primeiro período de análise (2009-2010) quanto o último (2013-2014-2015) apresentaram valores mais elevados, seja pela interferência de maiores precipitações, como no caso do primeiro período, ou pelo menor efeito diluidor, como no caso do último período.

Esperava-se que o parâmetro DQO dependesse do volume de água do reservatório em função do efeito diluidor. No entanto, ao realizar o teste Qui-Quadrado, a DQO mostrou-se independente do volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$). Isso pode ter ocorrido devido aos valores muito elevados observados em dezembro de 2009 em relação às demais amostragens, o que pode ter contribuído para o teste Qui-Quadrado não detectar uma dependência significativa do parâmetro DQO em relação ao volume.

5.8 Nitrogênio Amoniacal

A Figura 14 apresenta o gráfico das séries de nitrogênio amoniacal em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 17 e 18 apresentam a estatística descritiva do parâmetro nitrogênio amoniacal para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 14 - Evolução espaço-temporal do nitrogênio amoniacoal no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

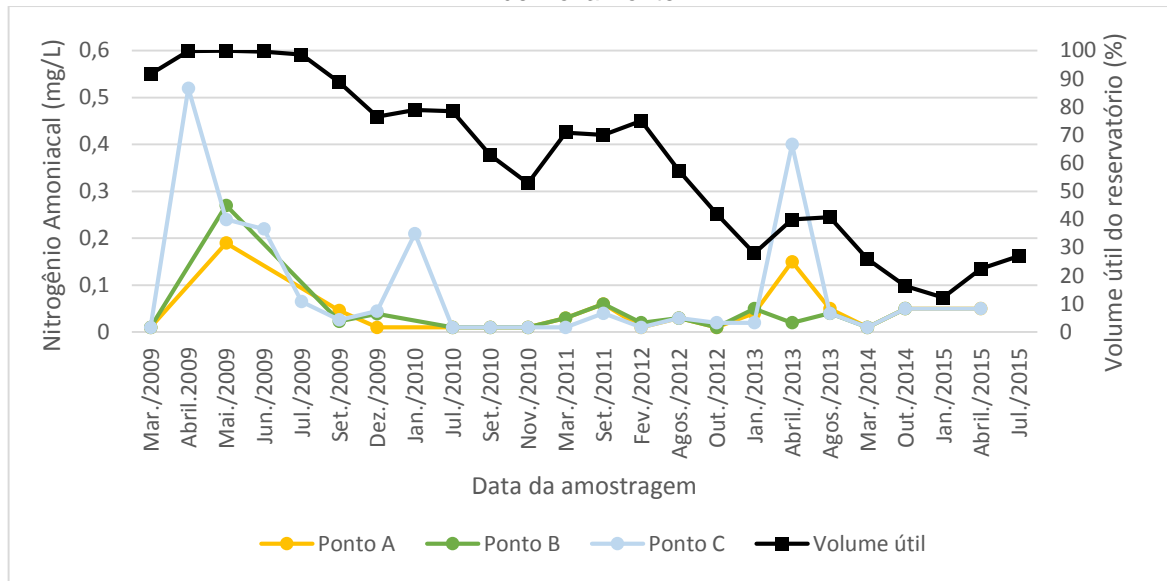


Tabela 17 - Estatística descritiva do parâmetro nitrogênio amoniacoal (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	18	<0,02	0,19	0,18	0,04	0,03	0,05	116,06
B	17	<0,02	0,27	0,26	0,04	0,02	0,06	150,67
C	22	<0,02	0,52	0,51	0,09	0,04	0,14	149,83

Tabela 18 - Estatística descritiva do parâmetro nitrogênio amoniacoal (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	<0,02	0,52	0,51	0,08	0,01	0,13	155,02
2011-2012	15	<0,02	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	62,86
2013-2014-2015	17	<0,02	0,40	0,39	0,06	0,05	0,09	143,80

Observa-se na Figura 14 algumas variações nas concentrações de nitrogênio amoniacoal ao longo das campanhas de monitoramento. Observa-se alguns valores mais elevados em relação às outras campanhas no ponto C em abril de 2009 (0,52 mg/L), em maio de 2009 nos pontos A (0,19 mg/L), B (0,27 mg/L) e C (0,24 mg/L), em junho de 2009 no ponto C (0,22 mg/L), em janeiro de 2010 no ponto C (0,21 mg/L) e em abril de 2013 nos pontos A (0,15 mg/L) e C (0,40 mg/L).

Ressalta-se que, mesmo com esses valores mais elevados, a concentração de nitrogênio amoniacal apresentou-se, de uma forma geral, baixa nos monitoramentos, sendo na maioria dos casos inferior a 0,10 mg/L, indicando condições de águas não poluídas (UNESCO/WHO/UNEP, 1996). Valores baixos de nitrogênio amoniacal total também foram encontrados por Flauzino (2014) ao analisar a qualidade da água nos reservatórios das UHEs de Nova Ponte e Miranda.

No que diz respeito ao atendimento à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites para a concentração de nitrogênio amoniacal em função do pH da água, apresentados na Tabela 19 a seguir.

Tabela 19 - Limites para a concentração de nitrogênio amoniacal em função do pH da água para águas doces classe 2

Faixa de pH	Valor máximo permitido (mg/L)
pH \leq 7,5	3,7
7,5 < pH \leq 8,0	2,0
8,0 < pH \leq 8,5	1,0
pH > 8,5	0,5

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 357/2005

Observa-se através da Tabela 17 e da Figura 14 que o valor máximo observado para a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 0,52 mg/L no ponto C em abril de 2009, cujo pH registrado foi 6,7 (Figura 10). Para a faixa de pH \leq 7,5 é admitido uma concentração de até 3,7 mg/L para o nitrogênio amoniacal (Tabela 19). Assim, em nenhuma amostragem a concentração de nitrogênio amoniacal apresentou-se acima dos limites estabelecidos pela legislação, não comprometendo dessa forma a qualidade da água do reservatório com relação a esse parâmetro.

Não houve diferenças significativas entre as concentrações de nitrogênio amoniacal nos três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

Também não houve diferenças significativas entre as concentrações de nitrogênio amoniacal entre os períodos analisados (teste Mann-Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$). Além disso, o nitrogênio amoniacal mostrou-se independente do volume de água do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

5.9 Nitrato

A Figura 15 apresenta o gráfico das séries de nitrato em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 20 e 21 apresentam a estatística descritiva do parâmetro nitrato para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 15 - Evolução espaço-temporal do nitrato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

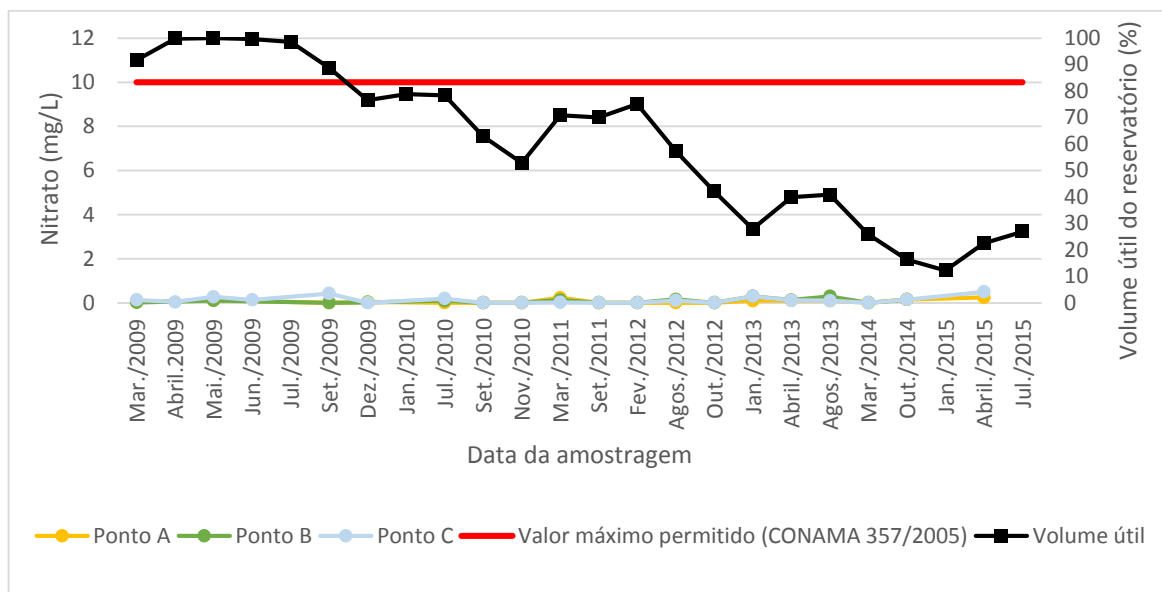


Tabela 20 - Estatística descritiva do parâmetro nitrato (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	18	<0,01	0,25	0,24	0,07	0,03	0,08	120,48
B	17	<0,01	0,30	0,29	0,09	0,03	0,10	115,43
C	20	<0,01	0,50	0,49	0,13	0,11	0,15	115,13

Tabela 21 - Estatística descritiva do parâmetro nitrato (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	23	<0,01	0,43	0,42	0,08	0,03	0,11	140,37
2011-2012	15	<0,01	0,23	0,22	0,05	0,01	0,07	157,35
2013-2014-2015	17	<0,01	0,50	0,49	0,16	0,13	0,13	79,65

Observa-se através da Figura 15 que as concentrações de nitrato mantiveram-se baixas em todas as campanhas de monitoramento. Segundo Ruas (2006), os nitratos aparecem em pequenas quantidades em águas superficiais. De uma forma geral, concentrações de nitrato acima de 0,20 mg/L em lagos tendem a estimular o crescimento algal e indicam possíveis condições eutróficas (UNESCO/WHO/UNEP, 1996). Valores baixos de nitrato também foram encontrados em várias campanhas de monitoramento realizadas por Flauzino (2014) ao analisar a qualidade da água nos reservatórios das UHEs de Nova Ponte e Miranda.

No que diz respeito ao atendimento à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma concentração máxima de 10mg/L de nitrato para águas doces classe 2. Observa-se através da Figura 15 que esse limite não foi ultrapassado em nenhuma campanha de amostragem e que portanto a qualidade da água do reservatório e seus usos não foram comprometidos em função desse parâmetro. Além disso, todos os valores também ficaram abaixo de 5 mg/L. Segundo Ruas (2006) valores superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas do corpo hídrico, o que não foi observado no presente trabalho.

As concentrações médias de nitrato observadas apresentaram-se semelhantes nos pontos monitorados (teste t, $p > 0,05$).

Concentrações de nitrato no último período de análise (2013-2014-2015) apresentaram-se significativamente maiores que as concentrações nos demais períodos (Tabela 21; teste t, $p < 0,05$). Este fato pode estar relacionado ao menor volume útil do reservatório registrado no último período de análise, resultando em concentrações mais elevadas devido ao menor fator de diluição. Granado et al. (2009) ao estudar a Lagoa do Camargo (SP) também encontrou maiores valores de nitrato quando o volume de água da lagoa estava menor, mostrando o efeito da redução do volume de água da lagoa no aumento da concentração de tal nutriente.

Pelo teste Qui-Quadrado tal parâmetro mostrou-se dependente do volume de água do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$), corroborando com o resultado explicado acima.

5.10 Fósforo Total

A Figura 16 apresenta o gráfico das séries de fósforo total em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 22 e 23 apresentam a estatística descritiva do parâmetro fósforo total para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 16 - Evolução espaço-temporal do fósforo total no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

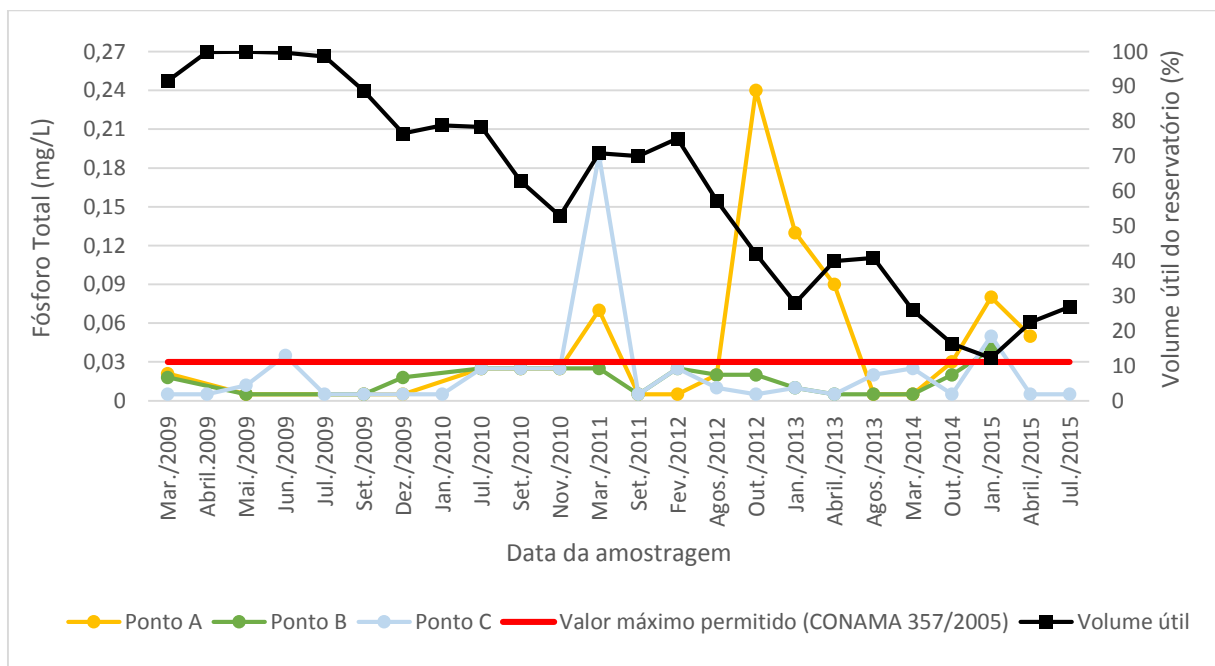


Tabela 22 - Estatística descritiva do parâmetro fósforo total (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
A	19	<0,01	0,24	0,23	0,04	0,03	0,06	133,62
B	18	<0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	61,36
C	24	<0,01	0,19	0,18	0,02	0,01	0,04	177,75

Tabela 23 - Estatística descritiva do parâmetro fósforo total (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	<0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	65,91
2011-2012	15	<0,01	0,24	0,23	0,04	0,02	0,07	160,52
2013-2014-2015	21	<0,01	0,13	0,12	0,03	0,01	0,03	120,25

Valores elevados de fósforo total em relação à maioria das campanhas foram encontrados nas seguintes campanhas e locais: março de 2011 nos pontos A (0,07 mg/L) e C (0,19 mg/L); em outubro de 2012 no ponto A (0,24 mg/L); em janeiro de 2013 no ponto A (0,13 mg/L); em abril de 2013 no ponto A (0,09 mg/L); e em janeiro de 2015 nos pontos A (0,08 mg/L), B (0,04 mg/L) e C (0,05 mg/L) (Figura 16).

Concentrações elevadas de fósforo total em março de 2011 e em janeiro de 2013 podem estar relacionadas ao carreamento de fertilizantes provenientes da bacia hidrográfica do reservatório no período chuvoso, considerando que na área de estudo desenvolvem-se práticas agrícolas com o uso de insumos e defensivos (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016; CARRIJO, 2003). Em março de 2011 foi registrada no local de estudo uma precipitação de 465 mm e em janeiro de 2013 uma precipitação de 249 mm, bem maiores que a média mensal de 105 mm observada para todo o período de monitoramento (Figura 7).

Os valores mais elevados de fósforo total no ponto A nas campanhas de outubro de 2012, abril de 2013 e janeiro de 2015 (Figura 16) podem estar relacionados à poluição de origem sanitária proveniente do rio Capivara (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015), que pode ter sido concentrada em função da redução da precipitação nos meses monitorados (Figura 7).

No que diz respeito ao atendimento à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que para ambientes lênticos a concentração de fósforo total deve ser até 0,030 mg/L. Conforme mostrado na Figura 16, em algumas campanhas a concentração de fósforo total ultrapassou o limite determinado pela legislação. Tal fato pode contribuir para o aumento da produtividade biológica do reservatório e comprometer os seus usos.

Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de fósforo total nos três pontos de monitoramento (Tabela 22) (teste Mann-Whitney, $p>0,05$; teste t, $p>0,05$).

Embora em algumas campanhas as concentrações de fósforo total tenham sido elevadas, o parâmetro não apresentou diferenças significativas entre os períodos de análises (teste Mann-Whitney, $p>0,05$; teste t, $p>0,05$).

Esperava-se que a redução do volume de água do reservatório influenciasse na concentração de tal nutriente, em função do menor efeito de diluição e da possível mudança na disponibilização do fósforo presente nos sedimentos em função do menor nível de água, conforme reportado na revisão bibliográfica. No estudo feito por Lemos (2011) no reservatório Pereira de Miranda, o fósforo total mostrou-se dependente do volume de água do reservatório, embora o fósforo apresente um ciclo complexo que depende de outros fatores. Neste estudo, o fósforo total mostrou-se independente da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p>0,05$).

5.11 Ortofosfato

A Figura 17 apresenta o gráfico das séries de ortofosfato em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 24 e 25 apresentam a estatística descritiva do parâmetro ortofosfato para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 17- Evolução espaço-temporal do ortofosfato no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

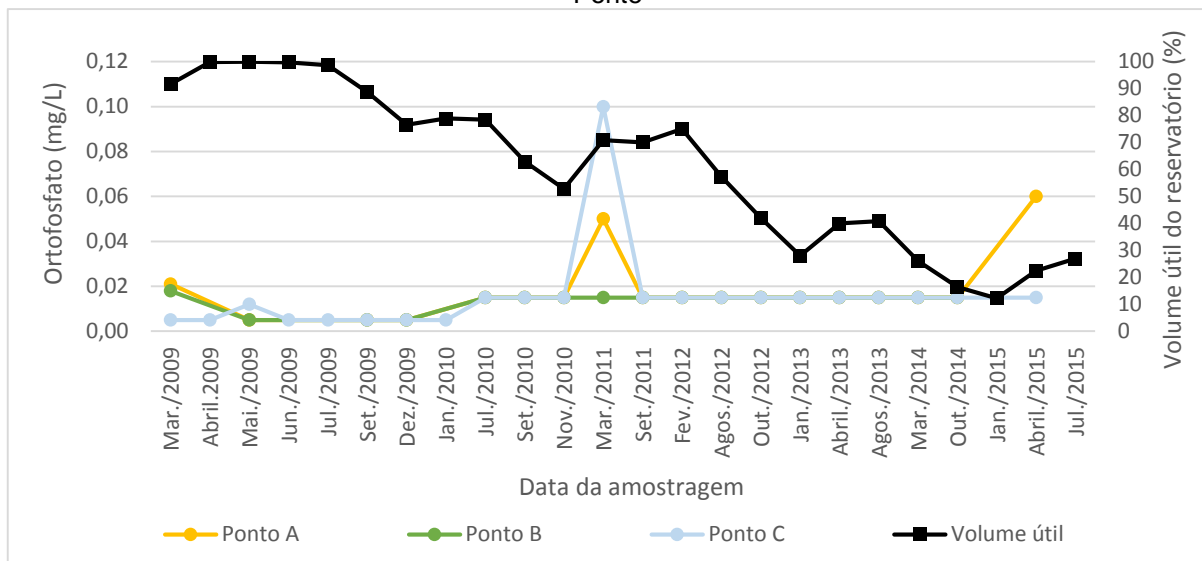


Tabela 24 - Estatística descritiva do parâmetro ortofosfato (mg/L) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	18	<0,01	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01	78,22
B	17	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,004	30,41
C	22	<0,01	0,10	0,09	0,02	0,02	0,02	124,98

Tabela 25 - Estatística descritiva do parâmetro ortofosfato (mg/L) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	55,27
2011-2012	15	<0,03	0,1	0,08	0,02	0,02	0,02	100,57
2013-2014-2015	17	<0,03	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	61,85

A Figura 17 mostra que, de um modo geral, as concentrações de ortofosfato encontradas no reservatório da UHE de Nova Ponte foram baixas. A literatura reporta que, em ecossistemas aquáticos tropicais a concentração de ortofosfato geralmente é muito baixa, devido a rápida assimilação e incorporação à biomassa (ESTEVES, 2011). Apenas em março de 2011 (ponto A: 0,05 mg/L e ponto C: 0,10 mg/L) e em

abril de 2015 (ponto A: 0,06 mg/L) que os valores de ortofosfato apresentaram-se mais altos.

A elevação da concentração de ortofosfato em março de 2011, conforme explicado para o parâmetro fósforo total, pode estar relacionada ao carreamento de fertilizantes utilizados em práticas agrícolas no período chuvoso (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2016; CARRIJO, 2003). Já em abril de 2015, a maior concentração de ortofosfato, apesar de ter sido registrada somente em um ponto, pode estar relacionada ao menor fator de diluição do reservatório. De acordo com o Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas da UHE Nova Ponte (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015) esse incremento de ortofosfato em abril de 2015 pode ter contribuído para o crescimento de macrófitas (*Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Limnobium laevigatum*) no reservatório nesse período, uma vez que o ortofosfato é prontamente disponível para a comunidade vegetal aquática (Figura 18).

Figura 18 - Presença de macrófitas aquáticas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte em abril de 2015



Fonte: Brandt Meio Ambiente (2015)

Em relação ao atendimento à legislação ambiental vigente, não se tem um padrão definido para o parâmetro ortofosfato.

Apesar do registro de alguns valores elevados de ortofosfato no reservatório, não foram observadas diferenças significativas nas concentrações desse parâmetro entre os três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

A concentração média de ortofosfato observada no período de 2009-2010 foi menor que as médias observadas nos períodos entre 2011-2012 e 2013-2014-2015 (Tabela 25) (teste t, $p < 0,05$). Tal situação pode estar relacionada ao maior volume de água registrado no reservatório no primeiro período de análise (81,1%) (Tabela 4), o que pode ter contribuído para uma maior diluição deste parâmetro. Isto foi confirmado pelo teste estatístico Qui-Quadrado, que indicou que a concentração de ortofosfato

depende do volume do reservatório da UHE de Nova Ponte (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$).

5.12 Cianobactérias

A Figura 19 apresenta o gráfico das séries de cianobactérias em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 26 e 27 apresentam a estatística descritiva do parâmetro cianobactérias para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 19 - Evolução espaço-temporal de cianobactérias no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

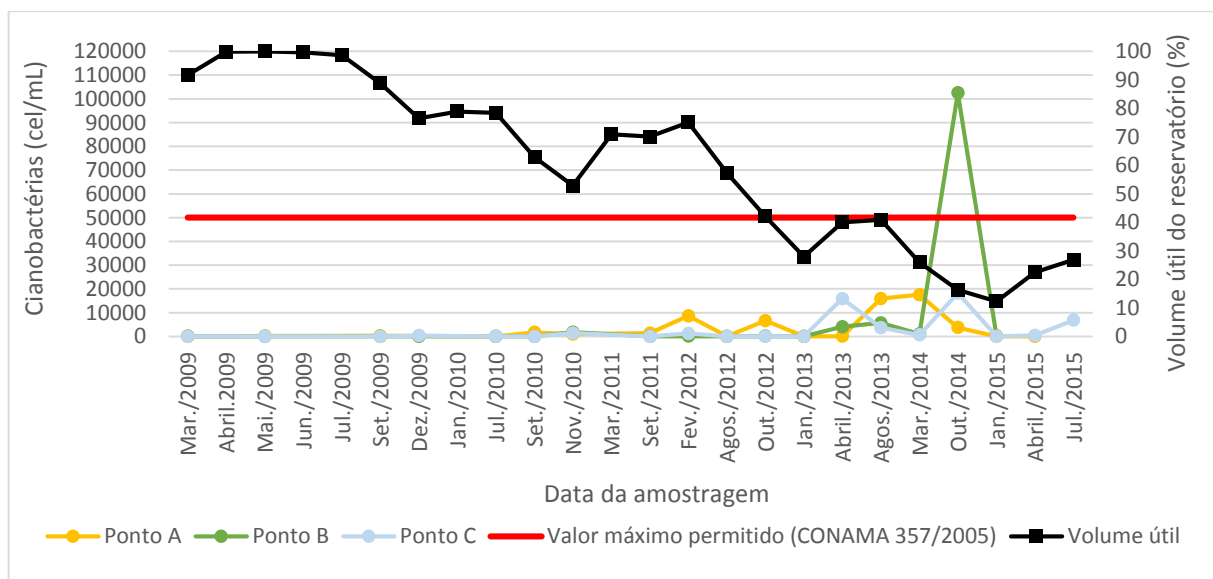


Tabela 26 - Estatística descritiva do parâmetro cianobactérias (cel/mL) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	17	0	17.547	17.547	3.366	278	5.633	167
B	17	0	102.453	102.453	6.786	55	24.707	364
C	19	0	18.189	18.189	2.563	50	5.392	210

Tabela 27- Estatística descritiva do parâmetro cianobactérias (cel/mL) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	20	0	1.742	1.742	341	34	593	174
2011-2012	12	0	8.656	8.656	1.503	46	2.933	195
2013-2014-2015	21	0	102.453	102.453	9.354	1.042	22.282	238

Observa-se através da Figura 19 que a densidade de cianobactérias manteve-se baixa em quase todas as campanhas de monitoramento, apresentando um valor mais elevado no ponto B em outubro de 2014 (102.453 cel/mL). A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece para águas doces classe 2 um valor de densidade de cianobactérias de até 50.000 cel/mL. Observa-se que apenas esta amostragem referente a outubro de 2014 no ponto B ultrapassou o limite legal.

Apesar do resultado elevado registrado no ponto B, não houve diferenças significativas nas concentrações de cianobactérias entre os três pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de cianobactérias entre o primeiro período de análises (2009-2010) e o último período (2013-2014-2015) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Provavelmente esta diferença foi influenciada pelo elevado valor registrado na amostragem de outubro de 2014.

Apesar das concentrações de cianobactérias terem apresentado diferenças entre o primeiro e o último período de análises, o teste Qui-Quadrado não mostrou relação de dependência desse parâmetro com o volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$). Isto, provavelmente ocorreu por ter sido observado apenas uma campanha com resultado elevado de cianobactérias, enquanto em muitas campanhas não foi observada a presença desses organismos no reservatório (Figura 19).

5.13 Clorofila a

A Figura 20 apresenta o gráfico das séries de clorofila a em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 28 e 29 apresentam a estatística descritiva do parâmetro

clorofila a para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 20 - Evolução espaço-temporal de clorofila a no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

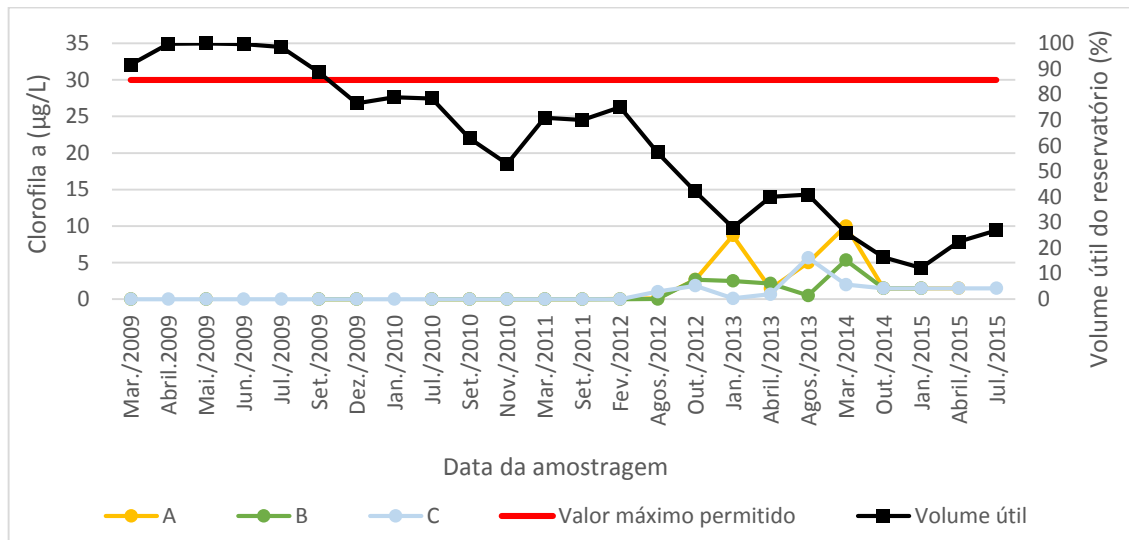


Tabela 28 - Estatística descritiva do parâmetro clorofila a ($\mu\text{g/L}$) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	19	<0,01	10,01	10,00	1,71	0,02	3,00	174,82
B	18	<0,01	5,34	5,33	0,90	<0,01	1,47	162,60
C	24	<0,01	5,67	5,66	0,73	<0,01	1,28	175,76

Tabela 29 - Estatística descritiva do parâmetro clorofila a ($\mu\text{g/L}$) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	25	<0,01	<0,01	0,00	<0,01	<0,01	0,00	0,00
2011-2012	15	<0,01	2,68	2,67	0,56	<0,01	1,00	177,66
2013-2014-2015	21	0,11	10,01	9,90	2,75	1,50	2,66	96,94

Observa-se através da Figura 20 que a concentração de clorofila a manteve-se baixa em quase todas as campanhas de monitoramento, apresentando valores maiores no ponto A nas amostragens de janeiro de 2013 (8,72 $\mu\text{g/L}$) e março de 2014

(10,01 µg/L). Diferentemente do parâmetro cianobactérias, não foram registradas elevadas concentrações de clorofila a na campanha de outubro de 2014.

Ressalta-se que a clorofila a está presente em outros organismos fitoplanctônicos além das cianobactérias (CETESB, 2014), o que pode explicar a diferença de tendência nas concentrações apresentadas para os parâmetros cianobactérias e clorofila a.

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece uma concentração máxima de clorofila a de 30 µg/L para águas doces classe 2. Observa-se que em nenhuma amostragem houve violação desse limite (Figura 20).

A concentração de clorofila a entre os pontos mostrou, em geral, um padrão de distribuição semelhante. Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de clorofila a entre os pontos de monitoramento (teste t, $p > 0,05$).

Nota-se que no primeiro período de análise (2009-2010) o parâmetro clorofila a não apresentou variação, pois em todas as campanhas os resultados ficaram abaixo do limite de detecção (Tabela 29). Foram observadas concentrações maiores de clorofila a no último período de análise (2013-2014-2015) comparadas com o segundo período (2011-2012) (Tabela 29; teste t, $p < 0,05$). Esta diferença pode estar relacionada à redução do volume de água do reservatório registrada no último período (Tabela 4).

Ao realizar o teste Qui-Quadrado, o parâmetro clorofila a mostrou-se dependente do volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p < 0,05$). Provavelmente tal fato está relacionado à modificação da capacidade de diluição do reservatório. Com a redução do volume de água, torna-se menor essa capacidade de diluição, com possibilidade de aumentar a concentração de nutrientes e a temperatura da água. Esses fatores podem implicar no aumento da produtividade primária do reservatório em função da redução de seu volume (RUAS, 2006; von SPERLING, 1999) e conseqüentemente aumentar a concentração de clorofila a no mesmo.

5.14 Coliformes termotolerantes

A Figura 21 apresenta o gráfico das séries de coliformes termotolerantes em cada um dos três pontos de amostragem no reservatório, ao longo de todas as campanhas de monitoramento. As Tabelas 30 e 31 apresentam a estatística

descritiva do parâmetro coliformes termotolerantes para os pontos de monitoramento e para os períodos analisados, respectivamente.

Figura 21 - Evolução espaço-temporal de coliformes termotolerantes no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

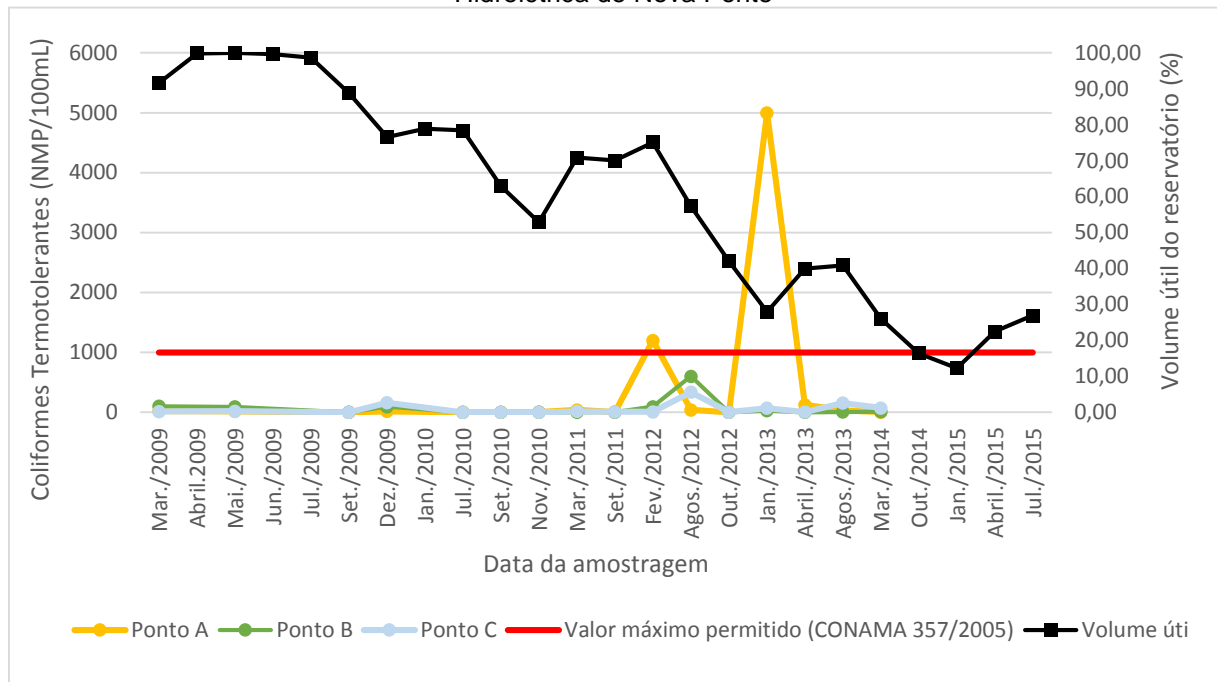


Tabela 30 - Estatística descritiva do parâmetro coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para os pontos de monitoramento no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Ponto	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A	16	0	5.000	5.000	406	16	1260	310
B	16	0	600	600	64	4	149	233
C	16	0	336	336	54	11	92	170

Tabela 31- Estatística descritiva do parâmetro coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para os períodos analisados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Período	Número de observações	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
2009-2010	21	0	160	160	25	1	45	177
2011-2012	15	0	1200	1.200	157	9	333	213
2013-2014-2015	12	0	5000	5.000	459	28	1431	312

Observa-se através da Figura 21 que os valores de coliformes termotolerantes mantiveram-se baixos em quase todas as campanhas de monitoramento, com exceção das amostragens realizadas em fevereiro de 2012 no ponto A (1.200 NMP/100mL), agosto de 2012 nos pontos B (600 NMP/100mL) e C (336 NMP/100mL) e em janeiro de 2013 no ponto A (5.000 NMP/100mL). Este alto nível de coliformes termotolerantes registrado em janeiro de 2013 pode estar relacionado com a precipitação elevada registrada nessa campanha (249 mm) (Figura 7), que pode ter aumentado o carreamento de excrementos fecais para dentro do reservatório, principalmente aqueles advindos do rio Capivara.

A Resolução CONAMA n° 357 de 2005 determina que para águas doces classe 2 não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Observa-se na Figura 21 que na amostragem no ponto A em fevereiro de 2012 (1.200 NMP/100mL) e janeiro de 2013 (5.000 NMP/100mL) esse limite foi ultrapassado.

O ponto A sofre influência da vazão afluyente proveniente do Rio Capivara que recebe fontes de poluição de origem sanitária (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2015). Por esse fato, esperava-se que a concentração de coliformes termotolerantes fosse maior nesse ponto que nos demais. No entanto, não houve diferenças significativas nas concentrações de coliformes termotolerantes entre os pontos de monitoramento (teste Mann-Whitney, $p > 0,05$; teste t, $p > 0,05$).

Em relação aos períodos foram observadas concentrações de coliformes termotolerantes menores no primeiro período (2009-2010) em comparação com o último período de análise (2013-2014-2015) (Tabela 31) (teste Mann-Whitney, $p < 0,05$). Provavelmente essa diferença foi influenciada pelo pico apresentado no ponto A na campanha de janeiro de 2013 e pela ausência de resultados de coliformes termotolerantes, em geral, durante os anos de 2009 e 2010 (Figura 21)

Apesar do parâmetro coliformes termotolerantes ter apresentado diferenças entre o primeiro e o último período de análises, o teste Qui-Quadrado não mostrou relação de dependência entre coliformes termotolerantes e volume do reservatório (teste Qui-Quadrado, $p > 0,05$).

6 CONCLUSÕES

Através da realização do presente trabalho, foi possível a aquisição de conhecimentos importantes a respeito da qualidade da água em reservatórios, que mostrou depender de vários fatores. Dentre esses fatores, cabe ressaltar os usos do solo na bacia hidrográfica, a precipitação pluviométrica e a variação do volume de água do reservatório.

A partir da análise espacial dos parâmetros de qualidade da água do reservatório da UHE de Nova Ponte, conclui-se que apenas os níveis de turbidez apresentaram diferenças significativas entre os pontos de monitoramento, com maiores valores no ponto A em relação aos demais pontos de monitoramento. Apesar desta diferença não ter sido verificada sistematicamente para os demais parâmetros, esse é um ponto que sofre influência da vazão afluente proveniente do Rio Capivara que recebe descargas de esgotos domésticos.

A análise temporal indicou que os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, nitrato, ortofosfato, cianobacérias, clorofila a e coliformes termotolerantes apresentaram, de uma forma geral, valores mais elevados no último período de análise (2013-2014-2015), quando foram registrados os menores valores de volume útil médio do reservatório da UHE de Nova Ponte. Dentre esses parâmetros, o pH, oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, ortofosfato e clorofila a, além da temperatura da água, mostraram-se dependentes do volume do reservatório em todas as campanhas realizadas.

A redução do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte ao longo período de 2009 a 2015 resultou na elevação da concentração de determinadas substâncias em função da menor capacidade de diluição do reservatório, assim como na maior exposição da massa d'água aos raios solares e na modificação da dinâmica da produtividade primária.

No geral, os valores encontrados para os parâmetros de qualidade de água do reservatório da UHE de Nova Ponte apresentaram-se em acordo com os padrões definidos na Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Algumas poucas exceções foram registradas para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, cianobactérias e coliformes termotolerantes. No entanto, no geral, a qualidade da água do reservatório manteve-se em boas condições ao longo do período estudado, não representando maiores riscos aos usos múltiplos de suas águas.

7 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de continuidade, sugere-se acrescentar a análise de outros parâmetros de qualidade da água e de outros pontos de monitoramento que possam enriquecer o trabalho no sentido de compreender a dinâmica da qualidade da água do reservatório de forma mais ampla e de melhor relacionar a qualidade da água com a variação do volume de água do mesmo.

Também seria interessante ampliar esse estudo para outros reservatórios, no sentido de reforçar a relação entre quantidade e qualidade de água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Rio Araguari**. Brasília: 2013. Disponível em: <<http://www.cbhparanaiba.org.br/prh-paranaiba/planos-de-acoas>>. Acesso em: 12.abr.2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Parte II. Fontes Renováveis: Energia Hidráulica. In: ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**.3.ed. Brasília: ANEEL, 2008, p. 49-60. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 21 out.2015.

ÁGUA E TERRA PLANEJAMENTO AMBIENTAL LTDA. **Monitoramento da qualidade das águas da UHE Nova Ponte**. Relatório Final/2009. Cemig Geração e Transmissão S.A. Patos de Minas: 2010.

ALVES, E.C. et al. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22^o. ed. New York: American Public Health Association, 2012.

ARAXÁ AMBIENTAL LTDA. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas - UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Relatório final 2010/2011. Data da coleta: julho, setembro e novembro/2010 e março/2011. Araxá: 2011.

ARAXÁ AMBIENTAL LTDA. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas - UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Relatório final – 2^a Campanha. Data da coleta: setembro/2011 e fevereiro/2012. Araxá: 2012.

ARAXÁ AMBIENTAL LTDA. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas - UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Relatório final – 4^a Campanha. Data da coleta: agosto e outubro/2012, janeiro e abril/2013. Araxá: 2013a.

ARAXÁ AMBIENTAL LTDA. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas - UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Relatório – Campanha 2013. Data da coleta: Agosto/2013. Araxá: 2013b.

ARAXÁ AMBIENTAL LTDA. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas - UHE Nova Ponte**. Cemig Geração e Transmissão S.A. Relatório – Campanha 2014. Data da coleta: Março/2014. Araxá: 2014.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**.2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, E. A. S. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude Gavião, e sua contribuição para a eutrofização.** 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Concentração em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A A. **Elementos de Ciências do Ambiente.** 2ª.ed. São Paulo: CETESB/ ASCETESB, 1987.

BRANDT MEIO AMBIENTE. **Relatório do monitoramento da qualidade das águas da UHE Nova Ponte.** Campanha de referência: outubro de 2014, janeiro, abril e julho de 2015. Nova Lima: 2015.

BRANDT MEIO AMBIENTE. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial UHE Nova Ponte.** Cemig Geração e Transmissão S.A. Volume IV. Nova Lima: 2016.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm >. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> >. Acesso em: 21 out. 2015.

BREDA, L. S. **Avaliação Espaço - Temporal da Qualidade da Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais.** 2011. 294 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARRIJO, B. R. Cartografia geomorfológica com base em níveis de dissecação do relevo no médio curso do rio Araguari-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 10, p. 41-59, 2003.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. The selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Org.). **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.** 1st ed. Cambridge, Great Britain: University Press, 1992.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo**. Série relatórios. Apêndice D: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. Governo do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 19 mar.2016.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Usinas da Cemig: A história da eletricidade em Minas e no Brasil. 1952-2005**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2006.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. Sistema Cemig de monitoramento e controle de qualidade da água de reservatórios – siságua- **Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água**. Belo Horizonte: Cemig, 2009.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Dados de volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte e dados de precipitação na região do reservatório**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <gabriela_r_barroso@hotmail.com> em mar. 2016.

CONTI, F. **Biometria: Qui Quadrado**. UFPA, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/dicas/biome/bioqui.htm>>. Acesso em: 20 abr.2016.

CORDEIRO, S. F. O. **Avaliação do grau de trofia das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros – GO**. 2013. 95p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás Campus de Jataí, Jataí, 2013.

CRUZ, I. F. da. **Efeitos da formação e operação de um reservatório de pequena regularização na alteração da qualidade da água e do regime hidrológico na planície de inundação do pantanal**. 2012. 85f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CUNHA, D. G. F.; FALCO, P. B. de.; CALIJURI, M. do C. Densidade fitoplanctônica e estado trófico dos rios Canha e Pariquera - Açú, bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape, SP, Brasil. **Ambiente & Água**. V. 3, n2. P 90-105. Taubaté, 2008.

ESTEVES, F, A. **Fundamentos de limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FACURI, M. **A implantação de usinas hidrelétricas e o processo de licenciamento ambiental: a importância da articulação entre os setores elétrico e de meio ambiente no Brasil**. 2004. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Instituto de Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.

FARIAS, M.S.S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de

Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006.

FIGUEIRÊDO, A. C. **Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de Apipucos, Recife-PE**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

FLAUZINO, F. S. **Qualidade da Água e dos Sedimentos nos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Nova Ponte e Miranda – Minas Gerais**. 2014. 145f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. **Influência das Atividades Antrópicas, Tipo de Solo e Erodibilidade de uma Bacia Hidrográfica na Qualidade de Suas Águas**. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Santa Catarina, 2003.

FONTENELE, S.B. et al. Análise espaço-temporal da qualidade da água na parte alta da bacia do rio salgado, Ceará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 102-109, jul.-set., 2011.

GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; PAZ, M. F. Diagnóstico Atual e Previsão Futura da Qualidade das Águas do rio Ibicuí utilizando o Modelo QUAL2E. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 7, n. 3-4, p. 129-138, 2002.

GRANADO, D. C.; HENRY, R.; TUCCI, A. Influência da variação do nível hidrométrico na comunidade fitoplânctônica do Rio Paranapanema e de uma lagoa marginal na zona de desembocadura na Represa de Jurumirim (SP). **Hoehnea** 36(1): 113-129, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Portal dos Comitês de Bacia – MG: PN2 – CBH do Rio Araguari**, 2013. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-paranaiba/pn2-cbh-do-rio-araguari>>. Acesso em: 11 abr.2016.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Portal dos Comitês de Bacia – MG. PN2 – Enquadramento**, 2012. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-paranaiba/pn2-cbh-do-rio-araguari/1542-pn2-enquadramento>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J.; HARTIKAINEN, H. Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, 2001. p. 960-966.

LEMONS, W. E. D. **Monitoramento e Gestão da Qualidade da Água em Reservatórios Incorporando Processos Hidrodinâmicos e Climáticos de Regiões Tropicais Semiáridas**. 2011. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. A dimensão da Qualidade da Água: Avaliação da Relação entre Indicadores Sociais, de Disponibilidade Hídrica, de Saneamento e de Saúde Pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**.v. 10, n. 3,p. 219-228, 2005.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008.

MARQUES, A. K. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande e da área de sua influência no reservatório da Usina Hidroelétrica Luis Eduardo Magalhães, TO**. 2011. 175p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MEIRINHO, P. A. **Compartimentalização da comunidade zooplanctônica em um reservatório tropical urbano eutrofizado (Braço Rio Grande, Complexo Billings, SP)**. 2010. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Ecologia de ecossistemas terrestres e aquáticos) - Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MEES, A. Projeto Água: conhecimento para gestão. Curso modalidade ensino a distância: **Qualidade de água em reservatórios**. Unidade 1: Reservatórios. 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/cianobacterias.pdf>>. Acesso em: 21out. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Dezembro – 2015**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/2027273/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Dezembro-2015.pdf/dee4fa2a-f287-4117-89fe-bb0123997001>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

MINAS GERAIS. Sistema Integrado de Informação Ambiental. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. 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. **Diário do Executivo**, Minas Gerais, 13 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 21 out. 2015.

MONTEIRO JUNIOR, A. J. **Caracterização Limnológica e Compartimentação do reservatório de ponte Nova, alto Tietê, SP – uma contribuição ao seu manejo**. 2006. 96p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecologia). Instituto de

Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de ecologia. São Paulo, 2006.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada a probabilidade para engenheiros**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORAIS, A. C.R. et al. Evolução da piscicultura no Reservatório de Nova Ponte. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 10.2013, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: EPAMIG. Resumos expandidos, 2013.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6.ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Volume Útil dos Principais Reservatórios**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/percentual_volume_util.aspx>. Acesso em: 26 mar. 2016.

PANT, H. K.; REDDY, K. R. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, 2001. p. 1474-1480.

PEDRAZZI, F. J.de. M. **Avaliação da qualidade da água do reservatório de Itupararanga, bacia do Alto Sorocaba (SP)**. 2009. 87f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

PEIXOTO, R. H. P. B. **Efeitos da implantação do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães sobre a qualidade da água do Rio Tocantins**. 2007. 220p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. 1ª. ed. Barueri: Manole, 2005.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do rio Pomba**. 2006. 280p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SERAFIM JUNIOR, M., et al. **Zooplâncton**. In: CUNHA, C.L.N., CARNEIRO, C. GOBBI, E.F., ANDREOLI, C.V. **Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva**. Estudo Interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR. Curitiba: Editora UFPR, 2011, Cap. 14, p. 307-322.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 448p. (Série Métodos de Pesquisa).

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DA CEMIG - SISÁGUA. **Companhia Energética de Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <<http://www2.cemig.com.br/sag/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Água na indústria. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos e conservação**. 3.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999, p. 367-398.

SILVA, A. P. S. et al. Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1063-1069, 2009.

SOUZA, G. A. **Avaliação espaço-temporal da qualidade da água da Usina Hidrelétrica de Irapé**. 2014. 69p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Gerenciamento da qualidade de água de represas**. ILEC, IIE, v. 9, p. 258, 2000.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Teste de normalidade**.2016a. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/test-for-normality/>>. Acesso em: 20 abr.2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Teste para variâncias iguais**. 2016b. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/understanding-test-for-equal-variances/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Por que usar um teste t para duas amostras?**2016c. Disponível em :<<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/tests-of-means/why-use-2-sample-t/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **O que fazer com dados não normais**. 2016d. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **Por que devo usar um teste Mann-Whitney?** 2016e. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/nonparametrics-tests/why-use-mann-whitney/>>. Acesso em: 03 maio. 2016.

THORNTON, K. W. 1990. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L. & PAYNE, F. E. (Ed.). **Reservoir Limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons, p. 1-13.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J. G. Represas Artificiais: Perspectivas para o Controle e Manejo da Qualidade da Água para Usos Múltiplos. **Revista Brasileira de Educação**. v. 1, n.1, p.37-47, 1986.

UNESCO/WHO/UNEP. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2 ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. London: F & FN Spon, 1996. 651p.

USEPA. **Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners**. In: INFORMATION, O. O. E. (Ed.). Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2006. p. 198.

VIANA, D.T. et al. Análise da qualidade da água no reservatório da UHE Nova Ponte utilizando ferramentas estatísticas multivariadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

VIANA, D. T. **Análise do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte/MG através da aplicação de ferramentas estatísticas**. 2014. 97p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, E. **Morfologia de Lagos e Represas**. ISBN: 85-900885-1-0. 137p., 1999.

APÊNDICE A - Testes estatísticos para a análise espacial dos parâmetros de qualidade da água

Tabela 32 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água entre os pontos de monitoramento do reservatório da UHE de Nova Ponte

Parâmetro de qualidade da água	Pontos de monitoramento	Valor-p do teste de igualdade de variâncias	Valor-p do teste t	Valor-p do teste Mann-Whitney
Temperatura da água	A-B	0,622	0,285	-
Temperatura da água	B-C	0,963	0,336	-
Temperatura da água	A-C	0,515	0,813	-
Turbidez	A-B	0,043	-	0,0041
Turbidez	B-C	0,527	0,706	-
Turbidez	A-C	0,009	-	0,0049
pH	A-B	0,866	0,544	-
pH	B-C	0,291	0,395	-
pH	A-C	0,208	0,096	-
Oxigênio Dissolvido	A-B	0,378	0,609	-
Oxigênio Dissolvido	B-C	0,254	0,127	-
Oxigênio Dissolvido	A-C	0,831	0,059	-
DBO	A-B	0,508	0,717	-
DBO	B-C	0,398	0,474	-
DBO	A-C	0,976	0,307	-
DQO	A-B	0,507	0,381	-
DQO	B-C	0,375	0,518	-
DQO	A-C	0,120	0,164	-
Nitrogênio amoniacal	A-B	0,753	0,899	-
Nitrogênio amoniacal	B-C	0,139	0,158	-
Nitrogênio amoniacal	A-C	0,068	0,158	-

Parâmetro de qualidade da água	Pontos de monitoramento	Valor-p do teste de igualdade de variâncias	Valor-p do teste t	Valor-p do teste Mann-Whitney
Nitrato	A-B	0,512	0,519	-
Nitrato	B-C	0,283	0,327	-
Nitrato	A-C	0,115	0,123	-
Fósforo total	A-B	0,014	-	0,2057
Fósforo total	B-C	0,161	0,619	-
Fósforo total	A-C	0,437	0,131	-
Ortofosfato	A-B	0,057	0,197	-
Ortofosfato	B-C	0,108	0,660	-
Ortofosfato	A-C	0,663	0,643	-
Cianobactérias	A-B	0,152	0,582	-
Cianobactérias	B-C	0,138	0,472	-
Cianobactérias	A-C	0,926	0,665	-
Clorofila a	A-B	0,192	0,308	-
Clorofila a	B-C	0,770	0,678	-
Clorofila a	A-C	0,118	0,152	-
Coliformes termotolerantes	A-B	0,041	-	0,4702
Coliformes termotolerantes	B-C	0,528	0,823	-
Coliformes termotolerantes	A-C	0,013	-	0,8646

APÊNDICE B - Testes estatísticos para a análise entre períodos dos parâmetros de qualidade da água

Tabela 33 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água entre os períodos analisados no reservatório da UHE de Nova Ponte

Parâmetro de qualidade da água	Período de comparação	Valor-p do teste de igualdade de variâncias	Valor-p do teste t	Valor-p do teste Mann-Whitney
Temperatura da água	(2009-2010) (2011- 2012)	0,922	0,393	-
Temperatura da água	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,626	0,673	-
Temperatura da água	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,499	0,168	-
Turbidez	(2009-2010) (2011- 2012)	0,161	0,342	-
Turbidez	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,730	0,718	-
Turbidez	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,028	-	0,4337
pH	(2009-2010) (2011- 2012)	0,528	0,254	-
pH	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,591	0,519	-
pH	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,980	0,030	-
Oxigênio Dissolvido	(2009-2010) (2011- 2012)	0,459	0,000	-
Oxigênio Dissolvido	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,850	0,935	-
Oxigênio Dissolvido	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,467	0,000	-
DBO	(2009-2010) (2011- 2012)	0,097	0,024	-
DBO	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,104	0,000	-
DBO	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,831	0,037	-
DQO	(2009-2010) (2011- 2012)	0,002	-	0,0174

Parâmetro de qualidade da água	Período de comparação	Valor-p do teste de igualdade de variâncias	Valor-p do teste t	Valor-p do teste Mann-Whitney
DQO	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,047	-	0,0003
DQO	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,062	0,407	-
Nitrogênio amoniacal	(2009-2010) (2011- 2012)	0,002	-	0,9649
Nitrogênio amoniacal	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,073	0,132	-
Nitrogênio amoniacal	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,558	0,639	-
Nitrato	(2009-2010) (2011- 2012)	0,460	0,356	-
Nitrato	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,148	0,005	-
Nitrato	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,599	0,026	-
Fósforo total	(2009-2010) (2011- 2012)	0,012	-	0,4461
Fósforo total	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,223	0,376	-
Fósforo total	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,017	-	0,4874
Ortofosfato	(2009-2010) (2011- 2012)	0,121	0,010	-
Ortofosfato	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,358	0,400	-
Ortofosfato	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,386	0,005	-
Cianobactérias	(2009-2010) (2011- 2012)	0,047	-	0,7101
Cianobactérias	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,053	0,237	-
Cianobactérias	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,000	-	0,0043
Clorofila a	(2009-2010) (2011- 2012)	-(1)	-(1)	-(1)
Clorofila a	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,053	0,005	-

Parâmetro de qualidade da água	Período de comparação	Valor-p do teste de igualdade de variâncias	Valor-p do teste t	Valor-p do teste Mann-Whitney
Clorofila a	(2009-2010) (2013-2014-2015)	-(1)	-(1)	-(1)
Coliformes termotolerantes	(2009-2010) (2011- 2012)	0,022	-	0,0759
Coliformes termotolerantes	(2011-2012) (2013-2014-2015)	0,164	0,435	
Coliformes termotolerantes	(2009-2010) (2013-2014-2015)	0,002	-	0,0413

(1) O parâmetro clorofila a não variou no primeiro período de análise (2009-2010).

APÊNDICE C - Teste Qui-Quadrado de independência para a análise da influência da variação do volume de água do reservatório da UHE de Nova Ponte nos parâmetros de qualidade da água

Tabela 34 - Resultados do teste Qui-Quadrado realizado com um nível de significância de 5 % ($\alpha=0,05$) para verificar se os parâmetros de qualidade da água dependem ou não da variação do volume útil do reservatório da UHE de Nova Ponte

Categorias	Valor-p do teste Qui Quadrado	Relação
Temperatura x Volume	0,0206	Dependentes
Turbidez x Volume	0,6076	Independentes
pH x Volume	0,0029	Dependentes
Oxigênio Dissolvido x Volume	0,0179	Dependentes
DBO x Volume	0,0040	Dependentes
DQO x Volume	0,4627	Independentes
Nitrogênio Amoniacal x Volume	0,0522	Independentes
Nitrato x Volume	0,0216	Dependentes
Fósforo Total x Volume	0,0722	Independentes
Ortofosfato x Volume	0,000	Dependentes
Cianobactérias x Volume	0,3023	Independentes
Clorofila a x Volume	0,000	Dependentes
Coliformes Termotolerantes x Volume	0,5850	Independentes