



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



EVELLYN BRITO FAÇANHA

AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIO  
DE USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

MACAPÁ – AP

2019

EVELLYN BRITO FAÇANHA

AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIO  
DE USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Marcela Nunes Videira

MACAPÁ – AP

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá  
Elaborada por Orinete Costa Souza – CRB11/920

---

Façanha, Evellyn Brito.

Avaliação físico química da qualidade de águas de reservatório de usinas hidrelétricas na Amazônia oriental / Evellyn Brito Façanha ; Orientadora, Marcela Nunes Videira. – Macapá, 2019.

48 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

1. Recursos hídricos. 2. Impacto ambiental - avaliação. 3. Barragem. 4. Rio Araguari – Ferreira Gomes. 5. Amapá. I. Videira, Marcela Nunes, orientadora. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

333.91 F137a  
CDD. 22 ed.

---

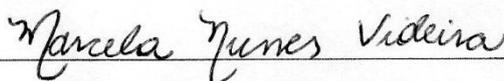
**EVELLYN BRITO FAÇANHA**

**AVALIAÇÃO FÍSICO E QUÍMICA DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIO  
DE USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

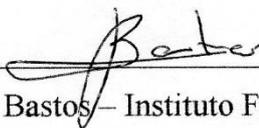
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 30 de Abril de 2019.

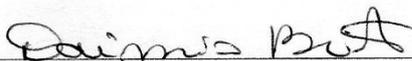
**BANCA EXAMINADORA**



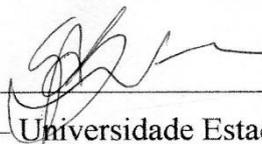
Dr<sup>a</sup>. Marcela Nunes Videira – Universidade Estadual do Amapá (UEAP)



Dr. Argemiro Midonês Bastos – Instituto Federal do Amapá (IFAP)



Dr. Daímio Chaves Brito – Universidade Estadual do Amapá (UEAP)



Dr. Gabriel Araújo da Silva – Universidade Estadual do Amapá (UEAP)

*Dedico aos meus pais Nicolau e Ivani,  
que sempre incentivaram a busca pelo  
conhecimento e pelos esforços feitos  
para que eu cumprisse com sucesso mais  
esta etapa de minha vida.*

*Aos meus irmãos, Weverton, Nyelle,  
Weverlon e Gabrielly pelo  
companheirismo e motivação que me  
fizeram forte nessa caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por todas as conquistas adquiridas ao longo da minha caminhada e pela força para superar os obstáculos.

A minha orientadora, Marcela Nunes Videira, pela dedicação e confiança que depositou nesse trabalho. Agradeço também por ter acreditado em mim não somente como profissional, mas principalmente como pessoa, sendo minha força quando as dificuldades chegaram.

Ao querido professor Gabriel Araújo da Silva, que não me deixou desistir dessa caminhada e acreditou em mim como profissional e como pessoa. Ao senhor meus agradecimentos eternos, o senhor sempre estará em minha vida como um ser humano especial.

A minha família pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Agradeço pela motivação não somente durante esses 2 anos de mestrado, mas ao longo de toda a vida. Para mim é uma grande felicidade dividir esse grande momento com todos vocês.

A minha irmã Nyelle, pelo grande apoio nos trabalhos de campo e dias cansativos de laboratório. Agradeço por não me deixar só nessa fase importante da pesquisa e por sempre ser minha companheira na vida.

Ao meu companheiro de vida Kleber, pelo companheirismo e por compreender minha ausência nas fases críticas do mestrado, e por nunca medir esforços em todas as viagens de campo desse trabalho. E agradeço por me apoiar quando os dias difíceis se fizeram presente.

A todos os colegas da turma de 2017 do PPGCA, por termos trilhados juntos essa importante fase de nossas vidas. Em especial agradeço meus amigos Rafael Neri e André Queiroz, pela amizade, companheirismo e experiências compartilhadas. Vocês levarei para a vida!

A coordenação do Laboratório de Química Orgânica e Bioquímica/UEAP, onde realizei as análises físico e químicas deste trabalho.

Ao professor Jardel da Engenharia Química/UEAP que foi essencial para realização das análises estatísticas dessa dissertação.

Aos gestores das Usinas Hidrelétricas Coaracy Nunes, Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão que permitiram a realização dessa pesquisa.

A CAPES, pela bolsa de estudos concedida e que permitiu custear as atividades de campo.

A todos, muito obrigada.

## RESUMO

FAÇANHA, E. B. **Avaliação físico e química da qualidade de águas de reservatório de usinas hidrelétricas na Amazônia oriental**. 51 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

O Brasil possui sua matriz energética composta em sua maioria com fonte proveniente de usinas hidrelétricas (UHE). Nos últimos anos grande parte dos projetos de implantação dessas UHE foi concentrada na região Amazônica do país, que possui um grande potencial hídrico, e ainda pouco explorado quando comparada as demais regiões brasileiras. Estudos que buscam o monitoramento de qualidade das águas de rios são de grande importância, pois permitem a identificação, análise e prevenção de problemas, recuperação e melhoria de sua condição ambiental. Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a qualidade físico-química das águas dos reservatórios das UHE presentes no rio Araguari, município de Ferreira Gomes-Amapá. Para a obtenção de dados, foram coletadas amostras de água em pontos determinados dos reservatórios das Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes, Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes e Usina Hidrelétrica de Cachoeira Caldeirão, sendo 4 amostras por reservatório distanciados a 1000m, somando assim 12 amostras multiplicados por 2 períodos de coleta, totalizando 24 amostras. Os períodos de coleta foram definidos em estiagem (outubro de 2018) e chuvoso (fevereiro de 2019). Os procedimentos analíticos foram realizados em laboratório com auxílio do manual da Fundação Nacional da Saúde de 2013 e os parâmetros físico-químicos analisados foram: cor verdadeira, turbidez, sólidos totais, temperatura, cloreto, cálcio (dureza), pH, oxigênio dissolvido, ferro e chumbo. Os resultados dos parâmetros monitorados foram comparados com os padrões de qualidade de água previstos pela Resolução Conama nº 357 de 2005 e pela Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da saúde. As análises mostram, em geral, bons resultados de qualidade de água nos reservatórios, porém, parâmetros como pH, Oxigênio dissolvido (OD) e chumbo indicam desconformidade com lei em algumas amostras em um dos períodos de coleta. Os resultados para Análise de Componentes Principais (PCA) revelam que há diferenças da qualidade da água em termos sazonais, e que os parâmetros cor, turbidez, temperatura e ferro aparentaram maiores contribuições para essa variação. Em uma Análise Hierárquica de *Cluster* verificou-se padrões de agrupamentos de qualidade de água, na qual foram identificados dois subgrupos para ambos os períodos de coleta, revelando que os pontos do reservatório da UHECN foram os que mais se distanciaram dos demais, enquanto que entre os pontos amostrados dos reservatórios da UHEFG e UHECC mantiveram uma similaridade. Sendo assim, este estudo tonar-se uma contribuição para o sistema de monitoramento ambiental da UHECN, UHEFG e UHECC, bem como para os gestores do setor público e privado que se preocupam com as alterações que podem ser geradas nas características limnológicas em áreas modificadas por barragens.

Palavras-chave: Recursos hídricos, reservatório, barragem, região Amazônica.

## ABSTRACT

FAÇANHA, E. B. **Evaluation of the physical and chemical qualities of the reservoir water of hydroelectric power plants in Eastern Amazon.** 51 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2019.

Brazil has its energetic matrix composed mainly of hydroelectric power plants (HPP). In recent years, a large part of the projects for the implementation of these HPPs has been concentrated in the Amazon region of the country, which has great hydroelectric potential and has not yet been explored when compared to the other Brazilian regions. Studies that seek to monitor the quality of river waters are of great importance, since they allow the identification, analysis and prevention of problems, recovery and improvement of their environmental condition. Therefore, the objective of this research was to evaluate the physical-chemical quality of the waters of the HPP reservoirs present in the Araguari river, in the municipality of Ferreira Gomes-Amapá. To obtain data, water samples were collected at certain points in the reservoirs of Coaracy Nunes Hydroelectric Power Plant, Ferreira Gomes Hydroelectric Plant and Cachoeira Caldeirão Hydroelectric Plant, 4 samples per reservoir distant at 1000m, thus adding 12 samples multiplied by 2 collection periods, totaling 24 samples. The collection periods were defined in drought (October 2018) and rainy (February 2019). The analytical procedures were performed in the laboratory with the help of the manual of the National Health Foundation of 2013 and the physicochemical parameters analyzed were: true color, turbidity, total solids, temperature, chloride, calcium (hardness), pH, dissolved oxygen, iron and lead. The results of the monitored parameters were compared with the water quality standards established by Conama Resolution n° 357 of 2005 and Portaria n° 2914 of 2011 of the Ministry of health. The analyzes show, in general, good water quality results in the reservoirs, however, parameters such as pH, Dissolved Oxygen (DO) and lead indicate nonconformity with law in some samples in one of the collection periods. The results for Principal Components Analysis (PCA) show that there are differences in water quality in seasonal terms, and that the parameters color, turbidity, temperature and iron appeared to be larger contributions to this variation. In a Hierarchical Cluster Analysis, water quality grouping patterns were verified, in which two subgroups were identified for both collection periods, revealing that the points of the UHECN reservoir were the ones that distanced themselves from the others, while between the sampling points of the UHEFG and UHECC reservoirs maintained a similarity. Therefore, this study is a contribution to the environmental monitoring system of UHECN, UHEFG and UHECC, as well as to public and private sector managers who are concerned with changes that can be generated in the limnological characteristics in areas modified by dams.

Keywords: Water resources, reservoir, dam, Amazon region.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Recursos hídricos.....	12
1.2 Usinas hidrelétricas na Amazônia.....	13
1.2.1 Usinas hidrelétricas no rio Araguari .....	15
1.3 Os impactos ambientais de usinas hidrelétricas.....	16
<b>2 PROBLEMA .....</b>	<b>20</b>
<b>3 HIPOTESE.....</b>	<b>20</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
4.1 Geral .....	21
4.2 Específicos .....	21
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
5.1 Área de Estudo.....	22
5.2 Coletas de amostras e análise físico e química .....	23
5.3 Análises Estatísticas.....	24
5.3.1 Análise Descritiva .....	24
5.3.2 Análise exploratória de dados.....	25
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
6.1 Caracterização físico e química da qualidade da água dos reservatórios .....	26
6.2 Análise estatística multivariada .....	29
<b>7 DISCUSSAO .....</b>	<b>35</b>
7.1 Caracterização físico e química da qualidade da água.....	35
7.2 Análise estatística multivariada .....	39
7.2.1 Análise das componentes principais (PCA) .....	39
7.2.2 Análise por agrupamento hierárquico (HCA).....	41
7.2.3 Análise Global das Médias (ANOVA) e Teste Tukey .....	42
7.2.4 Boxplot .....	43
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>9 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos os debates voltados para questões ambientais têm ganhado força, pois se acredita cada vez mais na relação meio ambiente e qualidade de vida. Porém, muitos são os fatores que vem contribuindo para o desequilíbrio do meio e tudo que nele está inserido.

Um dos debates que tem estado em evidência é a água, recurso considerado como o mais importante para a manutenção da vida. Diante de tal importância existem preocupações perante um cenário onde o uso desse recurso tem gerado modificações significativas em todo seu equilíbrio natural.

Segundo Moretto et al. (2012) em países em desenvolvimento é frequente que seus planos econômicos sejam direcionados para a implementação de grandes obras que possuem como consequência impactos ambientais negativos em escala local. A exemplo se tem o Brasil, que nos últimos cinquenta anos tem seu plano econômico pautado em empreendimentos de grande escala, como as usinas hidrelétricas (UHE).

A construção de usinas hidrelétricas no Brasil vem sendo marcada por controvérsias devido os diversos impactos ocasionados em sua implantação, tantos os impactos ambientais como os socioeconômicos (SANTOS; CUNHA; CUNHA, 2017). Bermann (2007) identificou alguns desses impactos, como o comprometimento das atividades econômicas a jusante e a montante de barragens, a diminuição da qualidade da água, o assoreamento do corpo hídrico, o aumento de doenças de veiculação hídrica, a exclusão de usos múltiplos existentes no espaço ocupado pelo reservatório e o deslocamento compulsório de populações e atividades anteriormente localizadas na área afetada.

Mesmo diante dessas questões, boa parte da fonte de energia da América no Sul é proveniente das usinas hidrelétricas. De acordo com o Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID), na América Latina, 90% do consumo energético tem como fonte produtora as hidrelétricas.

No Brasil a abundância em recurso hídrico o torna um país promissor nessa atividade econômica, e com a região Amazônica concentrando grande parte desse potencial hídrico brasileiro, tornou-se a região que recebeu grandes projetos hidrelétricos. O Amapá é detentor de uma considerável malha hídrica e a bacia do Araguari se destaca como potencial na geração de energia, por meio da operação de três usinas a UHE de Coaracy Nunes, UHE de Ferreira Gomes e UHE de Cachoeira Caldeirão (SANTOS; CUNHA; CUNHA, 2017). Essa bacia é representativamente a mais explorada economicamente no estado para geração de energia

(OLIVEIRA et al., 2010), porém, é utilizado também para diversos fins, como: abastecimento público, navegação, subsistência e entre outros.

Atualmente o estado do Amapá possui quatro usinas hidrelétricas, sendo a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN), a Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes (UHEFG), a Usina Hidrelétrica de Cachoeira Caldeirão (UHECC) e Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Jari (UHESAJ). Sendo as três primeiras hidrelétricas instaladas no rio Araguari e a última no rio Jari.

A justificativa para implantação de vários projetos nessa região está relacionada com as questões pluviométricas (quantidade de chuva) diferenciadas. Sendo assim, a gestão integrada de hidrelétricas é fundamental para obter maior disponibilidade de energia, por meio de um sistema interligado, onde as regiões que tenham, em um determinado período do ano, excesso de água, possam fornecer energia para as regiões onde haja falta de água na mesma época (ECOTUMUCUMAQUE, 2011). Assim, quanto mais conectadas estiverem as hidrelétricas, mais energia oferece ao sistema.

Diante desses grandes empreendimentos planejados para Amazônia, existe uma preocupação com os impactos que podem ser gerados a curto e em longo prazo. Estudos que vem sendo realizados a respeito dos recursos hídricos de um bioma tão importante como a Amazônia, mostra o surgimento de um considerável risco de degradação ambiental, apresentam os impactos gerados das diferentes ações humanas sobre os mananciais amazônicos (BÁBARA et al., 2010).

Bárbara (2006) relata em seu estudo, que o rio Araguari já apresenta sintomas de degradações provenientes de várias atividades humanas, como desmatamento, agricultura intensiva, efluentes urbanos, criação de búfalos e a geração de energia, que provavelmente tem influenciado negativamente na qualidade de suas águas.

Nos últimos 5 anos, o rio Araguari ficou marcado por acontecimentos em relação as questões ambientais, como a mortandade de peixes que ocorreram desde 2014 na região. E em um estudo mais recente, pesquisadores apontam os impactos das barragens sob as espécies de quelônios da Amazônia (NORRIS; MICHALSKI; GIBBS, 2018).

Diante disso, faz necessário fomentar estudos que busquem verificar os corpos d'água da região amazônica, uma vez que essa região está sendo intensamente explorada por atividades de grande escala como as usinas hidrelétricas.

### **1.1 Recursos hídricos**

A água é um elemento fundamental para a manutenção de todas as formas de vida em nosso planeta (MMA, 2007). Além disso, insere-se em várias atividades humanas, como trabalho e lazer, e possui significativo valor econômico e sociocultural (SILVEIRA JUNIOR. et. al., 2013).

Segundo Vivacqua (2005) entre muitos dos recursos disponíveis, o recurso hídrico é o mais importante, pois além de ser essencial para o surgimento e manutenção da vida no planeta, no mundo moderno é indispensável para o desenvolvimento das atividades humanas, como transporte de pessoas e mercadorias, geração de energia, produção e processamento de alimentos, recreação e paisagismo, entre outros.

Em termos de ocupação hídrica mundial, 70% do planeta está coberto por água, desse volume total 97,5% é água salgada formando os mares e oceanos, e os 2,5% restante é água doce. Desse volume total de água doce 68,9% compõe as geleiras e calotas polares, 29,9% são águas subterrâneas, 0,9% está presente nos solos, pântanos e geadas e apenas 0,3% compõe rios e lagos (MMA, 2007).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007) a água doce não está uniformemente distribuída pela superfície do planeta, ocorrendo regiões de extrema escassez e outras com relativa abundância. No Brasil, um dos países com maior disponibilidade hídrica do planeta possui regiões extremamente ricas, como a Amazônica, e outras com baixa disponibilidade.

O Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Água (2009), possui 13,7% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada, pois se pode observar uma maior porcentagem na região Norte com 68%, seguida pelo Centro-Oeste com 16%, Sul com 7%, Sudeste com 6% e Nordeste com 3%.

As águas no território brasileiro passam por diversas bacias, sendo destinada aos diferentes usos. A hidrografia do país é dividida em 12 regiões sendo elas: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Paraguai, Paraná, Uruguai, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Atlântico Sul. Parte da água que precipita no território infiltra para o subsolo e é armazenada como água subterrânea. Outra parte dessa água escoar pela superfície até alcançar o leito dos rios. Ambas as parcelas, superficial e subterrânea, contribuem para a vazão dos rios (ANA, 2017).

Diante dessa abundância e importância hídrica muitos são os usos desse recurso. No Brasil na década de 1940 a água era predominantemente usada para abastecimento humano (rural e urbano) (ANA, 2017). Com os avanços da industrialização outros setores de serviços

aumentaram a demanda por esse recurso, como por exemplo, nos anos 2000 o setor agrícola apresentou uma porcentagem de 72,5% sobre a captação de água, o abastecimento humano com 18% e a indústria com 9,5% (LIMA, 2001).

Outro setor que possui uma relação forte com o recurso hídrico é o setor energético, uma vez que o Brasil é privilegiado quando comparado aos demais países, sua matriz energética é predominantemente proveniente de usinas hidrelétricas, sendo a geração hidrelétrica a maior contribuição em termos de fonte de energia, correspondendo a 64,5% da energia gerada no país (GODINHO; LOURES, 2016).

## **1.2 Usinas hidrelétricas na Amazônia**

A energia hidráulica é uma das fontes de energias pertencentes ao grupo das renováveis, pois sua forma de operação não emite gases que contribuem para efeito estufa, sendo assim considerada uma energia limpa (IEA, 2018).

Nos últimos anos em uma escala global a vertente sobre as fontes renováveis tem crescido consideravelmente, segundo a International Energy Agency no ano de 2017 as renováveis tiveram a maior taxa de crescimento de todas as fontes de energia, com 6,3%. As energias renováveis agora respondem por 25% da geração global de eletricidade, e a energia hidrelétrica está entre as que mais cresceram em 2017, com crescimento de 22%, (IEA, 2018).

A matriz energética brasileira é composta por 43,8% de energias de fontes renováveis, e 67,9% da energia gerada no país é proveniente do potencial hidrelétrico dos seus rios (MME, 2017). Segundo dados da ANNEL (2019) o Brasil possui 1340 empreendimentos de fonte hidrelétrica em operação, 38 em construção e 124 construções a serem iniciadas.

Segundo Godinho e Loures (2016) as usinas hidrelétricas utilizam a energia potencial de um rio para geração de energia elétrica. Sendo assim, são necessários grandes volumes de água e desníveis no curso do rio, como as quedas d'água. As usinas hidrelétricas são compostas por reservatório, barragem, vertedouro, casa de força e canal de fuga.

Devido às características ambientais favoráveis da Amazônia, essa região se tornou nos últimos anos um grande potencial energético para o Brasil. A Amazônia detém o maior sistema fluvial da Terra, com um quinto do total de água doce do mundo. Sua bacia se estende por mais de 6,9 milhões de km<sup>2</sup> (cerca de 5% da superfície terrestre do planeta), sendo que mais da metade se encontra dentro do Brasil (BELTRÁ, 2016).

A bacia hidrográfica amazônica descarrega aproximadamente 16% a 18% do fluxo de água doce do planeta para o seu grande estuário e o oceano Atlântico no litoral. Quatro dos dez

maiores rios do mundo estão na bacia amazônica (rios Amazonas, Negro, Madeira e Japurá), e 20 dos 34 maiores rios tropicais são afluentes da Amazônia. A Amazônia é também o maior e mais complexo sistema fluvial que transfere sedimentos e solutos através das distâncias continentais, construindo e sustentando a maior faixa contínua de várzea da terra e um mosaico de áreas úmidas que abrangem mais de 1.000.000 km<sup>2</sup> (LATRUBESSE et al., 2017).

Dados do Plano Decenal de Energia (2012) mostram que dos trinta projetos planejados para serem inaugurados no período de 2011 a 2020, dezoito hidrelétricas estão localizadas na região Amazônica, destacando as usinas hidrelétricas de grande porte de Estreito (1087 MW), de Santo Antônio (3150 MW), de Jirau (3300 MW), de Belo Monte (11233 MW) e de Teles Pires (1820 MW).

A história da Amazônia com a utilização dos seus rios começou em 1940 com a Usina de Itaipicuruzinho (hoje desativada), erguida no rio de mesmo nome, nas imediações da cidade de Carolina no Maranhão. Porém, somente em 1976 a Amazônia obteve sua primeira hidrelétrica com finalidade de geração de energia, no estado do Amapá no rio Araguari (SILVA JUNIOR, 2016), à usina hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN) que continua em funcionamento após 44 anos. Coaracy Nunes estimulou obras como Balbina (Amazonas), Samuel (Rondônia) e Tucuruí (Pará) (ELETRONORTE, 2006).

Diante de todo esse potencial enérgico depositado na região Norte há muitos debates sobre essa exploração intensa que os rios da Amazônia vêm sofrendo. Para Latrubesse et. al (2017) as barragens na bacia do rio Amazonas provocaram confrontos entre autoridades governamentais, populações indígenas e ambientalistas. As represas hidrelétricas da Amazônia costumam ser justificado com base no fornecimento de energia necessária para o desenvolvimento econômico de forma renovável, o que também minimiza as emissões de carbono.

Ainda segundo o autor, recentes revisões científicas colocam em discussão os impactos ambientais do represamento dos rios amazônicos, mas, em sua maioria, os efeitos das barragens foram avaliados por estudos realizados apenas nas proximidades de cada represa, e geralmente ignoram as dimensões geométricas, ecológicas e de escala muito maiores, em escala de bacia, que determinarão a futura condição produtiva e ambiental do sistema fluvial como um todo. Para redes de grandes barragens em grandes rios, deve-se levar em consideração a necessidade de avaliar impactos ambientais em escalas regionais e até continentais.

Para Norris, Michalski, Gabbs (2018) estudos de impacto ambiental (EIA) eficazes são importantes para quantificarem a extensão espacial que os impactos podem alcançar a jusante

e montante, tal conhecimento se faz necessário na elaboração de estratégias e soluções específicas para mitigar os efeitos gerados sobre o meio modificado. Pois, os efeitos dependem da característica local, levando em consideração a geometria e inclinação do canal e a altura da barragem.

Outros autores, como Beltrá (2016) continuam o debate sobre se a energia hidrelétrica é renovável, pois assim como outras atividades econômicas, como agricultura, as usinas hidrelétricas têm contribuído para o desmatamento da Amazônia, uma vez que necessita de uma grande área devastada para sua infraestrutura; e as hidrelétricas instaladas em áreas de floresta tropical emitem quantidades consideráveis de gases de efeito estufa (dióxido de carbono e metano) como resultado da degradação da vegetação alagada e do solo.

Além disso, as experiências dos projetos hidrelétricos existentes na Amazônia tem mostrado que as barragens podem destruir habitats importantes, tais como a floresta aluvial, que dependem de inundações sazonais, perda de qualidade da água e ter impactos devastadores sobre populações de peixes e répteis aquáticos, e sobre o ciclo de vida de mamíferos, bem como os impactos sociais. Esses efeitos podem se estender por centenas de quilômetros a jusante e a montante da barragem e levar espécies à extinção.

### *1.2.1 Usinas hidrelétricas no rio Araguari*

Segundo Silva Júnior (2016), a história do Amapá com a geração de energia por hidrelétricas se iniciou com a UHE Coaracy Nunes, construída na região centro-oeste do Estado, a 15 km do município de Ferreira Gomes, instalada no rio Araguari, distante 150 km da capital do estado, Macapá. Hoje o Amapá se encontra com quatro usinas hidrelétricas em funcionamento, três no rio Araguari (Coaracy Nunes, Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão) e uma no rio Jari (Santo Antônio do Jari).

Em funcionamento desde 1976 a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN) é a usina mais antiga do estado do Amapá e da Amazônia, e representou um grande avanço de desenvolvimento para região e principalmente para o Amapá. Inicialmente, o empreendimento entrou em operação comercial com duas unidades de 20 MW de potência em cada uma. A terceira unidade começou a operar em fevereiro de 2000, com 30 MW, e a hidrelétrica acrescentou 8 MW a sua potência nos últimos anos, chegando a uma potência instalada de 78 MW que são complementados por 156,8 MW da Usina Termelétrica Santana (ELETRONORTE, 2015).

A Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes (UHEFG) situada no rio Araguari, a jusante da UHE Coaracy Nunes, localizada no município de Ferreira Gomes começou seu processo de operação no ano de 2015. Com três turbinas, cada uma com potência de geração de 84 MW, totalizando uma capacidade de 252 MW e um reservatório de 17,72 km<sup>2</sup> (ECOTUMUCUMAQUE, 2010). Segundo a Ferreira Gomes Geração de Energia (2014) a energia gerada, pelo contrato de concessão com o Governo Federal, garante que a Ferreira Gomes Energia disponibiliza para o SIN (Sistema Interligado Nacional) 70% do que produz, obrigatoriamente.

Também localizada no rio Araguari a Usina Hidrelétrica de Cachoeira Caldeirão (UHECC) está a montante das usinas de Ferreira Gomes e Coaracy Nunes. Seu processo de operação se iniciou no ano de 2016, com três turbinas possui uma potência de 219MW, com uma barragem de 730 m e um reservatório de 47,99 km<sup>2</sup> que se encontra entre os municípios de Ferreira Gomes e Porto Grande (ECOTUMUCUMAQUE, 2011). A hidrelétrica Cachoeira Caldeirão, juntamente com as hidrelétricas Coaracy Nunes (ampliação), Ferreira Gomes, integram um conjunto de seis hidrelétricas, estudadas nos anos de 1990, para serem construídas na bacia do rio Araguari (ECOTUMUCUMAQUE, 2011).

As áreas dos três reservatórios, correspondem a, aproximadamente, 90 km<sup>2</sup> (ECOTUMUCUMAQUE, 2011), e operaram nas condições a fio d'água, que segundo ANEEL (2011) podem ser conceituadas como usina hidrelétrica ou pequena central hidrelétrica que utiliza reservatório com acumulação suficiente apenas para prover regularização diária ou semanal, ou ainda que utilize diretamente a vazão afluente do aproveitamento.

### **1.3 Os impactos ambientais de usinas hidrelétricas**

Manter as características físicas, químicas e biológicas da água é imprescindível para o equilíbrio de todo o ecossistema. Questões como a exploração intensiva e não sustentável sobre os recursos hídricos tem colocado em risco essa qualidade (SILVA et al., 2009), o que é preocupante uma vez que a qualidade da água está relacionada com saúde pública e ambiental.

Muitos são os fatores que podem comprometer a qualidade das águas, essa deterioração pode ser causada tanto por resultado da pressão antrópica sobre os ambientes aquáticos, em maior escala, como por fatores naturais, em menor escala (ALVES et al., 2012). Entre os principais contribuintes para o comprometimento da qualidade da água os mais destacados são os efluentes (domésticos, rurais, industriais), despejados diretamente nos corpos hídricos, e os escoamentos superficiais de origem urbana e agrícola (MUNIZ et al., 2013).

Porém, tratando-se da qualidade das águas superficiais, como os rios, nos últimos anos o fator produção de energia elétrica também vem sendo relacionado com perda de qualidade hídrica, pois as usinas hidrelétricas com suas barragens podem ocasionar uma modificação abrupta de um ambiente lótico (rio) em lântico (lago), podendo gerar alterações nos rios e consideráveis desequilíbrios na estrutura físico-química e hidrobiológica do meio aquático, podendo ter como consequência impactos ambientais significativos a montante e a jusante do barramento (BASTOS, 1998).

As usinas hidrelétricas geram energia para o consumo industrial, comercial e serviços. Embora tenham importância fundamental, sua construção produz múltiplos e variados impactos, dentre os quais, no equilíbrio ambiental do local do empreendimento bem como na socioeconomia de populações atingidas nas cidades do entorno (JERONYMO; BERMANN; GUERRA, 2012).

Segundo Tundisi (2007) o conjunto de reservatórios hidrelétricos construídos no Brasil nos últimos cinquenta anos promoveu extensa e profunda alteração nos mecanismos de funcionamento de rios, lagos, áreas alagadas e pântanos, principalmente no sul e no sudeste, onde estão localizadas as hidrelétricas mais antigas.

Bermann (2007) destaca alguns impactos ambientais que afetam componentes físico-químico e biológicos dos rios, como: alteração do regime hidrológico, comprometendo as atividades a jusante do reservatório; comprometimento da qualidade das águas, em razão do caráter lântico do reservatório, dificultando a decomposição dos rejeitos e efluentes; emissão de gases de efeito estufa, particularmente o metano, decorrente da decomposição da cobertura vegetal submersa definitivamente nos reservatórios; dificuldades para assegurar o uso múltiplo das águas, em razão do caráter histórico de priorização da geração elétrica em detrimento dos outros possíveis usos como irrigação, lazer, piscicultura, entre outros.

Com relação às características físico-químicas dos rios, pode dizer que naturalmente estão em constante processo de transformações, porém, a construção de hidrelétricas geram ações como o desmatamento das matas, em áreas de reservatórios, associado à decomposição de matéria orgânica submersa possa influencia na mudança das características da água. Essa decomposição pode produzir o gás metano, um gás de efeito estufa, considerado 25 vezes mais impactante sobre o aquecimento global por tonelada de gás, do que o gás carbônico (FEARNSIDE, 2009).

Diante disso, impactos da construção de hidrelétricas decorreram principalmente do efeito da decomposição de vegetação inundada, a grande área inundada, a deterioração da qualidade da

água, a perda de serviços dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo a biodiversidade e a alteração dos processos ecológicos (TUNDISI et al., 2006).

Porém, as modificações observadas na qualidade da água vão além da matéria orgânica em decomposição. Para Santos (2012) a temperatura da água é umas das variáveis envolvidas na qualidade. Segundo o autor, mudanças de temperatura pode interferir diretamente na quantidade de oxigênio e sólidos suspensos, provocando diversas reações químicas, criando rupturas no ciclo de vida dos seres vivos, no período de procriação, na caça, transformações de lavas e às vezes a destruição de algumas espécies.

No Brasil a qualidade das águas superficiais é determinada pela Resolução CONAMA de nº 357/2005, que estabelece um padrão de qualidade através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos com seus valores máximos ou mínimos permissíveis para cada classificação de corpo d'água.

Segundo a Lei nº 9.433/1997 conhecida como Lei das Águas considera a água como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Sendo assim, o monitoramento dos parâmetros de qualidade das águas é essencial.

Porém o cenário que se verifica é onde os rios são submetidos a impactos de atividades antrópicas de diversos níveis, desde a construção de canais, desmatamento até a descarga de metais pesados, herbicidas, e um grande número de substâncias orgânicas que se dissolvem na água. O que torna esse recurso cada vez mais vulnerável as poluições do meio (TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2008).

Sendo assim, o monitoramento das águas através dos parâmetros físico-químicos como pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, entre outros parâmetros em águas doces, são viáveis para estabelecer padrões de qualidade e juntamente com outras análises pode-se descobrir o nível de degradação de uma bacia ou corpo d'água se encontra (ROCHA; CABRAL; BRAGA, 2014).

Então, diante dos grandes empreendimentos hidrelétricos construídos nos rios brasileiros, principalmente na região Amazônica, se fomenta cada vez mais os estudos voltados para os impactos que podem ser gerados no meio ambiente. Isso se deve a importância que o recurso hídrico representa para setor econômico, social e ambiental do mundo todo (REBOUÇAS, 2006).

Diante disso, estudos envolvendo a qualidade das águas superficiais, como bacias hidrográficas, águas represadas por barragem vêm sendo objeto de várias pesquisas, pois são abordagens

importantes para manutenção desse recurso natural essencial para o equilíbrio do meio ambiente.

## **2 PROBLEMA**

Nos últimos anos os grandes projetos de geração de energia por usinas hidrelétricas foram desenvolvidos na região Amazônica, por ser uma região com grande potencial hídrico e pouco explorado. Porém, estudos tem identificado que rios represados por barragens podem sofrer alteração devido modificações significadas decorridas desse processo. Contrapondo até mesmo os argumentos que o caracterizam como uma energia sustentável, pois para muitos pesquisadores as grandes áreas demandadas por esse tipo de empreendimento podem causar impactos de grande escala como desmatamento, perda de qualidade da água, perda da fauna e da flora nativa, bem como impactos sociais. Sendo assim, o processo de represamento do rio através de barragem influencia nos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução nº357 de 17 de Março de 2005 do CONAMA?

## **3 HIPOTESE**

Foi levantada a hipótese de que a qualidade das águas represadas, quanto aos seus parâmetros físicos e químicos encontravam-se fora dos padrões estabelecidos pela legislação, e que essa alteração pode estar relacionada com a variação sazonal, e que estaria mais vulnerável as alterações no período de estiagem.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Geral**

Avaliar a qualidade físico e química das águas represadas por barragem nas usinas hidrelétricas no rio Araguari – AP.

### **4.2 Específicos**

- Analisar em 12 pontos determinados do rio Araguari as características físicas e químicas da água comparando com a legislação vigente;
- Realizar análises multivariadas dos pontos amostrados;
- Verificar os principais impactos ambientais relacionados à qualidade das águas represadas.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Área de Estudo

O rio Araguari apresenta uma extensa rede hídrica configurando-se como um dos principais e maiores rio do estado do Amapá, com aproximadamente 617 km de extensão nasce na Serra da Lombada, no Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque e desagua no Oceano Atlântico, ao norte da foz do Rio Amazonas. (CUNHA, 2004; OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS, et al., 2014).

A bacia hidrográfica do rio Araguari está localizada na região centro-leste do Estado do Amapá e possui uma área de aproximadamente 42.700 km<sup>2</sup>, ocupando cerca de um terço da área total do Estado e com uma extensão de aproximadamente 300 km encontram-se inteiramente nos domínios da Região Hidrográfica Amazônica (BRITO, 2008; BÁRBARA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2010). Suas características ecossistêmicas diversificam entre florestas de terra firme, cerrado, áreas alagadas e mangues (SANTOS et al., 2014).

A extensão da bacia abrange os municípios de Amapá, Tartarugalzinho, Serra do Navio, Ferreira Gomes, Porto Grande, Amaparí e Cutias e parte norte do município de Macapá. Essa extensão abrange também Unidades de Conservação (UC) federais, estaduais e áreas indígenas, equivalentes a 74% do seu território total (BRITO, 2008; SANTOS, 2012).

O rio Araguari possui uma divisão fluvial por trechos, nomeados de Curso Superior ou Alto Araguari, Médio curso ou Médio Araguari e o Curso Inferior ou Baixo Araguari. Segundo Santos (2012) no trecho superior estão instalados empreendimentos minerais, no segundo trecho (médio) que abrange dois importantes municípios do estado, o município de Porto Grande e o município de Ferreira Gomes, estão localizados as usinas hidrelétricas de Coaracy Nunes (UHECN), de Ferreira Gomes (UHEFG) e Cachoeira Caldeirão (UHECC), objeto de estudo da pesquisa (FIGURA 1). E no terceiro trecho (baixo) destaca-se atividades voltadas para a criação da bubalinocultura extensiva.

O regime hidrológico do rio Araguari apresenta vazões elevadas nos meses de janeiro a setembro (em média próxima de 1.000 m/s) e sofre uma diminuição nos meses de outubro a dezembro (com vazões próximas de 300 m/s ou menores) (BÁRBARA et al., 2005; CUNHA et al., 2010).

Com relação ao clima o estado possui uma divisão característica do Norte do Brasil dividindo-se em verão amazônico (período com pouca chuva) e o inverno amazônico, com temperatura variando de 24°C a 33°C. Segundo dados meteorológicos do Núcleo de Hidrometeorologia e

Energias Renováveis (NHMET) as chuvas estão presentes ao longo de todo ano, porém a estação de maior precipitação dura por 8 meses indo de dezembro a julho, com seu maior pico no mês de abril e a estação de estiagem dura por 4 meses indo de agosto a novembro, com seu pico no mês de outubro.

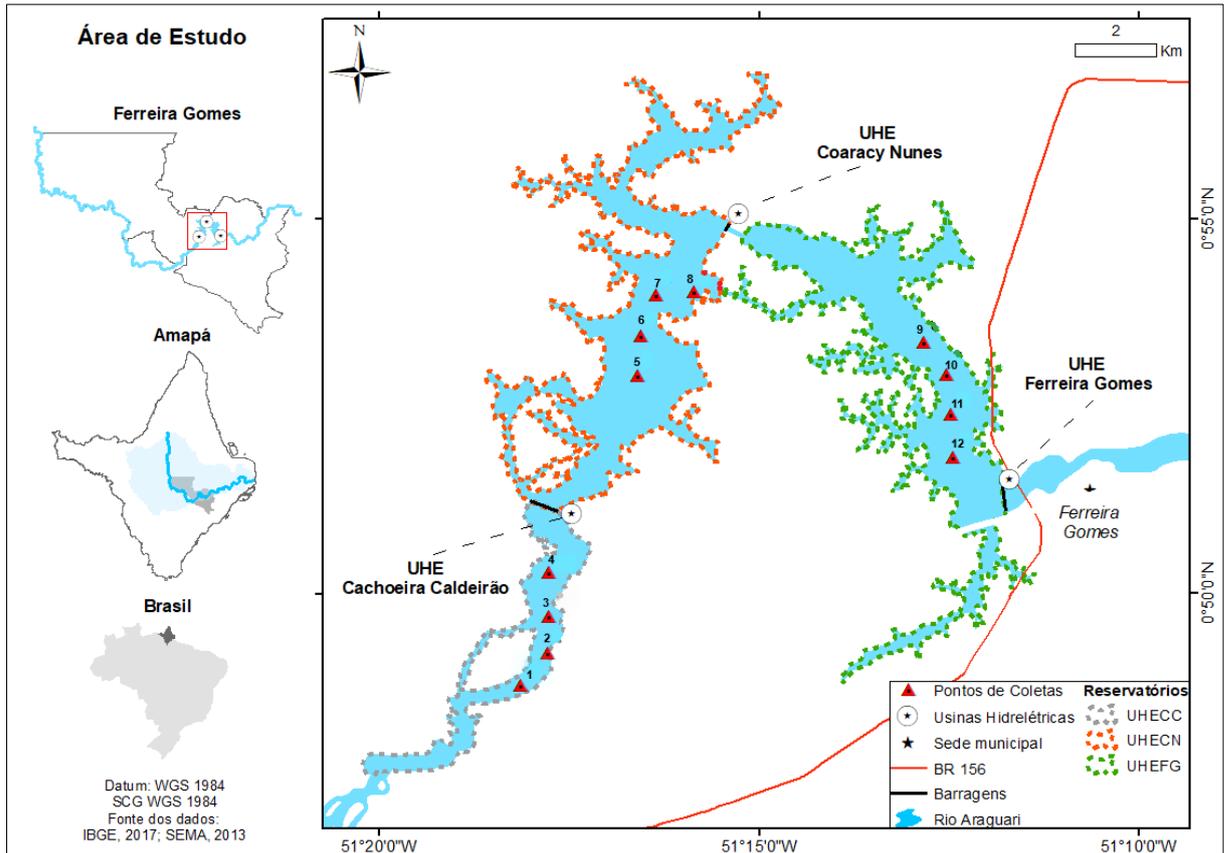


Figura 1 - Localização da área de estudo e os pontos de coletas no curso do Rio Araguari, entre as três hidroelétricas no município de Ferreira Gomes – AP, com os 12 pontos de coleta.

## 5.2 Coletas de amostras e análise físico e química

As coletas foram realizadas nos reservatórios da Usina Hidrelétrica de Cachoeira Caldeirão (UHECC), da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN) e da Usina Hidrelétrica Ferreira Gomes (UHEFG). Foram amostrados 4 pontos de coleta em cada reservatório (distantes, em média, a 1000 metros.), sendo 12 amostras multiplicados por dois períodos de coleta totalizando 24 amostras.

Foram estabelecidos dois períodos hidrológicos de coleta, sendo um no período de estiagem (outubro de 2018) e no período chuvoso (fevereiro de 2019) de acordo com a característica climática sazonal da região. Foi realizado em duas frequências com o intuito de realizar um monitoramento comparativo entre os períodos.

Nos pontos amostrados foram coletados amostras de água a 20 cm abaixo da superfície em frascos estéreis de polietileno com capacidade de 1 litro, devidamente identificados e armazenados em cuba térmica e transportadas para análise no Laboratório de Química Orgânica e Bioquímica da Universidade Estadual do Amapá (UEAP).

As coletas e análises foram realizadas com auxílio do manual de análise de água da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA de 2013 e da Resolução nº 357 de 2005 do CONAMA, na qual são estabelecidos os valores mínimos e máximos permitidos em rios de classificação II.

Para a verificação das condições e padrões da qualidade da água foram estabelecidos 11 parâmetros físicos e químicos no qual foram determinados com auxílio das literaturas existentes sobre o local de estudo (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros físicos e químicos com métodos de análise e padrões estabelecidos pela lei vigente.

	Parâmetro	Unidade	Método	Conama/VMP <sup>1</sup>
Físico	Cor	mgPt/L	Espectrofotômetro	75 mgPt/L
	Turbidez	UNT	Turbidímetro	100 NTU
	Sólidos Totais	mg/L	Vaporização	1000mg/L
	Temperatura	°C	Termômetro	-
	pH	pH	Sonda multiparâmetro	Entre 6 a 9
Químico	Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	Sonda multiparâmetro	Mínimo 5 mg/L
	Cloreto	mg/L	Titulação	250 mg/L
	Chumbo	mg/L	Espectrofotômetro	0,1 mg/L
	Cálcio	mg/L	Titulação	500 <sup>2</sup>
	Ferro	mg/L	Espectrofotômetro	0,300 mg/L
	Cobre	mg/L	Espectrofotômetro	0,009 mg/L

<sup>1</sup>valores máximos permitidos

<sup>2</sup>valor estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde

### 5.3 Análises Estatísticas

#### 5.3.1 Análise Descritiva

Diante dos resultados obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados nos períodos de estiagem e chuva, utilizando os parâmetros cor, turbidez, sólidos totais, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, cloreto, cálcio, ferro, cobre e chumbo. Nessa etapa se utilizou o software Excel (2007) e Minitab®17, sendo esse último utilizado para todas as análises dessa pesquisa.

### 5.3.2 Análise exploratória de dados

A partir da matriz de dados (11x25), contendo as amostras com suas respectivas variáveis explicativas, foram utilizadas ferramentas da análise multivariada de dados através das Análises de Componentes Principais -PCA (*Principal Components Analysis*) e análise Hierárquica de Cluster -HCA (*Hierarchical Cluster Analysis*), a fim de encontrar possíveis padrões na pesquisa.

A análise de componentes principais (PCA), dado o grande número de dados computados, recomenda-se uma ferramenta exploratória para descobrir tendências desconhecidas nos dados e assim reduzi-los. Por meio do PCA, é possível reduzir o número total de variáveis para um conjunto menor, mantendo o máximo possível de informações originais e transformando-os em um novo conjunto de variáveis, as componentes principais (PCs), que não estão correlacionados e ordenados de modo que os primeiros retenham a maior parte da variação presente em todas as variáveis originais. O resultado final do PCA é a seleção de um pequeno número de descritores (parâmetros físico-químicos) que se acredita estarem melhor relacionados à variável dependente, neste caso, as amostras de água coletadas nos reservatórios das três usinas hidrelétricas presentes no rio Araguari (BARBOSA et al., 2011; FERREIRA et al., 2012).

A análise hierárquica de cluster (HCA) é uma análise estatística exigida neste estudo e deve agrupar compostos de um tipo similar em grupos, esse método estatístico é desenvolvido para esse propósito. O HCA divide as amostras em grupos (“*cluster*”) de forma que as amostras de um mesmo grupo sejam similares entre si com relação às variáveis (descritores) e as amostras de grupos diferentes sejam heterogêneas em relação a essas mesmas características (MINGOT, 2005; BARBOSA et al., 2011).

Os agrupamentos podem ser realizados a partir de medidas de similaridade e dissimilaridade (distância entre as amostras). Dentre os variados métodos de agrupamento hierárquicos, os principais são a ligação completa (*complete linkage*), média das distâncias (*average linkage*), ligação simples (*single linkage*) e o método de Ward (*Ward's method*) (SILVA; BARBOSA; SILVA, 2018).

Para esse estudo o método utilizado foi o *Ward* com a métrica de distância euclidiana, foi aplicado para os parâmetros físico-químicos (cor, turbidez, sólidos totais, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, cloreto, cálcio, ferro e chumbo) das amostras de água dos reservatórios, com o objetivo de identificar a existência de possíveis similaridades nas amostras dos reservatórios das usinas hidrelétricas, nos períodos de estiagem e chuva.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Caracterização físico e química da qualidade da água dos reservatórios

Os resultados obtidos das análises de água foram comparados com os valores máximos ou mínimos estabelecidos pela Resolução Conama nº 357 de 2005 e pela Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde (para o parâmetro cálcio).

As análises das coletas realizadas no período de estiagem (realizadas em outubro de 2018) e chuva (realizadas em fevereiro de 2019) apresentaram resultados dentro dos padrões de qualidade estabelecidos em lei, exceto pelo oxigênio dissolvido (OD), pH e chumbo (Pb) (Tabela 2).

A cor verdadeira no período de estiagem variou de 7,1 – 14,1 mg Pt/L, e no período chuvoso de 11,3 – 43,7 mg Pt/L. Para turbidez os valores variaram de 0,09 -1,05 NTU na estiagem e 3,99 – 5,21 NTU no chuvoso.

Em relação aos sólidos totais (ST) os resultados do período de estiagem variaram de 1,6 – 24,3 mg/L, ressaltando que nesse referido período os valores mais baixos foram verificados na UHECN. No período de chuva os resultados foram de 9,3 – 16,3 mg/L.

A temperatura da água variou sazonalmente, no período de estiagem a temperatura foi maior que no período chuvoso, tendo como média 30,5°C e 26,8°C, respectivamente.

O parâmetro cloreto (Cl), nos períodos de coleta de estiagem e chuva, os resultados variaram de 47,52 – 106,92 mg/L e de 47,52 – 167,06 mg/L, respectivamente. Ressaltando que os valores mais altos foram encontrados no período de chuva, com destaque para os reservatórios de UHE de Ferreira Gomes e UHE de Cachoeira Caldeirão.

Para o cálcio (dureza) no período de estiagem foram de 8 – 32 mg/L, e no período de chuva de 13 – 49 mg/L.

O pH foi encontrado fora dos padrões estabelecido pela lei vigente, que vai de 6-9, em quatro pontos de coleta do período de chuva, sendo três pontos no reservatório de Cachoeira Caldeirão (CC2C, CC3C, CC4C) e um ponto no reservatório de Coaracy Nunes (CN8C) (Tabela 2).

O oxigênio dissolvido (OD), no período de chuva, apresentou valores abaixo de 5 mg/L, que é nível de concentração mínimo previsto pela legislação existente para esse tipo de rio (classe II), em três dos quatros pontos de coleta do reservatório da UHE de Coaracy Nunes. Mas nos demais períodos, nos três reservatórios, o nível de OD se encontrou em conformidade com o padrão estabelecido pela legislação.

Para o ferro os resultados indicam uma variação no período de estiagem de 0,137 – 0,367 mg/L, e no período de chuva de 0,004 – 0,013 mg/L. Em relação ao chumbo a legislação determina um máximo de concentração de 0,01 mg/L, e em dois pontos de coleta, um do reservatório da UHE de Ferreira Gomes e outro da UHE de Cachoeira Caldeirão, no período de chuva foram verificados valores superiores ao padrão.

Tabela 2 - Resultados das análises de água por parâmetro e período de coleta.

<b>Ponto</b>	<b>Cor</b>	<b>Turb.</b>	<b>ST</b>	<b>T° C</b>	<b>pH</b>	<b>OD</b>	<b>Cl</b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>
<i>Limites</i>	<i>75 mg Pt/L<sup>1</sup></i>	<i>100 NTU<sup>1</sup></i>	<i>1000mg/L<sup>1</sup></i>	<i>-<sup>1</sup></i>	<i>6 -9<sup>1</sup></i>	<i>5 mg/L<sup>2</sup></i>	<i>250 mg/L<sup>1</sup></i>	<i>500mg/L<sup>3</sup></i>	<i>0,300 mg/L<sup>1</sup></i>	<i>0,01 mg/L<sup>1</sup></i>
CC1E	8,5	0,24	24,3	29,8	6,6	7,12	74,25	18	0,183	0,002
CC2E	8,5	0,28	24,1	30,8	6,5	7,12	106,92	10	0,198	0,002
CC3E	8,5	0,37	16,8	29,9	7,2	7,70	47,52	11	0,183	0,010
CC4E	7,1	0,09	15,0	30,1	6,7	6,55	89,84	24	0,137	-
CN5E	7,1	0,38	1,7	29,3	7,0	<u>4,80</u>	60,14	23	0,187	-
CN6E	11,3	0,93	1,6	29,5	6,6	<u>2,35</u>	74,25	23	0,19	0,005
CN7E	14,1	0,24	3,5	31,0	6,9	<u>4,80</u>	47,52	29	0,189	0,008
CN8E	7,1	1,05	3,6	29,5	6,7	6,10	60,14	29	0,212	0,015
FG9E	11,3	0,66	15,4	32,0	7,3	7,2	60,14	23	0,218	0,003
FG10E	8,5	0,4	10,1	32,3	6,0	5,95	74,25	32	0,188	0,011
FG11E	7,1	0,4	16,3	31,8	6,4	7,15	60,14	24	0,194	0,008
FG12E	9,9	0,48	16,0	31,3	6,5	6,4	60,14	8,0	0,367	0,013
CC1C	14,1	4,21	11,9	26,8	6,1	7,9	74,25	19	0,005	<u>0,021</u>
CC2C	16,9	3,99	12,3	29,3	<u>5,6</u>	5,35	125,48	13	0,004	-
CC3C	15,5	4,39	9,6	26,1	<u>5,9</u>	6,05	125,48	28	0,009	0,003
CC4C	11,3	4,60	11,3	26,3	<u>5,5</u>	5,4	74,25	24	0,012	0,010
CN5C	38,1	5,21	12,1	26,3	6,6	7,7	74,25	14	0,007	0,010
CN6C	42,3	5,2	9,3	26,4	6,1	7,7	47,52	17	0,011	0,006
CN7C	43,7	4,8	10,0	26,7	6,0	7,65	47,52	19	0,010	-
CN8C	28,2	4,53	10,2	26,7	<u>5,6</u>	7,95	36,38	25	0,009	0,006
FG9C	19,7	4,08	15,3	29,6	7,5	7,1	60,14	28	0,013	-
FG10C	21,2	3,95	10,8	30,1	7,7	7,85	167,06	15	0,004	-
FG11C	21,2	4,41	16,3	30,3	6,0	7,45	125,48	49	0,005	0,009
FG12C	12,7	5,08	11,6	29,8	7,5	7,2	106,92	13	0,004	<u>0,025</u>

Legenda: Cor- cor verdadeira; Turb. – turbidez; ST – sólidos totais; T°C – temperatura superficial da água; pH – potencial hidrogeniônico; OD – oxigênio dissolvido; Cl – cloreto; Ca – cálcio; Fe – ferro; Pb – chumbo.

<sup>1</sup>Valor máximo estabelecido pela Resolução Conama nº357/2005.

<sup>2</sup>Valor mínimo estabelecido pela Resolução Conama nº357/2005

<sup>3</sup> Valor máximo determinado pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

## 6.2 Análise estatística multivariada

A análise de componentes principais (PCA) foi executada para 10 variáveis. Portanto, foram gerados 10 componentes principais (PC), equivalentes ao número de variáveis disponíveis. O número de três componentes principais foi escolhido com auxílio do gráfico *screeplot* (Figura 2), onde a soma dos três primeiros componentes principais, PC1, PC2 e PC3 representam 66,44% da variância total do conjunto dos dados.

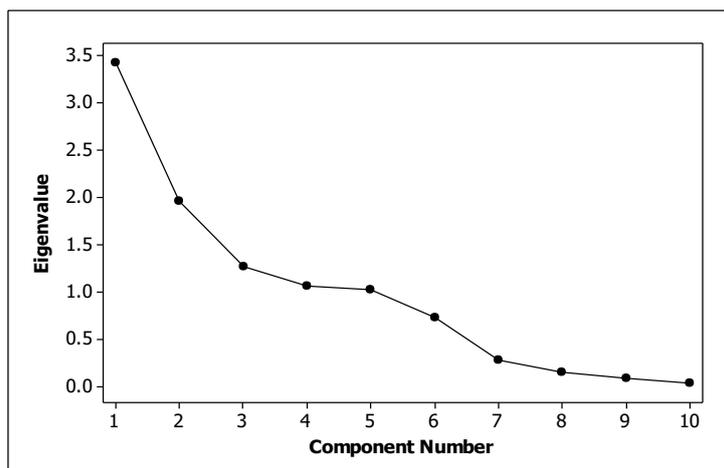


Figura 2 –Gráfico do *screeplot* gerado a partir das dez variáveis para a verificação da variação das componentes principais.

A tabela abaixo representa os valores do *scores* em relação as três componentes principais, podendo estabelecer as equações para cada componente principal e a partir delas realizar interpretações no gráfico dos *scores*.

Tabela 3 – Apresentação dos valores dos *scores* em relação as componentes principais.

Variable	PC1	PC2	PC3
Cor	0,439	0,020	-0,197
Turb.	0,512	0,029	0,078
ST	-0,068	0,652	-0,004
T°C	-0,464	0,122	0,204
Ph	-0,246	0,139	0,111
OD	0,138	0,622	-0,158
Cl	0,079	0,225	0,734
Ca	0,029	-0,314	0,390
Fe	-0,488	-0,037	-0,259
Pb	0,016	-0,030	-0,343

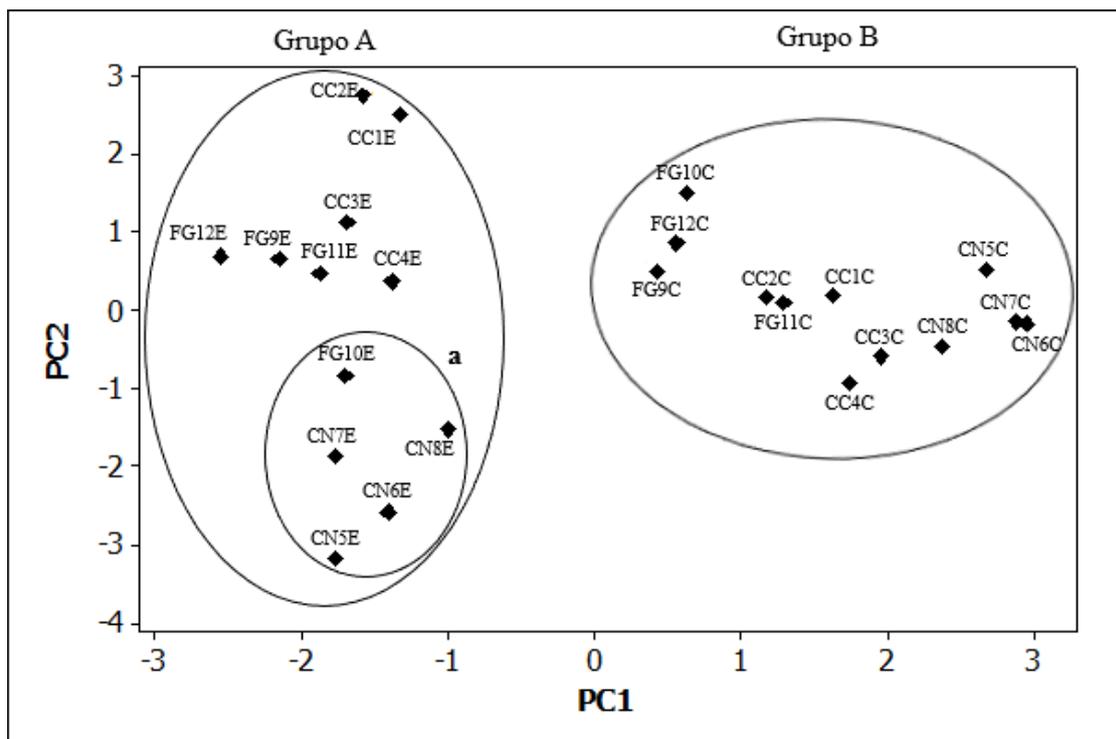


Figura 3 - Gráfico dos *scores* PC1-PC2 para os pontos de coleta de água nos reservatórios Cachoeira Caldeirão (CC), Coaracy Nunes (CN) e Ferreira Gomes (FG); seguidos da letra E (estiagem) e C (chuva).

No gráfico do *loading* pode-se observar as variáveis e a correlação que apresentam entre si.

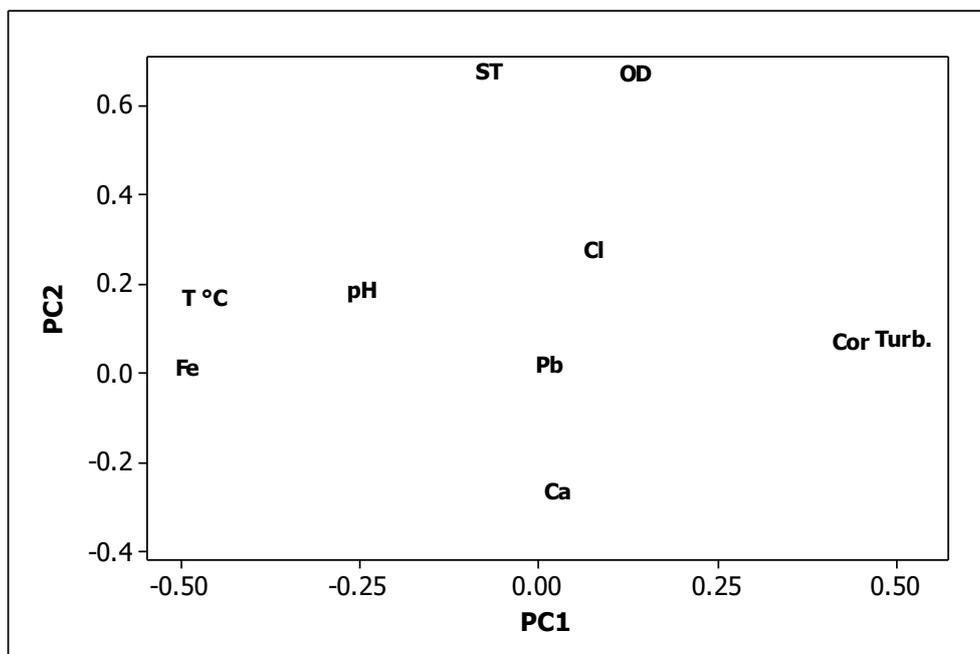


Figura 3 - Gráfico dos *loading* PC1-PC2 para os parâmetros analisados nas amostras de água nos reservatórios Cachoeira Caldeirão (CC), Coaracy Nunes (CN) e Ferreira Gomes (FG); nos dois períodos de coleta.

A tabela 4 apresenta os resultados da correlação de Pearson realizados entre as dez variáveis utilizadas na caracterização da qualidade de água. Destaca-se (em sublinhado) os valores do coeficiente que se aprestaram mais elevados, indicando assim, quais variáveis mais se correlacionam.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade de água. As células destacadas (sublinhados) indicam aquelas com maiores valores de correlação.

Cor	Turb.	ST	T°C	Ph	OD	Cl	Ca	Fe	Pb
Turb.	<u>0.729</u>	-	-	-	-	-	-	-	-
ST	-0.134	-0.114	-	-	-	-	-	-	-
T°C	-0.639	<u>-0.739</u>	0.243	-	-	-	-	-	-
Ph	-0.239	-0.291	0.025	0.467	-	-	-	-	-
OD	0.297	0.288	<u>0.764</u>	-0.060	-0.009	-	-	-	-
Cl	-0.121	0.254	0.179	0.082	0.080	0.100	-	-	-
Ca	-0.044	0.034	-0.252	0.091	-0.220	-0.204	0.020	-	-
Fe	<u>-0.610</u>	<u>-0.911</u>	0.080	0.687	0.252	-0.217	-0.352	-0.146	-
Pb	-0.123	0.154	-0.112	-0.021	-0.001	0.101	-0.123	-0.034	0.012

A partir das análises de HCA construiu-se o gráfico do dendograma apresentado na figura 4. Os grupos identificados são formados pela similaridade encontrada entre os pontos que o compõe. Foi utilizado como critério de identificação dos grupos um grau de similaridade visual.

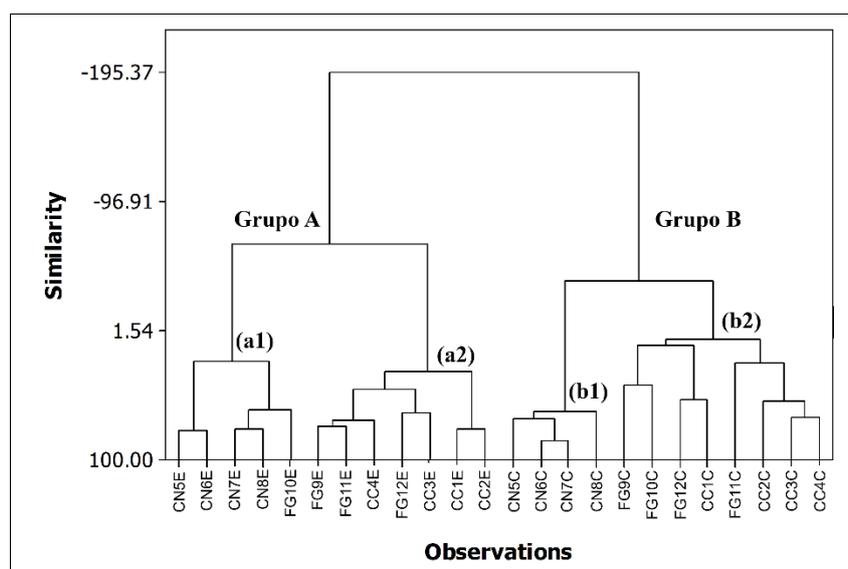


Figura 4 – Gráfico dendograma HCA referente aos reservatórios das usinas hidrelétricas nos dois períodos de coleta. Os números de 1-12 representam os pontos de coleta de água nos reservatórios (Cachoeira Caldeirão (CC)=1-4; Coaracy Nunes (CN)=5-8; Ferreira Gomes (FG)=9-12); seguidos das letras E (estiagem) e C (chuva). Com 4 agrupamentos: (a1), (a2), (b1) e (b2).

No dendograma foi possível identificar a formação de quatro subgrupos, representados no gráfico como (a1), (a2), (b1) e (b2). Os subgrupos podem ser observados nas figuras abaixo:

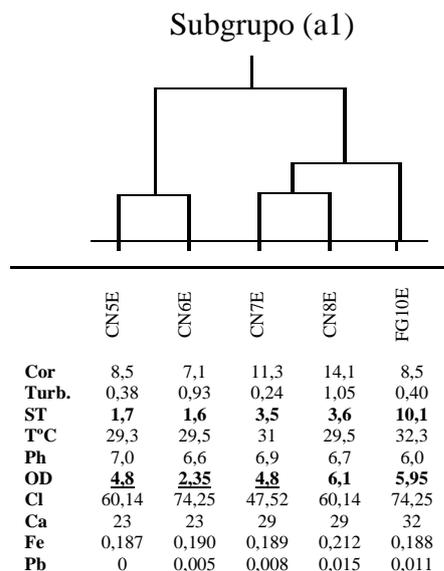


Figura 5 – Subgrupo (a1)

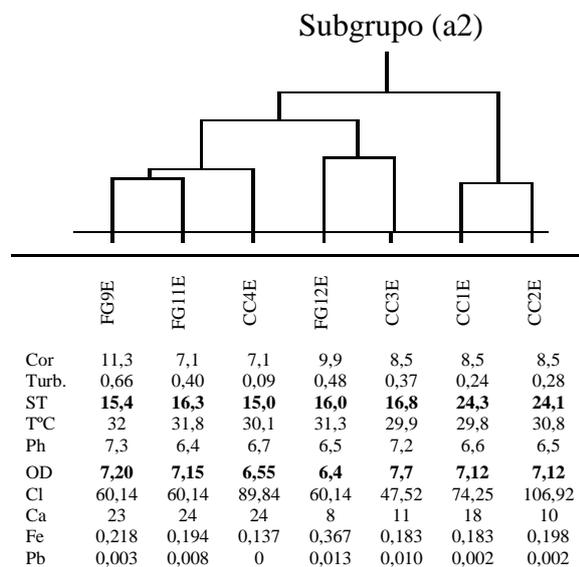


Figura 6 – Subgrupo (a2)

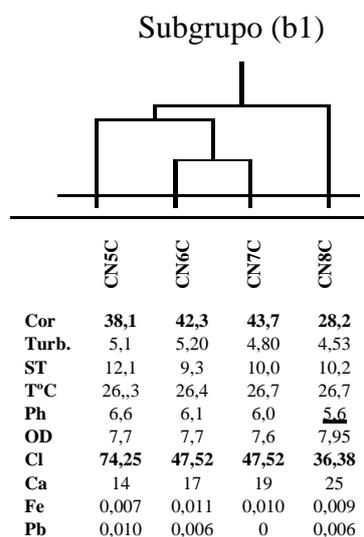


Figura 7 – Subgrupo (b1)

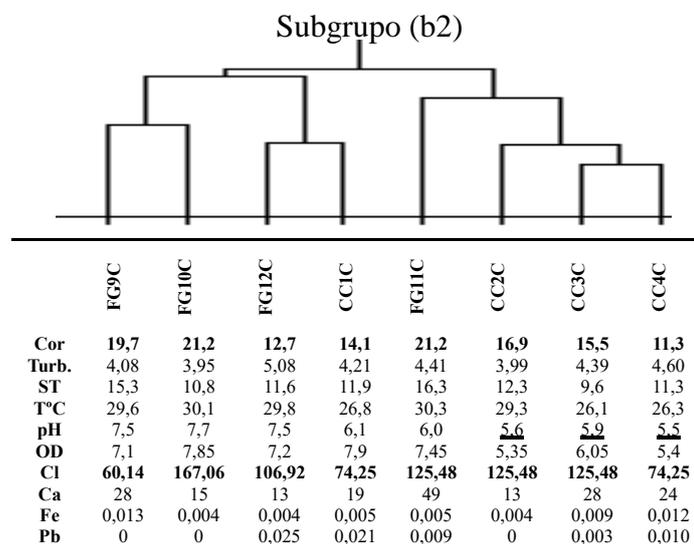


Figura 8 – Subgrupo (b2)

O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) é considerado um dos parâmetros mais importantes para qualidade de água, e por ter apresentado resultados fora dos padrões estabelecidos por lei e por ter variações sazonal e espacial, foi realizado análises de médias através da estatística ANOVA e aplicação do teste Tukey, para os dois períodos de coleta, com o objetivo de verificar as diferenças significativas e onde há as possíveis diferenças. Os resultados podem ser observados nas tabelas abaixo:

Tabela 5 – Resultados do ANOVA para parâmetro OD no período de estiagem.

Causa de Variação	DF	SS	MS	F	P
Tratamento	2	15,59	7,793	5,685	<u>0,0113</u>
Resíduo	9	9,126	1,014		
Total	11	24,71			

Tabela 6 – Resultados do ANOVA para parâmetro OD no período de chuva.

Causa de Variação	DF	SS	MS	F	P
Tratamento	2	5,472	2,736	5,281	<u>0,0304</u>
Resíduo	9	4,663	0,518		
Total	11	10,13			

Tabela 7 – Resultados do teste *Tukey* para o parâmetro OD no período de estiagem.

Tratamento	Significância (p<0,05)
UHECC-UHECN	Sim
UHECC-UHEFG	Não
UHECN-UHEFG	Sim

Tabela 8 – Resultados do teste *Tukey* para o parâmetro OD no período de chuva.

Tratamento	Significância (p<0,05)
UHECC-UHECN	Sim
UHECC-UHEFG	Não
UHECN-UHEFG	Não

Para melhor visualização das diferenças entre os reservatórios foi gerado os gráficos de *boxplot* para esse parâmetro. Os gráficos de *boxplot* podem ser observados da figura 9 abaixo:

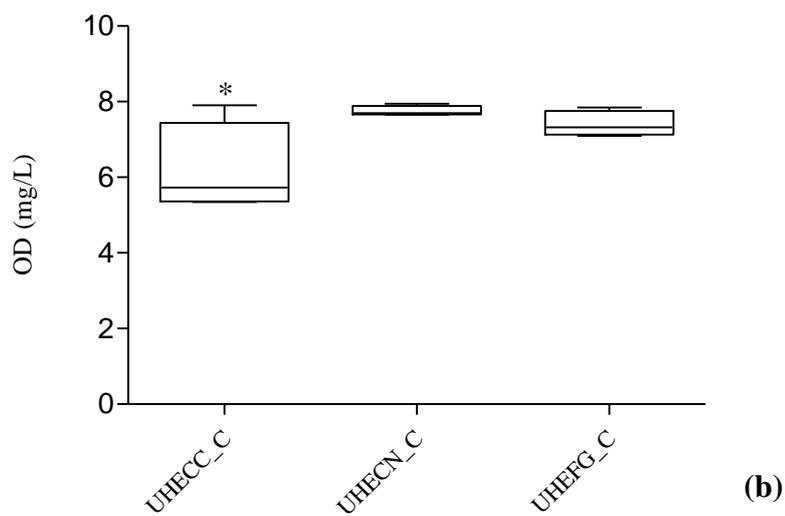
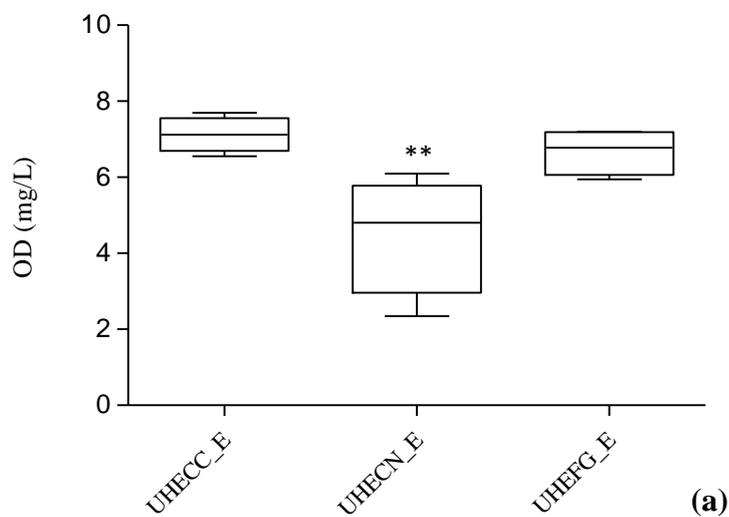


Figura 9- Gráfico *boxplot* referente as usinas hidrelétricas no período de estiagem (a) e período chuvoso (b) para o parâmetro OD. Representados no gráfico UHE (Usina Hidrelétrica); Cachoeira Caldeirão (CC); Coaracy Nunes( CN); FG (Ferreira Gomes (FG); \*\* diferença significativa (P<0,05); \*diferença significativa (P<0,05);

## 7 DISCUSSAO

### 7.1 Caracterização físico e química da qualidade da água

As águas estudadas dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas presentes no rio Araguari, em sua maioria, apresentaram bons resultados de qualidade de água para os parâmetros físico-químicos analisados, em todos os períodos de coleta, uma vez que os resultados obtidos se encontraram nos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. Com exceção dos parâmetros como pH, oxigênio dissolvido (OD) e chumbo (Pb) que apresentaram desconformidade em alguns pontos de coleta.

#### 7.1.1 Cor verdadeira

Para a cor verdadeira a Resolução 357/05 estabelece como padrão limite para rios classe II o valor de 75 mg Pt/L. A presença de cor na água pode ser resultado de resíduos de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias como ferro ou manganês, matérias húmicas, algas, plantas aquáticas, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústria, como os produtos de mineração (BRASIL, 2013).

Pode-se dizer que a cor da água está mais voltada para as questões estéticas do que para as sanitárias, e que uma cor elevada na água não representa risco à saúde, porém, por questão estética para o abastecimento público é importante que seja límpida, transparente e incolor para garantir sua qualidade (BRITO, 2008; COSTA; SOUZA, 2007).

Para cor os resultados revelam que todos os pontos amostrados apresentaram valores abaixo do limite, tornando as águas dos reservatórios em boas condições para este parâmetro.

#### 7.1.2 Turbidez (NTU)

A turbidez da água é atribuída a partículas sólidas em suspensão que geram uma aparência turva na água, pois diminuem a transparência e reduzem assim a propagação da luz no meio (RENOVATO et al., 2013; BRASIL, 2013). Para esse parâmetro a legislação estabelece um valor limite de 100 NTU, e em todos os pontos de coleta dos três reservatórios nos dois períodos de coleta os resultados se encontraram dentro das normas estabelecidas.

Porém observou-se um nível de turbidez bem abaixo do valor limite (100 NTU), uma vez que os resultados variaram entre 0,09 e 1,05 NTU na estiagem e entre 3,95 e 5,21 NTU

no período chuvoso. Valores semelhantes foram encontrados por Silva (2015) em um estudo sobre alteração da qualidade de água durante o enchimento de reservatório no rio Araguari, que em seu estudo a turbidez variou entre 2,06 e 10,50 NTU. Resultados diferentes foram identificados em estudos anteriores realizados na região por Brito (2008) e Cunha et al. 2013, que encontraram valores entre 30 NTU (na UHECN) e até 3948 NTU na foz do Rio Araguari.

Esse baixo valor de turbidez pode estar relacionado com a dinâmica hidráulica do reservatório, tornando os processos de diluição/transporte mais acelerados, reduzindo a turbidez (SILVA, 2015).

### *7.1.3 Sólidos Totais (ST)*

Os sólidos totais representam a soma das parcelas de sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos na água e em reservatórios podem ser produzidos pela decomposição da matéria orgânica ou proliferação de algas (BREDA, 2011; SILVA et al., 2009). A presença de sólidos pode afetar negativamente a qualidade de águas e efluentes, como quando com teor elevado de sólidos podem apresentar sabor desagradável. A Resolução 357/05 indica um limite de 1000 mg/L, os valores encontrados para sólidos totais, nos períodos de coleta, estão dentro do padrão estabelecido por lei.

Porém, no período de estiagem, apresentou variação espacial quando comparado os resultados dos três reservatórios, com destaque para a hidrelétrica de Coaracy Nunes. O ST no reservatório da UHE Coaracy Nunes apresentou uma variação de 1,64 mg/L-3,63 mg/L, o reservatório da UHE de Ferreira Gomes de 10 mg/L-16 mg/L e o reservatório da UHE Cachoeira Caldeirão apresentou uma variação de 15 mg/L-24 mg/L.

### *7.1.4 Temperatura (°C)*

O parâmetro temperatura apresentou variação sazonal, e foi possível distinguir que, no período de estiagem, a temperatura é maior que no período chuvoso. E isso ocorre devido que no período de chuvas a temperatura do ar ser menor que do no período de estiagem (ECOTUMUCUMAQUE, 2008).

As variações de temperatura entre os pontos coletados ocorrem devido as coletas serem realizadas em horários diferentes. Resultados a este são esperados para essa região e são semelhantes aos relatados por autores que realizaram estudos no rio Araguari (BRITO, 2008; BARBARA et al. 2010; CUNHA et al., 2011; SANTOS, 2012; SILVA, 2015).

### 7.1.5 Cloreto (Cl<sup>-</sup>)

O Cloreto é o ânion Cl<sup>-</sup>, por meio natural pode ser proveniente de dissolução de rochas e intrusão de águas salinas. Por meio antrópico podem ser provenientes principalmente de esgotos domésticos e efluentes de indústrias. O cloreto é um importante para a potabilidade da água, uma vez que em altas concentrações altera o sabor da água, tornando-a salgada e pode ocasionar problemas quanto à corrosão de tubulações hidráulicas (FREITAS, 2017).

Para o cloreto a legislação estabelece um valor limite de 250 mg/L, sendo assim, os resultados das análises indicam, para os dois períodos de coleta, valores abaixo do valor máximo permitido, configurando assim, que as água dos reservatórios estão em conformidade com lei.

### 7.1.6 Cálcio (Ca<sup>2+</sup>)

O cálcio é um dos componentes que origina dureza na água, essa dureza é definida em termos da concentração dos cátions cálcio e magnésio, normalmente acompanhados pelos ânions carbonato, bicarbonato, cloreto e ou sulfato (MÓL; BARBOSA; SILVA, 1995).

A presença de cálcio e magnésio na água normalmente provém da dissolução de rochas calcárias, e por esse motivo, as águas subterrâneas tendem a ter maior quantidade de cálcio do que águas superficiais. Porém, pode também estar relacionado com esgotos domésticos e industriais (MÓL; BARBOSA; SILVA, 1995; FREITAS 2017).

O CONAMA em sua Resolução 357/2005 não prevê valor limite para o cálcio (dureza), por isso, exclusivamente para esse parâmetro foi utilizado a Portaria 2914/2011 que dispõe sobre a potabilidade da água para consumo humano. A Portaria determina um valor limite de 500 mg/L, e os valores encontrados pra esse parâmetro estavam de acordo com a legislação, um vez que estão abaixo do valor limite nos dois períodos de coletas.

Diante desses resultados, as águas dos reservatórios tendem a se classificar como água mole. Pois, segundo a classifica de água quanto ao grau de dureza realizada por Mól, Barbosa e Silva (1995), estabelecem que dependendo da concentração cátions, as águas são classificadas como moles (teores abaixo de 75 mg/L), como duras (teores acima de 150 mg/L), ou moderadas (entre 75 e 150 mg/L). Acrescentam ainda, que os ambientes que apresentam águas moles, geralmente, possuem pH próximo do neutro.

Esse parâmetro quando encontrado em altas concentrações podem trazer consequências para a indústria (a acumulação dos sais no interior das tubulações gerando obstrução e prejuízos) e no âmbito domésticos (reduz eficiência de limpeza dos detergentes e sabões, pois diminui a formação de espuma).

#### *7.1.7 pH*

Parâmetros como o pH (potencial hidrogeniônico) são importantes para a caracterização da qualidade da água, pois o mesmo pode indicar acidificação das águas. O pH é um índice que varia de 0 a 14 e indica se uma substância é ácida (<7), neutra (7) ou básica (>7), porém, a Resolução 357/05 determina como padrão de para rios de classe II uma faixa de 6-9. Diante disso, foi observada uma desconformidade verificada em quatro pontos de coleta no período de chuva (CC2C; CC3C; CC4C e CN8C) se assemelha com os resultados encontrados por Barbara et al. (2010), onde encontrou valores de pH de 4,7 no rio Araguari, ou seja, abaixo da faixa ideia estabelecido por lei.

Segundo Barbara et al. (2010) é necessário compreender que as águas amazônicas apresentam características de acidez, portanto, valores de pH abaixo de 6 não indica, necessariamente, um sinal de problemas, mas sim uma realidade diferente em razão das características do próprio bioma. Outros autores também confirmam que as águas de vários rios amazônicos são naturalmente ácidas, como Esteves (2011) que afirma que os corpos d'água continentais, no geral, apresentam valores de pH entre 6-8,5, porém, existem ecossistemas que apresentam pH ácido, como os amazônicos, que apresentam solos ácidos, águas escuras ricas em substâncias húmicas.

#### *7.1.8 Oxigênio Dissolvido (OD)*

O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) apresentou em três pontos do reservatório da UHECN valores abaixo do mínimo (5mg/L) estabelecido pela Resolução na coleta do período de estiagem em novembro de 2018. Segundo Freitas (2017) o OD é resultado em lagos e reservatórios principalmente do processo de fotossíntese, reações químicas e do contato do ar com o corpo de água. Essa redução no nível de OD na água pode ser ocasionada por redução de nível de água e excesso de matéria orgânica e em ambientes lânticos, gerando desequilíbrio no ecossistema e possibilidade de mortandade de espécies. Os principais consumidores do OD são a respiração dos organismos, decomposição de matéria orgânica e reações químicas.

Nas represas segundo Esteves (2011) a inundação da fitomassa, ao se decompor, consome grande parte do oxigênio, gerando altos déficits. E após os primeiros anos de vida do reservatório a fase de desoxigenação passa a se restringir ao período de estiagem, e nesse período além da diminuição no nível da água observa uma acentuada hipoxia na coluna d'água e o que torna mais desfavorável para a fauna aquática.

#### *7.1.9 Ferro (Fe) e Chumbo (Pb)*

O ferro e o chumbo são classificados como elementos inorgânicos (elementos-traços ou metais pesados). Alguns elementos inorgânicos como o ferro são considerados essenciais aos seres vivos, mesmo que em pequenas concentrações, e possuem um importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos como na fotossíntese e cadeia respiratória. Porém, outros elementos como o chumbo, não possuem função biológica conhecida e são geralmente tóxicos a uma variedade de organismos, e mesmo para os elementos com funções biológicas definidas, podem, quando em altas concentrações apresentar toxicidade aos organismos vegetais e animais (ESTEVES, 2011).

Esses elementos tem como principais fontes no meio aquático as fontes naturais e antrópicas. As naturais podem ocorrer através do intemperismo de rochas e erosão de solos ricos em nesses materiais, e as antrópicas pelas atividades industriais, mineração e agricultura (ESTEVES, 2011).

A Resolução 357/05 estabelece para ferro e chumbo um valor máximo de 0,3 mg/L e 0,01 mg/L, respectivamente. Sendo assim, para o ferro apenas um ponto (UHE Ferreira Gomes no período de estiagem) se apresentou com uma concentração superior a 0,3 mg/L, e para o chumbo duas amostras (um na UHE Cachoeira e outro na UHE Ferreira Gomes, ambos no período de chuva) apresentaram concentrações superiores a 0,01 mg/L.

A presença desses elementos inorgânicos nas águas dos reservatórios podem ter sofrido influência das atividades desenvolvidas na bacia do rio Araguari, como a mineração de ferro, ouro, manganês, seixo e areia (SANTOS, 2017).

## **7.2 Análise estatística multivariada**

### *7.2.1 Análise das componentes principais (PCA)*

A parti dos resultados para a análise de componentes principais (PCA) observa-se o gráfico dos *scores* que revelam dois principais grupos, estiagem e chuva, representados

por grupo A e grupo B, respectivamente. Dentro de cada grupo se tem 12 pontos amostrados, sendo 4 pontos por reservatórios.

No grupo A observa-se a formação de um subgrupo (a) composto por todos os pontos de Coaracy Nunes, com exceção do ponto de Ferreira Gomes (FG10E), revelando uma possível similaridade entre eles que podem ser melhor explicadas pelas equações geradas a parti da tabela 3:

$$PC1 = 0,439Cor + 0,512Turb. - 0,068ST - 0,464T^{\circ}C - 0,246pH + 0,138OD + 0,079Cl + 0,029Ca - 0,488Fe + 0,016Pb \quad (1)$$

$$PC2 = 0,020Cor + 0,029Turb. + 0,652ST + 0,122T^{\circ}C + 0,139pH + 0,622OD + 0,225Cl - 0,314Ca - 0,037Fe - 0,030Pb \quad (2)$$

Na combinação linear (1), através de baixos valores para as variáveis cor, turbidez, oxigênio dissolvido, cloreto, cálcio e chumbo e altos valores para sólidos totais, temperatura, pH e ferro, observa-se uma tendência de formação do grupo das coletas dos reservatórios das usinas hidrelétricas no período de estiagem (Grupo A). De modo análogo, para as coletas de amostra de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas no período de chuva (Grupo B), as combinações lineares ocorrem de maneira inversa aos valores das variáveis do Grupo A. O que pode ser observado na Tabela 2, onde no período de estiagem se verifica nas amostras maiores concentrações de ferro e temperaturas mais elevadas e menores valores de cor e turbidez, e no período de chuva maiores valores de cor e turbidez e baixos para ferro e temperatura.

Nota-se que as variáveis cor, turbidez, temperatura e ferro apresentam maiores coeficientes sendo eles 0,439; 0,512; - 0,464 e - 0,488, respectivamente, e conseqüentemente possuem maiores contribuições em relação aos demais para a formação dos grupos A e B na PC1. Todas essas relações identificadas na equação (1) podem ser visualizadas também no gráfico *loading* representado na Figura 3.

Para avaliar quais variáveis estão mais fortemente relacionadas, utilizou-se o coeficiente de correlação, que varia de -1,00 a +1,00, e quanto mais próximo de -1,00 mais as variáveis estão inversamente relacionadas e quanto mais próxima de +1,00 mais as variáveis se relacionam diretamente.

Analisando a tabela 4, observa-se o coeficiente de correlação mais elevado entre oxigênio dissolvido e temperatura (0,764), relação coerente, uma vez que a temperatura influencia na parte química da água, e a quantidade de oxigênio dissolvido pode variar de acordo a

temperatura da água. Ou seja, a solubilidade do oxigênio na água aumenta com a diminuição da temperatura, por isso, as águas frias retêm mais oxigênio que as águas mais quentes, pois a elevação na temperatura aumenta a velocidade das reações (ESTEVES, 2011).

Outra correlação ocorreu entre cor e turbidez (0,729), essa correlação pode ser explicada pelas substâncias orgânicas dissolvidas ou em suspensão que ambas estão relacionadas, uma vez resultam da presença dessas substâncias em água (FREITAS, 2017). Os sólidos totais e ferro também apresentaram correlação forte (-0,911), no entanto inversa. Porém, são parâmetros que pela sua natureza não se influenciam.

### 7.2.2 Análise por agrupamento hierárquico (HCA)

Complementar a PCA, a análise por agrupamento fornece informações importantes sobre a similaridade dos pontos amostrados. O dendograma apresentado na figura 4 revela a formação de dois grupos principais (Grupo A e Grupo B), que estão relacionados com as amostras de água do período de estiagem e chuva, respectivamente.

Analisando detalhadamente o dendograma, algumas conclusões podem ser observadas:

1) a separação entre o Grupo A e Grupo B: essa separação pode estar relacionado com os valores das variáveis cor, turbidez, oxigênio dissolvido, cloreto e cálcio, que no período de estiagem apresentaram valores menores quando comparados com os valores do período de chuva;

2) no Grupo A a formação de dois subgrupos (a1) e (a2): é composto pelos pontos de coleta de amostra de água realizados no período de estiagem nos reservatórios das três usinas hidrelétricas. O subgrupo (a1) é formado por todos os pontos de coleta do reservatório de Coaracy Nunes (CN) e um ponto de Ferreira Gomes (FG) (Figura 5). Destaca-se que nesse subgrupo os parâmetros sólidos totais (ST) e oxigênio dissolvido (OD), que correspondem as faixas de 1,6 - 10,1 e 2,35 - 6,1, respectivamente, apresentaram os menores níveis quando comparados os demais pontos de coleta. A presença de um dos pontos de coleta do reservatório de Ferreira Gomes (FG10E) nesse subgrupo pode ser justificada por ser o ponto que mais se aproxima dos valores de ST e OD apresentados em CN quando comparados aos demais pontos de coleta.

No subgrupo (a2) (Figura 6), formado por todos os pontos de coleta dos reservatórios de Ferreira Gomes (FG) e Cachoeira Calderão (CC), destacam-se também as variáveis ST e OD que correspondem as faixa de 15 a 24,3 e 6,4 a 7,20 , respectivamente. Assim observa-

se que de forma inversa ao subgrupo (a1), no subgrupo (a2) essas variáveis apresentam valores maiores em suas águas.

3) no Grupo B a formação de dois subgrupos (b1) e (b2): é composto pelos pontos de coleta de amostra de água realizados no período da chuva no reservatório das três usinas hidrelétricas.

O subgrupo (b1) é formado exclusivamente pelos pontos do reservatório da usina hidrelétrica de Coaracy Nunes (Figura 7). A similaridade dos pontos de coleta da usina hidrelétrica de Coaracy Nunes está relacionada com as variáveis cor e cloreto (Cl), pois apresentam maiores valores para cor (28,2 – 43,7) e menores valores para cloreto (36,38 – 74,25). Enquanto que no subgrupo (b2) (Figura 8), que é formado por todos os pontos de coleta dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão, que possuem menores valores para cor (11,3 – 19,7) e maiores valores para cloreto (60,14 – 167,06).

Segundo Boyd (2000) o elevado valor da cor pode estar associado tanto às influências naturais quanto a processos de lixiviação da matéria orgânica de origem florestal e podem ser indesejáveis ao consumo humano. Os valores mais altos identificados na UHE Coaracy Nunes pode estar relacionada com esses processos, uma vez que seu reservatório se encontra entre duas novas barragens (UHECC e UHEFG).

A análise de agrupamentos mostrou que há diferenças entre as águas dos reservatórios das usinas hidrelétricas, principalmente a UHE de Coaracy Nunes, e que a sazonalidade foi preponderante para representar as similaridades entre os pontos de coleta. Esse comportamento pode estar relacionado com o tempo operacional das usinas hidrelétricas, uma vez que UHE de Coaracy Nunes está em funcionamento desde de 1975 (a mais de 40 anos) e a UHE de Ferreira Gomes e UHE de Cachoeira Caldeirão estão em operação deste 2014 (a 5 anos) e 2016 (a 3 anos), respectivamente.

### *7.2.3 Análise Global das Médias (ANOVA) e Teste Tukey*

Para compreender os resultados gerados através do ANOVA foram estabelecidas duas hipóteses:

H<sub>0</sub>= As médias de OD dos reservatórios das usinas hidrelétricas são estatisticamente iguais ao nível de significância de 0,05.

H1= Pelo menos uma das médias de OD dos reservatórios das usinas hidrelétricas é estatisticamente diferente das demais ao nível de significância de 0,05.

Observando as tabelas 5 e 6 verifica-se o valor de  $P=0,0113$  para o período de estiagem e  $P=0,0304$  para o período de chuva, ou seja, ambos apresentam valores menor que 0,05. Sendo assim, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa.

Com o teste *Tukey* verifica-se onde ocorre a diferença identificada no ANOVA, através das tabelas 7 e 8 observa-se que nos para os dois períodos de coleta existiu diferença significativa entre os reservatórios da UHECC e UHECN.

#### 7.2.4 Boxplot

O gráfico *boxplot* da figura 9 (a) e (b) demonstram a variação sazonal e espacial das amostras de água dos reservatórios das três usinas hidrelétricas com relação ao oxigênio dissolvido (OD). No gráfico (a) observa que a UHECN no período de estiagem foi a usina que apresentou diferença significativa ( $P<0,05$ ), principalmente com relação a UHECC.

Os valores de OD apresentados no reservatório da UHECC estão próximos a saturação que em alguns casos, a fotossíntese realizada pelas plantas verdes na água pode produzir oxigênio em uma taxa superior à taxa de difusão desse gás no ar. Se a concentração de oxigênio dissolvido for superior à capacidade de dissolução dos fatores físicos, esse fenômeno pode levar à “saturação” ou “supersaturação” do oxigênio na água (SISTE, 2011). Para Cunha et al. 2011 o aumento das turbulências na água podem inverter a tendência do oxigênio dissolvido diminuir com o aumento da temperatura. E essa saturação pode ter como consequência a mortandade de peixes pelo conhecido fenômeno de da “embolia” dos peixes (SILVA, 2015). E no gráfico (b) observa-se que no período de chuvas novamente a UHECN e UHECC apresentaram diferença significativa ( $P<0,05$ ), porém não houve amostras abaixo do limite determinado por lei (5 mg/L).

## 8 CONCLUSÃO

Após o monitoramento da qualidade da água, aceita-se a hipótese de que a qualidade das águas represadas, quanto aos seus parâmetros físicos e químicos encontravam-se fora dos padrões estabelecidos pela legislação, e que essa alteração pode estar relacionada com a variação sazonal, e que estaria mais vulnerável as alterações no período de verão amazônico.

Diante dos resultados obtidos obteve-se as seguintes principais conclusões:

- 1) com relação aos parâmetros físicos e químicos quando comparados ao padrão estabelecido pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA observa-se que os parâmetros OD, pH e Pb encontram-se em desacordo com legislação vigente. No período de estiagem nos pontos CN5E, CN6E e CN7E para OD e no período de chuva nos pontos CC2C, CC3C, CC4C e CN8C para pH e nos pontos CC1C e FG12C para Pb. E os parâmetros cor, turbidez, sólidos totais, cloreto, cálcio (dureza) e ferro apresentaram conformidade com a lei.
- 2) mesmo as águas analisadas, em linhas gerais, apresentarem bons resultados de qualidade de água para a maioria dos parâmetros, e a PCA identifica que há diferenças da qualidade da água em termos sazonais, pois os pontos amostrados no período de estiagem se distingui com clareza das amostras do período de chuva.
- 3) através do HCA conclui-se que os pontos do reservatório da UHE Coaracy Nunes foram os que mais se distanciaram dos demais, principalmente para os parâmetros cor, sólidos totais e oxigênio dissolvido. Contudo, foi observado uma similaridade entre os pontos amostrados dos reservatórios da UHE Ferreira Gomes e UHE Cachoeira Caldeirão.
- 4) em termos estatísticos, o estudo mostrou que o uso de ferramentas estatísticas, como a análise multivariada, pode ser aplicada na avaliação de qualidade de água represadas por barragem.
- 5) este estudo tonar-se uma contribuição para o sistema de monitoramento ambiental da UHECN, UHEFG e UHECC, bem como para os gestores do setor público e privado que se preocupam com as alterações que podem ser geradas por barragens. Além disso, o estudo permitiu realizar uma caracterização da qualidade da água dos reservatórios quanto aos seus parâmetros físicos e químicos, verificando quais se apresentaram fora dos padrões de qualidade de água. Servindo assim, como suporte para a tomada de decisão

com relação a conservação do meio aquático, favorecendo inclusive a segurança do abastecimento de água uma vez que qualidade de água está relacionada com saúde pública.

O presente estudo também abre um leque de oportunidades para que outros pesquisa sejam realizados nessa perspectiva, objetivando compreender os possíveis impactos gerados por grandes empreendimentos em regiões de tamanha importância como a Amazônia. Trata-se da geração de informações sobre as condições de águas represadas por barragem em um ecossistema que tem recebido uma concentração de projetos para os rios amazônicos com finalidade de geração de energia.

## 9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **No rumo da mudança - fatos e tendências: água**. Brasília: ANA, 2009, p. 36.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017, p. 169.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Banco de Informações de Geração: BIG. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012.

BARBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. Análises da qualidade das águas do rio Araguari (AP) utilizando o modelo de modelagem qual2e. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – COMPEEX, 2, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 2005.

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo QUAL2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do rio araguari – ap (amazônia)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiás, 2006.

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari – Ap. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2010.

BARBOSA, J. P.; FERREIRA, J. E. V.; FIGUEIREDO, A. F.; ALMEIDA, R. C. O.; SILVA, O. P. P.; CARVALHO, J. R. C.; CRISTINO, M. G. G.; PINHEIRO, J. C.; VIEIRA, J. L. F.; SERRA, R. T. A. Molecular modeling and chemometric study of anticancer derivatives of artemisinin. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 76, n. 9, p. 1263-1282, 2011.

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

BELTRÁ, D. **Hidrelétricas na amazônia um mau negócio para o brasil e para o mundo**. Relatório Greenpeace Brasil. São Paulo, 2016, p. 66.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p.139-153, 2007.

BOYD, C. E. Water quality particulate matter, turbidity and color. **Spring**, v. 10, p. 95-103. 2000.

BRASIL. Lei de nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos**. Ministério do Meio Ambiente. Congresso Nacional, Brasília, 1997.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 18 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**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2005, p. 27.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Ministério da Saúde, Brasília, 2011.

BRASIL. RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 425 de 1 de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre os critérios para a definição das instalações de geração de energia elétrica de interesse de sistema elétrico interligado e daqueles passíveis de centralização das atividades de controle e fiscalização, sob coordenação da superintendência de fiscalização dos serviços de geração - SFG**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2011, p. 2.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. Brasília, 2013.

BRITO, D. C. **Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água qual2kw em grandes rios: o caso do alto e médio rio Araguari** – ap. 2008. p. 151. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá. 2008.

BREDA, L. S. **Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Funil – região sul de Minas Gerais**. 2011. p. 272. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recurso Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COSTA, O. S.; SOUSA, A. R. **Análise da Água – Métodos Analíticos Físico-químicos e Biológicos**. Goiânia. 2007.

CUNHA, A. C. **Determinação do coeficiente de reaeração no modelo Qual2E utilizando as características hidráulicas de canais abertos para estudos de impacto ambiental no rio Araguari-ap**. Projeto de pesquisa CPAQ/IEPA e SETEC/CNPq. Programa de primeiros projetos. Relatório CNPq, p. 20. 2004.

CUNHA, A. C.; SOUZ, E. B.; CUNHA, H. F. A. **Tempo, clima e recursos hídricos – resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá**, 1 ed, Macapá: IEPA, 2010. p 216.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A.; SCHULZ, H. E. Dam effect on stream reaeration evaluated with the qual2kw model: case study of the Araguari river, amazona region, amapá state/brazil. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Org.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics - and case studies in Brazil**. Editora: Fundação Universidade Federal do Pampa, 2011. p. 153-177.

CUNHA, A. C.; PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, H. F. A. Modelagem e Simulação do Escoamento e Dispersão Sazonais de Agentes Passivos no Rio Araguari AP: Cenários para o AHE Ferreira Gomes-I-Amapá/Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 57-85, 2013.

ECOTUMUCUMAQUE. **Estudo de Impacto Ambiental: pequena central hidrelétrica do rio Amapari – Capivara**. Macapá, AP. 2008.

ECOTUMUCUMAQUE. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA para o empreendimento aproveitamento hidrelétrica de Ferreira Gomes**. Macapá: Ecotumucumaque:Conserving The Amazonia, v. 1, p. 164, 2010.

ECOTUMUCUMAQUE. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para o empreendimento aproveitamento hidrelétrica de Cachoeira Calderão**. Macapá: Ecotumucumaque:Conserving The Amazonia, p. 120, 2011.

ELETRONORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A. Usina hidrelétrica de Coaracy Nunes: a energia que move o amapá. **Corrente Contínua: a revista da eletronorte**. Edição especial Coaracy Nunes 30 ano, p. 20. 2006.

ELETRONORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A. **Coaracy Nunes, 39 anos**. Imprensa Eletronorte, 2015. Disponível em <[http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/modulos/noticia/noticia\\_0751.html?uri=/index.html](http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/modulos/noticia/noticia_0751.html?uri=/index.html)> Acesso em 10 de março de 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p 790.

FEARNSIDE, P. M. O novo eia-rima da hidrelétrica de belo monte: justificativas goela abaixo. In: SANTOS, S. M. S. B. M.; HERNANDEZ, F. D. M. (Coord.). **Painel de especialistas - análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte**. Belém: International Rivers, 2009, p. 108-117.

FERREIRA, J. E. V.; FIGUEIREDO, A. F.; BARBOSA, J. P.; PINHEIRO, J. C. Chemometric study on molecules with anticancer properties. **Chemometrics in Practical Applications**, 2012.

FREITAS, M. D. F. P. P. **Avaliação de variáveis físicas e de qualidade das águas em reservatórios de usinas hidrelétricas de Minas Gerais para gestão das águas do estado**. 2017. p. 75. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GODINHO, A. L.; LOURES, R. C. Risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. In: LOURES, R. C.; GODINHO, A. L. (Orgs.). **Avaliação de Risco de Morte de Peixes em**

**Usinas Hidrelétricas.** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 5 série Peixe Vivo, p. 19-35, 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCIA – IEA. **Global energy e CO2 status report: the latest in energy and emissions in 2017.** 2018, p. 15.

JERONYMO, A. C.; BERMANN, J. C.; GUERRA, S. M. G. Displacements, itineraries and destinations of populations affected by dams: hp Tijuco Alto, SP – PR. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 25, n. 25, p. 133-152, 2012.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D’HORTA, F. M.; WIGHT, CHARLES, WITTMANN, F.; ZUANON, J.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N. ANSAR, A.; FLYVJERG, B.; STEVAUX, J. C. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, p. 363 – 369, 2017.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo.** 1 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001, p. 46.

MINGOT, S. A. **Análise de dados através de estatísticas multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido.** Brasília. 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA – MME. **Renováveis devem manter participação de 43% na matriz energética em 2017.** 2017. Disponível em <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017)>Acessado em: 10 de abril de 2018.

MÓL, G. S.; BARBOSA, B. A.; SILVA, R. R. Água dura em sabão mole. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 2. 1995.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 1-14, 2012.

MUNIZ, D. H. F.; SIMPLÍCIO, N. C. S.; ROCHA, F. R. M.; OLIVEIRA FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. Caracterização da qualidade da água superficial de três corpos hídricos rurais do distrito federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 20., Bento Gonçalves, 2013. **Resumos...**Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. 2013.

NORRIS, D.; MICHALSKI, F.; GIBBS, J. P. Beyondharm’s reach? Submersion of river turtle nesting areas and implications for restoration actions after amazona hydro power development. **PeerJ**, v. 6, n. 4228, p. 1-19. 2018.

OLIVEIRA, L. L.; CUNHA, A. C.; JESUS, E. S.; BARRETO, N. J. C. Características hidroclimáticas da bacia do rio Araguari. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. A (Coord.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Amapá: IEPA, 2010, p. 83-118.

REBOUÇAS, A. C. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

RENOVATO, D. C. C.; SENA, C. P. S.; SILVA, M. M. F. Análise de parâmetros físico-Químicos das águas da barragem pública da cidade de Pau dos Ferros (RN) – ph, Cor, turbidez, acidez, alcalinidade, condutividade, cloreto e salinidade. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DO IFRN – CONGIC, 6. Currais Novos, 2013. **Anais...** Currais Novos: IFRN, 2013.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação espaço-temporal das águas dos afluentes do reservatório da uhe Barra dos Coqueiros/Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 131-142, 2014.

SANTOS, S. B. **Impactos econômicos, sociais e ambientais da barragem taquara à luz das dimensões do desenvolvimento sustentável**. 2012. 136 p. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Universidade de Fortaleza. 2012.

SANTOS, E. S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, E. D. S. Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do rio Araguari- Amazônia Oriental-Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 215-226, 2014.

SANTOS, E. S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. Usina hidrelétrica na Amazônia e impactos sócios econômicos sobre os pescadores do município de Ferreira Gomes – Amapá. **Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 4, p. 1-12, 2017.

SANTOS, E. S. **Alterações geomorfológicas no baixo rio Araguari e seus impactos na hidrodinâmica e na qualidade da água**. 2017. p. 74. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2017.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (uhe) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009.

SILVA JÚNIOR, C. P. Projetos hidrelétricos na Amazônia no limiar do século XXI: o caso da UHE no Estreito – MA/TO. **Revista Alpha**, v. 17, n. 2, p. 287 – 306, 2016.

SILVA, G. C. X. **Alterações da qualidade da água durante o enchimento de reservatório pós-fragmentação do escoamento livre**. 2015. p. 151. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 2015.

SILVA, L. P.; BARBOSA, J. P.; SILVA, G. A. Análise exploratória de dados da qualidade da água de poços amazonas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 43-51, 2018.

SILVEIRA JÚNIOR, A. M.; VILHENA, J. C. E.; DUARTE, A. S. E CUNHA, A. C. Avaliação de Características Químicas da Água Utilizada para Consumo Humano no Bairro Santa Rita, Macapá/AP, Brasil. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v.13, n.1, p. 10-16, 2013.

SISTE, C. E.; GIRÃO, E. G.; DUNCAN, B. L.; Modulo 3: Avaliação físico-química. In: SISTE, C. E.; GIRÃO, E. G.; DUNCAN, B. L (Organ.). **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento de qualidade da água**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011, p. 48.

TUNDISI, J. G. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 109-117. 2007.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo: consequências e impactos da eutrofização e perspectivas para o gerenciamento e recuperação. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Coord.). **Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias de gerenciamento e controle**. Ianas, 2006. p.161-82.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 630.

VIVACQUA, M. C. R. **Qualidade da água de escoamento superficial urbano – revisãovisando o uso local**. Dissertação (MestradoemEngenharia) – 185 p. Universidade de SãoPaulo, 2005.