

RAISSA CAROLINE GOMES

**REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO NA FLORESTA
NACIONAL DO JAMARI E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS**

Sorocaba

2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

Ciências Ambientais

RAISSA CAROLINE GOMES

**REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO NA FLORESTA
NACIONAL DO JAMARI E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na área de concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Admilson Írio Ribeiro

Coorientadora:
Prof.^a Dr.^a Regina Márcia Longo

Sorocaba/SP
2021

G633r Gomes, Raissa Caroline
Revegetação de áreas degradadas por mineração na
Floresta Nacional do Jamari e sua relação com a qualidade das
águas superficiais / Raissa Caroline Gomes. -- Sorocaba, 2021
153 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Admilson Írio Ribeiro
Coorientadora: Regina Márcia Longo

1. Recuperação e remediação ambiental. 2. Mineração a céu
aberto. 3. Água Qualidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO NA FLORESTA NACIONAL DO JAMARI E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

AUTORA: RAISSA CAROLINE GOMES

ORIENTADOR: ADMILSON IRIO RIBEIRO

COORIENTADORA: REGINA MÁRCIA LONGO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO (Participação Virtual)
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba



Profª. Drª. MARIANA RICKEN BARBOSA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Rural / Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

Profª. Drª. MARIA ELISABETH TEIXEIRA PEREIRA E ROCHA (Participação Virtual)
Universidade de Aveiro

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro

Sorocaba, 25 de março de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades concedidas – desde a permissão para o ingresso neste programa de pós-graduação até a realização do sonho de conhecer a grandiosa Floresta Amazônica. Agradeço pelas palavras de força e incentivo a continuar esta caminhada direcionadas ao meu Ser nos momentos mais oportunos, pelas pessoas que Ele permitiu estarem em minha vida durante este momento de intensa evolução pessoal, profissional e acadêmica.

Agradeço, com muito carinho, aos meus pais, Mara e Clésio, por sempre me incentivarem a não desistir desta longa caminhada, por toda educação que me deram, por todo esforço para que eu pudesse chegar até aqui, por tudo que fizeram e fazem por mim. Agradeço por entenderem minha ausência na vida de vocês durante este período. Eu os amo infinitamente.

Agradeço, imensamente, ao meu esposo, pois tem sido um pilar forte e resistente em nosso casamento, me dando forças, incentivo e estando ao meu lado nos momentos em que eu mais precisei. Sou extremamente grata por tudo o que é para mim.

Não com menos importância, agradeço, respeitosamente, ao meu orientador Prof. Dr. Admilson Írio Ribeiro e à minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Regina Márcia Longo. Agradeço, por todo o ensinamento transmitido e por toda paciência, incentivo e cobranças. Agradeço por cada conversa que tivemos. Agradeço, com o coração cheio, por não terem desistido de mim, vocês são meus orientadores para a vida e eu os tenho com muita admiração e respeito, assim como à Malu.

Agradeço à Brascan e à Cesbra pela autorização de uso de seus dados para a elaboração desta tese e principalmente pelo belo trabalho de recuperação de áreas degradadas que tem realizado na FLONA do Jamari. Agradeço em especial ao Hérlon e ao Sr. João por todo apoio, conhecimento compartilhado durante a visita e por todo acolhimento.

Agradeço ao IBAMA e ao ICMBio pela manutenção e integridade da Unidade de Conservação Nacional.

Agradeço à banca de qualificação e defesa, Prof.^a Dr.^a Mariana Barbosa Ricken e Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva, Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva e Prof.^a Maria Elisabeth Teixeira Pereira e Rocha, por todas as pontuações muito bem-feitas e que permitiram que esta tese fosse lapidada.

Agradeço aos professores e toda a equipe técnico-administrativa da Unesp – ICT de Sorocaba pela oportunidade de realizar este sonho em uma instituição tão renomada, por toda ajuda e por todo acolhimento ao longo desta trajetória.

Agradeço aos colegas de curso por todas as risadas, incentivos e conversas boas; em especial à Mestre Alessandra Leite (futura doutora neste mesmo PPG) por todas as vezes que me ajudou, me ouviu e esteve firme na fé junto a mim.

Por fim, agradeço à UNIVESP pelo período de cinco meses que me concedeu a bolsa para atuar como mediadora nas aulas EAD.

“Quando eu pensava que era o fim começou tudo de novo pra mim...
Foi quando Deus me levantou e me falou: Eu Te chamei para viver coisas maiores.”
Sarah Farias

GOMES, R. C. Revegetação de áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari e sua relação com a qualidade das águas superficiais. 2021. 153f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2021.

RESUMO: O Brasil é um dos países que possuem mais recursos naturais, principalmente de reservas minerais, muito importantes para sua economia. No entanto, a extração mineral é uma atividade que promove intensa modificação ao meio ambiente, como a retirada da cobertura vegetal, alterações no relevo e demais características físico-químicas do solo. Essas modificações promovem alterações também no regime hídrico local. Dessa forma, uma componente importante no processo de mineração, consiste na recuperação ou restauração das áreas utilizadas. A Floresta Nacional do Jamari, FLONA, em Rondônia, consiste em uma unidade de conservação ambiental, e segundo o Sistema Brasileiro de Unidades de Conservação (SNUC), são áreas passíveis de uso sustentável. Nesse contexto, a Floresta Nacional do Jamari tem um histórico de exploração cassiterita iniciado nos anos 60. A partir dos anos 80, as áreas mineradas passaram a ser recuperadas de forma intuitiva com poucos resultados. No início deste milênio, mediante aplicação da legislação de áreas degradadas, as empresas mineradoras envolvidas reforçaram as ações de recuperação de áreas degradadas envolvendo parcerias com universidades. Desde que se deu início ao processo de recuperação ambiental, iniciou-se também a avaliação da qualidade das águas superficiais de modo a verificar se há alteração comprovadamente relacionada à atividade mineradora (devido às áreas estarem com solo exposto por longo período). Com o objetivo de avaliar a evolução dos usos do solo nas áreas mineradas em processo de recuperação e sua possível relação com a evolução da qualidade da água nas bacias de drenagem correspondentes, foram selecionados quatro pontos amostrais distribuídos no interior da FLONA. Os dados de ocupação do solo foram obtidos utilizando ferramentas de análise espacial (Sistemas de Informação Geográfica) e avaliados através de análises de correspondência para os anos de 1999, 2009 e 2019. Já os parâmetros de qualidade das águas (pH, sólidos totais dissolvidos, fósforo total, nitrogênio total, nitrito, nitrato, coliformes termotolerantes, cor, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda química e bioquímica de oxigênio, temperatura, turbidez, cromo, cobre, ferro e manganês) foram disponibilizados pela empresa responsável pela recuperação das áreas degradadas e foram avaliados por meio de análises de componentes principais nas mesmas datas. Os resultados permitiram verificar que a tese foi aceita, ou seja, há relação entre as ocupações do solo e a qualidade da água. O ano de 1999 foi marcado pelo solo exposto e pelo parâmetro sólidos totais dissolvidos, enquanto o ano de 2019 foi maiormente influenciado pelas áreas de reflorestamento com vegetação intermediária e densa e o parâmetro cor, assemelhando-se ao verificado em áreas preservadas.

Palavras-chave: Floresta Amazônica; reflorestamento; PRAD; mineração; desmatamento.

GOMES, R. C. Revegetation of mining degraded areas in the Jamari National Forest and its relationship with surface water quality. 2021. 153f. Thesis (PhD in Environmental Sciences) - Institute of Science and Technology of Sorocaba, UNESP - Paulista State University, Sorocaba, 2021.

ABSTRACT: Brazil is one of the countries that has more natural resources, mainly mineral reserves, which are very important for its economy. However, mineral extraction is an activity that promotes intense modification to the environment, such as the removal of vegetation cover, changes in relief and other physical and chemical characteristics of the soil. These changes also promote changes in the local water regime. Thus, an important component in the mining process is the recovery or restoration of the used areas. The Jamari National Forest, FLONA, in Rondônia, consists of an environmental conservation unit, and according to the Brazilian System of Conservation Units (SNUC), these are areas that can be used sustainably. In this context, the Jamari National Forest has a history of cassiterite exploration that began in the 1960s. Since the 1980s, the mined areas started to be recovered in an intuitive way with little results. At the beginning of this millennium, by applying the legislation on degraded areas, the mining companies involved reinforced the actions to recover degraded areas involving partnerships with universities. Since the beginning of the environmental recovery process, the assessment of surface water quality has also started to verify if there is any alteration proven to be related to mining activity (due to the areas having exposed soil for a long period). Therefore, to assess the evolution of land uses in the mined areas in the process of recovery and their possible relationship with the evolution of water quality in the corresponding watersheds, four sampling points distributed within FLONA were selected. The land occupation data were obtained using spatial analysis tools (Geographic Information Systems - GIS) and evaluated through correspondence analysis for 1999, 2009 and 2019. The water quality parameters (pH, total dissolved solids, total phosphorus, total nitrogen, nitrite, nitrate, thermotolerant coliforms, color, electrical conductivity, dissolved oxygen, chemical and biochemical oxygen demand, temperature, turbidity, chromium, copper, iron and manganese) were made available by the company responsible for the recovery of degraded areas and were assessed through principal component analysis on the same dates. The results showed that this thesis was accepted, then, there is a relationship between soil occupations and water quality. The year 1999 was marked by the exposed soil and by the parameter total dissolved solids, while the year 2019 was mostly influenced by the reforestation areas with intermediate and dense vegetation and the color parameter, resemble the verified in preserved areas.

Keywords: Amazon rainforest; reforestation; PRAD; mining; deforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Recomposição topográfica, preparo do solo e adubação orgânica para as covas.....	32
Figura 2. Monitoramento da evolução do solo.....	33
Figura 3. Contextualização temporal do problema.	53
Figura 4. Localização da FLONA do Jamari.....	55
Figura 5. Indicação dos pontos de coleta de água superficial da Floresta Nacional do Jamari/RO.	57
Figura 6. Ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.....	58
Figura 7. Ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área....	59
Figura 8. Ponto de coleta denominado Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	59
Figura 9. Ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	60
Figura 10. Indicação das sub-bacias pertencentes aos Rios Jamari e Jacundá.	75
Figura 11. Indicação da bacia de contribuição do ponto Igarapé Japiim - 14 de abril.	76
Figura 12. Usos do solo na bacia de drenagem do P1, Igarapé Japiim - 14 de abril.	77
Figura 13. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem 14 de abril...	79
Figura 14. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.....	80
Figura 15. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.....	81

Figura 16. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.	82
Figura 17. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.	83
Figura 18. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.	84
Figura 19. Indicação da bacia de contribuição do ponto Barragem Serra da Onça.	85
Figura 20. Usos do solo na bacia de drenagem do P5, Barragem Serra da Onça.	86
Figura 21. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem Serra da Onça.	88
Figura 22. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.	89
Figura 23. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.	90
Figura 24. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.	91
Figura 25. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.	92
Figura 26. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado barragem Serra da Onça.	93
Figura 27. Indicação da bacia de contribuição do ponto Barragem Duduca. ...	94
Figura 28. Usos do solo na bacia de drenagem do P09, Barragem Duduca.	95
Figura 29. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem Duduca.	96

Figura 30. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.	98
Figura 31. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.	99
Figura 32. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.	100
Figura 33. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.	101
Figura 34. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.	102
Figura 35. Indicação da bacia de contribuição do ponto Rio Jacundá - Área Benjamin.	103
Figura 36. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.	104
Figura 37. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.	105
Figura 38. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.	106
Figura 39. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.	107
Figura 40. Análise de componentes principais (ACP) para todas as datas amostradas no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.	108
Figura 41. Desvio do Igarapé Japiim para ocupação da cava. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área..	111
Figura 42. Lago formado pela barragem da Hidroelétrica de Samuel. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	111
Figura 43. Área de alagamento da Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	113

Figura 44. Desvio das águas da Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	114
Figura 45. Imagem capturada na margem imediata externa da FLONA do Jamari/RO. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.....	120
Figura 46. Cidade de Itapuã d'Oeste. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.	121
Figura 47. Lixão da cidade de Itapuã d'Oeste. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.....	121
Figura 48. Acompanhamento temporal das áreas internas e externas à FLONA do Jamari ao longo dos 20 anos estudados.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem 14 de abril (área da bacia: 4,958Km ²).	78
Tabela 2. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça (Área da bacia: 0,938Km ²).	87
Tabela 3. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem Duduca – P09 (Área da bacia: 194,547Km ²).	96
Tabela 4. Compilado de resultados.	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Datas das amostragens e obtenção dos dados utilizados.	61
Quadro 2. Apresentação dos métodos de análise de cada parâmetro monitorado, bem como sua contribuição para a avaliação e monitoramento ambiental.	63
Quadro 3. Especificações sobre a obtenção das imagens de satélite.	66
Quadro 4. Descrição e ilustração dos possíveis usos do solo dentro das áreas de drenagem.	68
Quadro 5. Interpretação dos valores do Teste de Kaiser-Meyer-Olkins (KMO) obtidos.	71
Quadro 6. Ordenação das bacias de drenagem.	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS	19
2.1 Hipótese	19
2.2 Objetivo Geral	19
2.3 Objetivos específicos	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Florestas tropicais e as Unidades de Conservação: a Floresta Nacional do Jamari/RO	20
3.1.1 A Floresta Nacional do Jamari e ações associadas à atividade mineradora e à recuperação ambiental	28
3.2 O reflexo das alterações dos usos do solo na qualidade hídrica	35
3.2.1 pH	41
3.2.2 Sólidos Totais e Sólidos Dissolvidos	42
3.2.3 Fósforo	43
3.2.4 Nitrogênio	44
3.2.5 Coliformes Totais e Termotolerantes	44
3.2.6 Cor	45
3.2.7 Condutividade elétrica	45
3.2.8 Oxigênio Dissolvido	46
3.2.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio	47
3.2.10 Demanda Química de Oxigênio	47
3.2.11 Temperatura da água	48
3.2.12 Turbidez	48
3.2.13 Cromo	49
3.2.14 Ferro	49
3.2.15 Manganês	50
3.2.16 Cobre	50

4. METODOLOGIA	51
4.1 Descrição e localização do objeto de estudo	52
4.1.1 Variação espacial	56
4.1.2 Variação temporal	60
4.2 Parâmetros de qualidade das águas superficiais avaliados	61
4.3 Hidrografia e compartimentação de bacias hidrográficas	64
4.4 Uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição	66
4.5 Usos do solo e sua relação com a qualidade da água	69
5. RESULTADOS	72
5.1 Qualidade da água superficial	72
5.2 Hidrografia e compartimentação em sub-bacias hidrográficas	74
5.3 Apresentação dos resultados obtidos ponto a ponto	76
5.3.1 Igarapé Japiim – Barragem 14 de abril (P1)	76
5.3.2 Barragem Serra da Onça (P5)	85
5.3.3 Barragem Duduca (P9)	94
5.3.4 Rio Jacundá – Área Benjamin (P11)	103
6. DISCUSSÃO	109
7. CONCLUSÃO	126
8. REFERÊNCIAS	128
APÊNDICES	143

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com riquezas naturais em abundância, dentre elas pode-se evidenciar a água (segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2021) o país abriga 12% de toda água doce disponível na Terra), recursos madeireiros (devido a sua riqueza vegetal), diversidade biológica seja de fauna ou flora e, dentre estes recursos, mencionam-se os recursos minerais. Segundo Beurlen e Cassedanne (1981) 85% da economia do setor minerário são movimentados por apenas 10 produtos minerais extraídos de fontes naturais brasileiras, sendo eles: petróleo, ferro, calcário, manganês, carvão, gás, argila, ouro, estanho e pedras preciosas. No segundo trimestre de 2020 a produção mineral no Brasil (com exceção do petróleo e gás) foi responsável pelo faturamento de R\$39,22 bilhões, sendo os estados do Pará e Minas Gerais responsáveis por 80,3% do montante de acordo com o apresentado pelo IBRAM (2020); do total, 59,3% correspondem ao minério de ferro, seguido por 13,7% do ouro e em seguida cobre, alumínio e calcário, respectivamente.

A forte demanda imposta pelo consumismo fez com que o Brasil instituísse legislações que norteassem as ações correlatas às atividades mineradoras. Como base legal, a Constituição Federal de 1988 apresenta em diversos artigos menções às responsabilidades com o meio ambiente. O Art. 174º, por exemplo, apresenta como obrigação do Estado o favorecimento da organização da atividade garimpeira em cooperativas, considerando a proteção ao meio ambiente bem como à sócio economia dessa classe trabalhadora (BRASIL, 1988).

Ainda sobre a Constituição Federal, o Artigo 225º trata especificamente sobre as questões ambientais, evidenciando a Floresta Amazônica (entre outras) como patrimônio nacional e apresentando-a como patrimônio a ser preservado “inclusive quanto ao uso dos recursos naturais”. Sendo assim, há o dever nacional de garantir que ela seja conservada com suas determinadas funções, sociais, ambientais, climáticas, ecológicas, econômicas, entre outras (BRASIL, 1988).

Neste sentido, o estado de Rondônia, ocupado em sua totalidade pelo bioma amazônico, foi alvo de exploração intensa de estanho, sendo que 90% do minério da cassiterita explorado em território nacional ocorreram dentro do seu perímetro. Pelo fato de o estanho ser um metal considerado não abundante, as áreas mineradas, em geral são bastante extensas, exigindo a total retirada de cobertura vegetal em suas áreas (BEURLLEN; CASSEDANNE, 1981). No ano de 2020, considerando-se o

segundo trimestre, o estanho ocupou o 17º lugar no *ranking* sobre o faturamento, correspondendo cerca de 0,3% de toda a economia nacional movimentada no período (IBRAM, 2020). Neste contexto, insere-se a Floresta Nacional do Jamari que recebeu autorização para a exploração racional de recursos não renováveis e para o manejo dos recursos naturais renováveis em 1984, oficializando assim a celebração de contratos e convênios para uso da Flona do Jamari (MMA/IBAMA, 2005). Dentre os usos permitidos apresenta-se a atividade mineradora (BRASIL, 2005), que envolve não apenas a modificação pela retirada da cobertura vegetal, mas alterações no relevo, afugentamento de fauna, modificação na estrutura hídrica local com a inserção de novos componentes (MMA/IBAMA, 2005).

Diante deste cenário de alteração na camada superficial, apresentam-se as alterações nos recursos hídricos. Todas as alterações promovidas no relevo e na cobertura vegetal promovem, por consequência, alterações na qualidade da água superficial. Uma vez que a água é um bem natural, consiste em um recurso necessário para o desenvolvimento de praticamente todas as atividades humanas, constituinte de todos os organismos vivos e um recurso imprescindível para a manutenção da vida na Terra, destaca-se a necessidade de sua conservação e manutenção em condições quantitativas e qualitativas de disponibilidade. Desta forma, quando se verifica uma atividade que pode promover a degradação deste recurso faz-se necessário o monitoramento de sua qualidade (MMA/IBAMA, 2005). Ressalta-se que a ausência de água de qualidade pode ser vista como impedimento ao crescimento econômico (OKUMURA et al., 2020).

Do exposto, quando se tem um acompanhamento (avaliação e monitoramento) da qualidade ambiental de determinado local, podem-se instituir medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação do ambiente, bem como utilizar-se dos mesmos como base para a instituição de políticas ambientais.

Nas unidades de conservação, por exemplo, o monitoramento gera informações para que seja efetivado o manejo das áreas, subsidiando a definição e adoção de políticas e modelos de gestão. Este conteúdo deve transmitir clareza aos técnicos, aos tomadores de decisões, à comunidade científica e para toda sociedade sobre a situação analisada. Pontua-se que para a implantação de atividades de monitoramento ambiental há a necessidade de se fazer uma seleção prévia de indicadores que expressem as condições qualitativas e quantitativas do que será medido e avaliado. Para isso a escolha dos indicadores deve ser feita de maneira

minuciosa de tal sorte que sejam representativos da real qualidade e atendam aos objetivos iniciais.

A prática do monitoramento é importante para acompanhar a qualidade das águas superficiais (PIO; HENRIQUES, 2000) e envolve grande esforço que varia desde a obtenção de recursos financeiros, definição dos parâmetros a se considerar, definição dos pontos de monitoramento, acesso aos locais de amostragem, coleta, armazenamento e transporte de amostras, análises laboratoriais, prévio conhecimento da área, entre outros. Devido ao empenho despendido para a realização destas atividades, é fundamental que os dados obtidos sejam revertidos em informações e que sejam disponibilizados para a sociedade (não apenas a sociedade científica, mas também a local, que muitas vezes não possui acesso às informações obtidas). Neste contexto, se apresenta a base dessa tese, com agrupamento de informações referentes à qualidade da água superficial em acompanhamento há 20 anos, bem como as alterações dos usos do solo verificadas por imagens de satélite no intervalo de tempo analisado.

2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 Hipótese

Esta tese parte da premissa de que a alteração no uso e ocupação do solo promove alterações temporais significativas na qualidade das águas superficiais, ainda que estes recursos estejam inseridos em áreas de conservação ambiental.

2.2 Objetivo Geral

Avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais em sub-bacias hidrográficas compartimentadas em áreas de conservação em função das alterações promovidas pela revegetação de áreas mineradas em recuperação, utilizando como estudo de caso a Floresta Nacional do Jamari.

2.3 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram definidos objetivos específicos de modo que se atingidos integralmente, torna-se possível o entendimento maior. Portanto, estes objetivos são:

- Discutir a qualidade das águas superficiais amostradas de acordo com os parâmetros estabelecidos na legislação vigente para os anos de 1999, 2009 e 2019;
- Levantar os usos do solo nas áreas de drenagem de cada ponto amostrado (fisicamente e em ambiente SIG);
- Discutir sobre a dimensão das áreas de drenagem de modo que possibilitem um bom entendimento da real situação;
- Verificar o desenvolvimento temporal das áreas no que tange aos usos do solo, ou seja, o quanto as áreas se transformaram entre os anos de 1999 e 2019;
- Buscar uma relação entre os usos do solo nas áreas de drenagem e a qualidade da água em pontos específicos e estratégicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando o aumento populacional é analisado junto ao surgimento de novas necessidades para satisfazer os desejos humanos, os impactos ambientais dessas demandas tornam-se mais evidentes. Estes impactos são significativamente mais causadores de desequilíbrios comparados às mudanças decorrentes de fenômenos naturais, sejam eles na biosfera ou na atmosfera (FRANCISCO, 2018). Estes impactos ambientais são reflexos das alterações dos usos do solo, pois em sua maioria acompanham o processo de retirada de vegetação. De acordo com o Imaflora (2014), tomando-se por base as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), os desmatamentos são considerados como emissões indiretas das atividades, e considerando a atividade agropecuária, totalizam mais de 50% dos GEE emitidos.

Assim como o desmatamento para pastagem, a atividade mineradora também exige retirada da cobertura vegetal, ou seja, também tem uma grande parcela de responsabilidade na geração dos GEE. A mineração brasileira, datada do século XVII com os primeiros garimpos, não foi o foco imediato após a descoberta do país, pelo fato de haver desconhecimento acerca da sua disponibilidade mineral. No entanto, com o passar dos anos, a evolução da tecnologia e da expertise a respeito da área habitada, fizeram saber da riqueza mineral brasileira, que se destaca quando comparada a outros territórios (MOURA et al., 2018).

Associado à disponibilidade mineral deste país, verificou-se com o decorrer dos anos, o aumento na demanda mundial pelos mais diversos minérios que hoje fazem parte das estruturas na construção civil e vão até os mais delicados componentes eletrônicos. Essa forte demanda quantitativa e qualitativa faz com que diversas áreas sejam exploradas de acordo com o tipo de minério requerido, fazendo com que os olhos ao redor no mundo estejam voltados para as riquezas brasileiras.

3.1 Florestas tropicais e as Unidades de Conservação: a Floresta Nacional do Jamari/RO

As florestas tropicais constituem um dos ecossistemas mais importantes da Terra devido à sua riqueza e diversidade que reúne entre 20 e 40% das espécies animais e vegetais mundialmente conhecidas. Dentre as florestas tropicais, a Floresta

Amazônica apresenta a maior diversidade, abrangendo recursos biológicos, físicos e sociais; e ocupa uma área de aproximadamente 5 milhões de km². A exemplo dos recursos físicos menciona-se os recursos hídricos e minerais (MYERS, 1991; RODRIGUES, 2019).

Sua flora exuberante conta com cerca 1,5 milhão de espécies catalogadas, das quais predominam as formações ombrófilas densas e abertas, que abrigam indivíduos arbóreos médios e grandes bem como uma riqueza em epífitas. Todas as faixas são habitadas, desde as porções mais próximas ao solo até as o alto da copa das árvores. Nas áreas alagadas (sejam elas total ou parcialmente ocupada por água) é comum se observar formações vegetais menores. Todas as suas características, complexas e heterogêneas, fazem com que a Floresta Amazônica seja considerada a maior reserva de diversidade biológica do mundo, exercendo papel fundamental na manutenção e funcionamento do clima global (MELLO, 2015).

No entanto, o ecossistema amazônico vem sofrendo supressões significativas. A cidade de Santa Luzia D'oeste/RO, mais especificamente a bacia hidrográfica do Rio Bumburro, em 1985 apresentava uma área ocupada por floresta nativa maior que as áreas antropizadas e áreas de espelhos d'água juntas. Dez anos depois, em 1995, a situação foi invertida, sendo a maior área ocupada por antropização. No ano de 2005, a área de floresta nativa correspondia a apenas 17,05% da bacia hidrográfica. A implementação do projeto intitulado "Salve o Rio Bumburro" conseguiu elevar esse valor para 27,75% em dez anos (2015). A partir dessa proposta, constatou-se que há possibilidade de recuperação do ecossistema amazônico com a adoção de técnicas de recuperação de áreas degradadas (VENDRUSCOLO et al., 2017).

Porém, toda riqueza deste ambiente, tanto a mensurável quanto a intangível, vem sendo perdida devido à expansão, principalmente, das atividades madeireira e agrícola, o que acaba por ameaçar sua integridade e funcionalidade (MAUÉS; OLIVEIRA, 2010). A expansão da fronteira agrícola nas regiões ocupadas pela Floresta Amazônica e pelo Cerrado preocupam quando se considera o contexto histórico, uma vez que o Brasil relatou a maior perda de áreas cobertas por florestas no mundo no ano de 2018 (GLOBAL FOREST WATCH, 2020 *apud* MELLO et al., 2020). Segundo o MapBiomias (2019) *apud* Mello et al., (2020), o total de 28,8% de áreas de florestas que o Brasil perdeu para a agropecuária corresponde a uma perda de 42% do território do Cerrado e 62% da área ocupada por Mata Atlântica.

Além destas atividades, o barramento de rios para aproveitamento hidroelétrico também é um fator que impulsiona a perda vegetal, uma vez que a vegetação existente nas áreas alagadas não se adapta à sobrevivência submersa, ou seja, trata-se de indivíduos perdidos. Além destes, menciona-se também os indivíduos que ocupam as novas áreas de alagamento sazonal, que muitas vezes, também não são adaptados ao novo ambiente, fazendo com que haja uma perda ainda maior de indivíduos (RODRIGUES, 2019).

Quando utilizada em larga escala e de maneira descontrolada e indiscriminada verificam-se consequências definitivas que podem ser pontuais (como a fragmentação da floresta em pequenas porções isoladas) (MAUÉS; OLIVEIRA, 2010) ou consequências em âmbito global, uma vez que a Amazônia apresenta um papel fundamental para a regulação climática do planeta (FEARNSIDE, 2006).

Devido à sua importância e riqueza já mencionadas, as ações antrópicas afetam a Amazônia de maneira intensa. Os desmatamentos, queimadas, implantações de usinas hidrelétricas e obras de infraestrutura, agropecuária, mineração, entre outras atividades, promovem impactos que podem comprometer a manutenção do ecossistema.

Grandes proporções da destruição da floresta tropical amazônica foram atingidas nos anos 80 e início dos 90, levando à busca por propostas capazes de promover a redução dessa destruição nos anos posteriores. Neste período, as perdas ganharam proporções de cerca de 50% pela pecuária e agronegócio, 40% pela colonização agrária, e os 10% restantes foram ocupados pela indústria, mineração, construção de reservatórios, crescimento urbano e as madeiras (KOHLHEPP, 2018).

Para todas as atividades mencionadas há alteração da cobertura vegetal, seja para a ocupação por gados, água, construções ou mesmo pela movimentação de maquinário, podendo variar entre a retirada da vegetação nativa até o alagamento das áreas de floresta. Sendo assim, considerando o cenário da retirada da cobertura vegetal, sabe-se que pode ser ou não acompanhado de queimadas, dependendo para qual uso o solo será destinado. Em muitos casos as queimadas estão presentes e intensificam os impactos negativos sobre a área, causando danos de maiores proporções.

O desflorestamento para expansão da agricultura é responsável por grande parte das perdas de vegetação nativa, bem como depreciação da qualidade das

águas. Souza e Gastaldini (2014) indicam que áreas agrícolas são mais susceptíveis à alteração de alguns parâmetros, como a turbidez e sólidos totais dissolvidos e suspensos; assim como maior potencial de erosão é verificado nessas áreas, o que permite verificar que há uma relação entre as situações. Ainda, para que a produção agrícola seja mais rentável faz-se a aplicação de fertilizantes (normalmente à base de nitrogênio e fósforo). A prática de aplicação de fertilizantes permitiu, em determinado momento, dobrar a produção agrícola mundial com um acréscimo de 10% de terra cultivada (TILMAN, 1999).

A expansão dos solos cultivados ocorre adentrando-se em áreas de floresta nativa, o que promove danos muitas vezes irreversíveis ao ambiente. Segundo Wuyts, Champneys e House (2018) e Rodrigues (2019) praticamente todas as áreas onde verificou-se perda de vegetação se encontram nas áreas hoje utilizadas para a agricultura ou em seus arredores, ou alagamento para aproveitamento hidroelétrico, respectivamente e ambos apresentam os efeitos de borda verificados de maneira intensa.

Reis e Moraes (2017) discutem dados (referentes ao ano de 2015) de quando se registrou uma intensificação do fenômeno El Niño. Na ocasião a umidade do ar ficou comprometida nos meses de agosto, setembro e outubro, prolongando o período de seca até o mês de novembro. Esse prolongamento da condição climática favoreceu a situação para a ocorrência de incêndios e, conseqüentemente, promoveu redução da precipitação, o que impactou o ecossistema, assim como também foi constatado nos anos 1997 e 1998 por Cavalcanti et al. (2009). Ainda, a ocorrência de queimadas libera toneladas de dióxido de carbono para a atmosfera, contribuindo com o aquecimento global e, assim, o aumento de focos de incêndios florestais quando somado às intervenções antrópicas (LATORRE et al., 2017).

Nas áreas mineradas, as alterações nas características físicas do solo são bastante intensas. Isso ocorre, pois é necessário promover a retirada de vegetação, solo e rochas que estejam situadas acima das áreas de interesse, que neste caso são os depósitos minerais (RIBEIRO, 2005). Devido a isso verificou-se a necessidade de adotar outras nomenclaturas para melhor defini-los. No Canadá, por exemplo, o nome atribuído é Anthrosols (NAETH et al., 2012 *apud* SOARES, 2016), nos EUA o nome é Udorthents (SENCINDIVER; AMMONS, 2000 *apud* SOARES, 2016) e na base de referência mundial para os recursos de solo o nome é Technosols (IUSS, 2006 *apud* SOARES, 2016).

Em síntese, qualquer atividade de cunho antrópico desenvolvida no interior de uma floresta traz como principal consequência a retirada da vegetação natural, que por sua vez origina inúmeros outros impactos na área, iniciando-se pela perda de biodiversidade nas áreas atingidas e passando pela perda de características do solo, afugentamento de fauna silvestre, surgimento de pontos de erosões, carreamento de partículas para corpos d'água, entre outros. Por tantos impactos promovidos é imprescindível que seja feita a recuperação ambiental da área, contemplando a revegetação e o acompanhamento da qualidade da nova floresta, dos recursos hídricos alterados e do novo ecossistema formado.

Ressalta-se que há espécies mais resistentes à degradação antrópica, como as Palmeiras, que resistem ao fogo das queimadas e ao desmatamento (GONÇALVES; GAMA e OLIVEIRA JÚNIOR, 2018), porém outras espécies sofrem de maneira mais intensa as consequências do desflorestamento. Tanto o desflorestamento manejado, quanto o fogo incidente nas áreas de vegetação natural alteram a dinâmica e a estrutura da floresta, sendo este último promotor de maiores alterações no que tange à perda de espécies, enquanto o primeiro (aplicado com base em técnicas de baixo impacto) contribui para o aumento na composição e diversidade florística da área. O manejo florestal sustentável possibilita a recuperação da floresta até que aconteça a nova colheita, pois sempre são deixadas árvores e o planejamento para redução de danos vai sendo realizado (HIRAI et al., 2012).

Assim como as queimadas, a atividade minerária, iniciada há aproximados 500 anos, no início da ocupação territorial brasileira, iniciou-se com a exploração de ouro, esmeralda e diamantes, a qual, com o passar dos anos, chegou a ser responsável por até 50% da produção mundial (ARAÚJO; FERNANDES, 2017). Essa atividade danifica o ambiente devido à sua intensidade na alteração das condições naturais que vão desde a retirada total da cobertura vegetal até a alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, alterações atmosféricas, disposição inadequada dos rejeitos, perda de solo fértil, entre outros (SANCHEZ; FORMOSO, 1990).

Neste sentido, no ano de 2000, o governo federal instituiu, por meio do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) - Lei n.º 9.985/2000, as Unidades de Conservação (UC), através da qual foram estabelecidos critérios e normas para a criação, implantação e gestão das UC (BRASIL, 2000). O SNUC foi oficialmente criado com o intuito de oficializar os usos permitidos ou não dentro das

UC, bem como garantir os benefícios providos por estas áreas para as presentes e futuras gerações.

O SNUC é gerenciado pelas esferas nacional, estadual e municipal, permitindo que os ecossistemas e a biodiversidade sejam conservados além de gerar renda, empregos, desenvolvimento e propiciem uma melhoria na qualidade de vida da população brasileira (BRASIL, 2000).

A criação das UC no Brasil tem sido considerada como uma importante política governamental, de modo que essas áreas representam um dos instrumentos mais eficazes para a conservação do meio ambiente, pois constituem um meio de se utilizar sustentavelmente essas áreas (COSTA; SOBRINHO e MIRANDA ROCHA, 2018) devido às suas normas e exigências de uso.

O SNUC divide as áreas de conservação em duas categorias: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. A primeira possui normas mais restritivas e não permite o uso direto dos recursos, sendo utilizadas exclusivamente para atividades de pesquisa e visitação. Enquanto as áreas de conservação destinadas à promoção do uso sustentável visam à prática de dois conceitos: promoção da conservação da natureza e uso sustentável de *uma parcela* dos recursos naturais que se encontram dentro de seu perímetro (BRASIL, 2000).

De acordo com a referida lei, as UC de uso sustentável podem ser divididas em sete diferentes áreas, e são elas:

- I - Área de Proteção Ambiental;
- II - Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III - Floresta Nacional;
- IV - Reserva Extrativista;
- V - Reserva de Fauna;
- VI – Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Dentre as unidades de conservação previstas pelo SNUC estão as Florestas Nacionais (III). Estas florestas constituem o foco desta tese. Assim sendo, tem-se por definição que toda Floresta Nacional

... é uma área com características predominantes nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa

científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas (BRASIL, 2000). *v a s ò*

O uso sustentável, definido pela mesma legislação (BRASIL, 2000), trata-se da

exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e econômica

... ou seja, as Florestas Nacionais são passíveis de exploração ambiental desde que dessa exploração provenham benefícios à sociedade, bem como seja apresentada viabilidade econômica.

Ainda neste contexto, as florestas nacionais são públicas e permitem a permanência de populações tradicionais que habitam desde antes do decreto de criação das mesmas de acordo com seu Plano de Manejo. Permite-se a visitação e a pesquisa (desde que com prévia autorização da administração da unidade, bem como atendimento às condições e restrições previamente estabelecidas). A UC deve contar com um conselho consultivo, que deve ser presidido pelo órgão responsável por sua administração e em sua composição devem conter: representantes de órgãos públicos, organizações da sociedade civil e a população tradicional residente (se for o caso). As variações desta categoria de unidade de conservação podem ocorrer de acordo com o órgão governamental que o instituiu, ou seja, pode haver Floresta Estadual e Floresta Municipal, que devem atender às mesmas obrigações e normas (BRASIL, 2000).

As unidades de conservação devem atender às especificações para garantir seu uso sustentável, porém sua área pode contar com usos distintos simultaneamente de acordo com a prévia aprovação do conselho. Os distintos usos, mesmo que aconteçam de maneira ordenada e com certo distanciamento entre si, podem refletir diversos danos que, quando somados, intensificam o processo de degradação do ambiente.

O uso da terra e suas transformações temporais estão entre os fatores mais críticos que influenciam no balanço hídrico, por exemplo, afetando diretamente o escoamento superficial, infiltração, recarga subterrânea e evaporação, ou seja, as alterações promovidas superficialmente pelas atividades antrópicas acarretam impactos no ciclo hidrológico bem como na qualidade das águas, sejam elas superficiais ou subterrâneas (ÖZTÜRK; COPTY; SAYSEL, 2013). Quando se verifica a retirada completa da camada superficial natural a recomposição da estrutura

florestal é fundamental para a recuperação da área, uma vez que as atividades provocam intensa degradação ambiental com forte efeito perturbador devido à remoção da vegetação, solo e rochas (RIBEIRO, 2005).

Cerca de 1% dos solos degradados em todo o planeta são provenientes da atividade mineradora (RIBEIRO, 2005). Apesar de parecer uma área pequena, sabe-se que é uma atividade que promove degradação intensa do ambiente minerado. Em contrapartida, a atividade minerária é responsável por inúmeros benefícios sociais e econômicos. Tais constatações indicam que há um desequilíbrio no que tange ao tripé da sustentabilidade na atividade minerária. Isso ocorre pois para se obter os benefícios socioeconômicos almejados (como movimentação da economia, geração de empregos, melhorias na cidade, entre outros) há uma atividade degradadora do meio ambiente ocorrendo intensamente para a obtenção do considerável volume mineral extraído.

O ICMM (2012) apresentou que há um questionamento por parte dos países de baixa e média renda a respeito de duas vertentes mais amplas: “por que alguns países alavancaram seus recursos naturais em prol de melhorias na qualidade de vida da população?” e “quais políticas e práticas específicas a indústria minerária, governo, comunidade local e agências de desenvolvimento devem adotar para ampliar a economia e o desenvolvimento social?”. Ou seja, os questionamentos circundam os conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável. De maneira mais modesta, pode-se reformular as perguntas com a proposta: como os países atingem o tripé da sustentabilidade, mantendo equilibrados seus recursos naturais, crescendo sua economia e garantindo qualidade de vida à sua população?

Segundo Moura et al. (2018), considerando uma situação específica de operação de uma mineradora no estado do Pará, a maioria da população afirmou verificar impactos positivos, como infraestrutura da cidade, educação, abertura de escolas, criação de novos postos de saúde (porém, com relatos de que não há bom atendimento), oferta de empregos, enfim, uma série de fatores que agregam, significativamente, benefícios para a população local. Entretanto, questões como criminalidade e crescimento populacional desordenado foram apontados como impactos negativos. Já os danos ambientais são verificados de forma mais intensa em áreas rurais, pois são mais próximas das áreas de lavra.

Meira-Júnior et al. (2015) apontam que a partir de características ecológicas de espécies já conhecidas pode-se definir grupos funcionais para a recuperação de áreas

degradadas por mineração. Quando as alterações na disponibilidade de nutrientes são ocasionadas por modificações naturais, com baixa perda de matéria orgânica, a resiliência natural do sistema consegue reverter a situação, o que não acontece quando o ambiente é alterado devido às atividades de mineração (SOARES, 2016).

3.1.1 A Floresta Nacional do Jamari e ações associadas à atividade mineradora e à recuperação ambiental

A atividade mineradora no Brasil teve início após o fim do segundo ciclo da borracha, quando já não se era mais possível obter recursos para sobrevivência, já que o valor agregado aos produtos derivados da borracha havia reduzido, significativamente, entre as décadas de 50 e 80. Os seringais passaram a ser substituídos pelas clareiras abertas por estes novos personagens, denominados de *elite local*. A elite local era proprietária dos seringais e se utilizou dos meios (econômicos) para obter recursos (ferramental e pagamento de mão de obra específica) que possibilitassem a verificação de possíveis jazidas em suas terras (SANTOS, 2014).

Lima (2019) mencionou que, em relação ao minério de cassiterita, do qual se obtém o estanho - objeto desta tese, as referências mais antigas que citam o metal são encontradas ainda no *Velho Testamento*, dizendo:

“²¹E disse Eleazar, o sacerdote, aos homens da guerra, que partiram à peleja: Este é o estatuto da lei que o Senhor ordenou a Moisés.

*²²Contudo o ouro e a prata, o ferro, o **estanho** e o chumbo;*

²³Toda cousa que pode suportar o fogo fareis passar pelo fogo, para que fique limpa: todavia se expiará com a água da separação: mas tudo que não pode suportar o fogo, o fareis passar pela água.

²⁴Também lavareis os vossos vestidos ao sétimo dia, para que fiquem limpos: e depois en-24) a r e i s

... o que já indicava conhecimento sobre as propriedades do metal. No entanto, no Brasil, as primeiras jazidas de cassiterita foram descobertas nos anos de 1940 em Minas Gerais e em Goiás. A descoberta das minas de Rondônia tardaram um pouco, coincidindo com o período final da Segunda Guerra Mundial quando as “potências vencedoras” estavam em busca de reorganização. Em 1952, no Rio Machadinho,

município de Ariquemes/RO, foi evidenciada pela primeira vez a existência de cassiterita.

Configurando-se no mercado internacional desde 1950 o Brasil atingiu seu pico em 1990, sendo responsável por cerca de 17,85% da produção internacional. Em 1975 a Portaria 195 previa o fim da mineração manual rudimentar, obrigando assim a Mineração Jacundá, que ainda operava em condições próximas às condições de garimpo, a modernizar suas técnicas de operação e fazer investimentos em tecnologias de modo a cumprir com o estabelecido na portaria e garantir a continuidade de sua exploração. Em 1974, com a transferência de 60% do controle de determinada empresa brasileira para uma multinacional foi iniciada a alteração parcial no modelo de mineração até então seguido. O que antes era feito manualmente com solo aluvionar proveniente de processos erosivos, passou a ser realizado também com material rochoso com o auxílio de sondas rotativas mecanizadas (SANTOS, 2014).

Conhecido popularmente como minério de cassiterita, o óxido de estanho é a principal fonte do metal presente na natureza. A concentração de estanho na cassiterita pode corresponder até 75% em proporção de peso, segundo Santos (2018) e entre 60 e 78,9% de acordo com Garcêz (2015). O estanho pode ser obtido ainda da estanita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) e da cilindrita ($\text{FePb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$), porém em menores concentrações devido à complexidade de suas formações moleculares. A variação da concentração de estanho nos minérios é relacionada, principalmente, à localidade ou região, bem como ao tempo da extração no local estudado (SANTOS, 2018).

No que tange as questões ambientais, Garcêz (2015) verificou que houve o acréscimo nas concentrações de estanho no ambiente quando analisou as matrizes de solo, sedimento e água superficial do charco nos ambientes de disposição da cassiterita e dos resíduos oriundos de seu processamento; pode ainda ser encontrado adsorvido em superfícies de material particulado sólido em suspensão, como material coloidal e matéria orgânica. O autor também concluiu que os principais mecanismos de transporte do estanho para o ambiente são o escoamento superficial e dispersão através do ar.

Duas aplicações majoritárias correspondem a 59% do consumo aparente de estanho, sendo as ligas de estanho e as folhas de flandres, porém o metal pode ser utilizado na produção de tintas, plásticos e até fungicidas, apresentando, portanto, ampla aplicação. A autora aponta ainda que os impactos não são apenas associados

à retirada da cobertura vegetal, há que se pensar na movimentação de maquinário compactando o solo e abrindo caminhos, bem como na qualidade do rejeito (pois quanto mais minerais presentes no mesmo, mais perdas são verificadas) (BEVILAQUA, 2011).

Fengler (2018) menciona ainda que houve uma intensificação das atividades de exploração após a construção da rodovia que liga Cuiabá (MT) a Porto Velho (RO), Rodovia BR-364, que ocorreu nos anos 60 por aprovação do então Presidente do Brasil, Juscelino Kubitschek, promovendo grandes ocupações em áreas no entorno da Floresta Nacional do Jamari. Desde então houve a intensificação da exploração cassiterita que já era feita, mas que naquele momento passou a ser ainda mais viável pela facilidade de acesso. Esta facilidade de acesso e excelente rentabilidade fizeram com que cada vez mais áreas fossem ocupadas, principalmente às margens da rodovia, o que acabou por impulsionar a criação do decreto de criação da FLONA em 1984. Tal medida foi tomada de modo a reduzir as taxas de desmatamento, principalmente para o surgimento de novas minas e expansão agrícola.

Assim, em 25 de setembro de 1984, o então Presidente João Figueiredo (último presidente do período militar brasileiro) assinou o Decreto n.º 90.224 que criou a Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari). No documento há a oficialização da autorização da celebração de contratos e convênios (públicos ou privados) com o objetivo de implantar o manejo dos recursos naturais renováveis e explorar racionalmente os recursos não-renováveis localizados na área de abrangência desta Flona, permitindo assim a geração de bens e serviços passíveis de serem oferecidos por esta unidade de conservação (BRASIL, 1984).

A Floresta Nacional do Jamari sendo, portanto, definida como uma Unidade de Conservação (UC), abriga algumas das atividades permitidas, como mineração, exploração madeireira, turismo e atividade de pesquisa; e devido à imensurável riqueza já destacada dos seus recursos naturais, evidencia-se a necessidade de se proteger e promover o uso racional deles, de modo que não sejam verificados impactos negativos de elevada magnitude.

As alterações promovidas por estas atividades no solo faz com o que ele sofra os efeitos do uso intensivo, por isso se faz necessário o acompanhamento de suas alterações de modo a garantir que não haja impactos negativos de elevada magnitude. Diante disso, o Sistema Nacional das Unidades de Conservação foi criado com o intuito de minimizar a essa geração de impactos, bem como garantir que quando eles

aconteçam, sejam tomadas medidas para a recuperação ambiental do local afetado, o que acaba por se consolidar como uma medida de conservação ambiental e mitigadora dos impactos gerados pelas atividades permitidas.

Dentro deste contexto, a Floresta Nacional do Jamari, definida como uma unidade de conservação passível de usos, teve seu solo explorado pela atividade minerária, pela extração madeireira e pelas demais atividades permitidas pela legislação, sendo assim, ao fim das atividades de exploração se fez necessária a recuperação das áreas utilizadas. Segundo Yada et al. (2015), quando se trata da atividade minerária, a alteração promovida nos ambientes é bastante intensa, apresentando impactos no solo e na paisagem, o que torna imprescindível a recuperação das áreas degradadas.

Para a mitigação dos danos causados pela atividade minerária fez-se necessária a recomposição da estrutura vegetal de superfície de modo a se aproximar o máximo possível das condições naturais, uma vez que, conforme apresentado por Ribeiro (2005), a remoção da cobertura vegetal promove um efeito perturbador que deve ser mitigado.

No entanto, os depósitos minerais são alocados em sua maioria no subsolo, o que exige a alteração da camada superficial para acessá-los. Essas alterações superficiais podem envolver vegetação, solo e recursos hídricos, impactando diretamente os sistemas naturais. Além destas alterações, a geração de resíduos também se apresenta como inconveniente, uma vez que muitas vezes são dispostos sem os devidos cuidados (FENGLER, 2018). Estas situações, quando ocorrem em locais que já demandam atenção, como é o caso da Floresta Amazônica, são ainda mais preocupantes, pois tornam mais difíceis as reversões aos quadros originais (de pré-degradação).

A legislação brasileira, especificamente a Constituição Federal de 1988 trouxe em sua redação a exigência de que as áreas utilizadas para mineração fossem recuperadas (RIBEIRO, 2005). Desde então, o processo de recuperação ambiental vinha sendo tentado, no entanto, as tentativas estavam sendo malsucedidas pois não se tinha um olhar cauteloso e específico para as camadas de solo e não se havia realizado o processo de reconstrução topográfica. As tentativas sempre avançaram e em 1999 foi assinado o TCAC (Termo de Compromisso e Ajustamento de Conduta) e tinha como com o objetivo de tratar os impactos ambientais advindos das atividades minerárias (IBAMA, 2019). O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)

em vigor foi celebrado junto ao IBAMA em 2008 e vem sendo coordenado pela Prof.^a Dr.^a Regina Marcia Longo. Os itens principais do PRAD são:

- Recuperar a estrutura e a fertilidade do solo;
- Estabelecer cobertura vegetal inicial que ajude na melhoria e conservação do solo, para que este tenha condições para desenvolver vegetação nativa de processo de regeneração natural;
- Monitorar a vegetação e a volta da fauna na área recuperada.

A identificação dos danos ambientais da atividade minerária no solo e sua recuperação funcional foi definida como o desafio inicial o que permitiu definir uma série sequencial de atividades que deveriam ser desenvolvidas para que fosse possível atingir os objetivos. Então, conforme apresentado por Yada et al. (2015), em 1997 foram definidas parcelas para iniciar o plano, que era iniciar com a modelagem do terreno, construção de terraços, promover a calagem do solo, logo após inserir adubação mineral e orgânica, plantar leguminosas e, só então, plantar espécies nativas. Essa definição permitiu a correção dos danos causados pela mineração e sucesso do plano de recuperação.

Após a modelagem do terreno e a construção de terraços (que foi feita com intensa movimentação de maquinário) efetuou-se a adubação. As adubações mineral e orgânica foram parte integrante da recuperação do chamado Horizonte A, onde se fixam a maior parte das raízes e vive a maior diversidade de organismos que formam o ecossistema inicial. Esta primeira etapa se fez fundamental para permitir que o solo começasse a apresentar um ecossistema estável e resiliente; partindo da premissa de que o tratamento preliminar do solo e sua reativação biológica seriam fundamentais no processo de recuperação ambiental (IBAMA, 2019). Na Figura 1 é possível observar as etapas de recomposição topográfica, preparo do solo e adubação orgânica realizadas previamente ao plantio.

Figura 1. Recomposição topográfica, preparo do solo e adubação orgânica para as covas.



Fonte: Ribeiro (2005).

As ações corretivas permitiram que houvesse o desenvolvimento de leguminosas nas áreas. O plantio desse grupo vegetativo foi fundamental para o auxílio à recuperação do solo, uma vez que suas raízes formam um ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias fixadoras de nitrogênio. Este grupo de bactérias atua em conjunto com a estrutura vegetal; estruturas vegetais absorvem o nitrogênio atmosférico, o convertem e disponibilizam ao solo. Esse processo se faz fundamental pois a vegetação nativa a ser plantada logo após esta etapa demanda de uma disponibilidade de nutrientes (em especial o nitrogênio) maior do que o solo tinha para o oferecer antes. De acordo com Yada et al. (2015) as espécies de leguminosas utilizadas foram *Crotalaria juncea* (crotalária), *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Cajanus cajan* (feijão-guandu) e *Mucuna aterrima* (mucuna-preta).

Assim, com uma boa recuperação do solo devido às ações implementadas e ao plantio das leguminosas o solo já se encontrava em condições de receber as mudas da vegetação nativa e iniciar o processo de reflorestamento propriamente dito. O plantio foi realizado e as ações de acompanhamento, monitoramento e os ajustes necessários foram realizados conforme a demanda de cada área trabalhada.

Na Figura 2 apresentam-se três situações observadas em uma das, cerca de 155, áreas em recuperação, ficando claro que as medidas tomadas influenciaram significativamente a qualidade do solo local, tornando-o bem próximo da situação original verificada no interior da floresta.

Figura 2. Monitoramento da evolução do solo.



Fonte: Acervo pessoal de R. M. LONGO. Adaptado de IBAMA (2019).

É válido ressaltar que mesmo que o plantio de espécies nativas se consolide como uma das ocorrências mais bem-sucedidas e com garantia de diversidade na etapa inicial do plano de recuperação, conforme apresenta Martins (2020), há uma complexidade acentuada no que tange ao restabelecimento da dinâmica de um ecossistema e não há um procedimento único a ser seguido; cada área se apresenta

de uma maneira, com características de solo, clima, vegetação, disponibilidade hídrica diferenciadas, ou seja, busca-se por uma abordagem legal que baseie o processo de revegetação (MELLO, 2015).

De 2016 em diante, houve a finalização das ações de recuperação e seguiu-se apenas com a etapa de monitoramento por 3 anos consecutivos, conforme solicitado pelo IBAMA e verificou-se que mesmo sem a adição de fertilizantes ou corretivos no solo o mesmo manteve uma tendência a assemelhar-se aos solos originais (aqueles que jamais sofreram com as ações dos processos minerários). Ainda segundo o IBAMA (2019), um dos indicadores da qualidade do solo monitorados foi o teor de matéria orgânica, sendo encontrados com cerca de 19 g/dm³, quando os originalmente encontrados variam entre 22 e 25 g/dm³ em áreas de capoeira e mata, respectivamente.

No total, o projeto efetuou o plantio de aproximadamente 2,5 milhões de mudas de cerca de 120 espécies nativas pioneiras, secundárias e clímax, além da introdução do banco de sementes levantado de acordo com a disponibilidade de espécies dentro desta mesma FLONA. O IBAMA apontou ainda que estas áreas mais evoluídas necessitariam de ações efetivas apenas no que tange à manutenção e monitoramento (IBAMA, 2019), não sendo possível até o momento “entregar” as áreas ao órgão ambiental responsável e chamá-las de “recuperadas”.

Há ainda os dados relacionados ao monitoramento da vegetação propriamente dito e os mesmos apresentam uma ótima tendência evolutiva, indicando aumento da densidade de indivíduos, área basal, altura e riqueza de espécies, encontrando-se sempre mais parecidas com as áreas de floresta nativa. Destaca-se que entre os anos de 2009 e 2018 foi verificado um aumento de 281 espécies nas áreas em recuperação, sendo 256 delas apenas pelo processo de recuperação natural e as demais foram por plantio de enriquecimento. No que tange ao último estágio do processo de recuperação (indicadores terciários de monitoramento), a fauna, verificou-se o retorno indivíduos pertencentes a diferentes grupos, como “avifauna, herpetofauna, mastofauna, ictiofauna e pequenos, médios e grandes mamíferos”; destes, os animais com maior mobilidade (que andam por maiores áreas) são mais sensíveis à quantidade de floresta no âmbito paisagístico do que às condições de restauração de uma determinada área, ou seja, são melhores indicadores das reais condições das áreas em recuperação e restauração, enquanto os indivíduos menores e com menor

mobilidade são melhores indicadores dos restabelecimento dos processos ecológicos que fornecem sustento ao sistema (IBAMA, 2019).

Ainda segundo o mesmo documento, o monitoramento de fauna apresentou resultados bastante satisfatórios como 229 espécies de ave, 115 de répteis e anfíbios, 237 de peixes e 29 de médios e grandes mamíferos, incluindo onça-pintada e parda, tamanduá-bandeira, puma jaguatirica e, inclusive espécies raras e que estão em extinção, como o cachorro-do-mato-de-orelha-em-pé.

Esta riqueza é fundamental no auxílio à retomada do ambiente o mais próximo do natural quanto possível pois atua diretamente na ciclagem de nutrientes e dispersão de sementes.

Ressalta-se, portanto, que o processo de recuperação dessas áreas no interior da FLONA vem atendendo ao sucesso desejado (YADA, *et. al*, 2015; FENGLER, *et. al*, 2017). Dentro da área da FLONA não existem queimadas legalizadas e não houve registro de queimadas clandestinas, assim como não existem enchentes urbanas que possam influenciar as áreas estudadas. No entanto, as áreas do entorno vêm sofrendo pressões antrópicas crescentes e podem comprometer os ecossistemas internos.

Segundo Cortopassi Booth (2017), estudando oito das áreas mineradas avaliou-se o desenvolvimento da vegetação em seis anos, quando as variáveis de solo exposto e campo sujo deixaram de ocupar 42,2% das áreas e passaram a ocupar 26,6% em 2015.

Queiroz et al. (2010) concluem que quando são verificadas condições ideais de manejo de solo (destacando a preservação das APP como fator fundamental) há um reflexo positivo no que tange à qualidade das águas, permitindo que as mesmas sejam definidas como “boas”. Assim, faz-se necessário um maior entendimento sobre como os usos do solo podem alterar a qualidade das águas superficiais.

3.2 O reflexo das alterações dos usos do solo na qualidade hídrica

Apresentados como um papel fundamental para o crescimento da economia de uma nação, os corpos hídricos de qualidade são peças-chave que merecem a devida atenção (OKUMURA et al., 2020). Constando em no mínimo 6 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) do Pacto Global da Organização das Nações Unidas (ONU), a água é um fator determinante na manutenção do equilíbrio global e,

portanto, busca-se mantê-la em quantidade e qualidade para garantir sucesso nas ações. Os ODS que contemplam inquietações relacionadas à água são: Objetivo 6. Água potável e saneamento; 7. Energia acessível e limpa; 11. Cidades e comunidades sustentáveis; 12. Consumo e produção responsáveis; 13. Ação contra a mudança global do clima; e 14. Vida na água (SACHS et al., 2020).

Desde 1992, na primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, popularmente conhecida como Rio 92, já estava em pauta a definição de objetivos a serem atingidos globalmente de modo a tornar o planeta mais sustentável. Os ODS foram definidos em 2015 e fazem parte da Agenda 2030. De acordo com o Sustainable Development Report de 2020 o único ODS atingido pelo Brasil foi o 7, que discorre sobre energia limpa acessível à população. Todos os demais objetivos se encontram estagnados, com melhorias moderadamente encaminhadas ou com informações insuficientes (SACHS et al., 2020).

Os processos hidrológicos, que segundo Öztürk, Coptý e Saysel (2013) já se apresentam como sistemas espaço-temporais de elevada complexidade, tornam-se ainda mais complexos quando o homem promove alterações, seja no seu entorno ou diretamente em sua rede (como a alteração no curso dos igarapés, criação de barragens e novos lagos formados). Todo esse estresse hídrico faz com que seja necessário o monitoramento para acompanhar a qualidade do novo ecossistema aquático formado. Assim, para que se garanta a proteção e a boa qualidade da água é essencial que haja um eficiente gerenciamento das bacias hidrográficas e planejamento das alterações de usos no solo (MELLO et al., 2020).

Os recursos hídricos são fundamentais para praticamente todas as atividades, sejam elas naturais ou de cunho antrópico. A água, com sua justificada relevância, consiste em um recurso distribuído desigualmente e que necessita de atenção especial para que se possa garantir uma boa gestão. Dois aspectos principais são considerados: (i) o quantitativo, que se relaciona ao volume de água disponível; e (ii) o qualitativo, que se relaciona à qualidade dessa água (ROCHA et al., 2013).

No que tange à quantidade, refere-se à sua distribuição geográfica, uma vez que são verificadas grandes concentrações em determinadas regiões do planeta, enquanto outras sofrem com sua intensa escassez. Como exemplo, pode-se citar a Amazônia e o nordeste brasileiro, duas regiões em um mesmo país, ambas localizadas à mesma distância da faixa equatorial e que apresentam características completamente distintas quando se observa a disponibilidade hídrica. Neste sentido,

apresenta-se como uma necessidade imediata e um grande desafio ao país, garantir que as necessidades humanas imediatas sejam gerenciadas de modo a manter a capacidade de abastecimento de água a longo prazo (MELLO et al., 2020).

Porém, além da irregularidade da distribuição espacial da água, há também a irregularidade temporal, ou seja, trata-se de um recurso com disponibilidade variável ao longo do tempo (REBOUÇAS, 2004) sendo influenciado por fatores de considerável magnitude, como por exemplo, a tendência de aquecimento do oceano Pacífico e Atlântico, conforme apresentado por Nóbrega e Santiago (2014) sobre o nordeste brasileiro. A relação encontrada pelos autores confirma que a precipitação ocorre apenas entre dois e quatro meses no ano na região, permanecendo os demais sem precipitação, o que torna mais discrepante a má distribuição.

Diversos fatores podem influenciar a disponibilidade hídrica de um determinado local, como seu uso do solo (presença ou não de vegetação), formação geológica, entre outros. Dentre os fatores determinantes, a conservação vegetal no entorno da área de cabeceira da bacia hidrográfica torna-se fundamental para a prevenção de desastres como, por exemplo, enchentes em áreas urbanas. Recomenda-se ainda que, nas proximidades das nascentes, sejam planejados usos do solo voltados aos sistemas conservacionistas, agroflorestais, práticas ecológicas e sustentáveis (COUTINHO et al., 2018).

Além da importância da vegetação na prevenção de desastres, Santos (2014) ressalta a importância na “produção de água”, que abastece e mantém os cursos hídricos. A vegetação de entorno é de suma importância pois proporciona uma boa infiltração de água no solo, uma vez que impede o impacto direto das gotículas de água no solo (evitando assim estágios iniciais de processos erosivos) e mantém o solo húmido por mais tempo (o que faz com que a água percole lentamente) liberando a água para a manutenção dos corpos hídricos.

Segundo Vendruscolo et al. (2017), em estudo realizado na cidade de Santa Luzia D'Oeste, Rondônia, a área ocupada pelas águas pode variar anualmente de acordo com a precipitação verificada e do nível do desmatamento da bacia hidrográfica em questão. Por este motivo, a Comissão pró Índio de São Paulo, discute a tendência clara de preferência de ocupação das áreas de cabeceira fundamentada pela fuga das cheias das áreas baixas (FUNES, 1999).

Com relação ao aspecto qualitativo, sabe-se que a deterioração dos recursos hídricos é um problema que vem se agravando com o passar dos anos. O crescimento

populacional que impulsiona o aumento das cidades e da demanda por alimento e recursos quando associado a uma má gestão dos recursos naturais pode promover impactos irreversíveis (GOMES, 2016).

A região amazônica apresenta uma questão problemática no que diz respeito aos recursos hídricos. Sua disponibilidade quantitativa submerge a questão qualitativa de maneira bastante indiscreta. O crescimento populacional verificado na região amazônica associa-se ao fato de que a região tem crescido de maneira rápida e sem um adequado planejamento urbano (STAEVIE, 2015). A deficiência das redes de saneamento básico prejudica a qualidade dos recursos hídricos, que acabam por receber boa parte do volume de esgoto gerado. Por outro lado, enquanto boa parte do mundo vem sofrendo com escassez quantitativa de água devido à má distribuição geográfica, a região amazônica passa a sofrer com escassez qualitativa (ABISABER, 2015).

Na Amazônia, as bacias hidrográficas menores sofrem de maneira mais acentuada com as consequências das alterações nos usos do solo (SILVA et al., 2018). As complexas redes de corpos d'água compostas, em sua maioria, por riachos e igarapés são interligados por escoamento superficial e subsuperficial e devem ser estudadas para que possibilite o entendimento do fluxo do escoamento paralelo às transformações biogeoquímicas e transporte de materiais. Essa visão deve permitir uma interface terrestre-aquática (ESPÍRITO-SANTO et al., 2009) fundamental para o entendimento da complexa relação entre as partes.

Há que se observar ainda que o volume de água varia de maneira diferente em rios e igarapés, sendo que estes últimos sofrem mais mesmo na ocorrência de eventos mais curtos de precipitação (SILVA et al., 2018). Estes pequenos cursos d'água formadores da malha hidrográfica, apesar de sua importância para a manutenção da qualidade das águas, não recebem a devida atenção, dificultando as discussões científicas.

De acordo com Silva et al. (2018), diversas são as atividades que podem comprometer os cursos d'água, por menores que sejam, destacando-se a abertura de estradas e a ocupação humana advinda do aumento das atividades agropecuárias, grandes áreas destinadas às atividades minerárias e inclusive a instalação das usinas hidrelétricas. Os autores constataram ainda que o pH da água dos igarapés estudados na Amazônia apresenta caráter ácido, temperaturas variáveis entre 25,2 e 28,0 °C de acordo com a ocupação do entorno e condutividade variando entre 8 e 28,6 $\mu\text{S/cm}$.

Já com relação ao oxigênio dissolvido, as concentrações observadas variaram entre 4,2 e 8,2 mg/L. Ressalta-se que em concentrações abaixo de 4,0 mg/L a maioria das espécies de peixe não sobrevive.

Entretanto, os corpos hídricos contam com um fenômeno natural denominado *autodepuração* e, de acordo com Rebouças (2004), um corpo hídrico é capaz de se autodepurar depois de percorrer um determinado período ou distância em seu leito. No entanto quando ele apresenta uma carga poluidora elevada (promovida pelo lançamento de efluentes sem prévio tratamento adequado ou mesmo pelo escoamento superficial em corpos d'água desprovidos de vegetação ciliar) essa capacidade torna-se comprometida, impossibilitando a recuperação da água e comprometendo todo o ecossistema envolvido. A situação na região amazônica, segundo Tavares et al. (2019), ocorre de tal modo que o volume de água no leito dos rios é tão elevado que auxilia no não aparecimento de odores, no não aparecimento de doenças de veiculação hídrica, o que garante a qualidade de vida das populações e evitando assim, tragédias maiores.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2009), o Brasil concentra 12% de toda água doce mundial e grande parte do montante é proveniente da Bacia Amazônica. Trata-se de um grande volume de água em uma região atrativa aos olhos empreendedores, o que faz este montante mais vulnerável, tornando imprescindível o acompanhamento de sua disponibilidade quantitativa e qualitativa. Segundo Mafra et al. (2019) áreas antropizadas, principalmente aquelas susceptíveis à exploração mineral, também são susceptíveis à contaminação por metais pesados.

Apesar de que a área total brasileira coberta por atividade minerária seja pequena, os impactos ambientais locais associados ao processo de mineração são intensos; e normalmente são utilizadas as áreas de cabeceira para o início do processo, comprometendo assim a qualidade da água, a segurança hídrica e a saúde humana (MELLO et al., 2020).

Os acidentes ocorridos nos últimos anos no Brasil aumentam a preocupação com a contaminação dos recursos hídricos. O rompimento da barragem de Bento Rodrigues, subdistrito de Mariana (MG), em 2015, poluiu mais de 650 km de um dos rios mais importantes do país, o Rio Doce (HATJE et al., 2017), tornando-se a maior catástrofe ambiental da história do país, afetando de maneira direta os recursos hídricos, a pesca e toda atividade agrícola nas áreas afetadas (ZAGO, DAS DORES e WATS, 2019).

Pouco mais de três anos após o rompimento da barragem de Bento Rodrigues, aconteceu um novo rompimento, desta vez no município de Brumadinho, também no estado de Minas Gerais. Desta vez, a catástrofe atingiu o Rio São Francisco, também deixando inúmeras pessoas desaparecidas e promovendo alteração na vida das comunidades que se utilizavam dos recursos então contaminados (CAMPOS-SILVA e PERES, 2019).

Devido aos acidentes mencionados, o acréscimo de metais pesados nas áreas de várzea do Rio Doce e do Rio São Francisco, bem como em suas águas, tornaram estas áreas e estas águas inseguras para a utilização em atividades de cultivo (MELLO et al., 2020).

Para controle e monitoramento da qualidade das águas, a União Europeia utiliza a Diretiva Quadro da Água (DQA), a qual apresenta um indicador baseado em critérios biológicos da condição do sistema aquático. Estes critérios possibilitam a detecção de impactos que poderiam ser deixados de lado ou ser subavaliados. Esta identificação de impactos é fundamental para a adoção de medidas protetivas (PIO; HENRIQUES, 2000). A DQA pressupõe ainda, que sejam buscadas sempre as melhores condições de qualidade das águas, com o objetivo de sempre melhorar a qualidade ecológica e o equilíbrio ecossistêmico. No Brasil são utilizadas as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define valores limítrofes para a manutenção da boa qualidade da água com base em apontamentos e decisões de uma equipe técnica componente do conselho.

Os níveis elevados de poluição das águas reforçam a importância da análise de componentes para avaliação da qualidade ecológica. Assim, os objetivos consistem em “prevenir a deterioração do estado das águas e atingir o “bom estado” para todos os meios hídricos de superfície”. Quando se trata de recursos hídricos artificiais, o “bom estado” é entendido como o “bom potencial ecológico”. A definição geral das classificações varia de excelente a mau. A primeira apresenta valores correspondentes às áreas não perturbadas, enquanto a última difere muito consideravelmente das condições das áreas não perturbadas (PIO; HENRIQUES, 2000).

Na busca pela mitigação dos impactos ambientais, Pires et al. (2017) afirmam que a restauração florestal é uma estratégia sugerida para mitigar os impactos que atingiram as áreas ocupadas pelos rompimentos acima mencionados. No entanto, tais

autores ressaltam que é provável que os indivíduos arbóreos tenham sua sobrevivência limitada, assim como o crescimento das árvores sobreviventes.

Considerando os recursos físicos, o volume de água proveniente da região amazônica evidencia seu potencial de geração de energia hidroelétrica. Segundo Junk e Mello (1990), no ano de 1980 havia apenas duas usinas hidroelétricas em funcionamento na região, sendo elas Curuá-Una e Paredão, sendo que ambas utilizavam uma área inferior a 100 km². Dada sua “pequena” extensão, seus impactos econômicos e ambientais eram considerados baixos. Porém, a construção da usina de Tucuruí no baixo Tocantins utilizando-se de uma área de 2.430 km² mudou este cenário e trouxe consigo danos ambientais de elevada magnitude. Ainda segundo os autores, a implantação de usinas hidroelétricas promove impactos que se iniciam pela realocação da população e vão até a perda de solo, espécies animais e vegetais, recursos madeireiros, modificações da geometria hidráulica dos rios, alterações hidrológicas, entre outros.

Do exposto, se faz necessário entender alguns parâmetros de qualidade das águas e como podem ser alterados de acordo com as questões verificadas no entorno dos recursos hídricos. Este entendimento permite a interpretação dos resultados quando se tem acesso às duas informações, ou seja, possibilita-se o acompanhamento das alterações da qualidade das águas de acordo com as alterações dos usos do solo no entorno.

3.2.1 pH

A medida do pH é o teste mais frequente na química. Praticamente todas as fases de tratamento de água, abrandamento, reações ácido-base, precipitação, coagulação, desinfecção, corrosão, são dependentes do pH, além de ser utilizado na determinação da alcalinidade e presença de dióxido de carbono. A uma dada temperatura a intensidade do caráter ácido ou básico de uma solução pode ser indicado pelo pH ou atividade hidrogeniônica. Esta propriedade está diretamente ligada à temperatura uma vez que o pH por definição pode ser entendido como a atividade do íon hidrogênio em soluções extremamente diluídas (força iônica menor que 0,1). Corpos de água naturais podem apresentar pH entre 4,0 e 9,0 e a maioria apresenta um ligeiro caráter básico devido a presença de carbonatos e bicarbonatos de metais alcalinos e alcalinos terrosos (APHA, 2017).

Dacach (1979) já apresentava que águas ácidas (com pH inferior a 7,0) são aquelas que possuem acentuada concentração de gás carbônico ou ácidos minerais e quando concentração é encontrada elevada favorece a oxidação de metais. No entanto, águas alcalinas são aquelas que possuem maior concentração de bicarbonatos de cálcio e magnésio ou carbonato ou hidróxidos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, apresentando pH superior a 7,0.

Queiroz et al. (2010) exibiram o fato de o pH ser mais baixo (com maior acidez) em corpos d'água com elevadas vazões (períodos de cheia). Os autores discutiram ainda o fato de que o pH está relacionado com os usos solo, uma vez que as bacias hidrográficas que drenam águas de ambientes industriais tendem a apresentar maior variação, distanciando-se do “neutro”.

Trata-se de um parâmetro de suma importância, uma vez que quando encontrado em faixas muito acima ou muito abaixo do valor estabelecido pode comprometer a qualidade e a ocorrência de determinadas reações que auxiliam na manutenção do equilíbrio ecossistêmico. A medida deste parâmetro foi realizada em campo e a faixa aceitável definida por legislação é de 6,0 à 9,0 (BRASIL, 2005).

Pontua-se, a água avaliada em um rio à sudeste do estado do Amazonas apresentou valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução n.º 357/2005 do CONAMA, indicando assim sua acidez, o que segundo Pereira et al. (2013) trata-se de uma condição normal na Amazônia e não sendo evidenciado o comprometimento do meio aquático.

3.2.2 Sólidos Totais e Sólidos Dissolvidos

Quando tratamos de sólidos, o termo faz referência a todo material, dissolvido ou suspenso, presente na água. Sendo assim, os Sólidos Totais relacionam-se à soma de todos os sólidos presentes na água, enquanto os Sólidos Dissolvidos referem-se à parcela destes sólidos que se encontra solubilizada na água. Por definição, durante a filtração as partículas não ficam retidas em uma membrana 0,45 µm. Os sólidos podem afetar a qualidade do corpo de água ou efluente adversamente em uma série de formas. Águas com alto teor de sólidos dissolvidos geralmente possuem paladar diferenciado (APHA, 2017).

Corpos de água com alto teor de sólidos suspensos apresentam aspectos objetáveis, sendo importante o controle desta propriedade para garantia da utilidade

da água e manutenção de diversos outros parâmetros em que possa intervir. Para atender à legislação vigente a concentração de sólidos totais não deve apresentar valores acima de 500 mg/L (BRASIL, 2005). No entanto, Dacach (1979) afirma que é comum encontrar águas naturais com concentrações acima de 1.000 mg/L.

Dino e Toledo (2020) afirmam que na ausência de vegetação ciliar, verifica-se o aumento nas taxas de carreamento de sedimentos para o corpo d'água, o que implica diretamente no aumento das concentrações de sólidos presentes.

3.2.3 Fósforo

O fósforo é um elemento cujo maior reservatório é a litosfera, sendo liberado para as águas continentais por meio de processos erosivos, pelo carreamento de partículas (BRAGA; HESPANHOL, 2005) ou por decomposição de matéria orgânica e a própria composição celular dos microrganismos. Pode ser encontrado nas águas nas formas de sólidos dissolvidos ou em suspensão e sua fonte também pode ser antrópica, seja por despejos domésticos, industriais, detergentes, excretas de animais e por último, mas não menos importante, pela utilização de fertilizantes (VON SPERLING, 2007).

Trata-se de um importante nutriente para os processos biológicos, porém quando em excesso pode causar a eutrofização de um corpo d'água e indicar poluição por esgoto doméstico, uma vez que os detergentes utilizados em residências são superfosfatados e na própria matéria fecal verifica-se a presença de fósforo (ANA, 2021). O processo de eutrofização promove a queda nas concentrações de oxigênio dissolvido e a consequente degradação dos ambientes aquáticos (MENDONÇA, 2013).

Queiroz et al. (2010) apresentaram que as concentrações de fósforo elevadas têm relação com os eventos de precipitação devido ao escoamento superficial que acontece; ainda, concluem que quando encontrado em baixas concentrações indica bom manejo do solo. Segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005, os ambientes lântico e lótico devem apresentar, respectivamente, uma concentração máxima de 0,03 e 0,10 mg/L para que não haja comprometimento do recurso hídrico (BRASIL, 2005).

3.2.4 Nitrogênio

Quando se trata de ambiente aquático as formas de nitrogênio de maior interesse são nitrato, nitrito, amônia, nitrogênio orgânico e nitrogênio total; e todas as formas, assim como o gás N_2 oriundo da atmosfera, são bioquimicamente interconvertíveis, e compõem o ciclo do Nitrogênio (APHA, 2017).

A disponibilidade de nitrogênio nas águas superficiais está associada à aplicação de fertilizantes ou às excretas de animais (QUEIROZ et al. 2010). As formas de nitrito e nitrato compreendem o que se denomina de nitrogênio oxidado. O nitrato geralmente ocorre em quantidades traço nas águas superficiais, mas pode chegar a valores bem altos em águas subterrâneas. Em quantidades excessivas pode contribuir para algumas doenças infantis (DACACH, 1979). Nitrato é encontrado apenas em pequenas quantidades no esgoto doméstico, mas em ETE's de tratamento biológico por bactérias nitrificantes pode chegar a concentrações maiores que 30 mg/L além de ser um nutriente essencial para os organismos autótrofos fotossintéticos sendo em alguns casos considerado como fator preponderante do crescimento.

Nitrito é um estado de oxidação intermediário do nitrogênio originado na oxidação da amônia ou na redução do nitrato. Esta oxidação ou redução pode ocorrer em estações de tratamento de efluentes, sistemas de distribuição de águas e águas naturais. Nitrito pode ser adicionado em águas industriais como um inibidor de corrosão. Porém, quando disposta em ambientes ácidos o nitrito forma o ácido nitroso, que pode reagir com aminas secundárias, formando Nitrosaminas que são altamente carcinogênicas. O nitrogênio total, segundo o *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater*, pode ser encontrado em concentrações que variam de algumas centenas de microgramas por litro, até cerca de 20 mg/L no esgoto bruto (APHA, 2017).

A legislação brasileira dispõe sobre concentrações máximas para que se mantenha o equilíbrio ecossistêmico, para nitrogênio total são elas: 3,7 mg/L para pH menor ou igual a 7,5; 2,0 mg/L para pH entre 7,5 e 8,0; 1,0 mg/L para pH entre 8,0 e 8,5; e 0,5 mg/L para pH > 8,5. Já com relação ao nitrito a concentração máxima estabelecida é de 1,0 mg/L e para nitrato é 10,0 mg/L (BRASIL, 2005).

3.2.5 Coliformes Totais e Termotolerantes

O grupo coliforme consiste em um grande gênero das bactérias pertencentes a família *Enterobacteriaceae*. A utilização das bactérias termotolerantes, popularmente conhecidas como “Coliformes Fecais”, como bioindicadoras da qualidade das águas, tem se mostrado mais significativa que o uso dos dados obtidos para Coliformes Totais, uma vez que as bactérias termotolerantes estão restritas ao trato intestinal de sangue quente permitindo a obtenção de informações mais conclusivas a respeito da origem destes microrganismos. A determinação da concentração dos coliformes assume grande importância na indicação da possibilidade de existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifoide, febre paratifoide, desintéria bacilar, cólera, dentre outras (APHA, 2017).

De acordo com a legislação utilizada como base para comparação (Resolução CONAMA n.º 357/2005) a concentração máxima permitida para os Coliformes Termotolerantes é de 1.000NMP/100mL (BRASIL, 2005).

3.2.6 Cor

Cor é uma propriedade relacionada à presença de matéria orgânica e alguns produtos de sua decomposição, particularmente dos ácidos húmico e fúlvico e/ou corante vegetais, ambos causadores da coloração amarelada observada na grande maioria das águas naturais (DACACH, 1979). Outra grande contribuição está relacionada à presença de partículas suspensas especialmente partículas coloidais como argila, silte, algas e óxidos de ferro e manganês. A alteração na coloração em águas também pode estar relacionada com a atividade antrópica, no lançamento de efluentes ou mesmo com a chegada de águas pluviais aos corpos d’água, podem carrear partículas coloidais (APHA, 2017). A legislação define a concentração máxima de 75 mg Pt/L para que sejam mantidas as condições do corpo d’água (BRASIL, 2005).

3.2.7 Condutividade elétrica

Condutividade é uma medida da habilidade de uma solução aquosa em transmitir corrente elétrica. Esta habilidade depende da presença de íons dissolvidos na água, mobilidade, valência e temperatura. Soluções de compostos inorgânicos são

geralmente bons condutores devido à grande capacidade de ionização da maioria destes compostos. Consequentemente, soluções de compostos orgânicos apresentam geralmente baixa condutividade devido a sua pobre dissociação (VON SPERLING, 2007).

A condutividade é um parâmetro importante na avaliação de um corpo d'água, pois permite inferir sobre grau de mineralização e acesso ao efeito da concentração total dos íons em equilíbrio químico, efeitos fisiológicos em animais e plantas, grau de corrosão, teor de sólidos dissolvidos etc. A medida de condutividade elétrica foi realizada em campo, porém não há limite estabelecido em legislação. De acordo com Von Sperling (2007) as águas naturais devem apresentar valores entre 10 e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e águas que recebem influência de dejetos podem chegar a cerca de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Assim como já observado por Von Sperling (2007), valores elevados de condutividade elétrica em corpos d'água podem estar relacionados às ações de degradação ambiental. Silva et al. (2008) *apud* Pereira et al. (2013) indicam relação entre eventos de precipitação e elevação das medidas de condutividade elétrica.

3.2.8 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio (O_2) é um composto essencial para a manutenção da vida. Trata-se de um parâmetro de suma importância quando se realiza a análise de corpos d'água, pois quando sua concentração está muito baixa podem ser verificados impactos, como a mortandade de peixes, por exemplo. O oxigênio é inserido na água naturalmente por meio da agitação que o próprio corpo hídrico proporciona, pelo contato atmosférico, precipitação (o cair das gotas na superfície) e ainda por organismos fotossintetizantes. Concentrações muito baixas do elemento indicam presença de matéria orgânica (DINO; TOLEDO, 2020), já concentrações muito elevadas podem indicar a presença de algas com produção de O_2 puro (Von SPERLING, 2007).

O oxigênio pode ser facilmente consumido na decomposição de matéria orgânica, respiração dos organismos aquáticos, além de que podem ocorrer perdas para a própria atmosfera e na oxidação dos íons metálicos. As concentrações de oxigênio dissolvido na água estão relacionadas à: temperatura, uma vez que temperaturas elevadas exigem uma respiração mais rápida e acelera a velocidade das reações (AMARAL et al., 2019); bem como aos eventos de precipitação, conforme indicaram Silva et al. (2008) *apud* Pereira et al. (2013). Segundo resultados

apresentados por Queiroz et al. (2010) as concentrações de oxigênio se apresentam mais elevadas quando as temperaturas são mais baixas. Os autores afirmam ainda que se deve observar o horário das coletas realizadas, uma vez que a produção de oxigênio está diretamente relacionada ao fotoperíodo diário.

A redução nas concentrações de oxigênio dissolvido é verificada na ocorrência de acidentes em barragens de mineração, promovendo a perda do habitat aquático e ripário das regiões atingidas (CIONEK et al., 2019). Ressalta-se que se trata de um parâmetro que sofre variações muito rápidas, sendo que de um dia para o outro as concentrações podem estar significativamente distintas (DINO; TOLEDO, 2020).

A medida da concentração de oxigênio dissolvido na água foi medida em campo para se evitar perdas, garantindo assim a confiabilidade dos dados obtidos, uma vez que quando transportada a amostra pode perder oxigênio. De acordo com a legislação vigente para que se mantenha o corpo d'água em condições de prover qualidade ambiental aos organismos vivos, a concentração mínima deve ser 5,0 mg/L (BRASIL, 2005).

3.2.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO é tradicionalmente utilizada para aferir a disponibilidade de matéria orgânica na água e por isso trata-se de um parâmetro de extrema importância. Trata-se da determinação da quantidade de oxigênio dissolvido na água utilizada pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica, ou seja, mede o consumo de oxigênio necessário para os microrganismos decompositores aeróbios decomponham a matéria orgânica presente no corpo hídrico. Apesar de ser um parâmetro de medição indireta é o parâmetro de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água (VON SPERLING, 2007; APHA, 2017). Para a manutenção do equilíbrio ecossistêmico a legislação nacional preconiza um consumo máximo de 5,0 mg/L (BRASIL, 2005).

3.2.10 Demanda Química de Oxigênio

Assim como a DBO indica indiretamente a quantidade de matéria orgânica no corpo d'água medida por meio do consumo da mesma por parte microbiológica, a DQO representa a quantidade de oxigênio demandada para que por meio da adição

de reagentes químicos, toda a matéria orgânica seja consumida. É medida utilizando-se um forte agente oxidante, geralmente o Dicromato de Potássio, em meio ácido. Sabe-se que o poder oxidativo do Dicromato de potássio é extremamente maior que comparado ao poder de oxidação da ação dos microrganismos, exceto em raríssimos casos como Hidrocarbonetos aromáticos e Piridina. Em geral, a DQO é maior que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e está diretamente relacionada com este parâmetro. O aumento da DQO em um corpo de água geralmente está associado a atividades antrópicas (industrial, mineração, despejos domésticos, etc.). Não há valores de referência na legislação utilizada (Resolução CONAMA n.º 357/2005) (BRASIL, 2005).

3.2.11 Temperatura da água

A temperatura é o parâmetro que apresenta como resultado uma medida da intensidade de calor presente em um determinado meio, neste caso, a água (MAFRA et al., 2019). Os autores relataram dificuldades em se trabalhar com este parâmetro pois sua medição deve acontecer no momento da coleta para que se garantam bons resultados e seja possível avaliar a variação entre os pontos amostrados. Silva et al. (2008) *apud* Pereira et al. (2013) apresentam que alguns parâmetros, incluindo a temperatura, sofrem alterações significativas de acordo com o regime de precipitação do local.

Relacionando-se com os usos do solo, Dino e Toledo (2020) apresentam que a temperatura é influenciada pela ocorrência de vegetação de entorno, uma vez que em ambientes com maior ocorrência de vegetação há maior incidência de luz solar, o que faz com que a temperatura seja mais elevada nestes ambientes.

A legislação brasileira não apresenta dados para este parâmetro, sendo necessária, portanto, a discussão com base em comparações entre os pontos amostrados bem como com outros autores.

3.2.12 Turbidez

Uma água é turva quando apresenta certa dificuldade na penetração da luz, ou seja, quando apresenta substâncias em suspensão que fazem com que a luz seja refletida (DACACH, 1979). As causas associadas à elevação da turbidez são a

ocorrência de processos erosivos através do carreamento de areia, silte ou argila, processos minerários, indústrias ou lançamento de efluentes domésticos sem prévio tratamento (DACHACH, 1979; MAFRA et al., 2019).

Bozelli e Garrido (2000) *apud* Mello et al. (2020) afirmaram que um lago 30% assoreado devido ao lançamento de efluentes ricos em material particulado fino (provenientes da atividade minerária) apresentou elevadas concentrações de ferro e alumínio em períodos de baixa vazão.

Segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005 a turbidez não deve apresentar-se acima de 100 Unidade Nefolométrica de Turbidez (UNT) (BRASIL, 2005).

3.2.13 Cromo

O cromo é um elemento não essencial para plantas, porém essencial para os animais. Compostos de cromo hexavalente são na maioria dos casos cancerígenas se inalados ou ingeridos e em muitos casos são corrosivos ao tecido humano. Trata-se de um elemento que não é encontrado naturalmente nas águas superficiais, sendo relacionado ao despejo de efluentes industriais sem prévio tratamento (DACACH, 1979). A abundância média na crosta terrestre é de 122 ppm; em solos varia de 11 a 22 ppm e, em águas subterrâneas, é geralmente de 0,1 mg/L.

De acordo com a legislação vigente a concentração máxima permitida em corpos d'água para que se mantenha o equilíbrio ecossistêmico é de 50 µg de cromo por litro de água amostrada (BRASIL, 2005).

3.2.14 Ferro

O ferro disponível nos corpos hídricos é praticamente insolúvel, a menos que o pH da água esteja muito básico. É introduzido na água majoritariamente por meio de carreamento de solo e rochas e quando verificado em altas concentrações pode causar coloração e gosto. Sua abundância média na crosta terrestre é 6,22% e em solos pode variar de 0,5 a 4,3% (APHA, 2017). A presença de ferro é comum em águas naturais, pois há boa disponibilidade do elemento no solo, sobretudo em áreas pantanosas (DACACH, 1979). A legislação vigente estabelece o limite de 0,3 mg/L sendo esta concentração também definida pelo Ministério da Saúde em águas potáveis (BRASIL, 2005).

3.2.15 Manganês

O manganês está presente nas águas superficiais em sua forma insolúvel e quase sempre em sua forma oxidada devido à exposição ao ar e demais agentes oxidantes. É introduzido nas águas pela dissolução de compostos presentes no solo e rochas (APHA, 2017). A presença de manganês em concentrações elevadas no recurso hídrico favorece o surgimento de bactérias danosas à saúde humana (RAMOS, 2013; DACACH, 1979).

O manganês é considerado um elemento traço essencial para plantas e animais. Para a análise deste elemento e dos demais metais foi coletada uma amostra de 1.000 mL e conservada a pH menor que 2 com adição de HNO₃. De acordo com a Resolução n.º 357/2005 do CONAMA a concentração máxima permitida é de 0,1 mg/L do elemento na água superficial de classe II (BRASIL, 2005).

3.2.16 Cobre

O elemento cobre pode ser facilmente encontrado em águas naturais em regiões com proximidade à sua exploração, sendo encontrado com baixas concentrações e, portanto, não chegando a ser tóxico (nestas condições). Ainda segundo o autor, quando encontrado em concentrações acima de 1 mg/L pode deixar a água impalatável (DACACH, 1979).

De acordo com a Resolução n.º 357/2005 do CONAMA 0,009mg/L é a concentração máxima permitida no corpo d'água para que se mantenha a classe 2 (BRASIL, 2005).

4. METODOLOGIA

Uma pesquisa científica deve apresentar qual a abordagem, natureza, objetivo e procedimento foram utilizados para a obtenção dos resultados atingidos. Neste contexto, a abordagem da pesquisa foi definida como quantitativa, de natureza aplicada, com objetivos explicativos e procedimentos documentais e de campo.

A utilização de dados referentes às áreas de cada bacia de drenagem, bem como os dados de cada parâmetro considerado indicam que a abordagem é quantitativa. Essa abordagem é centrada na objetividade, sendo que a realidade dos fatos é entendida pelo levantamento e análise dos dados brutos. Define-se a pesquisa como aplicada, uma vez que o estudo circunda dados obtidos de uma fonte pontual, no caso as bacias de drenagem localizadas majoritariamente na área da FLONA do Jamari/RO (DE PÁDUA, 2016; GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

No que diz respeito ao objetivo, a pesquisa é explicativa, pois através dos resultados apresentados busca-se encontrar uma relação entre eles de modo que haja uma explicação do fenômeno observado. Por fim, com relação ao procedimento, o caráter é documental, uma vez que os dados referentes às análises da qualidade da água foram obtidos através de relatórios apresentados pela empresa mineradora ao IBAMA (em monitoramento, de 1999 até 2019), porém também pode ser definida como um estudo de campo, uma vez que o entendimento maior das relações existentes no ambiente, bem como informações valiosas para a real interpretação dos fatos foram obtidos, além de imagens de satélite, através de levantamentos de campo (DE PÁDUA, 2016; GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Os tópicos a seguir apresentam os procedimentos metodológicos aplicados para obtenção dos resultados almejados por esta tese, de acordo com as etapas já apresentadas:

- Organização dos dados laboratoriais de qualidade das águas superficiais:
 - Este processo consistiu no levantamento e agrupamento dos dados obtidos através das análises laboratoriais constituintes dos relatórios apresentados periodicamente ao IBAMA. Os relatórios mais antigos não foram documentados em meios digitais, portanto houve a necessidade de digitação dos dados. Ressalta-se que alguns relatórios não eram acompanhados dos laudos emitidos pela empresa que realizou as

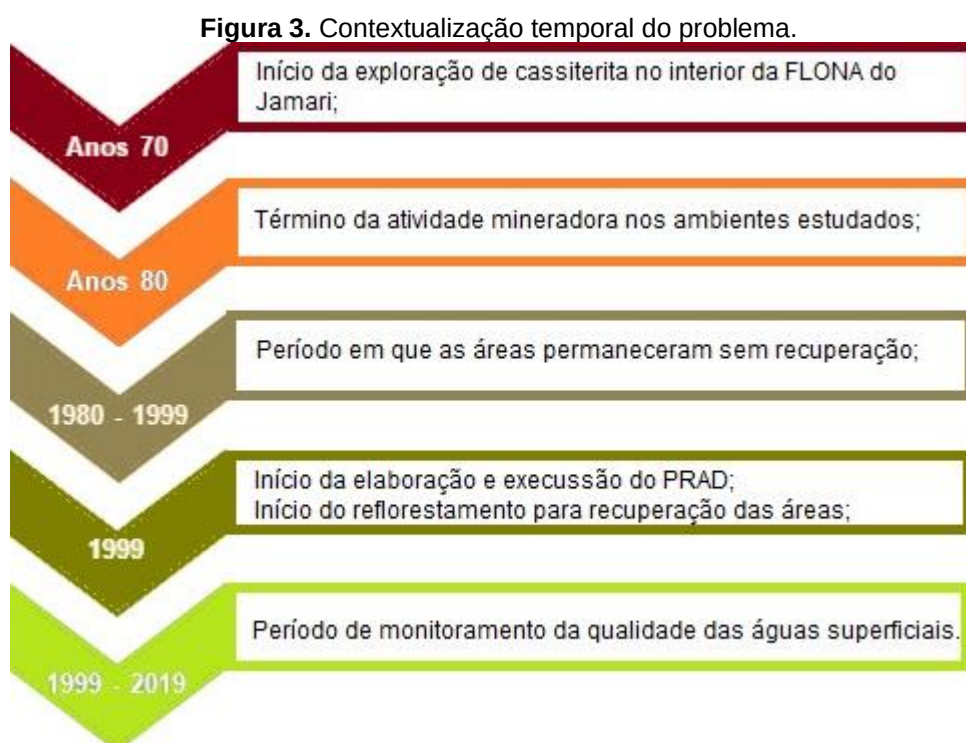
análises, ou seja, os resultados foram verificados através de estimativas dos gráficos apresentados ao órgão ambiental.

- Visita a campo:
 - Esta etapa foi realizada entre os dias 31 de maio e 01 de junho de 2019 sob a supervisão da Prof.^a Dr.^a Regina Márcia Longo, que junto com o Prof.^o Dr.^o Admilson Írio Ribeiro, acompanha todo o processo de reflorestamento das áreas mineradas na FLONA desde o seu início, em 1999. A visita contemplou todos os pontos de monitoramento da qualidade da água trabalhados;
- Obtenção e trabalho com as imagens de satélite:
 - Foram levantadas as imagens de satélite que apresentaram menor influência da aparição de nuvens e, conseqüentemente, menor comprometimento delas; estas imagens foram trabalhadas e os usos distintos do solo foram traçados manualmente, em associação com as observações de campo;
- Estatísticas aplicadas:
 - Assim, com os traçados de uso e ocupação do solo das bacias de drenagem, foram elaboradas Análises de Correspondência (AC) com o objetivo de verificar quais usos do solo foram mais destacados em cada ano estudado;
 - Com os dados de qualidade das águas foram elaborados gráficos de coluna para cada parâmetro analisado para buscar entender sua ocorrência;
 - Foram elaboradas Análises de Componentes Principais (ACP) com dados de qualidade das águas em cada ano escolhido para a comparação com os usos do solo também naqueles anos, assim foi possível verificar qual parâmetro de qualidade da água foi mais expressivo em cada ano estudado.

4.1 Descrição e localização do objeto de estudo

Na Figura 3 apresenta-se uma contextualização temporal da problemática em questão, na qual se verifica que no início dos anos 70, a Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, Rondônia, (localizada a aproximados 90Km de Porto Velho), foi alvo da mineração da cassiterita. Ao término da mineração a área não foi recuperada de

imediatamente devido à inexistência de legislação vigente. No ano de 1999 deu-se início ao processo de recuperação das áreas utilizadas para extração mineral e, por solicitação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, vem sendo realizado o acompanhamento da qualidade das águas através de relatórios anuais.



Fonte: Autoria própria.

A Floresta Nacional do Jamari localiza-se no estado de Rondônia e sua área abrange três municípios: Cujubim, Itapuã d'Oeste e Candeias do Jamari (Figura 4). A FLONA foi criada em 1984 e possui uma área de aproximadamente 220 mil hectares dos quais aproximadamente 43,6% são destinados à concessão florestal (MMA/IBAMA, 2005). Em novembro de 2018, o Informe de Concessões Florestais Federais apresentou que apenas seis florestas nacionais tinham concessão exploratória, sendo que uma delas é a FLONA do Jamari, outra no estado de Rondônia e mais quatro no estado do Pará (BRASIL, 2018).

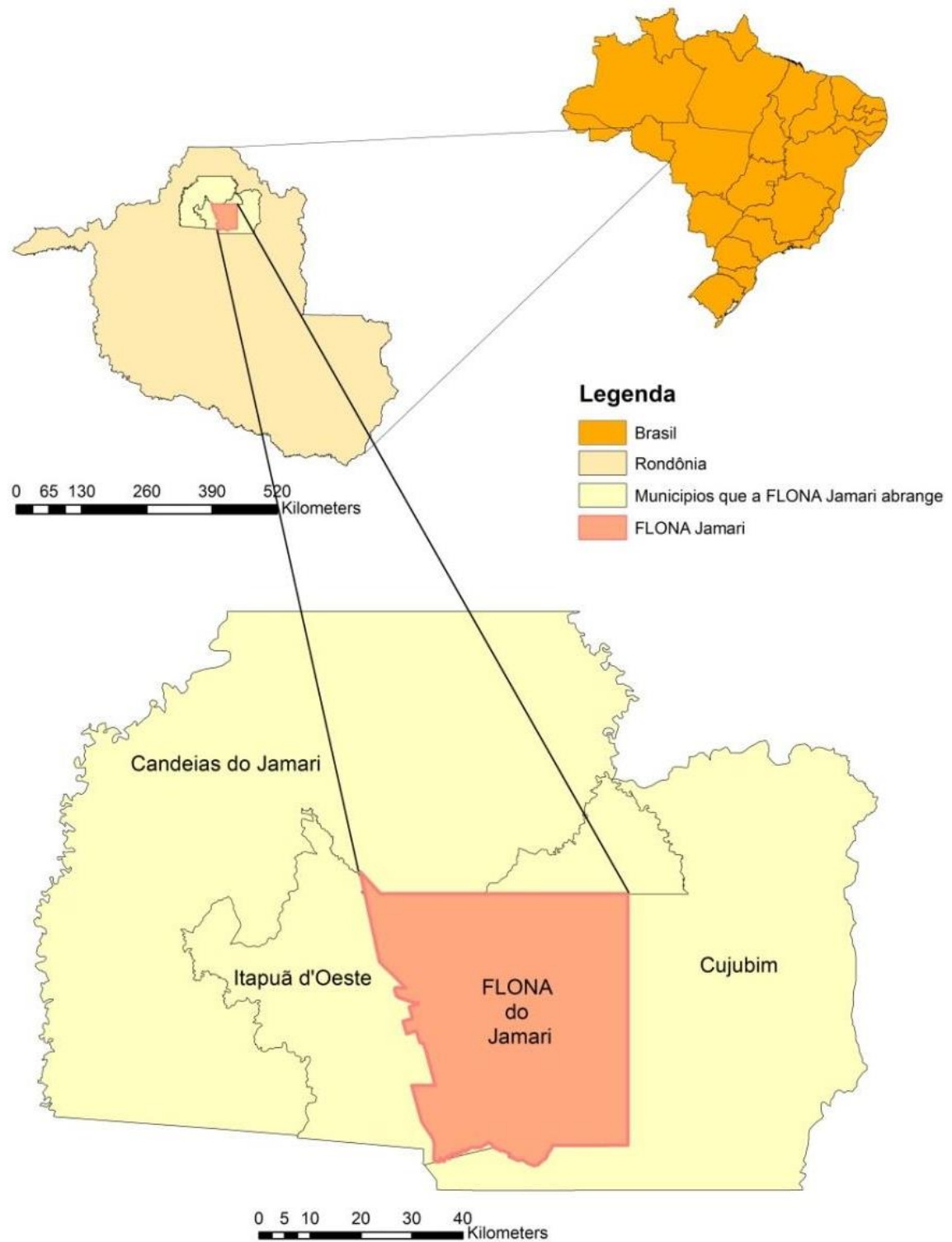
A FLONA do Jamari está totalmente inserida na bacia amazônica e a sub-bacia que predomina é a do Rio Jacundá, cujas águas nascem e escoam superficialmente sentido sul-norte. Outra bacia hidrográfica que drena as águas superficiais na área de abrangência da FLONA é a do Rio Jamari, localizada na porção oeste. Possui dois tipos de solo bem definidos, sendo Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo.

Seu domínio morfoclimático é equatorial amazônico bem próximo à área de transição para o domínio dos cerrados (MMA/IBAMA, 2005).

A definição dos pontos de coleta foi realizada utilizando-se como critérios a maior representatividade possível no contexto do monitoramento e a facilidade de acesso aos locais de amostragem, sendo que os pontos foram mantidos sem alteração geográfica, de modo a possibilitar a comparação e verificar a evolução temporal da qualidade das águas. Ressalta-se aqui que a definição do número de estações de amostragem e dos parâmetros monitorados deve considerar as condições técnicas e econômicas do órgão executor. Além disso, a rede deve ser revisada periodicamente, de forma a adequar-se a novas situações e processos. Neste sentido, faz-se fundamental a realização de um trabalho em conjunto com o órgão ambiental para que o monitoramento realizado possa atingir todos os objetivos necessários para a preservação do sistema avaliado.

Os relatórios individuais apresentados anualmente pela mineradora ao IBAMA indicam que os corpos d'água, naturais e artificiais, vêm apresentando boa qualidade de água. Haja vista do apresentado, até então não havia sido realizada a compilação de todos os dados provenientes das amostras anuais, ou seja, não há nenhuma comprovação do quadro evolutivo indicado individualmente em cada relatório, fazendo-se, portanto, necessária a apresentação detalhada dos dados obtidos ao longo dos 21 anos de amostragens para que seja evidenciada a manutenção da boa qualidade dos recursos hídricos superficiais.

Figura 4. Localização da FLONA do Jamari.



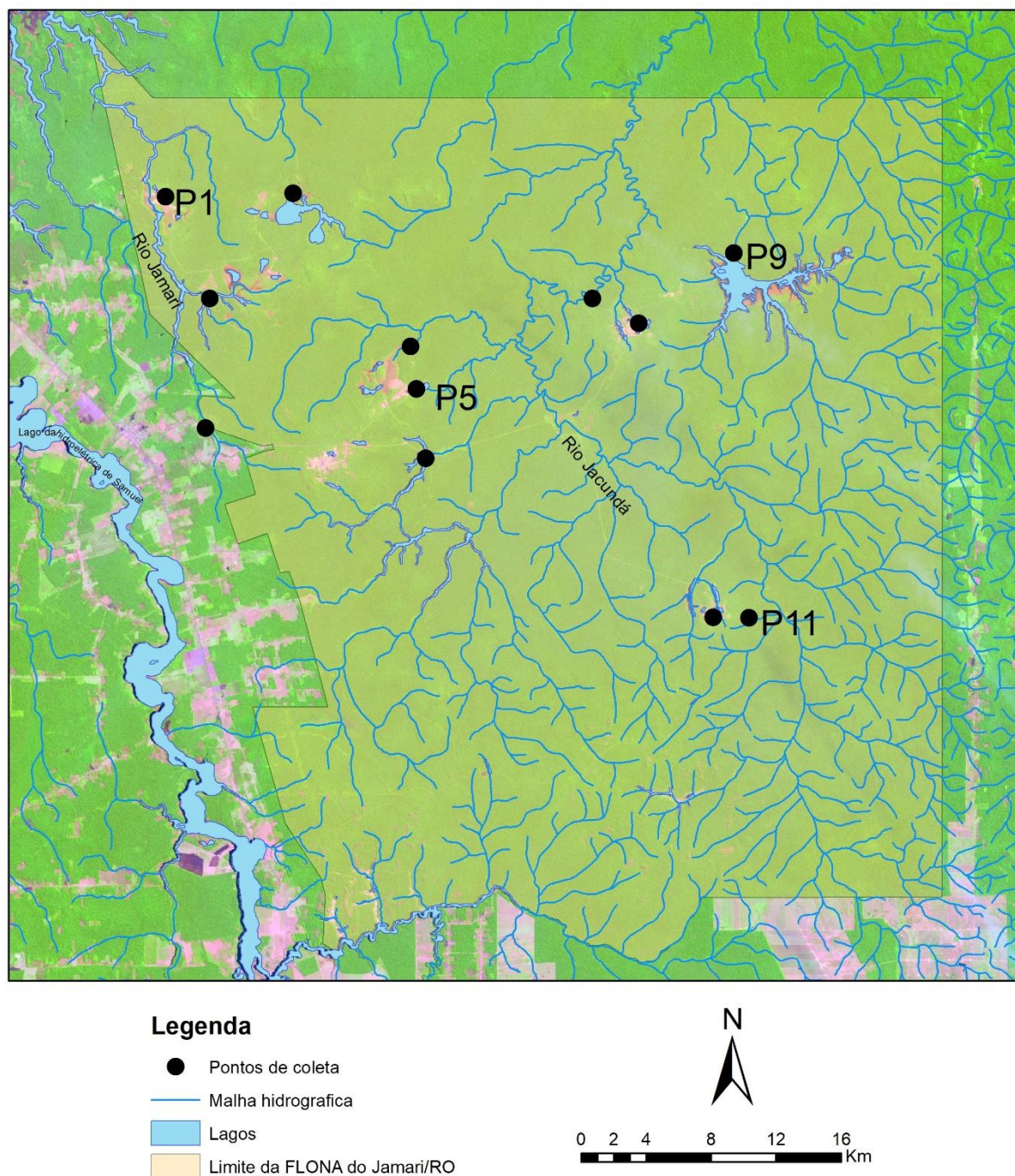
Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Variação espacial

O monitoramento da qualidade das águas superficiais na FLONA do Jamari seguiu os procedimentos descritos no Programa de Monitoramento das Águas apresentado ao IBAMA em setembro de 1999. A definição dos pontos amostrados seguiu sugestão do IBAMA e são indicados na Figura 5. A primeira amostragem ocorreu em setembro de 1999 e com o passar dos anos, verificou-se a necessidade de monitorar a qualidade das águas superficiais para verificar se os projetos de reflorestamento das áreas estavam sendo eficazes e trazendo melhorias ambientais, possibilitando uma discussão, embasada em fatos comprovados, de que as áreas mineradas promoveram, ou não, alterações na qualidade hídrica local.

Para este estudo foram definidos 4 pontos amostrais. Esta definição foi realizada com base nas áreas utilizadas para a mineração de modo a possibilitar o acompanhamento da evolução das mesmas. A escolha destes quatro pontos ocorreu com o intuito de se realizar uma análise de cada “grupo” de acompanhamento, sendo que os pontos P1, P2 e P3 compõem um grupo (dos quais se escolheu o P1); os pontos P4, P5 e P6 compõem outro grupo (dos quais se escolheu o P5), os pontos P7, P8 e P9 compõem outro grupo (dos quais se escolheu o P9) e por último, mas não menos importante, os pontos P10 e P11 compõem outro grupo (dos quais se escolheu o P11).

Figura 5. Indicação dos pontos de coleta de água superficial da Floresta Nacional do Jamari/RO.



Obs.: Denominação dos pontos de coleta: P1 (Igarapé Japiim – barragem 14 de abril); P5 (Lago Serra da Onça); P9 (Barragem Duduca) e P11 (Rio Jacundá – Área Benjamin).

Fonte: Autoria própria.

4.1.1.1 Igarapé Japiim i Barragem 14 de abril (P1)

Ponto de amostragem localizado no Igarapé Japiim, a jusante das barragens de captação das áreas de lavagem, hoje paralisadas, de Poço, Cacimba e 14 de abril. Trata-se do último ponto do Igarapé Japiim antes de escoar para a barragem da hidrelétrica de Samuel. Do local, ilustrado pela Figura 6, extraía-se o minério de

estanho e como verifica-se na imagem, a parte desviada do Igarapé Japiim forma um lago artificial na antiga cava minerada. Esta conexão com o corpo d'água mencionado permite que o lago possua ictiofauna notória.

Figura 6. Ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.

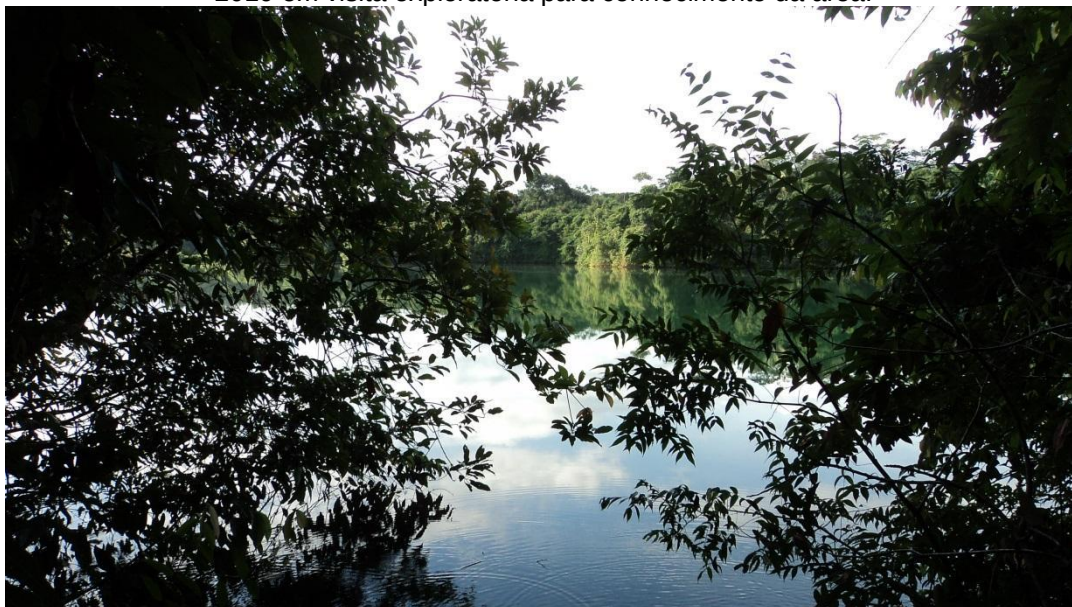


Fonte: Autoria própria.

4.1.1.2 Lago Serra da Onça (P5)

O ponto de amostragem denominado Lago Serra da Onça (Figura 7) localiza-se no lago formado pela cava da antiga mineração. O lago possui conexão com o Igarapé Inox nos períodos de maior pluviosidade e nos períodos de estiagem o mesmo fica isolado. Trata-se de um lago com profundidade mais acentuada, se comparado aos demais e com ictiofauna notória, uma vez que nas visitas foi possível observar alevinos nas proximidades com as margens. Pelo fato de se tratar de um ponto onde ocorria de fato a atividade mineradora, ressalta-se que a vegetação de entorno, a APP, é fruto da recuperação ambiental realizada nas antigas áreas mineradas.

Figura 7. Ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1.3 Barragem Duduca (P9)

O ponto de amostragem denominado Barragem Duduca (ilustrado pela Figura 8) constitui-se em uma barragem feita para a utilização da água no processo de mineração na lavra de Duduca. Trata-se de um barramento do Igarapé Forquilha.

Figura 8. Ponto de coleta denominado Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1.4 Rio Jacundá i Área Benjamin (P11)

Na Figura 9, apresenta-se o ponto de amostragem no Rio Jacundá, que não recebe nenhum tipo de influência da lavra e nem de outras alterações de uso do solo. Localizado à montante da lavra de Potosi, trata-se do ponto mais ao sul da FLONA.

Figura 9. Ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Variação temporal

Todos os pontos definidos pelo órgão ambiental tiveram suas coletas realizadas em todas as amostragens definidas, com exclusiva exceção do P4 (Igarapé Raiz – Serra da Onça), pois trata-se de um ponto onde o regime hídrico é intermitente, ou seja, em épocas com maior precipitação é possível realizar a coleta, porém em épocas de estiagem o mesmo tem seu nível reduzido e seu escoamento ocorre abaixo no nível do solo local, impossibilitando a coleta da água.

Assim, as amostragens foram realizadas conforme solicitação do IBAMA. No início foram realizadas semestralmente, e com o passar dos anos a periodicidade foi sendo reduzida, conforme apresenta-se no Quadro 1.

Ressalta-se que as empresas responsáveis pelo monitoramento das áreas em recuperação autorizaram o uso destes dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para atingir ao objetivo de analisar os usos do solo nas diferentes áreas compartmentadas e compará-los aos resultados de qualidade da água superficial foram selecionadas três datas de modo que houvesse o mesmo intervalo de tempo

entre elas. Foram, portanto, selecionadas as datas de 1999, 2009 e 2019, para traçar os usos do solo e depois comparar com os resultados das amostragens.

Quadro 1. Datas das amostragens e obtenção dos dados utilizados.

Amostragem número	Data de coleta	Obtenção dos dados
1	Setembro de 1999	Valores reais *
2	Janeiro de 2000	Valores reais
3	Julho de 2000	Valores reais
4	Fevereiro de 2001	Valores reais
5	Julho de 2001	Valores reais
6	Fevereiro de 2002	Valores reais
7	Julho de 2002	Valores reais
8	Fevereiro de 2003	Valores reais
9	Abril de 2007	Valores reais
10	Agosto de 2007	Valores reais
11	Novembro de 2008	Valores reais
12	Julho de 2009	Valores reais
13	Fevereiro de 2010	Estimativa **
14	Agosto de 2010	Estimativa
15	Março de 2011	Estimativa
16	Setembro de 2011	Estimativa
17	Abril de 2013	Estimativa
18	Setembro de 2013	Estimativa
19	Junho de 2015	Valores reais
20	Novembro de 2015	Valores reais
21	Outubro de 2018	Valores reais
22	Mai de 2019	Valores reais

Fonte: Autoria própria.

* Valores reais: resultados obtidos através dos laudos técnicos de cada ponto amostrado.

** Estimativa: resultados obtidos através de estimativa utilizando os gráficos apresentados ao IBAMA nos laudos. Estes levantamentos foram realizados desta maneira por conta de não se ter acesso aos laudos originais.

Obs.: as amostragens destacadas em ciano foram as amostragens utilizadas como referência à comparação com os usos do solo.

4.2 Parâmetros de qualidade das águas superficiais avaliados

O acompanhamento da qualidade da água abordado teve início no ano de 1999 e sua última coleta foi no ano de 2019, ou seja, há um período de 20 anos de monitoramento da qualidade da água superficial. Neste sentido, o monitoramento pode ser definido como o estudo ou acompanhamento contínuo e sistemático da qualidade da água superficial com o objetivo de identificar, comparar e avaliar as

condições encontradas (LOPES, 2011). Sendo assim, fica possibilitado o acompanhamento das tendências ao longo do tempo permitindo que, com base em informações passadas, seja possível analisar a situação evolutiva do recurso hídrico.

O monitoramento ambiental envolve a coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, visando identificar e avaliar qualitativa e quantitativamente as condições dos recursos naturais em um determinado momento. Assim, o monitoramento ambiental fornece informações sobre os fatores que influenciam no estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental. Neste sentido, os indicadores de qualidade de água superficial foram definidos com base em um conhecimento prévio sobre a área em questão e a problemática local de modo que possibilitassem o embasamento de um diagnóstico da condição ambiental.

Alguns parâmetros tiveram sua leitura realizada em campo e os demais foram encaminhados para análise laboratorial no CQA (Centro de Qualidade Analítica), sediado na cidade de Campinas/SP. Os resultados obtidos foram comparados com a Resolução n.º 357 de 2005, art. 15 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, (BRASIL, 2005) a qual dispõe sobre padrões de qualidade de água superficial para corpos d'água Classe II.

Os procedimentos utilizados na coleta e preservação das amostras seguiram a metodologia preconizada no “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB)” (CETESB/ANA, 2011) e no “Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 22nd edition” (APHA, 2012). Como parte do procedimento de preservação das amostras o transporte se deu com refrigeração e previamente divididas em alíquotas com os respectivos preservantes para garantir a conservação dos analitos objetivados.

As metodologias de análises foram definidas utilizando-se como base referências nacionais e internacionais de modo a garantir a exatidão e confiabilidade dos resultados obtidos. Foi realizada a calibração dos equipamentos antes das análises e os pontos de coleta foram tiveram sua demarcação exata. Também com o intuito de garantir a confiabilidade e validade das técnicas utilizadas, optou-se pelo convênio com um laboratório credenciado pelo INMETRO e habilitado pela ANVISA na norma ISO n.º 17.025/2000 (requisitos gerais para competência em laboratórios de ensaio e calibração). Segue no Quadro 2 a descrição dos parâmetros considerados no monitoramento bem como a justificativa apresentada pela APHA e pela EPA

(Environmental Protection Agency) para utilizá-los como indicadores de qualidade da água.

Quadro 2. Apresentação dos métodos de análise de cada parâmetro monitorado, bem como sua contribuição para a avaliação e monitoramento ambiental.

Parâmetros	Método de análise *	Importância ambiental da análise
Coliformes Termotolerantes	SM** 9221B / 9221C / 9221F	A ocorrência de coliformes termotolerantes indica a presença de fezes de animais de sangue quente. Sua concentração, baixa ou elevada, pode indicar um único indivíduo no local ou o lançamento indevido de efluentes domésticos, respectivamente.
Cor	SM 2120C	A presença de cor na água indica matéria orgânica e os produtos de sua decomposição. Pode indicar ainda partículas coloidais presentes no solo.
DBO_{5,20}	SM 5210B	A DBO é utilizada como indicadora de material orgânico na água, de maneira natural. Quando elevada, normalmente associa-se à queda na concentração de OD.
DQO	SM 5220B	A DQO é utilizada como indicadora de material orgânico na água utilizando-se adições químicas para medir o consumo de OD.
Condutividade	EPA*** - SESDPROC -101-R2,2008	Indicador de íons dissolvidos na água e, portanto, diretamente relacionado à presença de compostos inorgânicos. Associa-se ao teor de sólidos dissolvidos, bem como à capacidade de corrosão.
Turbidez	SM 2130B	Turbidez elevada indica que o corpo hídrico está recebendo material em suspensão, que poder ser inseridos no meio através de processos erosivos, lançamento de efluentes, mineração ativa.
OD	SM / FQ-0177-07	A disponibilidade de oxigênio influencia diretamente a manutenção da vida aquática. Concentrações muito baixas tornam o ambiente impróprio.
Temperatura	-	Como este trabalho é realizado em áreas que não possuem zonas industriais próximas, as variações de temperatura podem ser relacionadas à presença e/ou a ausência de vegetação ciliar. Temperaturas elevadas aceleram a velocidade das reações.
pH	SM 4500-H+ B	A aferição do pH da água superficial tem como objetivo verificar de maneira bastante prática se há evidências de lançamentos clandestinos no recurso hídrico. Deve ser discutido em associação com outros parâmetros para que possa chegar à uma conclusão.
Nitrogênio Total	SM 4500-Norg B/C 4500-NH3 B/C	O nitrogênio total encontrado em amostras de água refere-se a todas as formas juntas, nitrogênio orgânico, nitrito, nitrato e amônia. Todas as formas de nitrogênio podem ser bioquimicamente interconvertidas, e compõem o ciclo do elemento. As menções ao elemento estão sempre relacionadas à presença de esgoto doméstico (pois possuem elevada carga orgânica), ou seja, pode ser considerado um dos causadores do processo de eutrofização.

Quadro 2. Apresentação dos métodos de análise de cada parâmetro monitorado, bem como sua contribuição para a avaliação e monitoramento ambiental.

(continuação)

Parâmetros	Método de análise *	Importância ambiental da análise
Nitrato	SM 4500-NO3 E	Pode ser o causador de determinadas enfermidades em crianças; além de que pode auxiliar no desenvolvimento de seres fotossintetizantes.
Nitrito	SM 4500-NO2 B	Quando encontrada em ambientes ácidos e com disponibilidade de certos elementos pode auxiliar no processo de formação de substâncias cancerígenas.
Fósforo Total	SM 3030D / 3030F / 3030K / 3120B	Ocorre naturalmente em águas e esgotos. Pode ser encontrado dissolvido, particulado, em detritos ou como componente dos próprios organismos aquáticos. Trata-se de um elemento limitador para o crescimento dos microrganismos e pode ser associado à limitação da produtividade primária em corpos d'água. Quando em excesso, pode estar relacionado a esgoto (seja bruto ou tratado, drenagem de áreas de agricultura ou esgoto industrial).
Cobre	SM 3030B / 3030F / 3030K / 3120B	O cobre é encontrado em águas superficiais em áreas próximas às atividades de mineração e trata-se de um elemento que agrega sabor à água (DACACH, 1979).
Cromo Total	SM 3030B / 3030F / 3030K / 3120B	O cromo é um elemento que relaciona-se ao despejo de efluentes industriais sem tratamento (DACACH, 1979).
Ferro Solúvel (Fe ₂)	SM 3120B/ 3030K/ 3030F	Introduzido do corpo d'água por carreamento de solo e rochas, em excesso acrescenta cor e sabor.
Manganês	SM 3030B / 3030F / 3030K / 3120B	Concentrações acima do limite permitido pela legislação promovem um ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias danosas à saúde humana.
Prata	SM 3030B / 3030F / 3030K / 3120B	Quando encontrada em valores acima do limite estabelecido pela legislação pode tornar o ambiente tóxico aos indivíduos.
Mercúrio	SM 3030B / 3030F / 3030K / 3120B	Trata-se de um elemento tóxico para a maioria das espécies conhecidas; pode levar à dano neurológico.
Sólidos Totais Dissolvidos	SM 2540 C / E	Indicam a presença de material particulado na água.

Fonte: Autoria própria.

* Dados verificados nos relatórios elaborados pelo CQA.

** SM - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

*** EPA - Environmental Protection Agency.

4.3 Hidrografia e compartimentação de bacias hidrográficas

A compartimentação das bacias de hidrográficas, também definidas como bacias de drenagem, foi realizada com o apoio das imagens da órbita terrestre (GUEDES; SILVA, 2018). Esta compartimentação constitui na delimitação de unidades hidrográficas menores para assim possibilitar um melhor entendimento de cada região estudada, uma vez que as áreas de drenagem apresentam características

distintas, podendo resultar em análises díspares para cada situação, conforme apresentado por Almeida, Bayes e Ferreira Júnior (2016), Gomes *et. al.* (2017) e Peixoto-Oliveira (2018). Essas unidades menores são denominadas sub-bacias, pois são analisadas como constituintes de uma bacia de maior dimensão da qual fazem parte.

Sendo assim, utilizando o mapa hidrográfico da região estudada, a planta planialtimétrica, obtidos no site do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2007) e com auxílio de imagens de satélite, foi possível traçar as áreas de contribuição de cada ponto, ou seja, as áreas que, na presença de precipitação, drenam suas águas para o ponto onde foi realizada a amostragem de água, podendo influenciar então sua qualidade. Essa divisão permitiu a obtenção da compartimentação das áreas de drenagem específicas de cada ponto de coleta, possibilitando analisar de maneira ímpar quais os tipos de uso e ocupação do solo estão presentes em cada uma e, possivelmente, apresentam um respectivo padrão na alteração da qualidade da água.

A exemplo do método mencionado cita-se a delimitação proposta por Gomes (2016), bem como Lemos, Vieira e Ferraz (2017) os quais propuseram uma delimitação baseada na compartimentação de uma determinada bacia hidrográfica em unidades hidrográficas menores e mais representativas da realidade, pois verificaram que por menor que seja a área em estudo, o ideal é promover a compartimentação da área de drenagem para melhor entendimento da influência dos diferentes usos do solo. Trata-se de uma metodologia apropriada para se aplicar quando o objetivo é a análise de qualidade da água superficial, uma vez que o entendimento dos diferentes usos do solo em uma bacia hidrográfica pode justificar os resultados laboratoriais obtidos.

Ainda, analisando a hidrografia local, verificou-se que há alteração na forma física dos cursos d'água. Peixoto-Oliveira, *et. al* (2018) ilustraram os modelos distintos de ocorrência dos recursos hídricos, e com base no apresentado verifica-se que há transição entre a forma dendrítica para paralela, quando se verifica a margem direita (leste) do limite da FLONA para a parte central, respectivamente. Através dessa observação, buscar-se-á alguma relação entre as formas distintas e os diferentes usos do solo presentes em suas áreas, bem como as qualidades das águas superficiais verificadas através das análises laboratoriais.

4.4 Uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição

Com base na compartimentação realizada nas bacias hidrográficas dos rios Jamari e Jacundá, foi possível distinguir as classes dos usos do solo de cada bacia de contribuição estudada para cada uma das datas estabelecidas (anos de 1999, 2009 e 2019). Após a definição das datas analisadas, buscou-se imagens de satélite referentes a cada ano (INPE, 2020). Com informações obtidas no próprio site sobre datas de lançamento e, conseqüentemente, de atuação de cada satélite, procurou-se por imagens que abrangessem a área da FLONA do Jamari em cada satélite específico e o detalhamento das imagens consta no Quadro 3.

Quadro 3. Especificações sobre a obtenção das imagens de satélite.

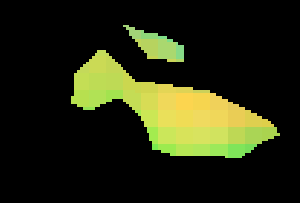
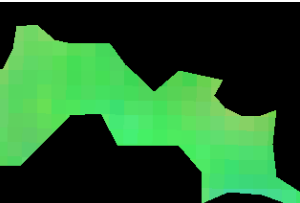
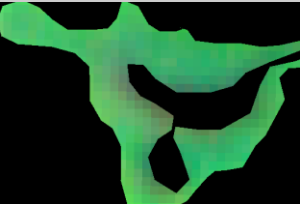
Data	Satélite e especificações
1999	Buscou-se por imagens que foram capturadas entre janeiro/1999 e fevereiro/2000 na cidade de Jamari/RO pelo satélite LANDSAT 7. As melhores imagens obtidas para realizar a composição da área total foram datadas de 13/08/1999 e 28/07/1999, tendo sido utilizadas duas imagens, sendo uma de cada data. A resolução da imagem é de 30m e a composição da imagem colorida foi através das bandas 5, 4 e 3, que são, respectivamente, R, G e B.
2009	Buscou-se por imagens capturadas entre dezembro de 2008 e dezembro de 2009, porém sem sucesso, nenhuma das imagens se apresentou com boa qualidade para utilização, por isso aumentou-se o período de busca para janeiro de 2008 e dezembro de 2009, e as datas das imagens utilizadas foram três, sendo uma de 20/08/2008 e as demais de 23/08/2008. A busca ocorreu nas imagens do satélite CBERS 2B buscando-se pela cidade de Jamari/RO. A resolução das imagens obtidas é de 20m e a composição das imagens coloridas foi através das bandas 5, 4 e 3 respectivamente, formando o conjunto RGB.
2019	Foram procuradas imagens de maio e junho de 2019 (para se aproximar da data da última amostragem). A procura se deu pela cidade de Jamari/RO, porém foi necessário buscar cidades próximas para encontrar a outra margem faltante, quando se encontrou pela cidade de Rio Crespo/RO. As datas das imagens foram de 08/05/2019 e 29/06/2019, respectivamente. As imagens foram obtidas através do satélite CBERS 4 - MUX, com resolução de 20m e a composição das imagens coloridas se deu a partir das bandas 7, 8, 6, respectivamente RGB.

Fonte: Autoria própria.

Sendo assim, com as composições coloridas já realizadas e a compartimentação já efetuada, traçaram-se os usos do solo para cada área e ano estudado. O objetivo da classificação dos usos do solo dentro de cada área de drenagem é verificar se as águas que escoam pela área delimitada e chegam ao leito superficial do corpo hídrico sofrem alterações que possam estar relacionadas aos usos distintos do solo. Gomes et al. (2017) verificaram que diferentes usos do solo podem promover alterações significativas mesmo quando se trata de pequenas unidades de estudo, sendo assim o intuito é avaliar de maneira singular cada bacia de contribuição.

As classes de uso do solo trabalhadas foram divididas de acordo com o Quadro 4, onde se descreve as classes de acordo com o cenário verificado pelas imagens de satélite utilizadas e ilustra-se os possíveis usos do solo dentro da bacia de contribuição. Esta descrição permitiu que as áreas fossem avaliadas com os mesmos critérios e assim os resultados obtidos podem ser comparados entre si.

Quadro 4. Descrição e ilustração dos possíveis usos do solo dentro das áreas de drenagem.

Usos do solo	Características específicas	Ilustração
Vegetação nativa	As áreas denominadas de vegetação nativa são aquelas que apresentam sua configuração original, ou seja, não sofreram alteração para o processo de mineração.	
Solo exposto	Áreas que sofreram com a retirada total da cobertura vegetal para a atividade mineradora. Os solos são denominados nus quando até 80% de sua feição se apresenta sem nenhum tipo de cobertura vegetal.	
Área reflorestada	Vegetação rala Aquele que já foi reflorestada, porém apresenta-se com baixa disposição de indivíduos arbóreos, sendo, dentre as áreas recuperadas, a que mais se afasta do cenário ideal*. Estima-se que haja predominância de espécies herbáceas, gramíneas e arbustivas, e quando da presença de espécies arbóreas, estimam-se falhas no entrono de 40% ou mais.	
	Vegetação intermediária Aqueles que não são consideradas com vegetação rala, mas também não se encontram com a densidade elevada, ou seja, trata-se da definição encontrada para designar um estágio intermediário da evolução da vegetação.	
	Vegetação densa Áreas de vegetação densa são aquelas em que a cobertura vegetal se apresenta predominantemente arbórea e com dossel homogêneo e fechado.	
Espelho d'água (lêntico ou lótico)	Áreas denominadas de espelho d'água são aquelas ocupadas por água, sejam estes ambientes lêntico ou lóticos, conforme definição individualizada apresentada em cada ponto.	
Área de alagamento	As áreas de alagamento são aquelas ocupadas por água em determinados períodos, e em outros, permanecem secas. As imagens de satélite apresentam uma coloração escurecida para estas áreas, o que indica que a camada superficial pode estar rica em material orgânico em decomposição devido à elevação e rebaixamento do nível da água.	

Fonte: Autoria própria.

* Cenário ideal: aquele que mais se aproxima do original, e considerando que os objetos de estudo estão inseridos em uma unidade de conservação ambiental, o original é vegetação nativa.

4.5 Usos do solo e sua relação com a qualidade da água

De posse aos dados de uso do solo nas áreas de drenagem (obtidos através da compartimentação das bacias hidrográficas e posterior traçado manual das áreas através do método de sobreposição de *layers*) e com os resultados laboratoriais obtidos para a qualidade das águas superficiais, conforme apresenta-se no Apêndice A, buscou-se uma relação entre os usos do solo e a qualidade das águas através da aplicação de análises estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Correspondência (AC).

Em primeiro lugar, para a verificação de existência de evolução temporal dos usos do solo foi aplicada uma AC e verificado o grau de aceitabilidade da mesma. A AC é aplicada para dados nominais, ou seja, qualitativos. Para a verificação de aceitação desta análise avaliou-se o χ^2 (qui-quadrado), o p -valor e o coeficiente V de Cramer.

A AC elaborada com o auxílio do Software Past 4.06b (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), constitui uma técnica multivariada que pode ser aplicada a dados categóricos e que permite a análise gráfica das relações através da redução da dimensionalidade do conjunto de dados. O objetivo da aplicação desta análise é determinar o grau de associação global entre suas linhas e colunas, permitindo assim verificar como as variáveis podem estar relacionadas entre si ou se elas apresentam independência (SOUZA; BASTOS; VIEIRA, 2010), ou seja, aplicada aos usos do solo ao longo dos três anos analisados, verificou-se se há relação entre o decorrer dos anos e a evolução dos usos do solo.

A verificação do χ^2 permite verificar se a hipótese nula foi rejeitada ou aceita. Neste caso, H_0 é definido como a ausência de relação entre os dados analisados, portanto, a partir do momento que foi rejeitado, rejeitou-se a hipótese de que os dados não têm relação, confirmando assim que há uma relação entre o desenvolvimento dos usos e ocupações do solo durante o período estudado; ao passo que quando H_0 é aceito, indica que os dados não apresentam relação entre si, tornando inviável a discussão entre os dados. O χ^2 é aplicado para inferir sobre variáveis qualitativas (FARIA; KAMADA, 2020).

O p -valor indica o menor nível de significância com que se rejeitaria a hipótese nula. Isto é, um valor- p pequeno significa que a probabilidade de obter um valor da estatística de teste como o observado é muito improvável, ocasionando na rejeição

da hipótese nula. Assim como o teste de χ^2 é utilizado para aceitar ou rejeitar H_0 ou H_1 , o p -valor (que para esta tese foi definido em 0,05, ou 5%) é aplicado com a mesma finalidade (COLVERO et al., 2017).

O coeficiente V de Cramer indica o grau de associação dos dados, sendo um coeficiente que varia entre 0 e 1, onde valores próximos de 0 indicam que não há associação entre os dados e valores próximos de 1 indicam maior associação. Ressalta-se que V de Cramer igual a 1 não indica associação perfeita entre os dados, pois isso só ocorre quando os números de linhas e colunas são iguais. O V de Cramer pode ser interpretado da seguinte maneira, segundo Aguilar Apolo (2017):

- Baixa associação: V de Cramer $\leq 0,3$;
- Associação média: $0,3 < \text{V de Cramer} \leq 0,6$;
- Associação alta: V de Cramer $\geq 0,6$.

As ferramentas estatísticas aplicadas às análises de correspondência são utilizadas para amostras qualitativas (neste caso são os levantamentos de ocupação do solo). Já com relação às variáveis quantitativas (parâmetros de qualidade da água) utilizou-se a análise de componentes principais e para sua afirmação, o p -valor, pois também pode ser empregado para as metodologias quantitativas, o Teste de Esfericidade de Bartlett e o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

As ACP - também elaboradas no Software Past 4.06b (Hammer; Harper; Ryan, 2001), constituem uma metodologia que permite verificar, por meio da criação de duas variáveis desconhecidas com representatividades evidenciadas em cada eixo gráfico, quais variáveis estão destoando das demais e conseqüentemente quais apresentam maior similaridade, tornando mais evidentes as relações entre elas. A análise de componentes principais é aplicada quando o objetivo é explorar, interpretar e reduzir os dados sem perder informações (SABINO; LAGE; ALMEIDA, 2014).

O p -valor na validação da ACP também foi mantido com 5%, de significância, o que indica que valores abaixo de 0,05 validam a análise de componentes principais aplicada. O teste de esfericidade de Bartlett é aplicado junto do teste KMO e indica se a matriz de correlação é diferente da matriz identidade. Considerando a significância em 5%, para rejeitar H_0 o Bartlett deve ser $<0,05$ (MATOS; RODRIGUES, 2019).

O teste KMO aplicado é apresentado com o intuito de indicar se a correlação entre os pares de variáveis pode ser explicada por outras variáveis e o valor obtido deve estar acima de 0,6 para que a ACP seja validada, de acordo com Aaker et al. (2001) apud MOREIRA (2007). No entanto, Hammer; Harper e Ryan (2001) apresentam valor diferentes e tornam a interpretação mais abrangente, conforme se apresenta no Quadro 5.

Quadro 5. Interpretação dos valores do Teste de Kaiser-Meyer-Olkins (KMO) obtidos.

Valor de KMO obtido	Aplicação da ACP
0,8 KMO > 1	Excelente
0,7 < KMO < 0,8	Boa
0,5 < KMO < 0,7	Medíocre
KMO < 0,5	Inadequada

Fonte: Hammer; Harper; Ryan, 2001.

Como o teste de KMO analisa a correlação de uma variável com a sua anterior o teste deve ser aplicado utilizando-se como base a matriz de correlação. A obtenção e o resultado do teste KMO deve levar em consideração o quantidade de dados imputados no *software*, pois segundo Matos e Rodrigues (2019) a quantidade de amostragem deve ser no mínimo 5 vezes maior que a quantidade de dados. Ou seja, a aplicação de uma matriz com 16 variáveis analisadas e com a utilização de apenas 3 datas amostrais pode implicar na não aceitação da ACP.

Todas as tabelas utilizadas para a elaboração dos gráficos estatísticos de análise de correspondência e análise de componentes principais, bem como para a obtenção de χ^2 , p , V de Cramer, Bartlett e KMO são apresentadas no Apêndice B, assim como uma breve explicação de como os dados foram obtidos e formatados para posterior inserção no *software* utilizado. Ressalta-se que alguns parâmetros não foram utilizados para compor as ACP devido à inexistência de variação ao longo dos 20 anos considerados (considerando os gráficos descritos no item 4.2).

5. RESULTADOS

Os resultados são apresentados divididos entre os pontos de coleta das amostras de água, pré-definidos e já utilizados há 22 anos. As apresentações aconteceram na seguinte ordem:

- Primeiro são apresentados os resultados referentes às análises de uso e ocupação do solo, contendo:
 - o Mapa da bacia de drenagem;
 - o Tabela com os valores de área e porcentagens obtidas;
 - o Análise de correspondência dos dados de usos do solo nos três anos avaliados.
- Em seguida os dados referentes à qualidade das águas, foram organizados por:
 - o Gráficos individuais dos parâmetros considerados;
 - o Análise de componentes principais com os dados referentes à qualidade da água nos anos analisados.

E assim se encerram as apresentações referentes ao ponto em questão.

5.1 Qualidade da água superficial

Tabelas com os resultados das análises da água superficial coletada em cada ponto constam no Apêndice A deste documento e apresentam-se nas seguintes datas: setembro de 1999, janeiro de julho de 2000, fevereiro e julho de 2001, fevereiro e julho de 2002, fevereiro de 2003, abril e agosto de 2007, novembro de 2008, julho de 2009, fevereiro e agosto de 2010, março e setembro de 2011, abril e setembro de 2013, junho e novembro de 2015, outubro de 2018 e maio de 2019.

Para cada item que indica os pontos amostrados, os parâmetros de qualidade foram apresentados em gráficos, os quais ilustram todas as informações obtidas ao longo dos 20 anos analisados (com um total de 22 amostragens). Os resultados foram apresentados em gráficos distribuídos em quatro grupos definidos de acordo com suas afinidades. Cada grupo foi denominado de figura para facilitar a apresentação e discussão dos resultados. Os grupos de parâmetros seguiram sempre o mesmo

padrão e em seguida foram apresentadas duas análises estatísticas para confronto com as constatações individuais.

- Primeiro grupo: reúne os gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade elétrica (foram assim agrupados, pois uma vez aumentada a concentração de sólidos na água, verifica-se variações na turbidez e na cor verdadeira, bem como ocorre a dissolução de íons que pode acarretar alterações na condutividade elétrica da amostra);
- Segundo grupo: parâmetros pH, oxigênio dissolvido (que neste momento do texto será referenciado por OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Estes parâmetros foram escolhidos para serem agrupados, pois as demandas química e bioquímica estão diretamente relacionadas à disponibilidade de oxigênio dissolvido na água, e o potencial hidrogeniônico relaciona-se muito bem com estes parâmetros;
- Terceiro grupo: reúne os parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato. Trata-se de parâmetros que podem possuir relação direta com a disposição de efluentes residenciais no corpo d'água, uma vez que o esgoto doméstico apresenta elevadas concentrações dos parâmetros aqui reunidos;
- Quarto e último grupo: não menos importante, este grupo reúne os parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo, formando assim o grupo dos metais que apresentaram resultados que variaram ao longo dos anos.

Ressalta-se que alguns parâmetros (como chumbo e estanho) não são apresentados no formato de tabela, pois são aqueles que não tiveram alterações significativas no período analisado.

Após a apresentação dos gráficos com os resultados das amostragens juntamente com os valores definidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, para corpos d'água definidos como Classe II, foi apresentada a figura com a Análise de Componentes Principais (utilizada neste momento para definir se há correlação entre os parâmetros de qualidade da água utilizados e as diferentes datas amostradas).

A discussão dos dados históricos ocorrerá na mesma ordenação em que os pontos foram nomeados (de P1, P5, P9 e P11), sempre na mesma ordem de grupos e análises estatísticas e datados de setembro de 1999 até maio de 2019.

5.2 Hidrografia e compartimentação em sub-bacias hidrográficas

Analisando as imagens de satélite, verificou-se que a Floresta Nacional do Jamari possui dois sentidos de drenagem superficial, sendo toda a região central e sudeste com escoamento para a porção nordeste da FLONA, compondo a bacia hidrográfica do Rio Jacundá; enquanto uma pequena área na região sudoeste e outra na região noroeste apresentam sentido de escoamento com o respectivo sentido (sul-norte), sendo componentes da bacia hidrográfica do Rio Jamari.

Na Figura 10, observa-se que o ponto P1 pertence à bacia hidrográfica do Rio Jamari (no mapa em cor verde); enquanto as demais bacias de contribuição, destacadas em tons entre amarelo e laranja, pertencem à bacia hidrográfica do Rio Jacundá.

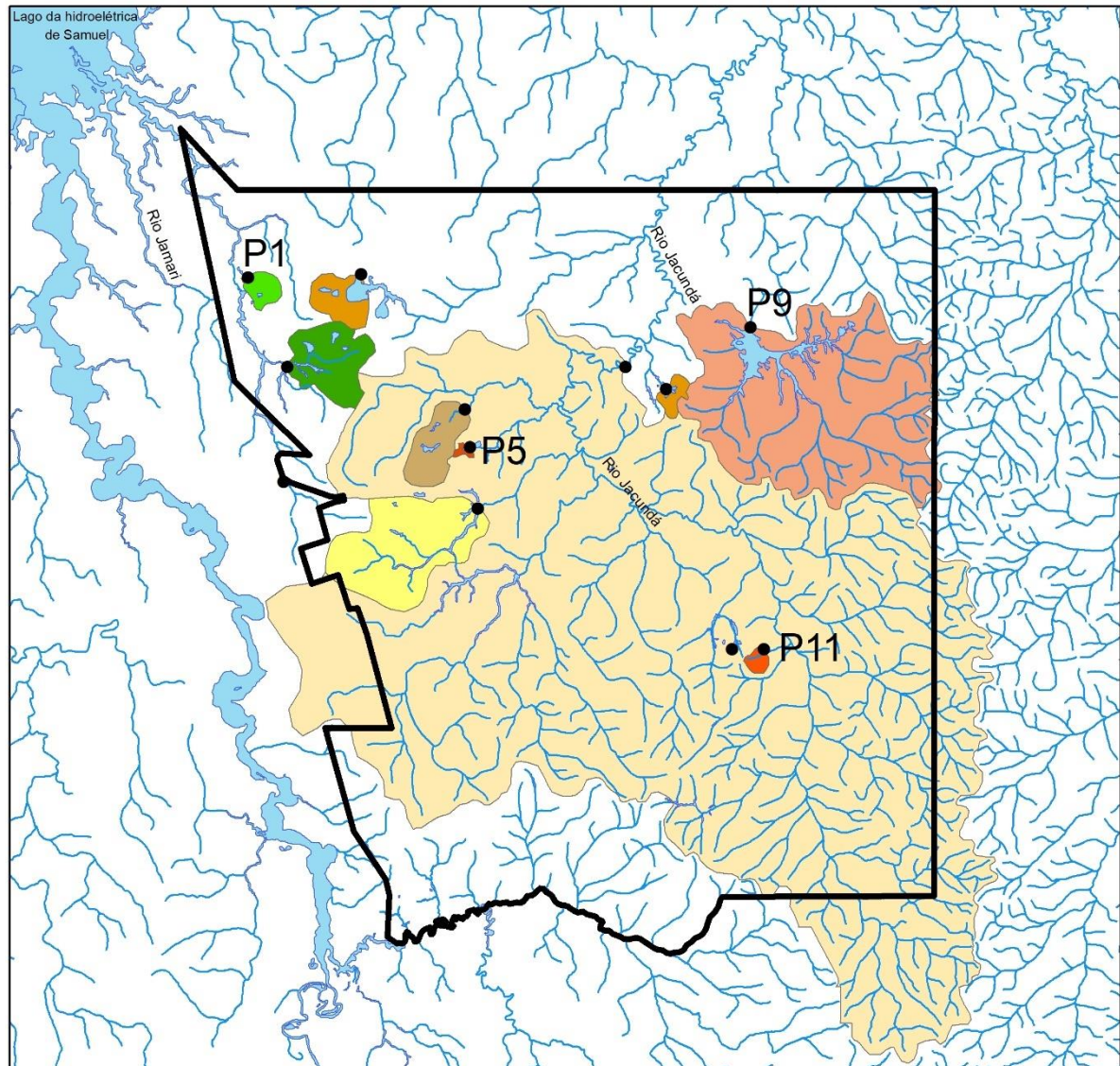
A ordem do corpo hídrico pode ser fundamental para as discussões pois em sua maioria podem possibilitar o entendimento das alterações na qualidade da água superficial. Para tanto foram analisados os corpos d'água de todos os pontos acompanhados ao longo dos anos de modo a identificar qual a ordem de cada. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 6 e permitem saber que a maioria dos corpos d'água analisados são de ordem 1 ou 2, ou seja, há uma proximidade com o afloramento natural destas águas. Os corpos d'água de classe 1 são compostos por um único afluente, ou seja, trata-se do escoamento superficial formado pela nascente principal; os corpos d'água de ordem 2 são aqueles formados por dois afluentes e suas demais contribuições constituem corpos d'água de ordem 1; já os corpos d'água de ordem 4 são aqueles que mais se aproximam, ou constituem, o leito principal do rio em estudo.

Quadro 6. Ordenação das bacias de drenagem.

Ordenação	Pontos
1ª ordem	P5; P11
2ª ordem	P1
4ª ordem	P9

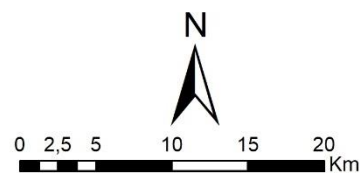
Fonte: Autoria própria.

Figura 10. Indicação das sub-bacias pertencentes aos Rios Jamari e Jacundá.



Legenda

- Pontos de coleta
- ▭ Limite da FLONA do Jamari/RO
- Malha hidrográfica
- Lagos
- P1 - Igarapé Japiim - 14 de abril
- P2 - Igarapé Japiim - Serra da Cacimba
- P3 - Barragem Cortez
- P4 - Igarapé Raiz - Serra da Onça
- P5 - Lago Serra da Onça
- P6 - Barragem Tabocão
- P10 - Barragem Potosi - Igarapé Cotia
- P11 - Rio Jacundá - Área Benjamin
- P7 - Rio Jacundá - Olaria
- P8 - Lago São Sebastião
- P9 - Barragem Duduca



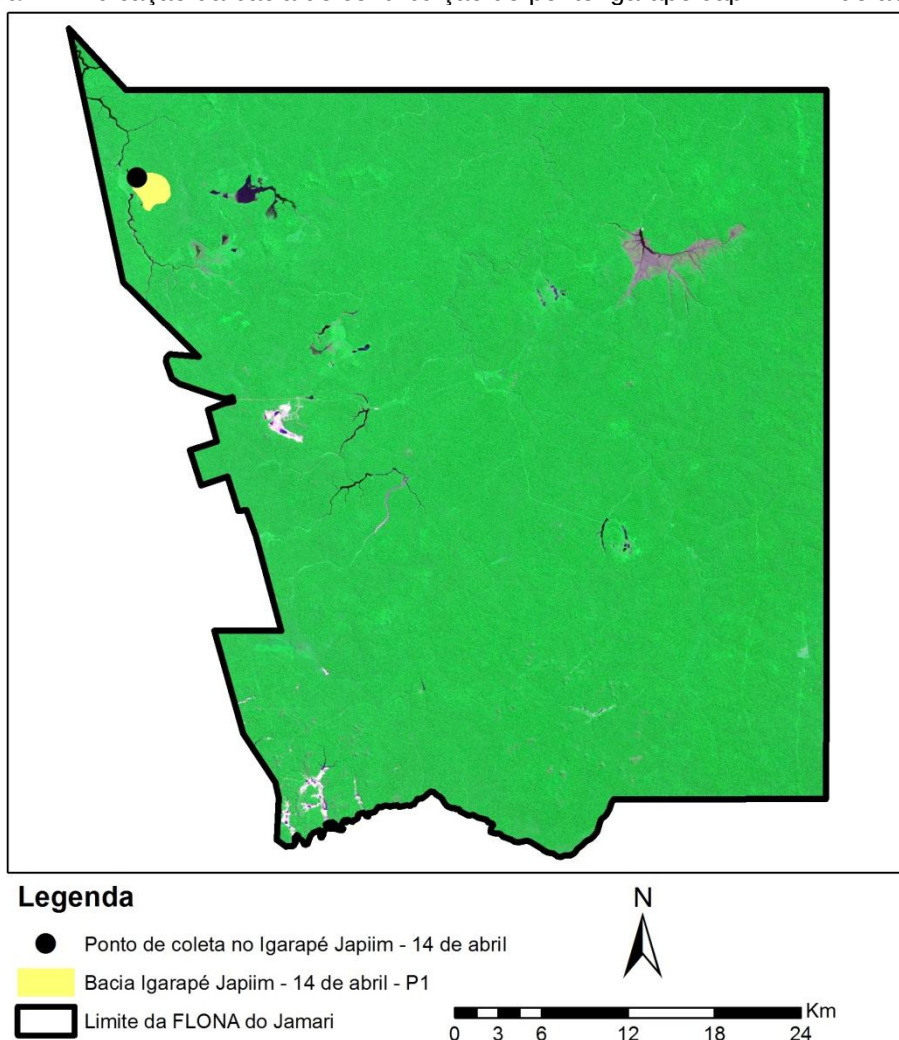
Fonte: Autoria própria.

5.3 Apresentação dos resultados obtidos ponto a ponto

5.3.1 Igarapé Japiim ï Barragem 14 de abril (P1)

Na Figura 11 verifica-se o mapa com a imagem real de 2019 ao fundo e com destaque em amarelo para a bacia de contribuição correspondente ao ponto P1 para possibilitar uma visualização contextualizada do local estudado.

Figura 11. Indicação da bacia de contribuição do ponto Igarapé Japiim - 14 de abril.

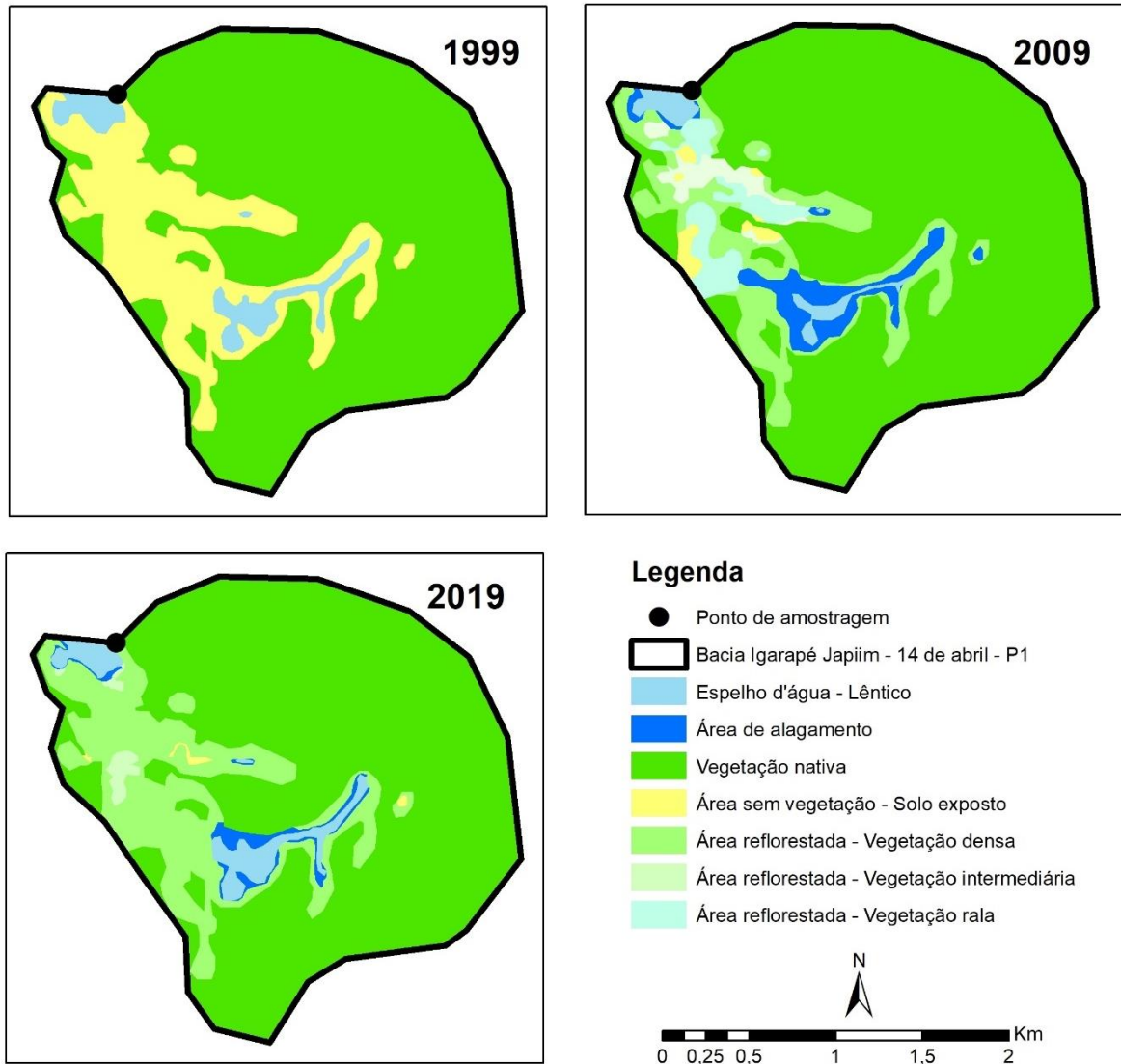


Fonte: Autoria própria.

Com relação às delimitações de uso do solo verificadas na bacia de contribuição, pode-se observar na Figura 12 os usos do solo nos três anos analisados. No ano de 1999, observa-se que os únicos usos do solo eram vegetação nativa, espelhos d'água lântico e área com solo exposto. Estas áreas com solo exposto se encontravam assim devido ao processo de mineração que ocorreu na área. A Tabela 1 apresenta as áreas e suas respectivas porcentagens para os três anos

considerados. Nota-se que em 1999 havia 22% da área ocupada por solo exposto e que em 2019 esta área reduziu para 0,2%, ou seja, houve revegetação de cerca de 99% da área que foi desmatada.

Figura 12. Usos do solo na bacia de drenagem do P1, Igarapé Japiim - 14 de abril.



Fonte: Autoria própria.

A análise dos dados permite verificar que as áreas revegetadas se apresentam em três estágios de sucessão, sendo vegetação rala, intermediária e densa, onde esta última consiste na que mais se assemelha à situação original, conforme já descrito no Quadro 3. Ressalta-se que a área ocupada pelo espelho d'água, corresponde a lagos artificiais formado para atender às demandas da atividade mineradora e totalizavam 3,7% em 1999 foram transformadas 3,6% em 2019, porém com um acréscimo de 1,5% de áreas de alagamento. Estas áreas denominadas de alagamento são aquelas ocupadas por água em determinados períodos do ano, ou seja, em certos momentos

há desenvolvimento da cobertura vegetal aérea enquanto em outros momentos há a decomposição deste material vegetal que não sobrevive submersamente (bem como das espécies animais que não conseguem migrar). A elevação e rebaixamento sazonal do nível da água faz com que haja uma riqueza de material orgânico decomposto ou em decomposição nestes ambientes.

Tabela 1. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem 14 de abril (área da bacia: 4,958Km²).

Usos do solo	1999		2009		2019	
	Área (Km ²)	Porcent. (%)	Área (Km ²)	Porcent. (%)	Área (Km ²)	Porcent. (%)
Espelho d'água - Lântico	0,183	3,7	0,099	2,0	0,177	3,6
Área de alagamento	-	-	0,207	4,2	0,074	1,5
Vegetação nativa	3,684	74,3	3,684	74,3	3,684	74,3
Área sem vegetação - Solo exposto	1,091	22,0	0,058	1,2	0,012	0,2
Área reflorestada - Vegetação densa	-	-	0,607	12,2	0,965	19,5
Área reflorestada - Vegetação intermediária	-	-	0,105	2,1	0,046	0,9
Área reflorestada - Vegetação rala	-	-	0,198	4,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

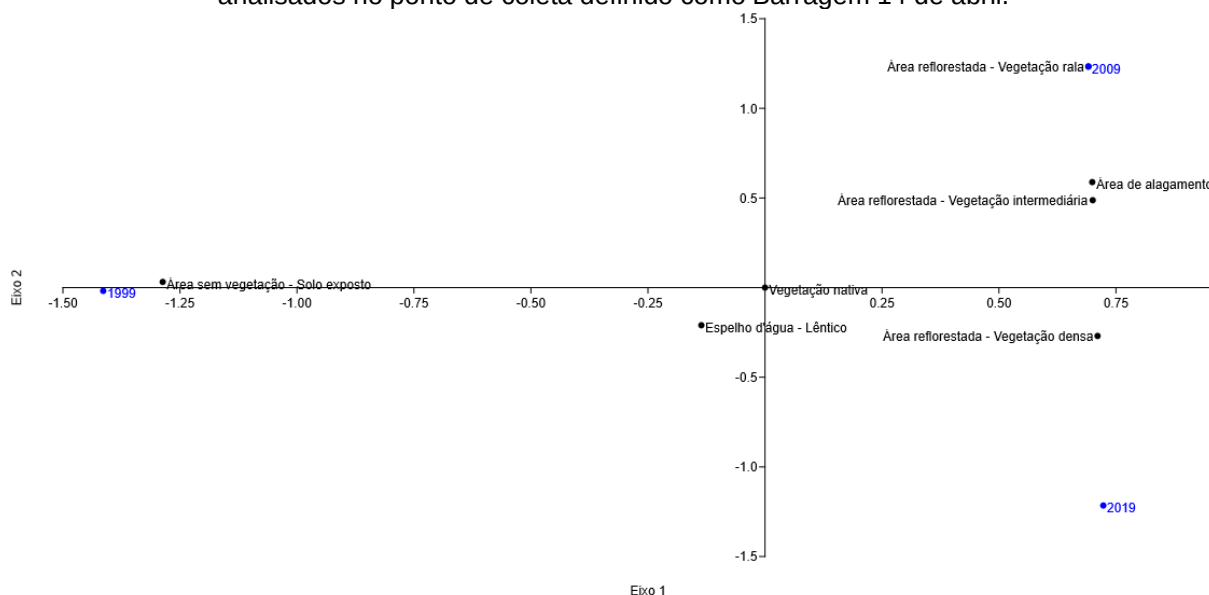
As áreas denominadas “sem vegetação” no ano de 2019 são áreas que, de acordo com a imagem utilizada, apresentam-se em proporções consideravelmente reduzidas, não se igualando às áreas com vegetação rala, intermediária ou densa.

Para possibilitar um melhor entendimento dos resultados, elaborou-se uma Análise de Correspondência (Figura 13), pela qual se identificou a confirmação da correspondência entre os dados. No eixo 1, que explica 74,132% dos dados, é possível verificar que o ano de 1999 relaciona-se com as áreas de solo exposto. A vegetação nativa se manteve exatamente no cruzamento entre os eixos, isso ocorreu pois não houve variação da mesma ao longo dos anos. A proximidade das áreas ocupadas por espelho d'água com o cruzamento dos eixos também mostra que estas áreas não apresentaram grandes variações nos anos estudados. Ainda, observando-se apenas a componente 1, é possível notar que os anos de 2009 e 2019 revelaram maior influência das áreas reflorestadas com vegetação densa.

Ao se observar o eixo 2, responsável por 15,833% de explicação dos dados, nota-se que o ano de 2009 é mais influenciado pelas áreas reflorestadas com vegetação rala, intermediária e de alagamento; enquanto o ano de 2019 pelas áreas reflorestadas com vegetação densa. Os valores de χ^2 e p indicam que há relação entre

os dados considerados na AC, ou seja, torna-se viável a utilização destes dados para a descrição e interpretação dos dados correspondentes a este ponto de coleta.

Figura 13. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem 14 de abril.



Fonte: Autoria própria.

Obs.: A análise de correspondência pode ser explicada em 84,167% no eixo 1 e 15,833% no eixo 2. O valor encontrado para χ^2 foi igual a 74,13, rejeitando, portanto, H_0 e confirmando a relação entre os dados analisados. O p -valor foi $< 0,05$, indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O coeficiente V de Cramer foi igual a 0,36, indicando, segundo Aguiar Apolo (2017), média associação entre os dados.

Essas verificações mostram que há relação entre os usos do solo traçados e os anos considerados neste estudo, o que ressalta a importância de se analisar a qualidade da água para verificar se também houve variação temporal. Nas Figuras 14 a 17 apresenta-se, respectivamente, as quatro coletâneas de dados de qualidade da água. A turbidez apresentou um pico em outubro de 2018 não sendo observada nenhuma relação com os demais parâmetros. A condutividade apresentou-se elevada, com um pico em fevereiro de 2010 e quando se observa o gráfico de sólidos totais dissolvidos, esta mesma data apresenta um destaque com relação às datas anteriores e posteriores mais próximas. De acordo com o apresentado por Von Sperling (2007), valores de condutividade até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem ser considerados de origem natural, porém quando associa-se ao acréscimo nos sólidos totais dissolvidos, indica um possível acréscimo de carga sólida no corpo hídrico. A análise dos gráficos dos demais parâmetros não apresentaram nenhuma relação com o acréscimo espontâneo da condutividade elétrica.

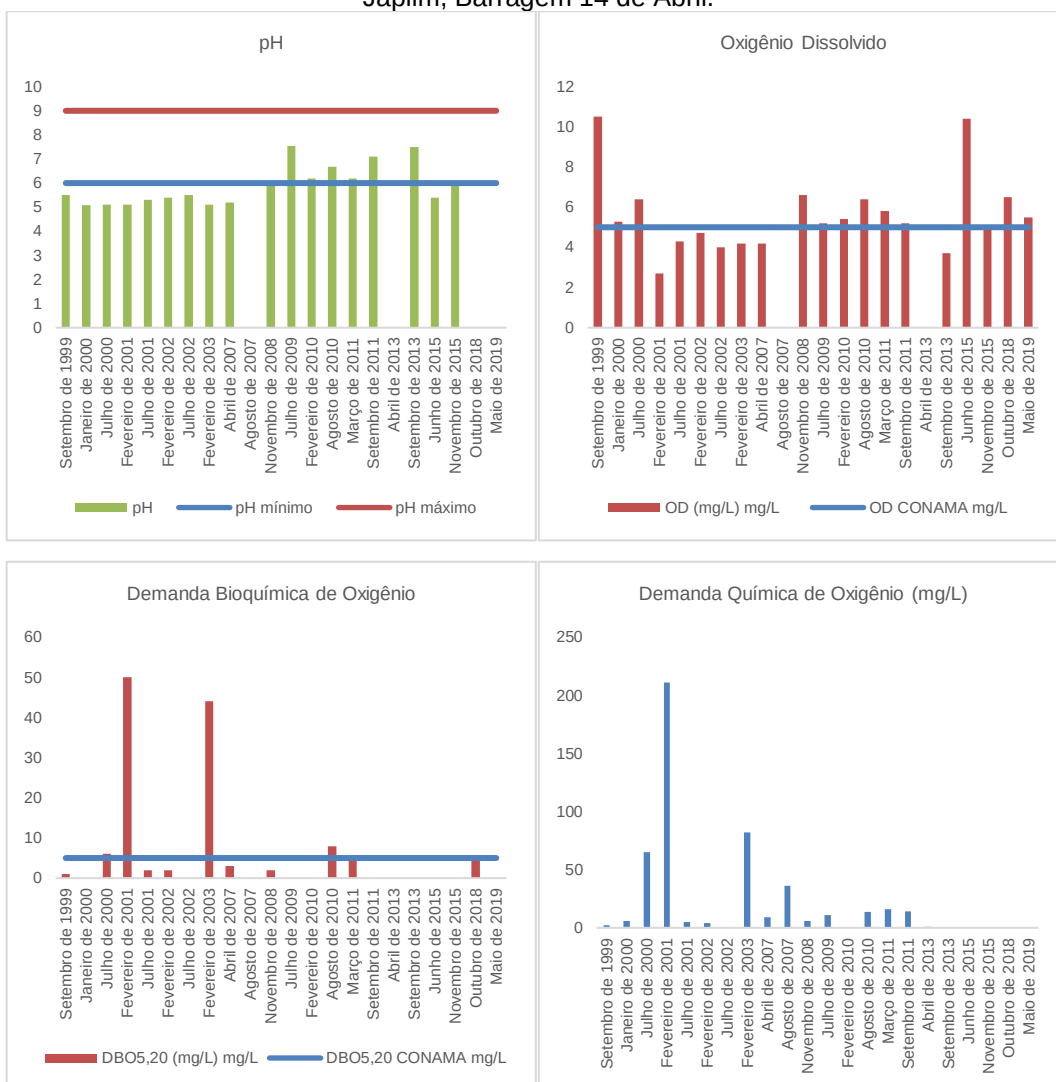
Figura 14. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 15 verifica-se que o pH passou a se apresentar próximo da faixa definida como ideal em julho de 2009. As concentrações de oxigênio dissolvido estão abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 para cerca de 50% das amostras analisadas. Nota-se que em fevereiro de 2001 e fevereiro de 2003 as demandas, química e bioquímica, por oxigênio estiveram altas e como esperado a concentração de OD esteve abaixo do limite estabelecido nestas datas também. Em geral, pode-se afirmar que a DBO apresentou uma queda gradativa 2001 e 2018, evidenciando, portanto, uma redução na demanda bioquímica por oxigênio.

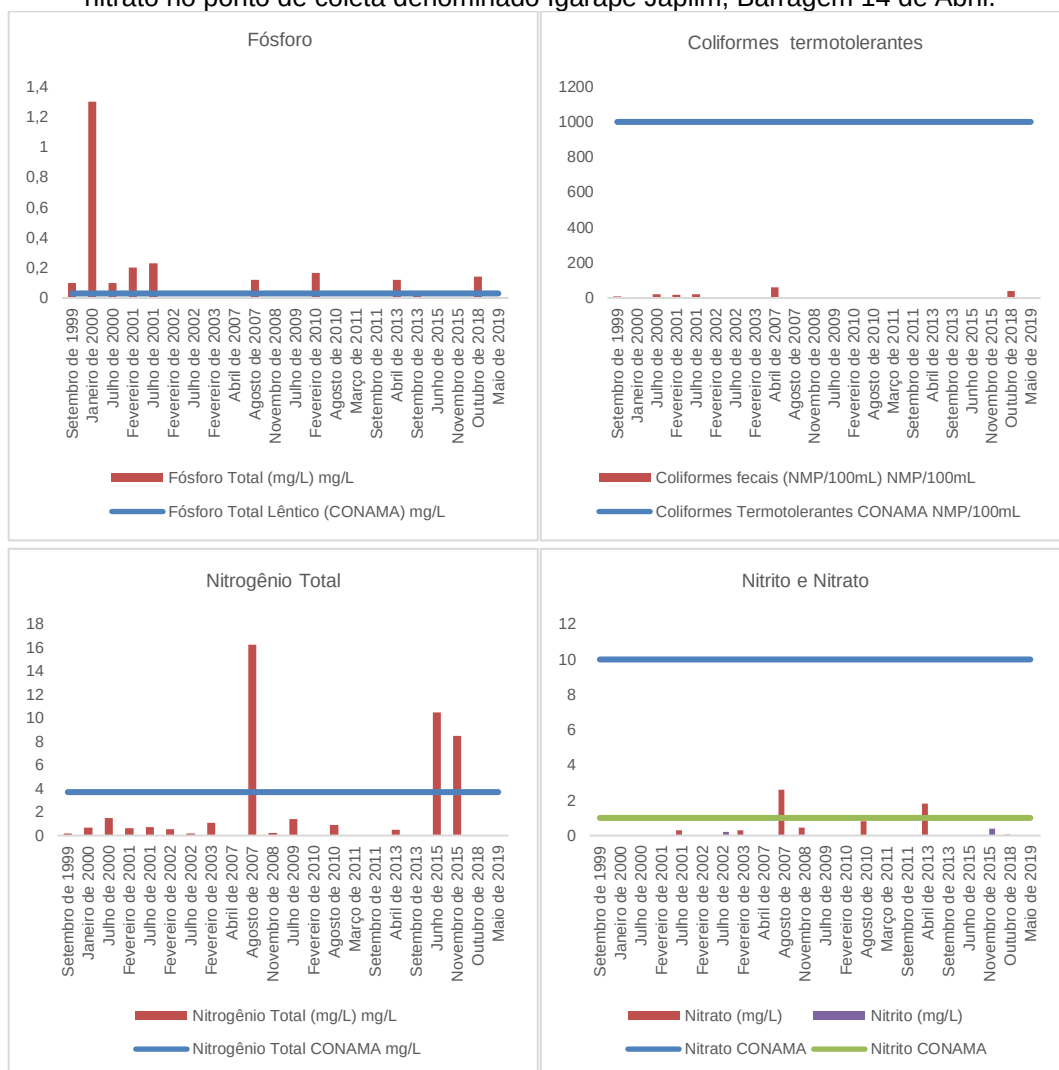
Figura 15. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16 verifica-se que houve um pico na concentração de fósforo em janeiro de 2000, encontrando-se mais de 10 vezes acima do estabelecido em legislação, porém sem apresentar relação evidente com nenhum outro parâmetro analisado. Os coliformes termotolerantes atenderam ao limite estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente para todas as amostras. O nitrogênio nas formas de nitrito e nitrato, atenderam à legislação em todas as datas amostradas e o nitrogênio total foi mais elevado em agosto de 2007 e nas amostragens de 2015 apenas, também não sendo identificada nenhuma relação com nenhum outro parâmetro.

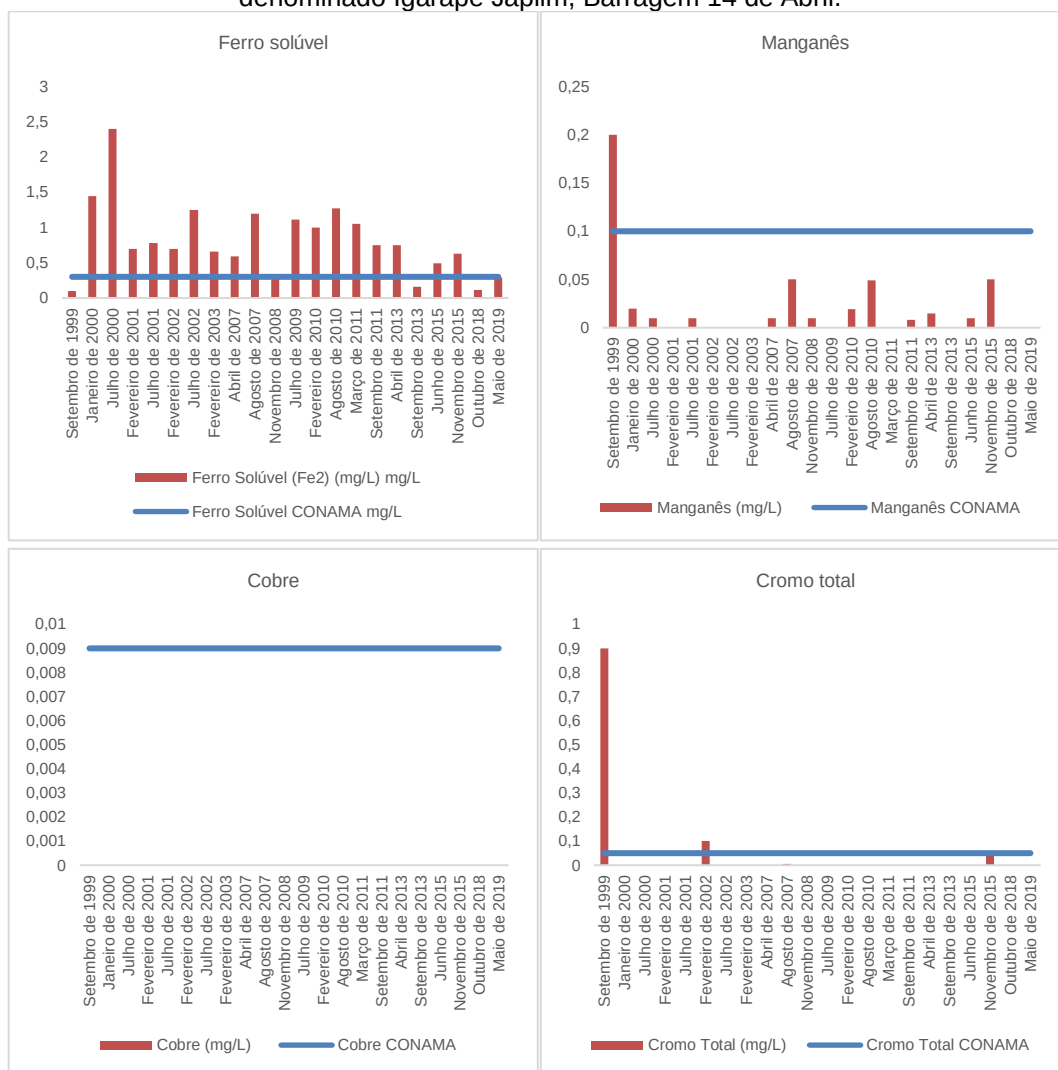
Figura 16. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.



Fonte: Autoria própria.

Quando se trata dos metais analisados, a Figura 17 mostra que apenas o cobre atendeu ao limite máximo estabelecido pelo CONAMA, sendo os demais encontrados em concentrações acima dos limites estabelecidos. As concentrações de ferro solúvel foram encontradas acima do limite na maioria das amostragens, o cromo total apresentou concentração 18 vezes acima do limite em setembro de 1999 e duas vezes acima do limite em fevereiro de 2002. O pico de concentração verificado no cromo também foi visto para o manganês na data de 1999, porém sem apresentar nenhum outro valor acima do limite imposto pela legislação.

Figura 17. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.

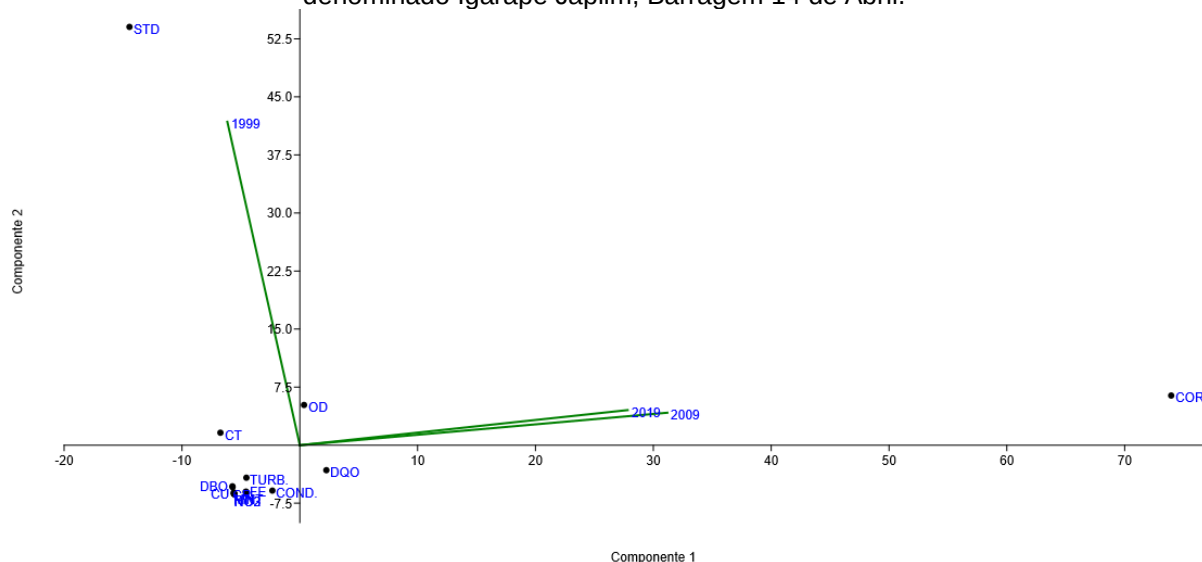


Fonte: Autoria própria.

Após a apresentação e comentários acerca dos parâmetros analisados, elaborou-se uma ACP (Figura 18) utilizando apenas os anos de 1999, 2009 e 2019. Quando se analisa a componente 2, responsável por explicar 35,738% dos dados, pode-se observar que o ano de 1999 sofreu uma influência clara dos sólidos totais dissolvidos, enquanto na componente 1, responsável por explicar 63,63% dos resultados, verifica-se a relação do ano de 2009 e 2019 com o parâmetro cor. Os demais parâmetros de qualidade da água utilizados para a elaboração do gráfico não apresentam relação direta com os anos analisados.

Os demais parâmetros mantiveram-se próximos ao cruzamento das componentes, indicando, portanto, que não sofreram alterações durante os três anos considerados. Ressalta-se que esta ACP pode ser utilizada como base para a discussão uma vez que se rejeitou H_0 .

Figura 18. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado Igarapé Japiim, Barragem 14 de Abril.



Fonte: Autoria própria.

Obs.: As componentes 1 e 2 geradas na elaboração da ACP correspondem, respectivamente, a 63,63% e 35,738% de explicação para as variáveis analisadas. O *p*-valor foi $< 0,05$ indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O resultado do teste de esfericidade de Bartlett foi $< 0,05$, também rejeitando H_0 a 5% de significância. O resultado do teste KMO foi de 0,5 indicando inviabilidade de aplicação da ACP. Nomenclatura abreviada: Coliformes termotolerantes (CT); condutividade (COND.); turbidez (TURB.); nitrogênio total (NT); nitrato (NO_3); nitrito (NO_2); fósforo total (PT); cobre (CU); cromo total (CR); ferro solúvel (FE); manganês (MN) e Sólidos totais dissolvidos (STD).

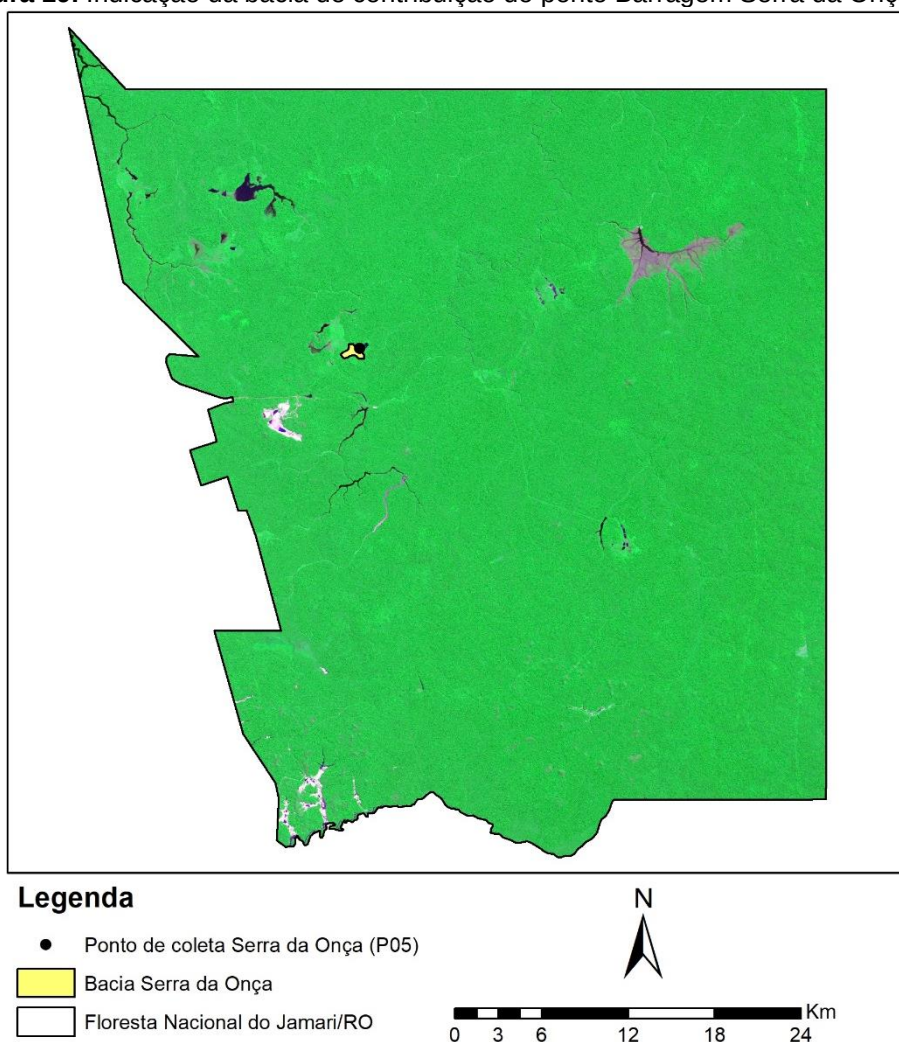
Constatou-se, portanto, que o ano de 1999 é caracterizado pelo desmatamento para atividade de mineração, sendo destacado pela grande incidência de solo exposto; bem como pelo parâmetro sólidos totais dissolvidos. Esta observação vai de encontro ao apresentado por Silva et al. (2018), que afirmam que, na ausência de vegetação ciliar, há maior carreamento de partículas do solo para o corpo hídrico (assim como elevação de temperatura), destoando assim dos demais anos analisados, que são melhores representados pela vegetação nativa e pelas áreas reflorestadas com vegetação definida como densa.

Estas constatações permitiram verificar que a área sofreu evolução benéfica ao longo dos anos, sendo que as áreas antes definidas como “áreas com solo exposto” devido a atividade mineradora foram ocupadas por vegetação, seja ela rala, intermediária ou densa, respectivamente, atingindo o mais avançado dos níveis pré-definidos, ou seja, aquele que mais se assemelha às condições originais do ecossistema.

5.3.2 Barragem Serra da Onça (P5)

O ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça (cuja localização no interior da FLONA apresenta-se na Figura 19) compreende um lago formado pela cava da antiga mineração. Quando em épocas de pouca pluviosidade o lago não faz conexão com nenhum igarapé, ficando completamente isolado. No entanto, em períodos chuvosos, ocorre a elevação do nível da água do lago e este conecta-se com o Igarapé Inox, formando então um fluxo de entrada e saída de água.

Figura 19. Indicação da bacia de contribuição do ponto Barragem Serra da Onça.

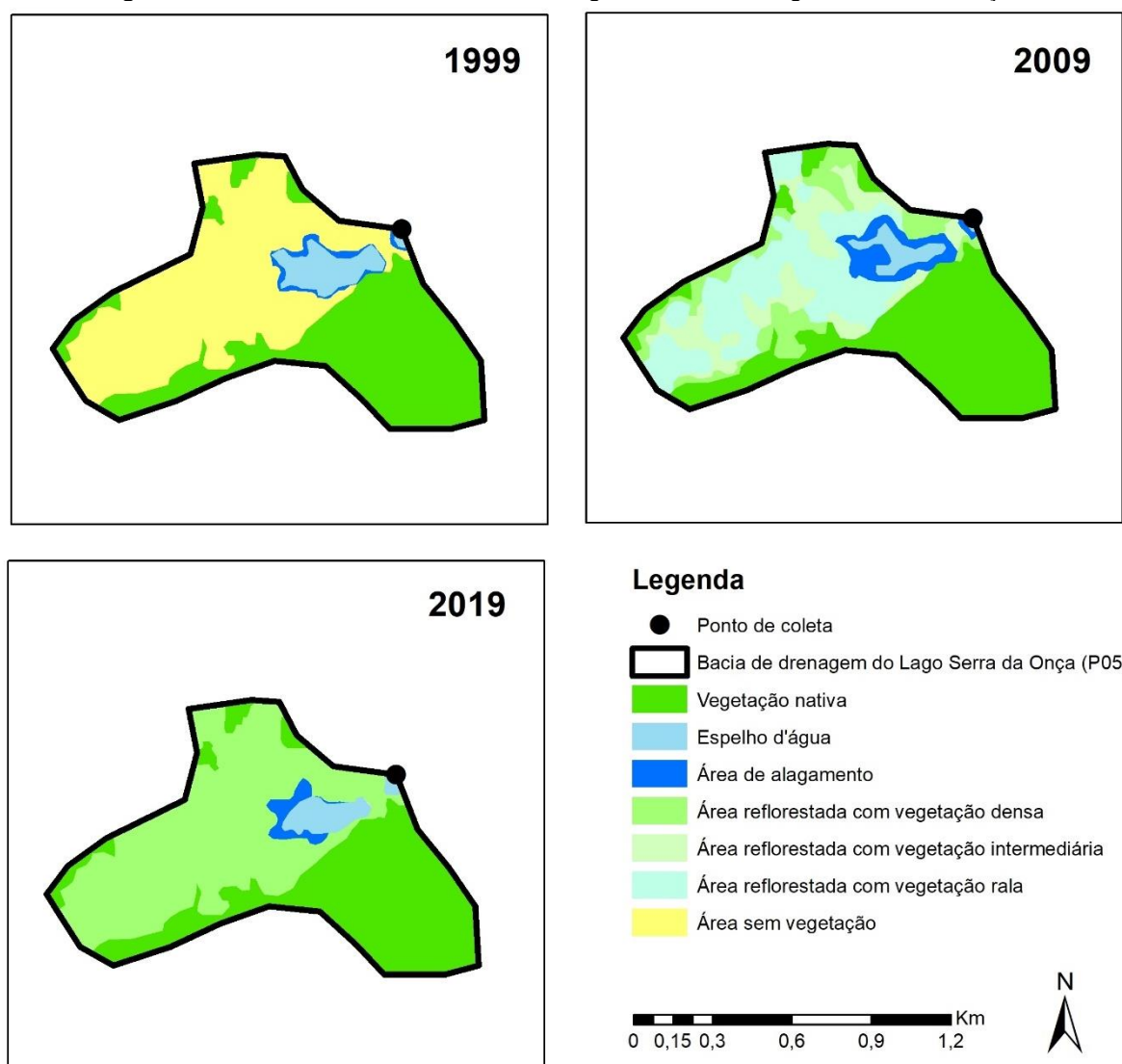


Fonte: Autoria própria.

Após a delimitação de sua bacia de contribuição, os usos distintos do solo foram traçados e apresentados na Figura 20, onde é possível verificar o acompanhamento temporal nos 3 anos analisados, cujos resultados (em área e porcentagem, apresentam-se na Tabela 2). Verifica-se que no ano de 1999 havia apenas quatro

usos do solo definidos, sendo o corpo hídrico, as áreas de alagamento, a floresta nativa e áreas com solo exposto, sendo estas últimas as áreas que foram utilizadas para a atividade mineradora. A atividade mineradora dentro desta bacia de contribuição exigiu a retirada dos indivíduos arbóreos de uma área equivalente a 52% do total da mesma, o que exigiu a recuperação ambiental através das técnicas de reflorestamento mencionadas.

Figura 20. Usos do solo na bacia de drenagem do P5, Barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

Ainda de acordo com a Tabela 2, verifica-se que estas áreas de solo exposto em 1999 foram completamente reflorestadas, apresentando 39,3% de vegetação rala e intermediária em 2009 e sua totalidade de vegetação densa em 2019, correspondendo ao melhor dos cenários que se poderia almejar, já que a vegetação densa é aquela que mais se assemelha à vegetação nativa. Tais constatações vão de

acordo com o observado por Cortopassi Booth (2017), que constatou redução das áreas ocupadas por solo exposto e campo sujo nos anos estudados.

Tabela 2. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça (Área da bacia: 0,938Km²).

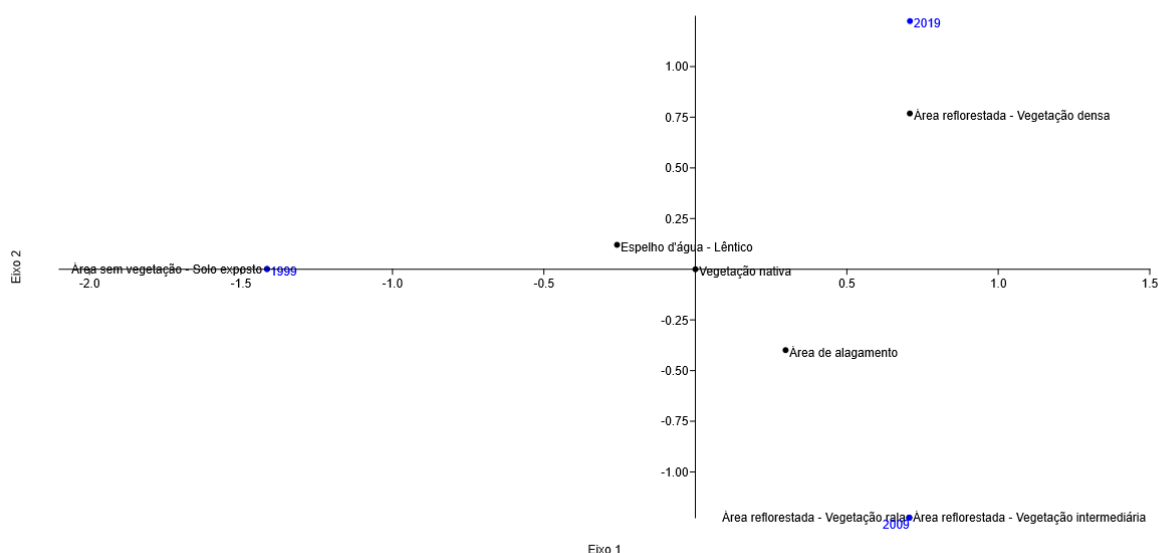
Usos do solo	1999		2009		2019	
	Área (Km ²)	Porcent. (%)	Área (Km ²)	Porcent. (%)	Área (Km ²)	Porcent. (%)
Espelho d'água - Lântico	0,051	5,4	0,025	2,7	0,036	3,8
Área de alagamento	0,016	1,7	0,047	5,0	0,02	2,1
Vegetação nativa	0,383	40,8	0,383	40,8	0,383	40,8
Área sem vegetação - Solo exposto	0,488	52,0	-	-	-	-
Área reflorestada - Vegetação densa	-	-	0,114	12,2	0,499	53,2
Área reflorestada - Vegetação intermediária	-	-	0,127	13,5		0,0
Área reflorestada - Vegetação rala	-	-	0,242	25,8		0,0

Fonte: Autoria própria.

Para verificar a existência de correspondência entre os usos do solo nos três anos analisados, elaborou-se uma análise de correspondência com os dados. A AC é apresentada na Figura 21, na qual se verifica que há uma relação explícita entre as áreas de solo exposto e o ano de 1999 marcada pelo eixo 1 (responsável pela explicação de 61,416% dos dados).

Já o eixo 2 é responsável por explicar 38,584% dos dados e observando-o, é possível verificar a vegetação rala e intermediária apresentam maior relação ao ano de 2009, enquanto a vegetação densa aproxima-se de 2019. As áreas de alagamento e espelho d'água sofreram pouca alteração ao longo dos anos, ficando mais próximas à junção dos eixos, assim como a área de vegetação nativa, que não sofreu alteração e permanece, portanto, sem correspondência com nenhum dos anos, sendo plotada no cruzamento dos eixos. A aplicação de χ^2 e p permitiram rejeitar H_0 , ou seja, os dados considerados apresentam relação, tornando viável a utilização do resultado para a descrição e interpretação dos dados correspondentes a este ponto de coleta.

Figura 21. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem Serra da Onça.

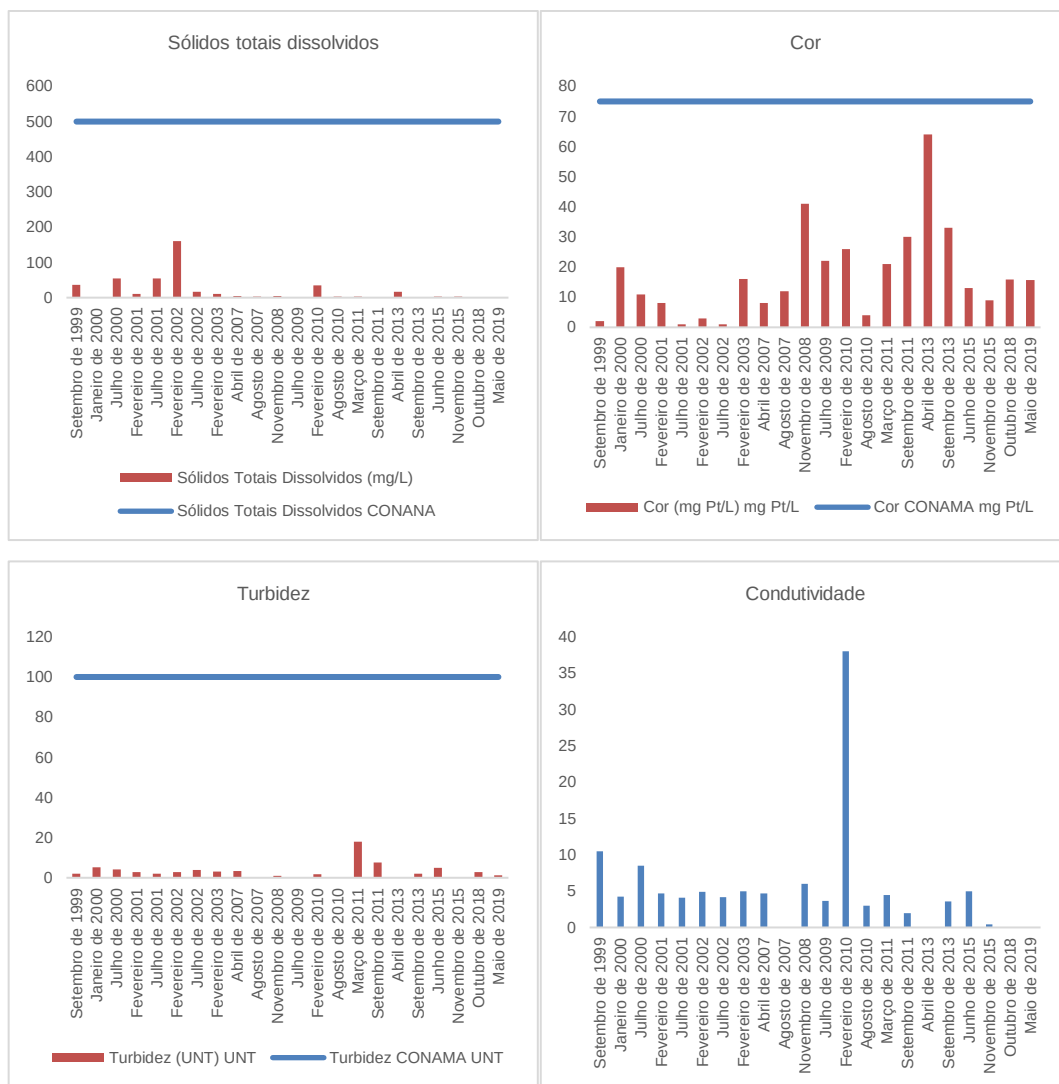


Fonte: Autoria própria.

Obs.: A análise de correspondência pode ser explicada em 61,416% pela Componente 1 e 38,584% pela Componente 2. O valor encontrado para χ^2 foi igual a 255,83, rejeitando, portanto, H_0 e confirmando a relação entre os dados analisados. O p -valor foi $< 0,05$ indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O coeficiente V de Cramer foi igual a 0,66074, indicando, segundo Aguilar Apolo (2017), alta associação entre os dados.

Tendo constatada a existência de correspondência entre os dados, prosseguiu-se com a avaliação dos dados referentes à qualidade da água no ponto Barragem Serra da Onça, onde, de acordo com a Figura 22, pode-se verificar que os parâmetros de cor, turbidez e sólidos totais atendem ao limite estabelecido pela legislação vigente. A condutividade elétrica apresentou-se mais elevada em 2010, encontrando-se cerca de 4 vezes mais elevada que a média das demais datas amostradas. Ressalta-se, no entanto, que os dados não apresentaram nenhuma relação entre si.

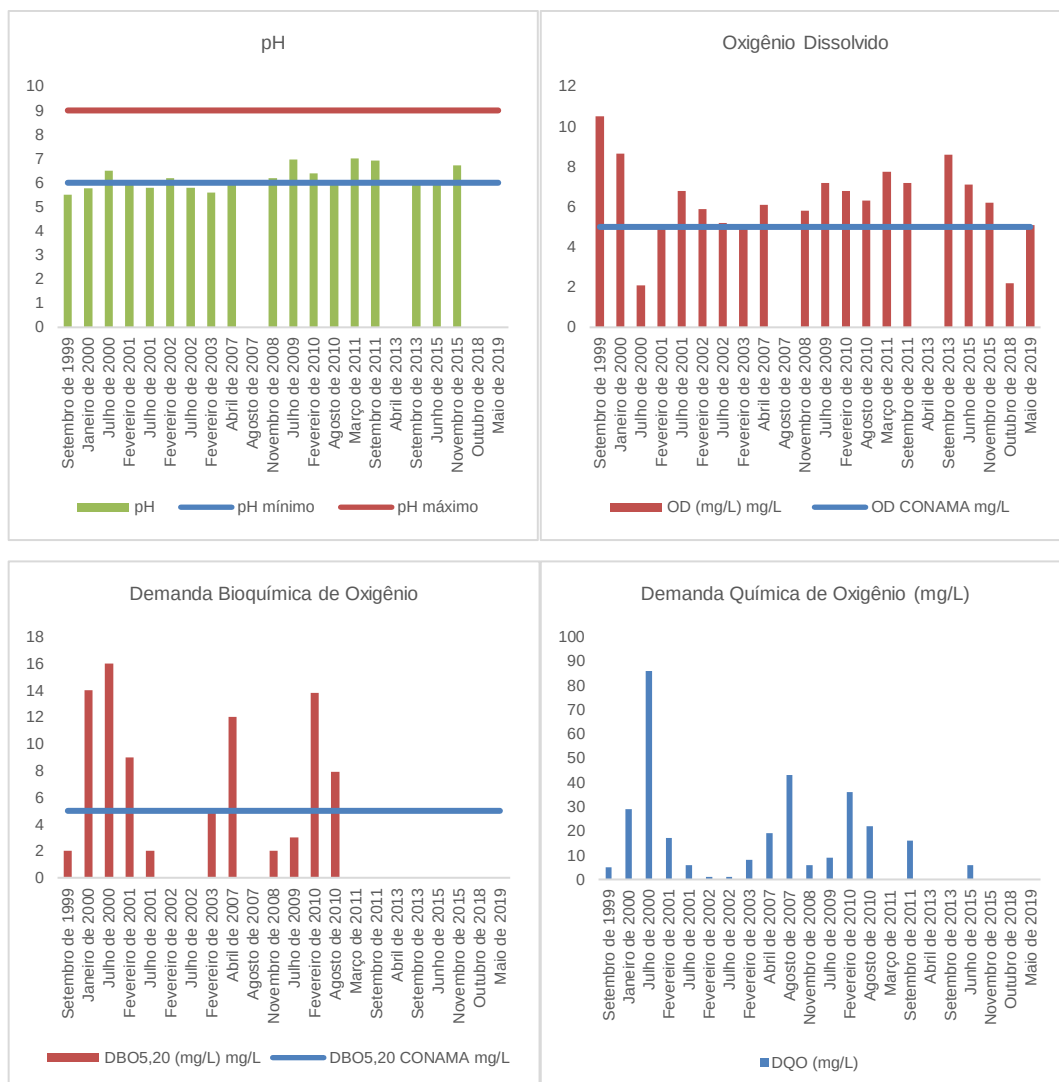
Figura 22. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

O pH apresentou valor levemente ácido (Figura 23), o que já é considerado normal nos igarapés amazônicos de acordo com o apresentado por Silva et al. (2018). As concentrações de oxigênio dissolvido, em 17 amostras analisadas, se apresentaram em concordância com o apresentado por Silva et al. (2018), estando entre 4,22 e 8,25 mg/L. A demanda bioquímica por oxigênio apresentou-se acima do limite máximo exigido pela legislação nos anos de 2000, 2001, 2007 e 2010, não tendo sido verificada relação com os demais parâmetros, a não ser com a condutividade no ano de 2010 (exclusivamente).

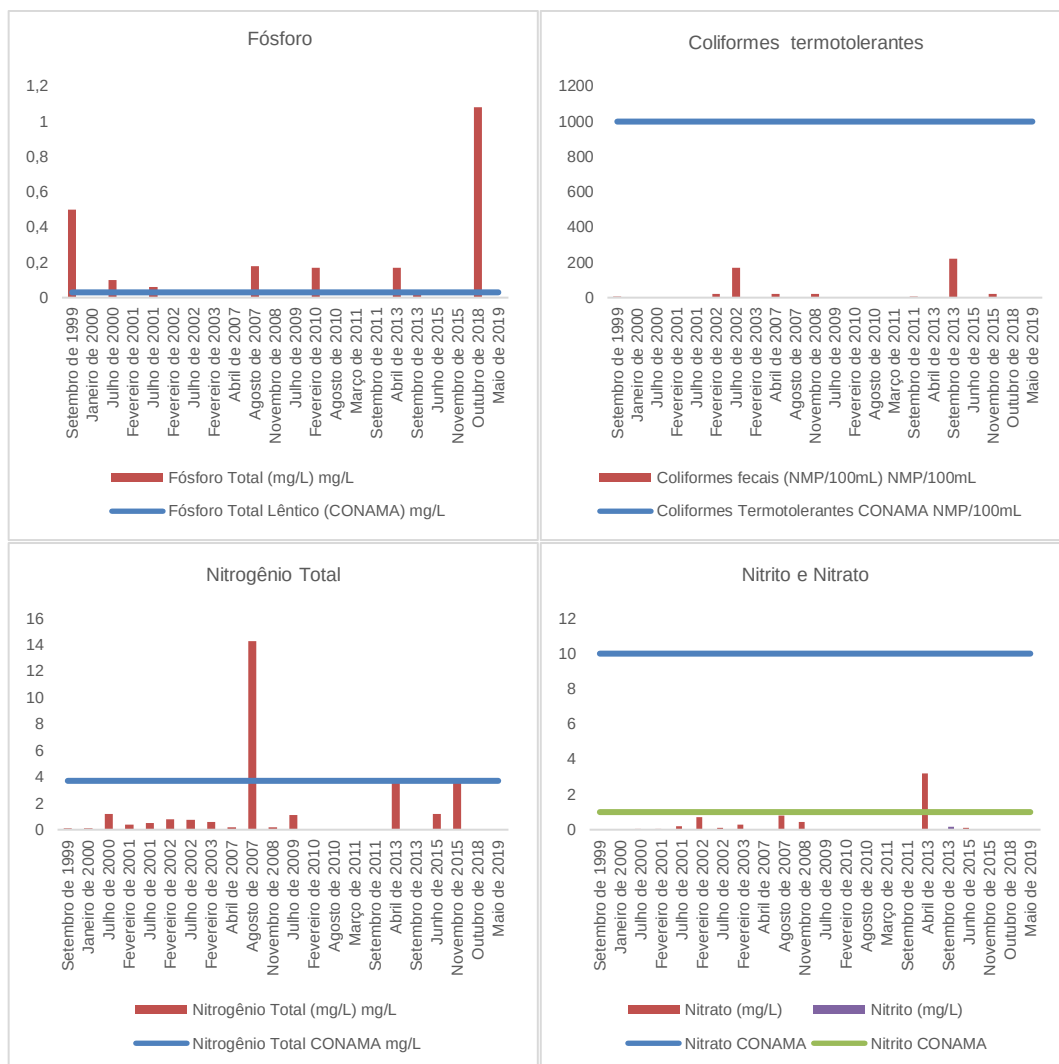
Figura 23. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 24, nota-se que os parâmetros fósforo, nitrogênio total e nitrato também apresentaram concentrações de destaque no ano de 2007, assim como a DBO e a DQO, o que permite concluir que houve interferência nesta data. Todos os parâmetros mencionados possuem relação com a presença de matéria orgânica, no entanto, com os dados obtidos não foi possível verificar nenhuma constatação sobre estas observações. As amostras de coliformes termotolerantes e nitrato se apresentaram dentro dos limites estabelecido pela legislação.

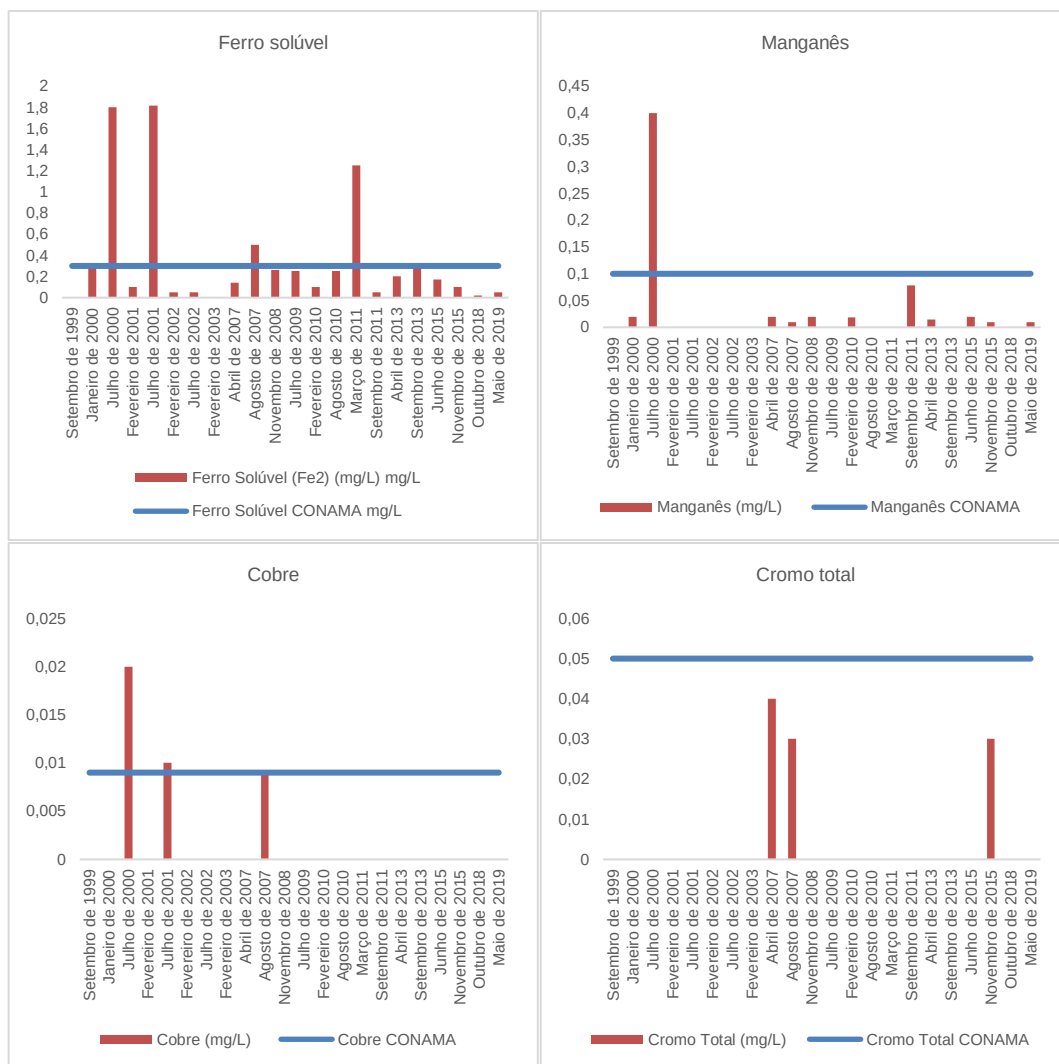
Figura 24. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 25 apresenta os resultados das análises de ferro, manganês, cobre e cromo. É possível verificar que no ano de 2000 houve um destaque para três dos metais mencionados (ferro, manganês e cobre), assim como a DBO e a DQO. Buscou-se alguma relação com a presença destes metais e a concentração de sólidos totais (almejando uma explicação natural relacionada à elevação das concentrações de metais associadas à dissolução pelo solo, conforme os autores Dacach (1979) e APHA (2017)), no entanto, nenhuma possível relação de causa e efeito foi observada.

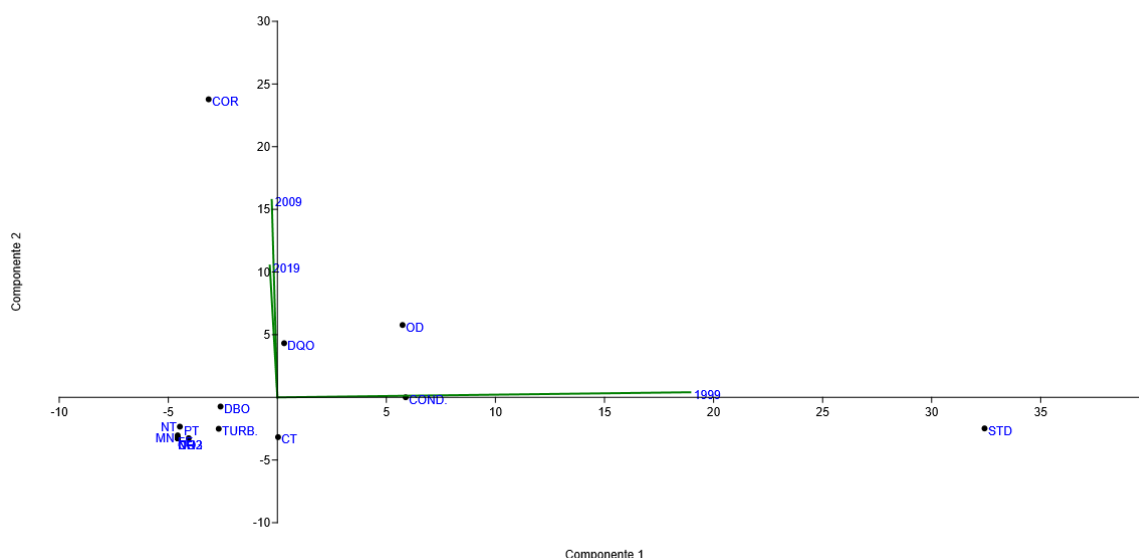
Figura 25. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

Para analisar os parâmetros em conjunto, elaborou-se uma ACP com os parâmetros de qualidade da água nos três anos analisados na Barragem Serra da Onça (Figura 26). Na figura é possível verificar que o ano de 1999 é majoritariamente influenciado pelo parâmetro de sólidos totais dissolvidos, sendo explicado pela componente 1, que corresponde a 63,492% da relação verificada, afastando-se dos demais parâmetros considerados. No entanto, quando se observa a componente 2 (35,005%), verifica-se uma relação entre a cor e os anos de 2009 (maiormente) e 2019.

Figura 26. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado barragem Serra da Onça.



Fonte: Autoria própria.

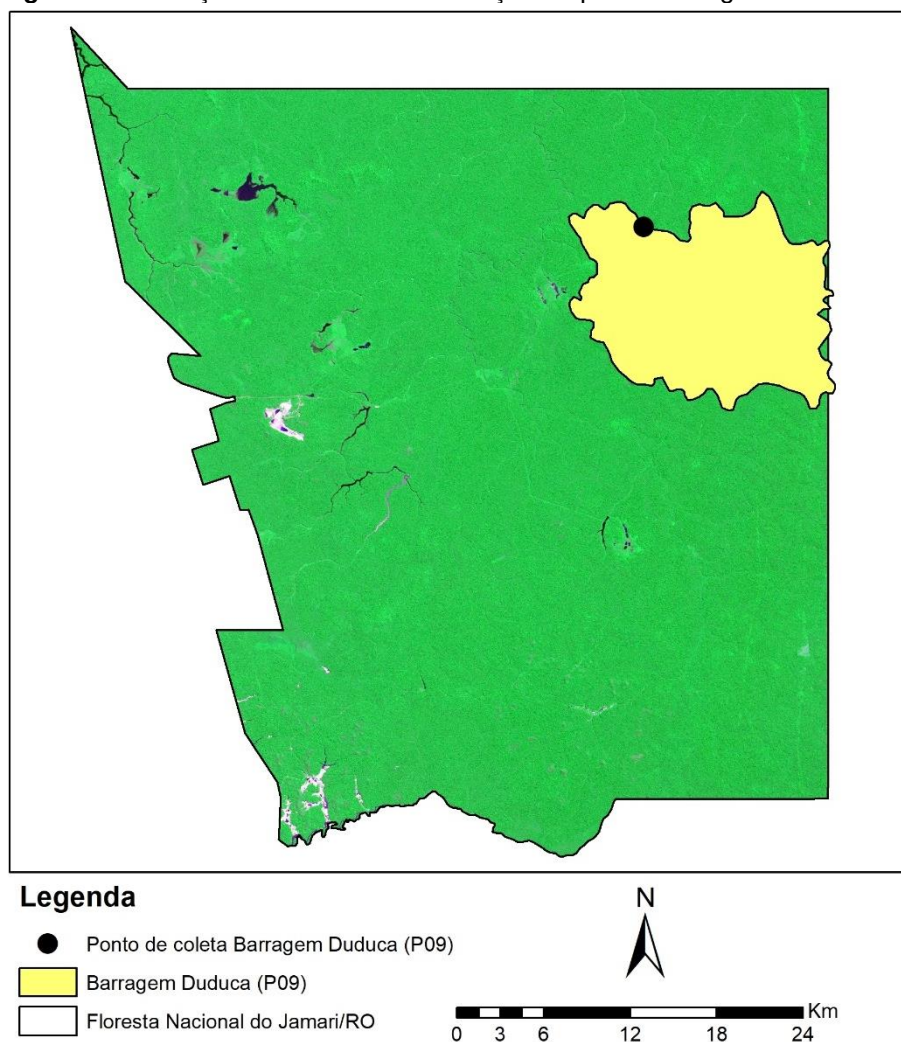
Obs.: As componentes 1 e 2 geradas na execução da ACP correspondem, respectivamente, a 63,492% e 35,005% de explicação para as variáveis analisadas. O p -valor foi $< 0,05$, indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O resultado do teste de esfericidade de Bartlett foi $< 0,05$, também rejeitando H_0 a 5% de significância. O resultado do teste KMO foi de 0,5 indicando inviabilidade de aplicação da ACP. Nomenclatura abreviada: Coliformes termotolerantes (CT); condutividade (COND.); turbidez (TURB.); nitrogênio total (NT); nitrato (NO_3); nitrito (NO_2); fósforo total (PT); cobre (CU); cromo total (CR); ferro solúvel (FE); manganês (MN) e Sólidos totais dissolvidos (STD).

Considerando, portanto, a análise de componentes principais realizada (para os parâmetros indicadores da qualidade da água) e a análise de correspondência (com os parâmetros de uso do solo) foi possível inferir que as áreas com solo exposto causam maior influência nos sólidos totais dissolvidos, o que é justificado pelo carregamento de partículas sólidas para o corpo d'água devido à ausência de camada protetora e ciliar, enquanto a cor verdadeira é o parâmetro que mais influenciou os anos de 2009 e 2019.

5.3.3 Barragem Duduca (P9)

Localizada na porção nordeste da Floresta Nacional do Jamari, a área de drenagem do ponto de coleta denominado Barragem Duduca apresenta-se 99,593% na área de abrangência da FLONA, sendo que os outros 0,407% ultrapassam o limite à leste da mesma (Figura 27). A parte externa à FLONA será apresentada em momento oportuno.

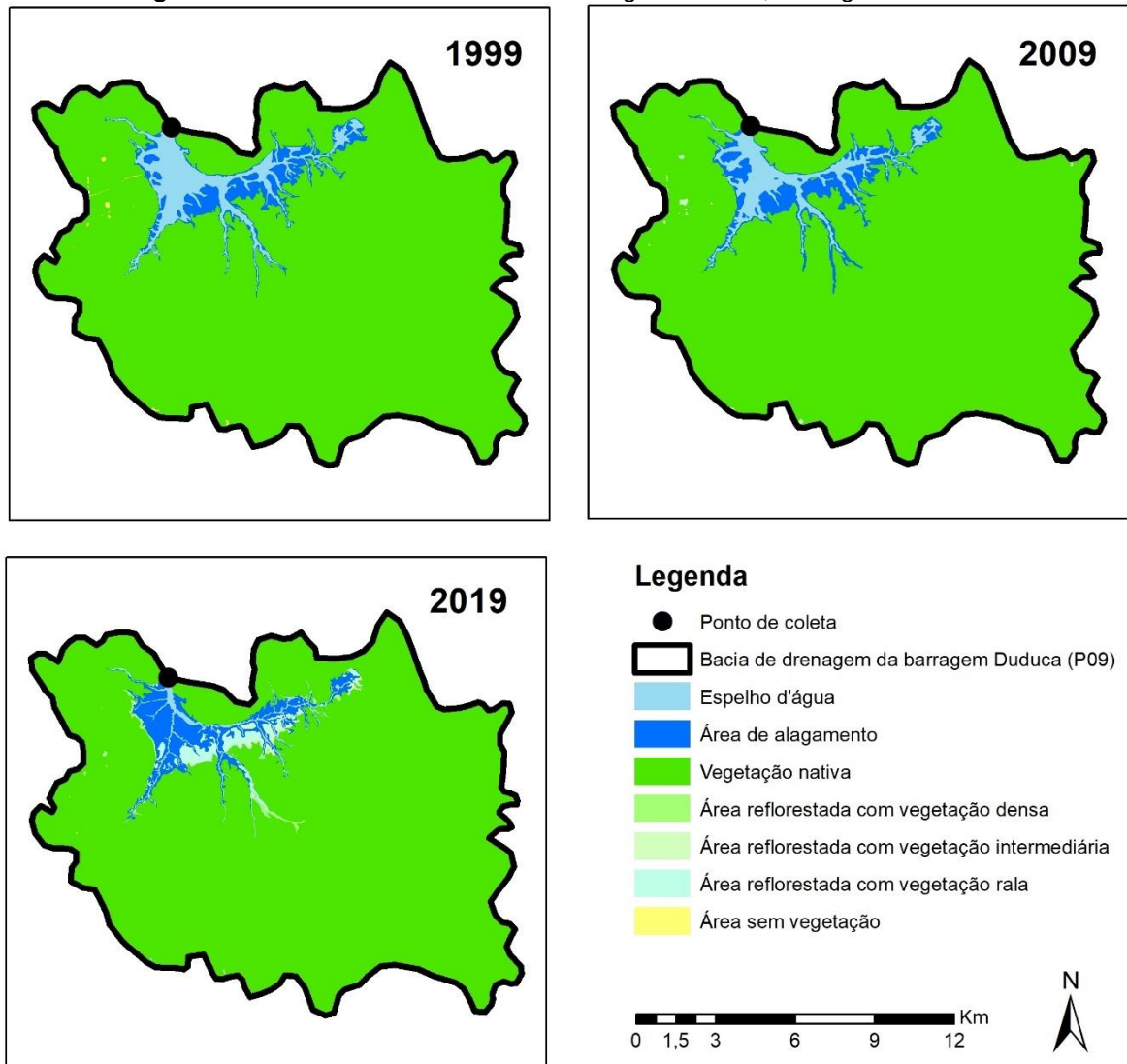
Figura 27. Indicação da bacia de contribuição do ponto Barragem Duduca.



Fonte: Autoria própria.

Os diferentes usos do solo dentro da área de drenagem foram verificados através da elaboração da Figura 28 e o compilado de informações apresenta-se na Tabela 3, onde se verificam algumas observações que divergem dos demais pontos já apresentados; a exemplo disto, menciona-se a vegetação nativa, que sofreu um aumento de 0,79% em sua área.

Figura 28. Usos do solo na bacia de drenagem do P09, Barragem Duduca.



Fonte: Autoria própria.

Esse acréscimo na vegetação nativa ocorreu pois em algumas áreas o próprio processo de regeneração natural permitiu que a vegetação existente fosse ocupando novamente seu espaço original (considerando a situação antes da retirada da cobertura vegetal para a mineração) e abrangeu espaços ocupados por outros usos do solo, neste caso as áreas que eram alagadas.

Vale comentar que isso ocorre pois ao longo dos 20 anos ocorreu a ciclagem natural dos nutrientes, ou seja, o próprio processo de queda das folhas, degradação da matéria orgânica e consequente fertilização do solo nas áreas próximas fizeram com que as áreas tivessem avanço, apesar deste ser considerando bastante lento.

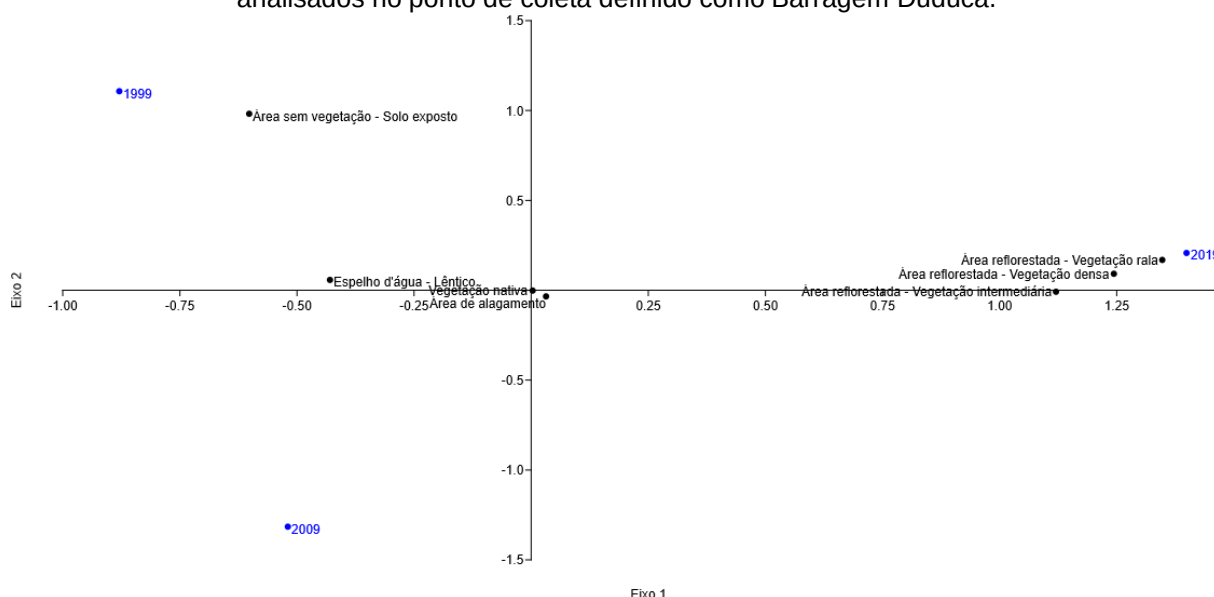
Tabela 3. Usos do solo em área e porcentagem de cobertura - bacia de contribuição do ponto de coleta denominado Barragem Duda - P09 (Área da bacia: 194,547Km²).

Usos do solo	1999		2009		2019	
	Área (Km²)	Porc. (%)	Área (Km²)	Porc. (%)	Área (Km²)	Porc. (%)
Espelho d'água - Lântico	8,338	4,29	6,635	3,41	2,378	1,22
Área de alagamento	7,063	3,63	7,772	3,99	7,839	4,03
Vegetação nativa	178,906	91,96	179,879	92,46	180,441	92,75
Área sem vegetação - Solo exposto	0,24	0,12	-	-	0,034	0,02
Área reflorestada - Vegetação densa	-	-	0,059	0,03	0,69	0,35
Área reflorestada - Vegetação intermediária	-	-	0,14	0,07	0,839	0,43
Área reflorestada - Vegetação rala	-	-	0,062	0,03	2,326	1,20

Fonte: Autoria própria.

Sendo assim, com os dados de uso e ocupação do solo já apresentados, elaborou-se uma análise de correspondência para verificar se há relação entre os usos do solo e os anos considerados neste estudo. Na Figura 29 verifica-se que apesar de haver uma boa distribuição visual dos dados, as chances de erro são muito grandes, indicando que quase não tiveram alteração ao longo dos anos, não havendo relação confiável entre os dados de uso e ocupação do solo e os anos analisados.

Figura 29. Análise de correspondência com dados de uso e ocupação do solo nos três anos analisados no ponto de coleta definido como Barragem Duda.



Fonte: Autoria própria.

Obs.: A análise de correspondência pode ser explicada em 95,946% pelo eixo 1 e 4,0539% pelo eixo 2. O valor encontrado para χ^2 foi igual a 3,9573, ou seja, os dados de uso do solo não podem ser correlacionados com os anos estudados. O *p-valor* foi 0,68 indicando, portanto, que H_0 foi aceito a 5% de significância e os dados não apresentam relação. O coeficiente V de Cramer foi igual a 0,082, indicando, segundo Aguilar Apolo (2017), baixa associação entre os dados.

Estes resultados estatísticos negando a relação entre os dados podem ser explicados pelo próprio gráfico gerado (Figura 29), na qual é possível verificar que o ano de 2009 ficou isolado de todos os demais componentes do gráfico. No entanto, considerando que o eixo 2 é responsável por explicar apenas 4,0539% dos dados apresentados, conclui-se que suas características apresentam relação mais forte com aquelas apresentadas em 1999, ou seja, sendo as áreas com solo exposto e áreas ocupadas por espelho d'água.

Mesmo não existindo diferença significativa entre os dados de uso do solo seguiu-se com a apresentação dos dados relacionados à qualidade da água em gráficos comparando as medições e os valores tabelados pelo CONAMA n.º 357/05. Nos gráficos apresentados pela Figura 30 é possível verificar que os parâmetros sólidos totais dissolvidos, turbidez e condutividade não apresentaram nenhuma relação entre si. A cor teve duas medições que ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, sendo uma em 2001 e outra em 2003, não apresentando nenhuma relação com os parâmetros já comentados.

Na Figura 31, apresentam-se os gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO, nos quais se verifica que no ano de 2011, houve a medição mais básica do pH (que ainda se encontrou dentro da faixa limítrofe aceita pela legislação) e a maior concentração de oxigênio dissolvido na água, enquanto as concentrações de demanda química e bioquímica de oxigênio se mantiveram zeradas.

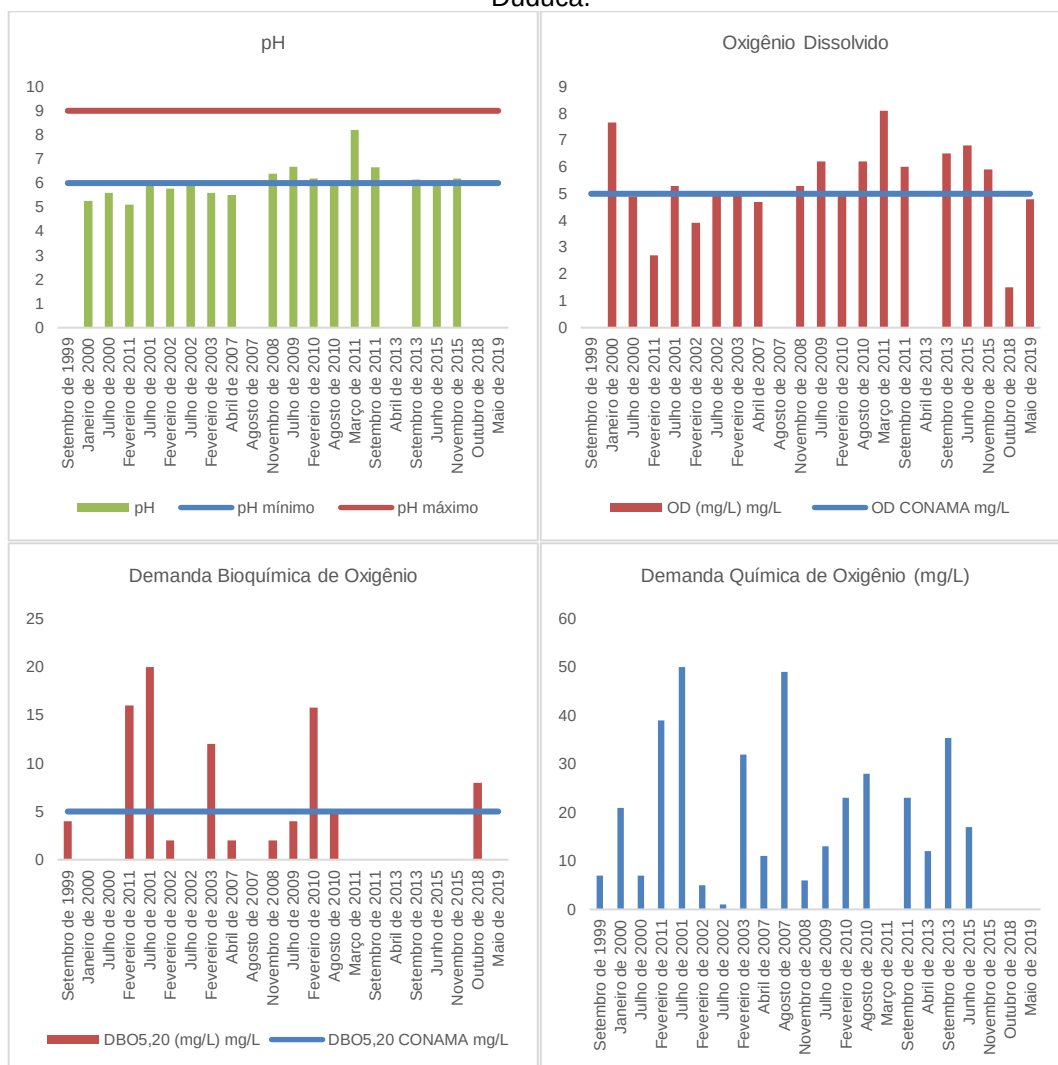
Figura 30. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Barragem Duduca.



Fonte: Autoria própria.

Estas constatações fazem pensar no fato de que água com presença de matéria orgânica apresenta o seu oxigênio dissolvido baixo (DINO; TOLEDO, 2020) devido à utilização do gás para manutenção do seu metabolismo, o que não acontece com a água da Barragem Duduca. Valores de pH elevados indicam uma água mais básica, ou seja, destoando do que foi apresentado por Pereira et al. (2013). No entanto, águas com pH mais elevado, segundo Dacach (1979) podem estar sofrendo interferências de diluição de carbonatos e bicarbonatos presentes em solos e rochas. Estas informações nos conduzem à direção de que os solos que drenam para a barragem estão com baixa disponibilidade de matéria orgânica e, provável, contato com rochas responsáveis pela liberação de tais compostos de características básicas à água.

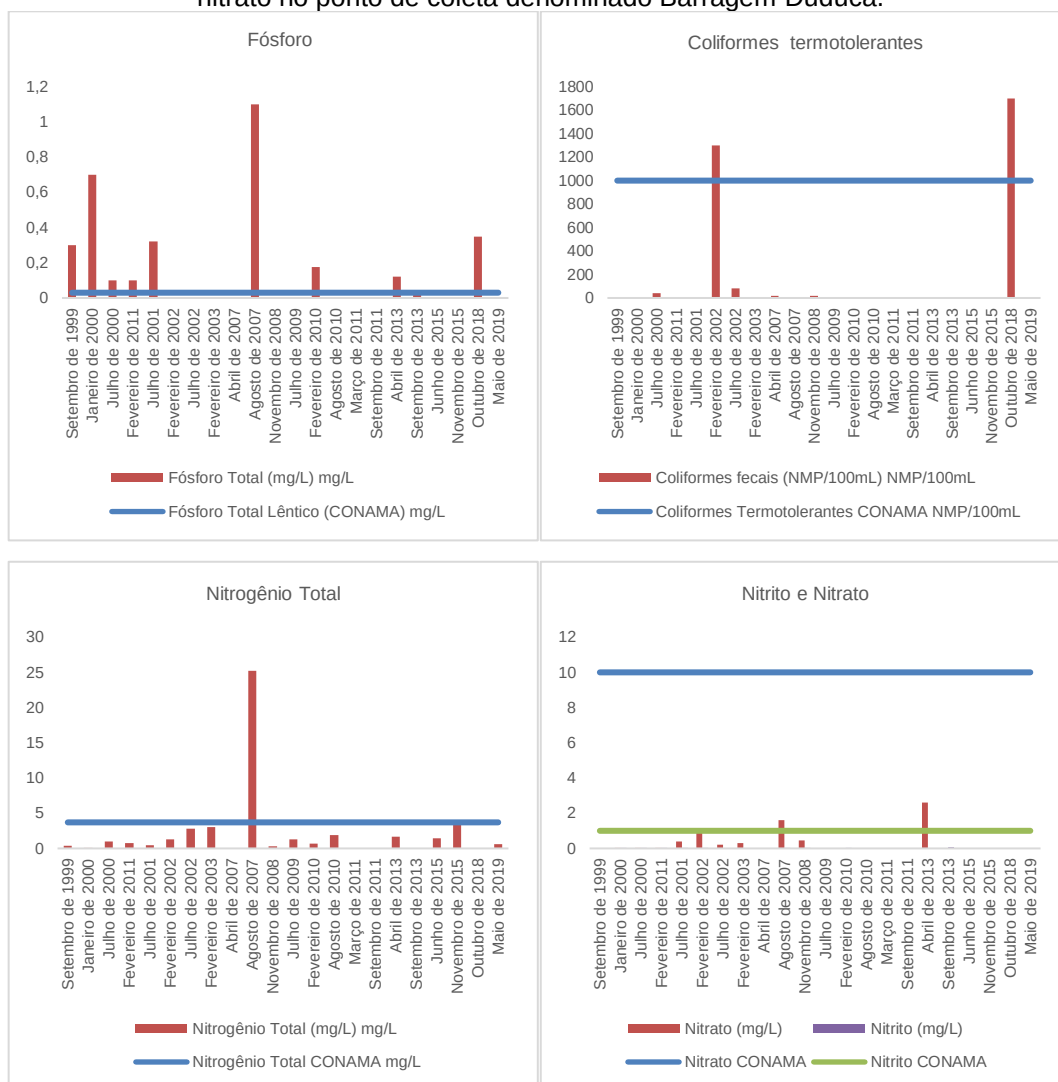
Figura 31. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Barragem Duda.



Fonte: Autoria própria.

Com relação aos coliformes termotolerantes (Figura 32), houve duas datas que apresentaram uma concentração acima do limite estabelecido pela legislação, sendo fevereiro de 2002 e outubro de 2018. Nesta segunda data também foi verificado que o oxigênio dissolvido esteve baixo e a demanda bioquímica de oxigênio esteve alta, o que pode indicar que houve algum tipo de lançamento indevido ou até mesmo, que tenha passado algum animal de sangue quente e disposto seus dejetos em algum local próximo do local da coleta, pois segundo APHA (2017) e Dino e Toledo (2020) ambas as situações estão relacionadas à presença de material orgânico. Os parâmetros nitrogênio, nitrito e nitrato não apresentaram nenhuma relação com a variação temporal.

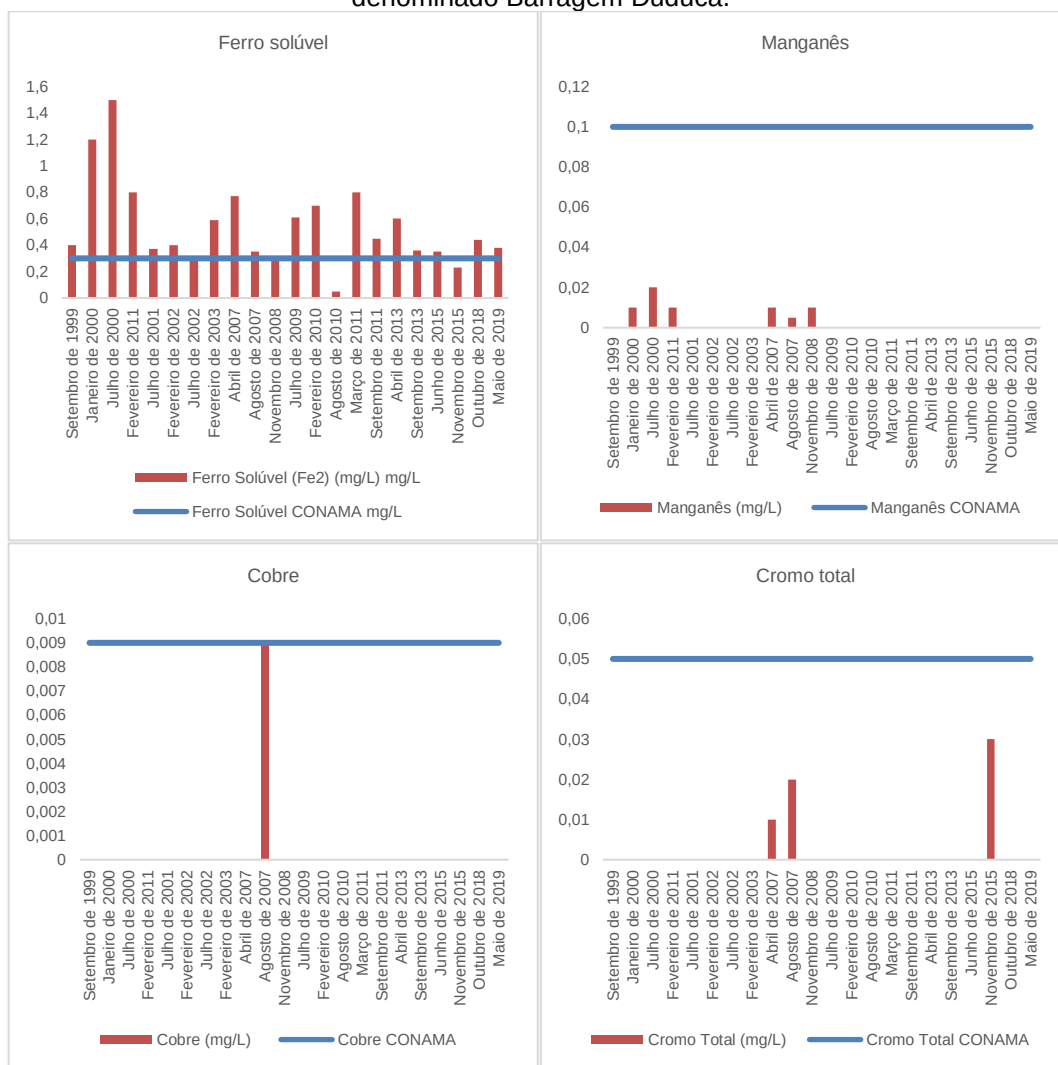
Figura 32. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Barragem Dudaça.



Fonte: Autoria própria.

Com relação aos metais analisados (apresentados na Figura 33) verifica-se que apenas o ferro se encontra em concentrações acima do limite estabelecido, sendo que também é possível concluir que tem havido uma diminuição discreta ao longo dos anos, porém as últimas medições ainda constataram concentrações acima da permitida pela legislação nacional utilizada. As concentrações elevadas de ferro sugerem que, conforme apresentado por Dacach (1979), as áreas pantanosas (nesse caso, áreas de alagamento) podem estar contribuindo para esta constatação. Os picos verificados para os parâmetros cobre e cromo não apresentaram relação com nenhum dado levantado neste estudo.

Figura 33. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Barragem Duda.

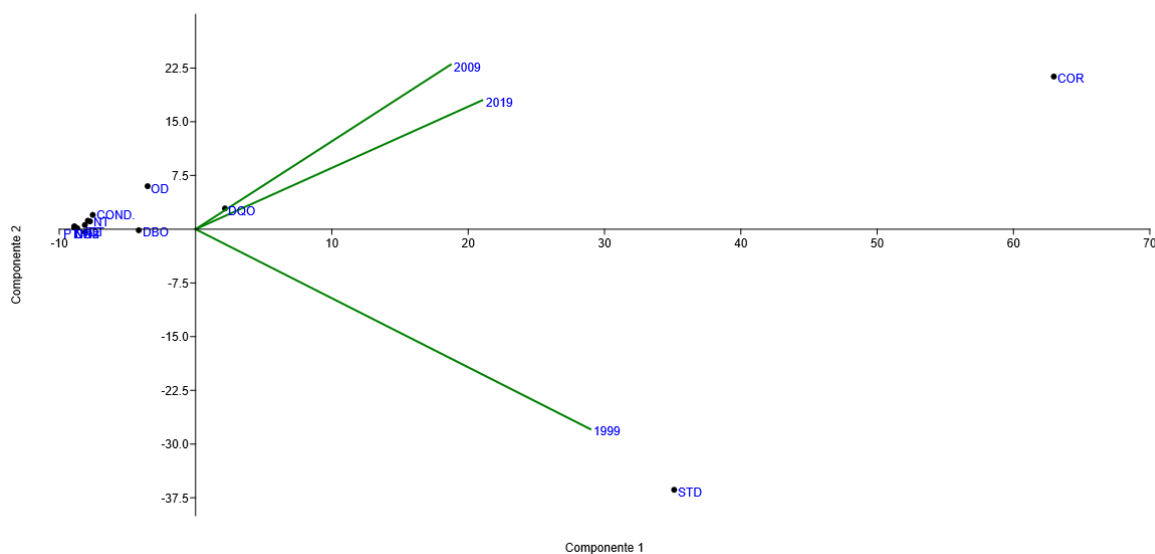


Fonte: Autoria própria.

Após a apresentação dos dados de qualidade da água e através dos gráficos individuais, ficou claro que não foi possível estabelecer nenhuma relação evidente entre os parâmetros e com o intuito de averiguar se há alguma relação elaborou-se a análise de componentes principais, conforme a Figura 38. A análise da ACP permite observar que o ano de 1999 foi mais influenciado pelos sólidos totais dissolvidos, enquanto os demais, pela cor verdadeira. Os demais parâmetros constituintes do gráfico não apresentaram relação com o período analisado.

Ressalta-se ainda que o fato de os demais parâmetros terem permanecido próximos ao cruzamento dos eixos indica que os mesmos não apresentaram diferenças significativas entre si ao longo dos três anos analisados.

Figura 34. Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros indicadores de qualidade da água que apresentaram variação considerando os três anos amostrados no ponto de coleta denominado Barragem Duda.



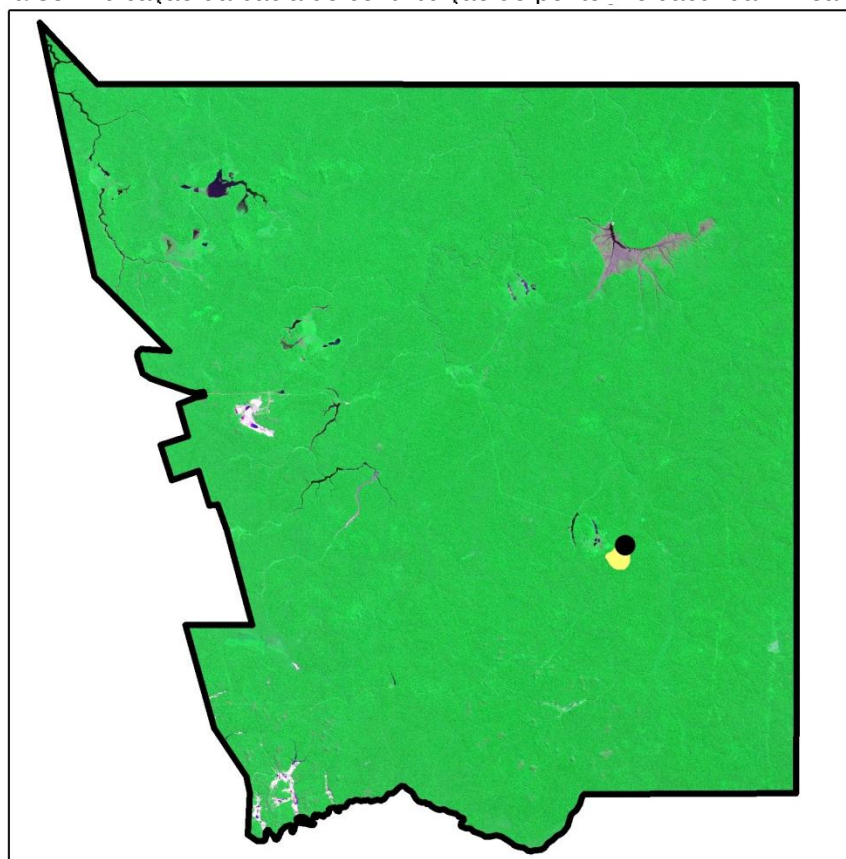
Fonte: Autoria própria.

Obs.: As componentes 1 e 2 geradas na execução da ACP correspondem, respectivamente, a 75,774% e 23,065% de explicação para as variáveis analisadas. O p -valor foi $< 0,05$ indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O resultado do teste de esfericidade de Bartlett foi $< 0,05$, também rejeitando H_0 a 5% de significância. O resultado do teste KMO foi de 0,54 indicando que a aplicação da ACP é viável, porém com mediocridade. Nomenclatura abreviada: Coliformes termotolerantes (CT); condutividade (COND.); turbidez (TURB.); nitrogênio total (NT); nitrato (NO3); nitrito (NO2); fósforo total (PT); cobre (CU); cromo total (CR); ferro solúvel (FE); manganês (MN) e Sólidos totais dissolvidos (STD).

5.3.4 Rio Jacundá - Área Benjamin (P11)

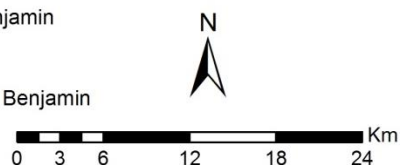
A bacia de drenagem do ponto denominado “testemunho”, localizado no Rio Jacundá, é indicada na Figura 35. Os dados referentes ao ponto denominado Rio Jacundá, Área Benjamin são apresentados nas Figuras 36 a 39. Na Figura 36 observa-se o atendimento à legislação dos parâmetros sólidos totais dissolvidos e turbidez. A condutividade elétrica apresentou pico na amostragem de março de 2011. Já a cor verdadeira apresentou concentrações acima do limite estabelecido em 12 das 22 datas amostradas, no entanto não foi verificada relação de causa e efeito.

Figura 35. Indicação da bacia de contribuição do ponto Rio Jacundá - Área Benjamin.



Legenda

- Ponto de coleta Rio Jacundá - Área Benjamin
- Limite da FLONA do Jamari
- Bacia de drenagem Rio Jacundá - Área Benjamin



Fonte: Autoria própria.

Figura 36. Gráficos dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, turbidez e condutividade no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.

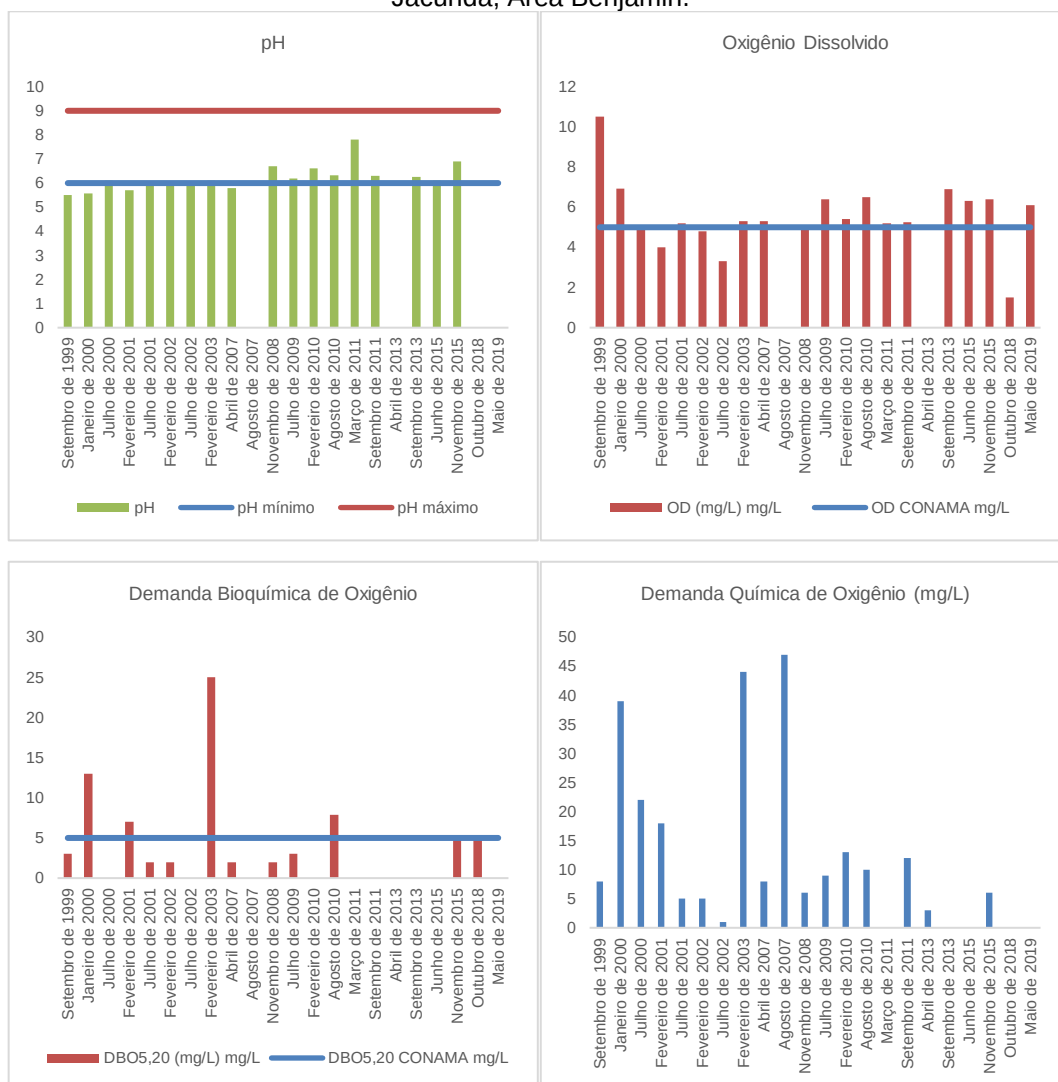


Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros sólidos totais dissolvidos e turbidez apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação e não foram verificadas relações entre eles ou com os outros parâmetros.

Na Figura 37 pode-se verificar que o pH passou a apresentar valores dentro da faixa limítrofe definida pela legislação a partir de 2008. As demandas química e bioquímica por oxigênio apresentaram-se elevadas na amostragem de fevereiro de 2003. Usualmente, quando há elevação nas demandas química e bioquímica, a concentração de oxigênio dissolvido reduz, pois indicam presença de matéria orgânica na água (DINO; TOLEDO, 2020). Porém, ao contrário do esperado, a concentração de oxigênio dissolvido se manteve dentro do estabelecido. Com relação ao pH, assim como nos demais pontos, valores em conformidade com a Resolução CONAMA n.º 357/2005 foram verificados a partir de 2008.

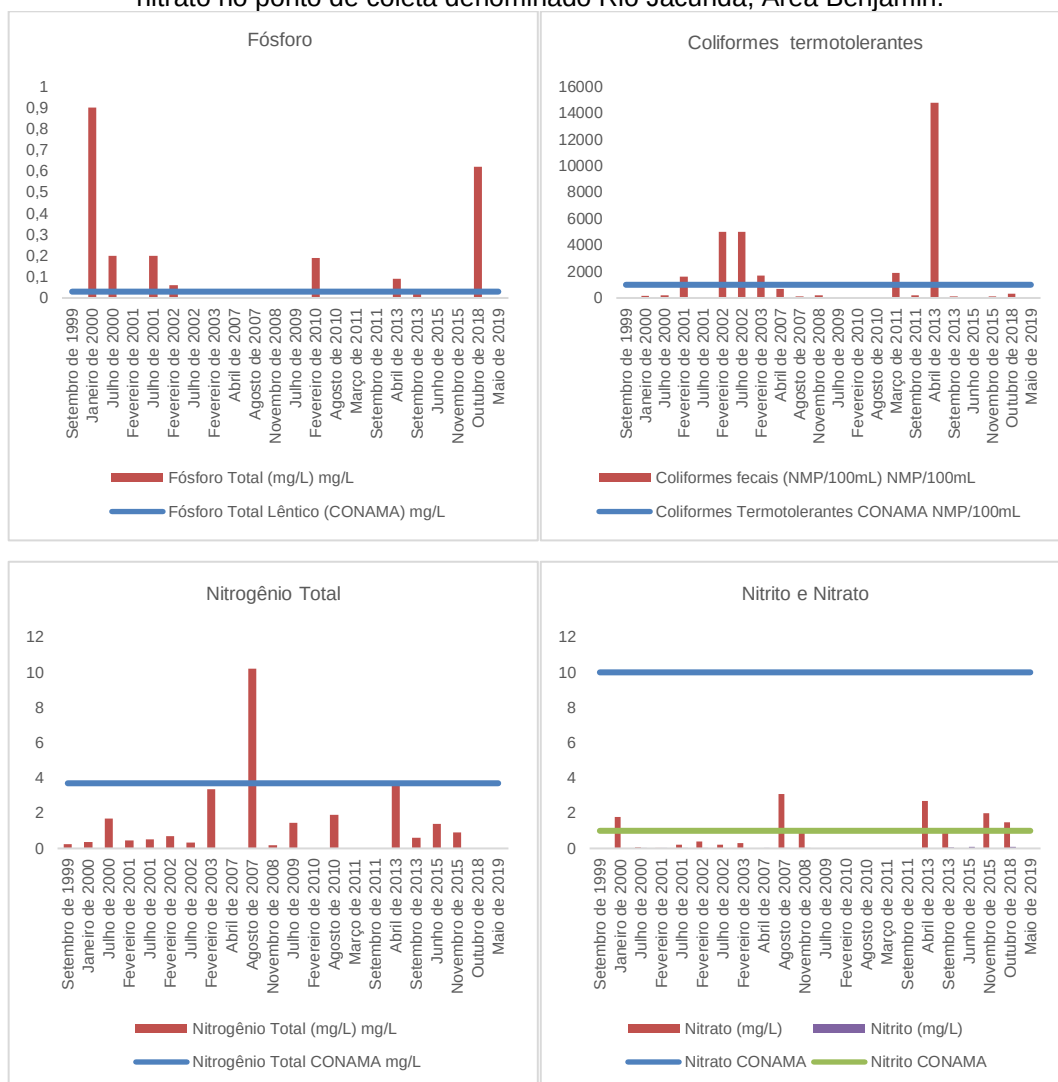
Figura 37. Gráficos dos parâmetros pH, OD, DBO e DQO no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 38 verifica-se mais uma vez que o nitrogênio em forma de nitrito e nitrato apresentam-se em conformidade com a legislação e o nitrogênio total também, com exceção da amostragem de agosto de 2007, a qual foi a única data que esteve em desconformidade. Já com relação ao fósforo verificou-se um pico na concentração na amostragem de janeiro de 2000, seguidos julho de 2000 e 2001 e fevereiro de 2010, todos em concentrações acima do permitido.

Figura 38. Gráficos dos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, nitrito e nitrato no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.

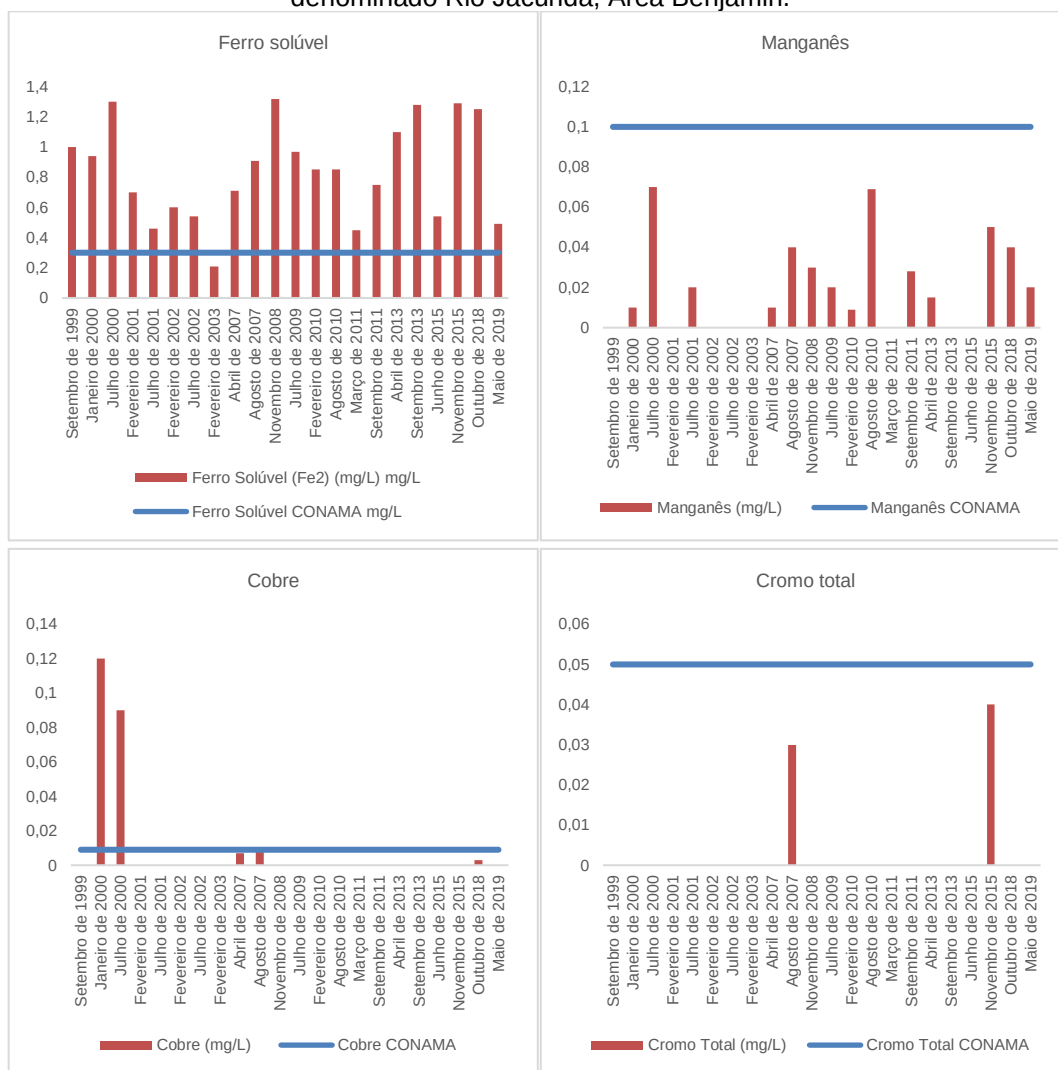


Fonte: Autoria própria.

A Figura 39 apresenta que em mais um ponto de amostragem as concentrações de ferro solúvel excederam o limite estabelecido de 0,3 mg/L para 21 das 22 amostras consideradas. Ressalta-se que se trata de um ponto onde a água pode invadir a área da floresta, conforme verificado na Figura 9, e segundo Dacach (1979) essa elevação pode ser verificada em áreas pantanosas (ou alagadas, como ocorre neste caso).

O cobre apresentou valores superiores nas amostragens de 2000. A data de janeiro de 2000 também chamou a atenção para este ponto de coleta, apresentando inconformidade para coliformes termotolerantes, cor, fósforo, DBO, OD, nitrogênio total, ferro e cobre, indicando que houve algum tipo de intervenção que não foi passível de identificação.

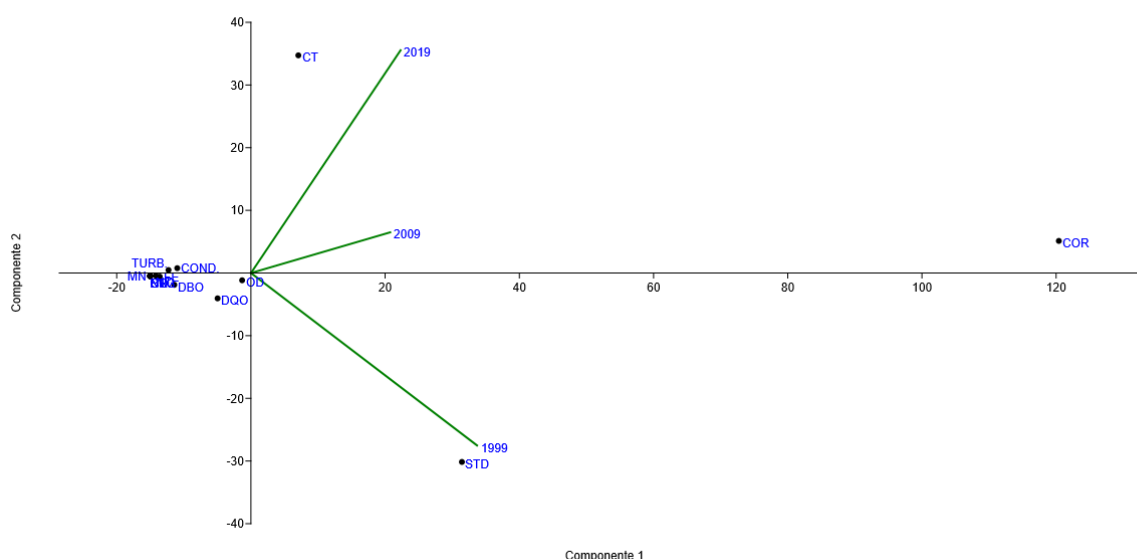
Figura 39. Gráficos dos parâmetros ferro solúvel, manganês, cobre e cromo total no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 40 apresenta a ACP elaborada para as análises do Rio Jacundá – Área Benjamin, na qual se evidencia pela componente 1 (que explica 85,612% dos dados) que os sólidos totais dissolvidos influenciaram maiormente o ano de 1999; enquanto a componente 2 (10,471%) indica uma forte influência dos coliformes termotolerantes no ano de 2019. Os demais parâmetros analisados localizam-se mais próximos do ponto 2009 e juntos localizam-se próximo ao cruzamento dos eixos referentes às componentes 1 e 2, indicando assim, que são parâmetros menos influenciadores nesta ocasião, tendo apresentado pouca variabilidade ao longo do tempo.

Figura 40. Análise de componentes principais (ACP) para todas as datas amostradas no ponto de coleta denominado Rio Jacundá, Área Benjamin.



Fonte: Autoria própria.

Obs.: As componentes 1 e 2 geradas na execução da ACP correspondem, respectivamente, a 85,612% e 10,471% de explicação para as variáveis analisadas. O p -valor foi $< 0,05$, indicando, portanto, que H_0 . O p -valor foi $< 0,05$ indicando, portanto, que H_0 foi rejeitado a 5% de significância e os dados apresentam relação. O resultado do teste de esfericidade de Bartlett foi $< 0,05$, também rejeitando H_0 a 5% de significância. O resultado do teste KMO foi de 0,73 indicando boa viabilidade de aplicação da ACP. Nomenclatura abreviada: Coliformes termotolerantes (CT); condutividade (COND.); turbidez (TURB.); nitrogênio total (NT); nitrato (NO₃); nitrito (NO₂); fósforo total (PT); cobre (CU); cromo total (CR); ferro solúvel (FE); manganês (MN) e Sólidos totais dissolvidos (STD).

Como este é o ponto considerado como testemunho, ele foi escolhido pelo seu distanciamento com as áreas de atividade minerária, sendo composto por 100% de cobertura vegetal nativa, por este motivo não foram elaborados: o mapa com os usos do solo e análise de correspondência (uma vez que não houve alteração na cobertura desta área).

6. DISCUSSÃO

É de suma importância as pesquisas que vinculam os usos do solo (avaliados por meio de sensoriamento remoto) com a qualidade da água, pois são estudos que relacionam a influência antrópica às bacias hidrográficas (DINO; TOLEDO, 2020; MENEZES et al., 2016). O monitoramento dos parâmetros de qualidade da água é fundamental pois os mesmos podem ser influenciados pelas alterações dos usos do solo e cobertura vegetal (OKUMURA et al., 2020).

Destaca-se ainda que os fatores naturais e antrópicos ditam o comportamento de uma bacia hidrográfica, sendo que as atividades humanas interferem de maneira direta e indireta no funcionamento do sistema (ZEINALZADEH; REZAEI, 2017; SANTOS et al., 2019; OKUMURA et al., 2020). Alguns autores apontam também que a identificação e a compreensão das relações existentes são essenciais à gestão integrada de qualidade dos recursos hídricos (RODRIGUES et al., 2018).

Isso se dá pois tudo o que acontece em uma bacia hidrográfica pode ser refletido direta ou indiretamente na qualidade da água, isso ocorre, pois, a ação da gravidade atua em todos os componentes. Mesmo que uma alteração ocorra no ponto de maior distância (entre o divisor de águas e o recurso hídrico), alterações podem ser verificadas.

A apresentação dos dados levantados (compilação dos resultados das amostragens de água ao longo dos 20 anos estudados e a elaboração das imagens com as delimitações de uso e ocupação do solo nas três datas definidas para estudo) permitiu que se fizessem algumas observações e discussões sobre essas relações importantes.

Neste sentido, inicia-se esta discussão afirmando que as análises de correspondência se mostraram eficazes à discussão para verificação e identificação de relação entre os usos do solo no decorrer dos 20 anos analisados. No entanto, a análise individualizada dos pontos com relação à qualidade da água foi efetuada com base nas análises de componentes principais.

As análises de correspondência validaram a relação evolutiva dos usos do solo apenas nos pontos P1 e P5, quando houve a rejeição de H_0 e consequente confirmação, que há relação entre as alterações nos usos do solo no decorrer dos 20 anos estudados. No P9 a AC aceitou H_0 , o que implica na não correspondência entre os dados; já no P11 não se aplicou a AC pois não houve alteração no uso do solo.

Apesar da AC não se mostrar válida para avaliação dos usos do solo na Barragem Duduca, a observação dos dados isolados (Tabela 3) permitiu verificar a mesma tendência observadas nos pontos P1 e P5. As constatações permitem afirmar que a recuperação de áreas degradadas no interior da FLONA do Jamari avaliada pelos pontos em questão está atendendo ao sucesso almejado, indicando que as áreas reflorestadas estão se aproximando do cenário ideal (vegetação nativa).

Os pontos P1 e P5 são localizados em lagos formados por cavas mineradas (conforme se apresentaram nas Figuras 6 e 7). As cavas foram abertas para possibilitar a retirada de matéria mineral do subsolo, no entanto, a movimentação é intensa e inviabiliza a reconstrução topográfica, deixando aberto o local escavado e, eventualmente, o regime hídrico local se encarrega de ocupá-lo. Segundo Santos, Barros e Bárbara (2020) as cavas, também conhecidas como lagos de mineração ou *pit lakes*, são considerados um problema ambiental emergente. Isso ocorre pois se consolidam como sistemas completamente diferentes dos ambientes formados naturalmente apresentando processos ambientalmente complexos.

Santos, Barros e Bárbara (2020) levantaram que ao redor do mundo os lagos de mineração têm sido utilizados para abastecimento público, paisagismo, recreação, irrigação e aquicultura e comentam ainda que os possíveis usos devem considerar a qualidade da água superficial disponível para a utilização prevista. Søndergaard et al. (2018) ressaltam a importância de se verificar a qualidade da água antes de definir seu uso, uma vez que pode se consolidar como um potencial risco aos seres vivos.

No entanto, quando se trata de lagos minerados no interior de uma unidade de conservação com usos restritos, a destinação e os possíveis usos futuros desses lagos tornam-se inflexíveis. Uma Floresta Nacional apresenta-se como uma UC de uso sustentável e os usos permitidos em sua área de abrangência são restritos. Assim, fica impossibilitada a destinação dos lagos para outros possíveis usos, mantendo as grandes cavas abertas como componentes paisagísticos. Após a longa exposição e uso das áreas é fundamental que se defina um período para que o ecossistema volte a se equilibrar e as espécies passem a desempenhar suas funções novamente.

Mesmo se tratando de dois lagos de mineração, os pontos P1 e P5 mostram-se diferentes. Isso ocorre pois o P1 tem ligação contínua com uma porção desviada do Igarapé Japiim (Figura 41), além de que o mesmo é o último ponto de acesso antes do escoamento para o lago da Barragem da Hidroelétrica de Samuel (lago da barragem apresentado na Figura 42). O desvio do Igarapé Japiim foi realizado para

que o volume de água ocupasse a cava já minerada e assim se pudesse, posteriormente, utilizar a água em outro processo componente da mineração denominado de lavagem. A ocupação deste ambiente pela ictiofauna ocorre, portanto, pela montante e pela jusante, justificando os indivíduos que se observou na visita de campo.

Figura 41. Desvio do Igarapé Japiim para ocupação da cava. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 42. Lago formado pela barragem da Hidroelétrica de Samuel. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

O P5 (Barragem Serra da Onça), é um ambiente de ligação intermitente, ou seja, sempre há água no lago, no entanto, nem sempre o lago permanece conectado ao Igarapé Inox. Isso ocorre devido ao fluxo de água no período de estiagem. O ambiente também apresenta ictiofauna com diversidade de peixes e isso se justifica pela ligação que existe em períodos de chuva intensa, quando o lago se liga ao Igarapé e permite, portanto, a entrada de ictiofauna.

Os pontos P5 e P11 são de primeira ordem, ou seja, são formados por uma única nascente; ainda, foram os pontos que apresentaram as maiores concentrações de oxigênio dissolvido nas amostras de água (verificadas nas Figuras 23 e 37). Essa relação também foi verificada por Menezes et al. (2016), quando constatou que a proximidade com as cabeceiras implica em concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido. Os autores constataram ainda que apesar dos distintos usos do solo verificados nas bacias hidrográficas há uma tendência de manutenção da vegetação protetora da nascente que faz a função de filtro.

O ponto P9 (Barragem Duduca) não foi utilizado como área direta da mina pois a barragem foi construída para possibilitar a captação de água do Igarapé Forquilha para utilização no processo de desmonte hidráulico, processo este definido como padrão na mineração de estanho, desprezando o uso de compostos químicos e minimizando, portanto, a geração de danos ambientais mais severos. O Lago da Barragem Duduca sofre os efeitos da estiagem e do período chuvoso, o que ocorre devido à variação mensal do regime hídrico.

Na Figura 43 é possível observar a área de alagamento, que no momento da captura da foto estava seca, porém em época de chuvas intensas o nível da água se eleva ocupando toda a área aparente. A Tabela 3 apresentou as proporções de cada uso do solo para o ponto em discussão, nela possibilitou-se verificar que com a diminuição do nível da água (que ocupava 4,29% da área em 1999 e passou a ocupar 1,22% em 2019) houve um aumento de cerca de 11% das áreas de alagamento, concomitantemente foi verificado um aumento nas áreas de vegetação nativa (que ocupavam 91,96% em 1999 e passaram a ocupar 92,75% em 2019), o que indica que a vegetação nativa está avançando (mesmo que lentamente) para as áreas que já não são mais alagadiças.

Figura 43. Área de alagamento da Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

Esse avanço da vegetação nativa através de regeneração natural para as áreas antes ocupadas por alagamento pode ser relacionado à disponibilidade de nutrientes e capacidade de armazenamento de água desse solo. As áreas de alagamento sofrem a decomposição do material orgânico que se sedimenta ao fundo do corpo d'água. A decomposição, que é responsável pela produção de ácidos húmicos e fúlvicos (OLIVEIRA et al., 2017; DE JULIO, 2005), fornece os nutrientes necessários para o desenvolvimento da vegetação, enriquecendo este húmus.

As áreas de alagamento às margens do lago Duduca não sofreram diretamente com a mineração, pois o lago foi formado por um barramento, diferente dos demais pontos apresentados. Assim sendo, o sombreamento parcial nas áreas imediatamente próximas à vegetação nativa existente, associado ao solo com características húmicas favorecem o processo de regeneração natural no local (ALVIM; NOGUEIRA, 2017).

Essa redução no volume d'água da barragem pode estar associada a um desvio da água (Figura 44) realizado para atender à demanda de outro local minerado. Observa-se que a alteração no regime hídrico envolve movimentação de solo, o que acaba dificultando (ou impossibilitando momentaneamente) a ocupação das margens pela vegetação (considerando o cenário de regeneração natural do meio). Nas laterais se vê vegetação nativa e logo ao fundo a barragem que escoar para o novo canal.

Figura 44. Desvio das águas da Barragem Duduca. Captura da imagem: 31 de maio de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

A indústria que abrange o setor da mineração é responsável por 7% do consumo de toda água utilizada em território nacional, perdendo apenas para a irrigação e abastecimento público. Esse fato reforça a necessidade de monitoramento e gerenciamento das áreas utilizadas (FREITAS, 2012).

O volume de água em lagos utilizados para a geração de energia não deveria ser alterado (reduzido) para que não sejam verificados impactos relacionados à capacidade de geração de energia elétrica. No entanto, Freitas (2012) verificou impactos na ordem de 3,5 a 8,3% na capacidade de geração de energia devido a captações outorgadas no estado de Minas Gerais, que fazem com que a disponibilidade hídrica da barragem seja reduzida.

Segundo a ANA (2006), não são raros os projetos que envolvem o desaguamento para, por exemplo, a lavagem de minérios ou mesmo para a utilização em outras atividades do processo de mineração. Estes projetos podem promover o rebaixamento do lençol freático dependendo do volume de água demandado e do plano de gestão dos recursos hídricos empregado, o que acaba impactando regime hídrico local.

Diante do exposto, a Tabela 4 apresenta um compilado dos resultados obtidos em todos os pontos analisados indicando qual o parâmetro de qualidade da água e qual o uso do solo que mais influenciou em cada ano estudado.

Tabela 4. Compilado de resultados.

Ponto	Ano	Parâmetros de qualidade da água	Usos do solo
P1	1999	Sólidos Totais Dissolvidos	Área sem vegetação
	2009	Cor	Área reflorestada – Veg. Rala
			Área reflorestada – Veg. Intermediária
P5	2009	Cor	Área de alagamento
	2019	Cor	Área reflorestada – Veg. Densa
			Área sem vegetação
P9	1999	Sólidos Totais Dissolvidos	Área sem vegetação
	2009	Cor	Área reflorestada – Veg. Rala
			Área reflorestada – Veg. Intermediária
P11	2009	Cor	Área de alagamento
	2019	Cor	Área reflorestada – Veg. Densa
			Área reflorestada – Veg. Intermediária
P11	1999	Sólidos Totais Dissolvidos	Área sem vegetação
	2009	Cor	-
	2019	Coliformes Termotolerantes	Área reflorestada – Veg. Rala

Fonte: Autoria própria.

De acordo com o apresentado na Tabela 4, nos pontos P1 e P5 existe uma relação entre os usos do solo e a qualidade da água, sendo que no ano de 1999 foi mais influenciado pelas áreas sem vegetação e o parâmetro de qualidade da água mais indicado foram os sólidos totais dissolvidos, o que vai de acordo com o apresentado por Dino e Toledo (2020), uma vez que na ausência de vegetação verifica-se o carreamento de sedimentos para o corpo d'água.

Com relação às análises de componentes principais elaboradas para avaliação da qualidade da água apresentam uma compreensão mais adequada sobre as possíveis relações entre os dados considerados neste estudo, deixando de lado algumas relações ocultas entre as variáveis e reduzindo o conjunto complexo à fatores reduzidos com maior simplicidade de interpretação (WANG et al., 2017). O *p*-valor e o teste de esfericidade de Bartlett viabilizaram a aplicação da ACP a 5% de significância para os 4 pontos analisados, no entanto o teste KMO apresentou valores que inviabilizam a ACP para três pontos analisados (P1, P5 e P9). Esta observação sobre a inviabilização indicada pelo teste KMO pode ser explicada pela quantidade de dados imputados para a elaboração da ACP, já que, segundo Matos e Rodrigues (2019), o ideal é que houvesse, no mínimo, 5 vezes mais amostras do que o número de variáveis.

As análises de água de todos os pontos estudados apresentaram nas medições de pH uma tendência à neutralidade a partir da amostragem de 2008; assim como

(também para todas as datas) os sólidos totais dissolvidos sofreram redução na concentração de 1999 a 2019. Além destes parâmetros, as análises de componentes principais dos quatro pontos (com exceção do ponto da Barragem Duduca – P9 pois não foi validada) apresentaram relação da cor verdadeira com os anos de 2009 e 2019. Estas observações indicam que a qualidade da água nos pontos analisados exibe conformidade com o que se espera para a qualidade da água local, uma vez que o ponto P11 – Área Benjamin foi considerado como ponto testemunho, pois não sofreu nenhuma interferência antrópica no uso do solo de sua área de drenagem.

No entanto, essa constatação ocorreu para todos os pontos analisados, sempre em 1999, até mesmo no caso da Barragem Duduca que aceitou a hipótese nula de não relação entre os dados e para o ponto testemunho, localizado no Rio Jacundá. Buscando entender o que houve para justificar esta relação, verificou-se os meses de coleta das amostras de água, o que também não trouxe nenhuma possível justificativa, já que as amostras foram coletadas nos meses de setembro, junho e maio (1999, 2009 e 2019), sendo todos eles considerados meses secos. Segundo Lucas et al. (2020) os meses de maio a setembro são meses com menores índices de pluviosidade na região amazônica.

A cor verdadeira analisada nas amostras de água e verificadas em concentrações mais elevadas podem ser verificadas em condições em que se verifica atividade decompositora. As condições do solo que contribuem para o desenvolvimento da atividade microbiana também são aquelas que favorecem o desenvolvimento das plantas. Essas condições, em sua maioria, estão relacionadas à disponibilidade de nutrientes e de água fornecidas pela argila e pelo húmus (RAMOS et al., 2021). Esta relação entre o desenvolvimento vegetativo e a disponibilidade de nutrientes no material húmico justificam a elevação do parâmetro cor nas amostras de água. Segundo Oliveira et al. (2017) a atividade de decomposição produz ácidos húmicos e fúlvicos que podem alterar a cor em amostras de água.

Ressalta-se, a importância do acompanhamento preciso dos índices pluviométricos em estudos de qualidade das águas, pois uma chuva que tenha ocorrido horas antes da coleta da amostra pode ter um efeito bastante perturbador na qualidade das águas superficiais.

Exclusivamente no ponto P11 observou-se forte influência da presença de coliformes termotolerantes no ano de 2019. Procurando entender o que pode ter influenciado o resultado buscou-se, no Apêndice A, os resultados dos demais anos

analisados onde foi possível observar que, dos quatro pontos considerados, o ponto P11, que é o mais preservado, foi o que apresentou a maior incidência de coliformes termotolerantes. Quando se analisa dentro de um espectro macro, não se identifica nenhuma relação de causa e efeito, no entanto, quando se analisa o micro, com informações mais específicas que possam envolver o ponto em questão, levanta-se o fato de que se trata de um local onde é verificada a circulação de pessoas esporadicamente. No dia em que a visita à área foi realizada, encontrou-se um grupo de pessoas no local com a justificativa de que iam pescar. A foto da embarcação pôde ser verificada na Figura 9. Outra situação que pode justificar é: tendo em vista que se trata da única área inteiramente preservada dentre as analisadas, pode ocorrer uma maior circulação de animais, em especial os de sangue quente, como os macacos por exemplo, que expelem coliformes termotolerantes em seus dejetos, assim como os humanos. A constatação da presença de coliformes termotolerantes na área denominada de testemunho exhibe resultado semelhante ao observado por Menezes et al. (2016), que verificaram a presença dos mesmos nas áreas mais preservadas estudadas por eles.

Foram avaliadas ainda as concentrações de estanho (objeto da extração das áreas consideradas neste estudo) disponível na água superficial nos ambientes estudados e verificou-se que, por vezes, não foi atingido o limite mínimo de detecção dos equipamentos utilizados, indicando uma concentração baixa e atendendo à legislação. Apesar de Garcês (2015) ter verificado o acréscimo nas concentrações de estanho no ambiente quando analisou as matrizes de solo, sedimento e água superficial *de charco* nos ambientes de disposição da cassiterita e dos resíduos oriundos de seu processamento, tal constatação não foi concernente ao verificado nas áreas estudadas nesta FLONA.

Os estudos baseados em bacias hidrográficas são fundamentais, pois elas são importantes no auxílio à identificação, mensuração, diagnóstico e gestão dos recursos naturais; estes levantamentos proporcionam uma boa avaliação da interação dos aspectos físicos e os usos do solo dentro de sua área de abrangência (DINO; TOLEDO, 2020; SILVA et al., 2017).

Foi observado que quando se trata de bacias hidrográficas com maiores áreas de drenagem, como foi o caso da bacia de contribuição do P9 – Barragem Duduca, os resultados não são apresentados com clareza, o que dificulta a discussão dos dados. Os coeficientes V de Cramer verificados para as análises de correspondência,

quando verificados juntos da área total de cada bacia de drenagem, possibilita a observação de que há uma relação inversamente proporcional, sendo que quanto maior a bacia de drenagem, menor o coeficiente V de Cramer:

- P5 (Barragem Serra da Onça): área equivalente a 0,938Km² e coeficiente V de Cramer igual a 0,66074;
- P1 (Barragem 14 de abril): área equivalente a 4,958Km² e coeficiente V de Cramer igual a 0,35568; e
- P9 (Barragem Duduca): área equivalente a 195,547Km² e coeficiente V de Cramer igual a 0,082.

Neste sentido, Dino e Toledo (2020) sugerem uma segmentação das bacias estudadas em sub-bacias menores de acordo com as necessidades, como apontado também por Gomes (2017). No entanto, no caso da Barragem Duduca ficou impossibilitada a redução da área para uma bacia de drenagem menor, uma vez que a coleta da amostra de água foi, durante todos os anos, no local do barramento, ou seja, o mesmo é influenciado por todas as águas que drenam para o lago formado. Apesar de se tratar de uma grande área que não apresentou correspondência nos usos do solo durante os anos estudados foi possível verificar que a qualidade da água apresentou a mesma tendência que os demais pontos.

Apesar da qualidade das imagens de satélites utilizadas neste levantamento não apresentar resolução boa o suficiente para minimizar as chances de erro de interpretação foi possível utilizá-las para os levantamentos de usos do solo realizados. A resolução das imagens utilizadas nos três anos estudados são, respectivamente 30 m, 20 m e 20 m (conforme apresentado no Quadro 3), o que possibilita uma interpretação conforme as distâncias de cada uma.

As áreas ocupadas por solo exposto nos pontos P1 e P5 que eram 22% e 52%, respectivamente, sofreram uma significativa redução ao longo dos 20 anos, passando a ocupar respectivos 0,2% e 0%, o que mostra que o processo de recuperação ambiental nestas áreas vem tendo êxito. Apesar o P9 não ter permitido a avaliação através da AC, quando se observam os usos do solo ao longo dos anos verifica-se que as áreas ocupadas por solo exposto ocupavam 0,12% da área em 1999, em 2009 foram zeradas e em 2019 voltou para 0,02%; isso pode ter ocorrido devido à algum plantio que não tenha se mostrado bem-sucedido, ou mesmo pode se tratar um erro

de leitura das imagens, já que se trata de uma porcentagem baixa e as imagens apresentam resoluções diferentes.

Em contrapartida, as áreas reflorestadas foram aumentando conforme os anos foram passando. No P1 as áreas ocupadas por vegetação intermediária e densa saíram do 0% em 1999 e foram para 0,9% e 19,5% em 2019, respectivamente, o que exhibe um aumento significativo e consequente melhoria para a área. Com relação ao P5, a área de solo exposto passou a ser ocupada por vegetação (desde 1999 quando se iniciou o acompanhamento), em 2009 a área foi ocupada por 25,8%, 13,5% e 12,2% de reflorestamento ralo, intermediário e denso; já em 2019 a área esteve ocupada por 53,2% de áreas reflorestadas com vegetação densa.

Tais constatações vão na contramão do apresentado por Lopes et al. (2020), quando estudaram a represa de Tucuruí/PA e verificaram que as áreas como solo exposto vêm aumentando desde a construção da Usina Hidroelétrica de Tucuruí no ano de 1980, quando o processo de urbanização se acentuou na região.

Wenzel et al. (2020) também verificaram uma redução de 44% das áreas ocupadas por florestas (em três bacias hidrográficas estudadas na área da Amazônia Legal, no Mato Grosso). As áreas foram transformadas em áreas para uso antrópico, seja para agricultura, pecuária, urbanização, entre outros usos que demandaram a derrubada da floresta.

Há que se constatar também a interferência da construção de estradas como fator fundamental no processo de aceleração do desmatamento. Wenzel et al. (2020) associam a eficiência dos projetos de colonização à abertura de rodovias, apontando a rodovia que liga Cuiabá a Santarém, construída entre 1971 e 1976, como fator determinante na perda de vegetação da área estudada. Assim também, Fengler (2018) aponta que a rodovia que liga Cuiabá a Porto Velho também foi responsável pela intensificação nos casos de desmatamento no estado de Rondônia.

Considera-se, portanto, que existe uma relação de causa e efeito que ligam as questões apresentadas, sendo que a principal causa é definida como a abertura de rodovias e o principal efeito trata-se do desmatamento exacerbado. Isso ocorre, pois, a inserção de vias de acesso facilita (ou mesmo, possibilita) a chegada a locais que antes não recebiam a atenção dos chamados “olhos empreendedores”, os quais são os responsáveis pelo desmatamento e pelo início das atividades que trazem lucros aos seus bolsos. Na Figura 45 observa-se que na área externa à unidade de

conservação foi realizada a retirada completa da vegetação nativa para a utilização como pasto.

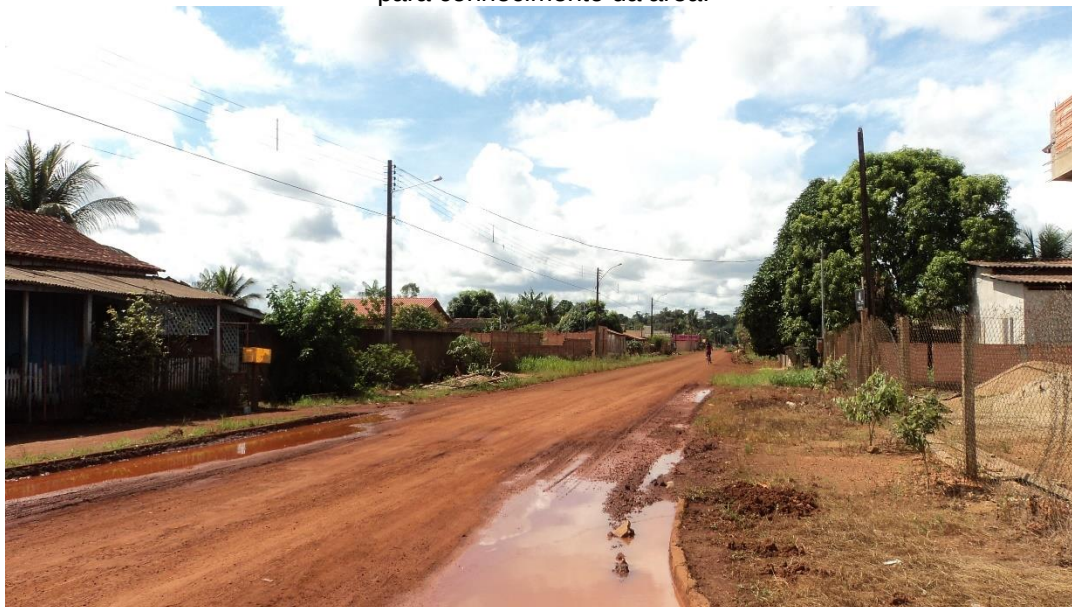
Figura 45. Imagem capturada na margem imediata externa da FLONA do Jamari/RO. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

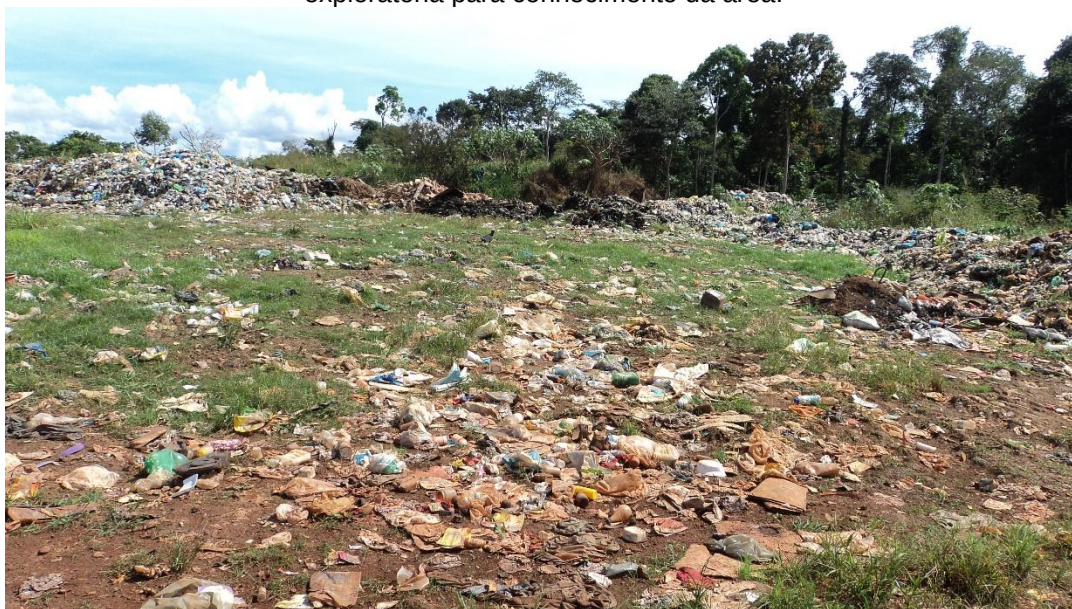
Concomitante a isso, Moura et al. (2018), afirmam que a instalação de um grande empreendimento, como uma mineradora, por exemplo, traz consigo uma série de melhorias para a cidade que serve de abrigo. No entanto, a cidade de Itapuã d'Oeste/RO, que sedia a FLONA do Jamari, e consequentemente as empresas que têm direito de concessão na FLONA, apresenta uma série de características de ausência de infraestrutura que vão na contramão do apresentado (Figuras 46 e 47). Por se tratar de uma cidade que abriga instalações minerárias e madeireiras, o esperado é que houvesse o mínimo em qualidade de vida à população, como saúde, educação, infraestrutura urbana, entre outros.

Figura 46. Cidade de Itapuã d'Oeste. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 47. Lixão da cidade de Itapuã d'Oeste. Captura da imagem: 01 de junho de 2019 em visita exploratória para conhecimento da área.



Fonte: Acervo pessoal.

Segundo o IPEA (2021) é necessário conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação da Amazônia, de modo de se permita a efetivação de um espaço urbano que possibilite um pleno desenvolvimento humano sustentável. No entanto, o que tem sido verificado é que a cada nova via de acesso inserida, o desmatamento no seu entorno é intensificado, o que impossibilita a implantação do desenvolvimento sustentável almejado.

A área componente deste estudo é localizada dentro de Unidade de Conservação Nacional definida como Floresta Nacional do Jamari, conforme já apresentado. Esta definição faz com que se tenha a garantia legal de que as atividades que forem desenvolvidas em seu interior e que forem causadoras de degradação ambiental devem ser recuperadas. Todas as áreas consideradas nesta tese tiveram uma evolução benéfica ao longo dos anos estudados, tendo o solo exposto transformado em áreas reflorestadas.

A tolerância com relação ao uso múltiplo sustentável dos recursos naturais permite que o solo no interior da FLONA do Jamari/RO seja utilizado para fins de obtenção de minérios, exploração madeireira, atividades de pesquisa e turismo. No entanto, as duas primeiras promovem impactos mais intensos. O ponto positivo dessa exploração é a exigência de recuperação das áreas utilizadas.

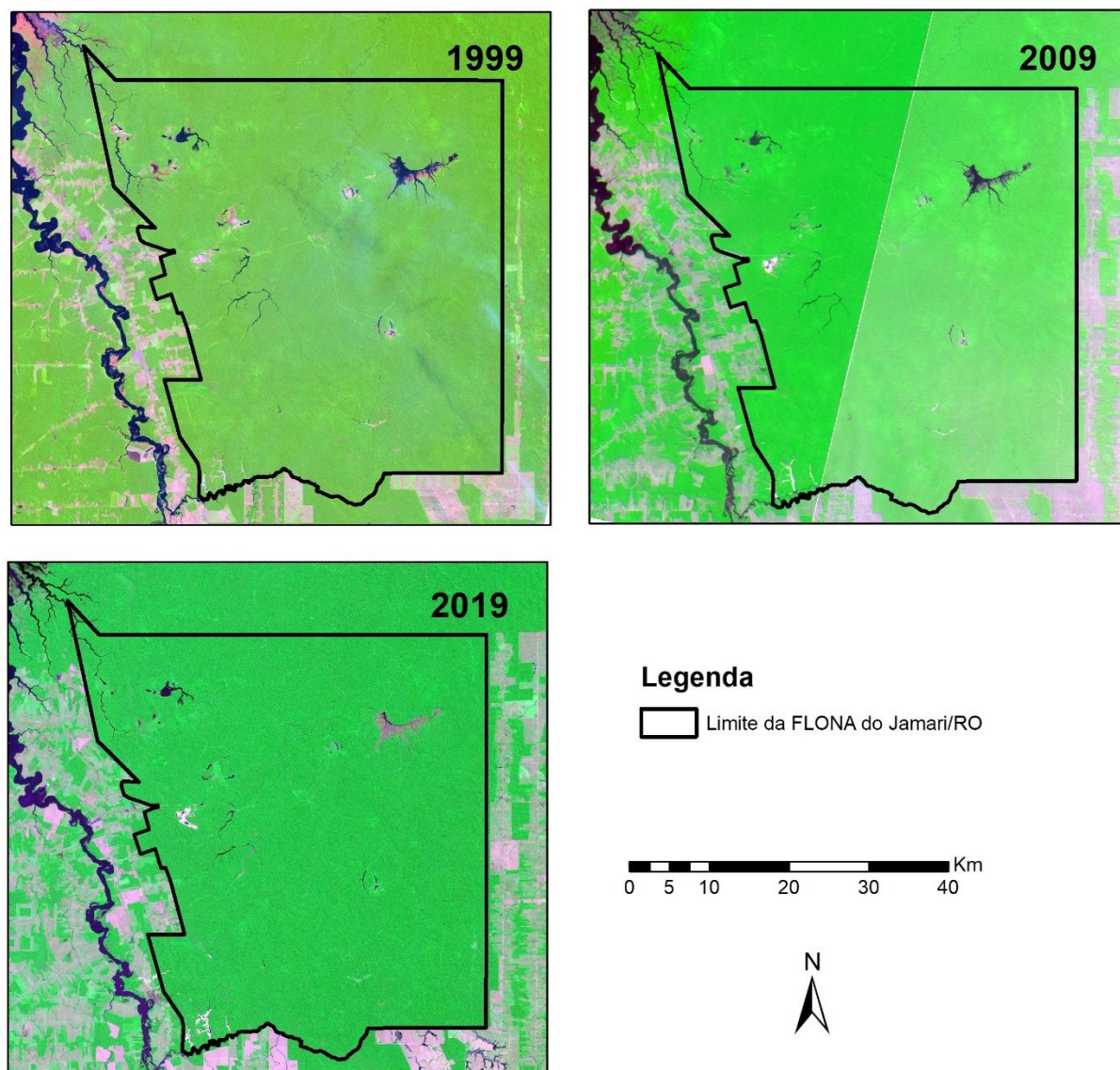
Um levantamento realizado por técnicos do IBAMA, apresentou quatro casos de áreas mineradas que estão passando pelo processo de recuperação ambiental, sendo duas delas localizadas em áreas de concessão no interior de Florestas Nacionais (UC) (das quais uma é a FLONA do Jamari/RO) e duas áreas que não pertencem ao conjunto das unidades de conservação (IBAMA, 2019). Como apresentados nesta tese, os resultados da recuperação ambiental na FLONA do Jamari indicam que as áreas estão em ótimo estágio da recuperação. Assim também foi apresentado pelo documento do IBAMA (2019) para a Mina do Guaju, na Paraíba; para a FLONA de Ipanema, em São Paulo; para a Mina Santa Cruz e a Mina Morro do Urucum, ambas no Mato Grosso do Sul e, por fim as minas exploradas na FLONA do Jamari, em Rondônia.

As áreas avaliadas nesta tese – todas exploradas pela atividade mineradora – receberam o planejamento do PRAD para a recuperação de todas as áreas degradadas e todas elas estão obtendo o sucesso almejado. Fica evidente, portanto, que ao passo que as áreas mineradas são recuperadas, é verificado o desmatamento exacerbado para os mais diversos usos.

Neste sentido, durante o processo de elaboração das imagens referentes aos usos do solo foi sendo observado o desenvolvimento dos usos do solo não apenas no interior da FLONA, mas em seu exterior também, inclusive em sua zona de amortecimento. Por isso, elaborou-se a Figura 48 como forma de apresentação dos dados observados. Na figura é possível verificar que ao passo que as áreas internas

estão sendo recuperadas, as áreas externas estão sofrendo com a perda de vegetação nativa.

Figura 48. Acompanhamento temporal das áreas internas e externas à FLONA do Jamari ao longo dos 20 anos estudados.



Fonte: Autoria própria.

Segundo o IBAMA, este acompanhamento por imagens de satélite é importante para se avaliar o trabalho que vem sendo efetuado, bem como se destaca como eficiente ferramenta de fiscalização pelo próprio órgão ambiental (IBAMA, 2019).

De acordo com o apresentado por Wenzel et al. (2020) não se sabe ao certo as reais causas históricas da abertura de grandes extensões de florestas e consequente perda de vegetação nativa de forma desordenada na área da Amazônia Legal. Tais fatos reforçam a ideia de que a abertura de novas áreas mineradas trazem como consequências sérios danos ambientais difíceis de serem quantificados e,

consequentemente, recuperados. Nas duas primeiras décadas do século XXI, principalmente após a troca de governo ocorrida entre os anos de 2018 e 2019, as pressões envolvidas para a expansão das áreas mineradas aumentaram, e apresentam prospecções para a continuidade deste aumento, principalmente no que tange a regiões prístinas. Tais constatações exigem antecipação estratégica dos possíveis impactos associados direta ou indiretamente à atividade mineradora (SIQUEIRA-GAY; SÁNCHEZ, 2020) como a abertura de cavas, retirada de vegetação e inserção de vias de acesso, como já discutido em outro momento.

De acordo com o apresentado por Siqueira-Gay e Sánchez (2020), o governo federal que encontrava-se em vigência na transição da segunda para a terceira década do século XXI, já dava sinais sobre a intenção de expandir a mineração de nióbio para a região amazônica apesar de ser constatado que a reserva atualmente em operação possui minério para ser explorado por mais de 200 anos (seguindo os atuais padrões de exploração e demanda). Essa intenção de exploração desnecessária chamara a atenção dos olhos ambientalistas, pois a região em vista localiza-se na porção noroeste amazônica e próxima a áreas indígenas, o que traria ainda mais danos ambientais, além dos culturais e sociais.

Além dos impactos associados às questões já mencionadas, ainda na Figura 48, observa-se à margem inferior da FLONA alguns locais mais escurecidos. Estas manchas verificadas são corpos d'água que sofreram modificações para atender à demanda da atividade pisciculturista. De acordo com o apresentado por Vieira (2018), a prática de construir represas é comum entre os pequenos produtores, inclusive aqueles que utilizam o represamento para a criação de peixes.

Algumas criações de peixes podem envolver a utilização do próprio leito do igarapé, sendo necessário retirar árvores, alargar margens e prover estrutura de proteção das margens (SANTOS et al., 2020). Devido à estas alterações o desmatamento das florestas e perda de vegetação ciliar é intensa e deve ser monitorado, já que são conhecidos diversos impactos que não se restringem apenas ao leito do igarapé modificado.

O estado de Rondônia é destaque na utilização de barramentos para a utilização da água para piscicultura (VIEIRA, 2018). As áreas destinadas à esta atividade cresceram 8,63% entre os anos de, segundo trabalho publicado em 2019 (SEAGRI, 2019 *apud* ARAÚJO PEREIRA, 2019). Ainda segundo Araújo Pereira e (2019), dentre as áreas de maior interesse em Rondônia encontra-se o Vale do

Jamari, o que faz com que esta região seja mais atrativa aos olhos empreendedores e sendo reconhecida como destaque nacional na produção de peixe em cativeiro.

Trata-se de uma atividade que altera os níveis de poluição do corpo d'água em função dos efluentes não tratados que são “lançados” diretamente no ambiente, o que acarreta uma grande preocupação devido à velocidade que ocorre as transformações ambientais (SANTOS et al., 2020; VIEIRA, 2018).

Portanto, de acordo com Vieira (2018) é necessário investir no aprimoramento das técnicas de manejo para que impactos sejam minimizados. As propriedades carecem de ajustes ambientais (manejo, manutenção e infraestrutura) para sustentar a viabilidade econômica da prática. A utilização dos igarapés como ambiente para a criação de peixes consiste em uma atividade que demanda consciência na utilização dos recursos naturais buscando minimizar as interferências físicas ambientais nos igarapés (SANTOS et al., 2020).

7. CONCLUSÃO

Por meio da metodologia aplicada e dos resultados obtidos foi possível avaliar a evolução da qualidade das águas superficiais em sub-bacias hidrográficas compartimentadas em áreas de conservação ambiental em função das alterações nos usos do solo.

Constatou-se que a recuperação de áreas degradadas pela atividade mineradora no interior da UC tem promovido o aumento da área de cobertura verde por meio do processo de revegetação. Portanto, a evolução da vegetação local promove alterações benéficas na qualidade das águas superficiais. Tal constatação caminha em paralelo ao definido pela ONU, uma vez que no ano de 2021 inicia-se a década da restauração ecológica, o que reforça a importância dos resultados obtidos através da aplicação desta tese.

Para avaliar a relação entre os usos do solo, devido a aplicação do PRAD, e a qualidade das águas superficiais foi realizada a compartimentação das áreas de drenagem de acordo com os locais de amostragem de água. Essa compartimentação possibilitou a delimitação das sub-bacias para que se pudesse traçar a evolução da revegetação das áreas mineradas em recuperação.

Avaliando a qualidade das águas nas sub-bacias hidrográficas compartimentadas, através dos parâmetros indicadores de qualidade, foi possível observar que em sua maioria há o cumprimento da legislação vigente e os parâmetros apresentam-se consideravelmente estáveis ao longo dos anos estudados.

Assim, para o ano de 1999 as áreas com solo exposto (devido à retirada de vegetação para a atividade mineradora) foram relacionadas às elevadas concentrações de sólidos totais dissolvidos devido ao carreamento de partículas. Já para os anos de 2009 e 2019 as áreas reflorestadas com os diferentes estágios de recuperação definidos (após implementação das atividades previstas pelo PRAD) foram relacionadas à cor da água devido à presença de material em decomposição que foram transformados em ácidos húmicos e fúlvicos, o que se assemelha à condição mais próxima do natural.

Neste contexto, a sub-bacia hidrográfica da Barragem Duduca foi a única que não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os usos do solo nos três anos estudados. Dessa maneira, verificou-se que a compartimentação das áreas de drenagem é fundamental para o entendimento das alterações dos usos do solo sobre

a qualidade das águas. No entanto, essa compartimentação não deve abranger áreas muito extensas, como no caso na sub-bacia da Barragem Duduca. Pois as sub-bacias menores possibilitam um melhor entendimento das situações individualizadas. Entretanto as dimensões das sub-bacias e o plano de amostragem vai depender do grau de perturbação de área degradada.

Observa-se que como unidade de conservação institucionalizada a Floresta Nacional do Jamari/RO se mostra efetiva. Isso ocorre, pois, as unidades de conservação recebem fiscalização adequada e não permitem o uso ilegal de suas áreas. Fiscalização essa que não ocorre nas áreas desprotegidas de seu entorno, onde se verifica que há a retirada da vegetação nativa para destinação do solo a outros usos, inclusive em sua zona de amortecimento.

A zona de amortecimento deveria constituir um ambiente conservado, de modo a fazer um amortecimento entre a unidade de conservação e as áreas externas passíveis de uso. Sem as devidas ações protetivas, essas modificações podem acarretar alterações na qualidade das águas dentro da unidade de conservação no decorrer dos anos.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a intensificação de pesquisas em áreas de conservação dentro da Floresta Amazônica. Essa região se apresenta muito difusa no que tange às informações divulgadas. Por ser uma região atrativa com diferentes interesses internacionais a vulnerabilidade à que ela fica exposta acaba implicando na ausência de informações específicas, o que dificulta a implementação de pesquisas científicas.

8. REFERÊNCIAS

- ABISABER, B. Metrôpoles da Amazônia correm risco de crise hídrica por contaminação da água. São Paulo: LEB, 2015. Disponível em: <<http://lebac.org.br/noticias/76/metropoles-da-amazonia-correm-risco-de-crise-hidrica-por-contaminacao-da-agua>>. Acesso em: 16 jun. 2020.
- AGUILAR APOLO, W.E. (2017) V de cramer: patrón de relación entre variables, de acuerdo a la frecuencia de datos. (Examen Complexivo). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- ALMEIDA, R. F. B., BAYER, M., & FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação morfométrica da bacia do rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. Mercator (Fortaleza), v. 15, n. 4, p. 83-94, 2016.
- ALVIM, D. D. A.; NOGUEIRA, L. F. D. Determinação da biomassa microbiana como indicador da qualidade do solo. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017. 45 p. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11440>>.
- AMARAL, W. J.; SILVA, D. G.; ROSSONI, H. A. V.; SOUSA, G. V.; CAMPOS, A. C. V. Monitoramento da água do ribeirão Camarão/Lajes no município de Florestal, Minas Gerais. Revista Ponto de Vista, v. 1, n. 8, p. 88-97, 2019. ISSN: 1983 2656. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/9206/3702>.
- ANA. Agência Nacional das Águas (Brasil). A gestão dos recursos hídricos e a mineração. / Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração. p. 334. Organizadores: Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípez. Brasília: ANA, 2006.
- ANA. Agência Nacional das Águas (Brasil). No Rumo da mudança - Fatos e tendências – água. 2009. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf>.
- ANA. Portal da Agência Nacional das Águas (Brasil). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 pp.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

ARAÚJO E. R.; FERNANDES F. R. C. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: Guimarães PE, Cebada JDP (eds) Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente. Évora, CETEM, CICP, Rio de Janeiro, pp 65–88. 2017.

ARAÚJO PEREIRA, R. G. Produção da piscicultura de espécies nativas da Amazônia em Rondônia. Caderno de Ciências Agrárias, v. 12, p. 1-4, 2020.

BEURLIN, H.; CASSEDANNE, J. P., 1981. The Brazilian Mineral Resources. Earth Scientific Reviews. 17, 177-206.

BEVILAQUA, C. G. Comparação dos teores de estanho presentes na cassiterita de minas da região do Vale do Jamari – Rondônia. FAEMA: Ariquemes, 2011. 33 p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I. Introdução à Engenharia Ambiental. 2 ed. São Paulo, SP. Pearson Prentice Hall. 2005. 318 p.

BRASIL. Decreto n.º 90.224 de 26 de setembro de 1984. Cria a FLORESTA NACIONAL DO JAMARI, no Estado de Rondônia, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* - Seção 1 - 26/9/1984, pg. 14013.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial da União* de 05 de outubro de 1988. Seção 1, pg. 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006 / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA/SBF, 2011. 76 p.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União* de 18 de março de 2005. p. 58-63.

BRASIL. Informe de Concessões Florestais Federais. Serviço Florestal Brasileiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. nov. 2018. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/informe-concessoes-florestais-federais/>>.

CAMPOS-SILVA, J. V.; PERES, C. A., 2019. Brazil's policies stuck in the mud. *Science* 363. 1046 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aaw8293>.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos. 2009.

CETESB/ANA. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo / Agência Nacional das Águas. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CIONEK, V. M.; ALVES, G. H. Z.; TOFOLI, R.M.; RODRIGUES-FILHO, J.L.; DIAS, R.M. 2019. Brazil in the mud again: lessons not learned from Mariana dam collapse. *Biodivers. Conserv.* 28, 1935–1938. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10531-019-01762-3>>.

COLVERO, D. A.; CARVALHO, E. H. D.; PFEIFFER, S. C.; GOMES, A. P. Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 931-941, 2017.

CORTOPASSI BOOTH, M. Cenários de Áreas Degradadas em Recuperação na FLONA do Jamari, Rondônia. 2017. 81 f.: il. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017.

COSTA, E. R.; SOBRINHO, M. V.; de MIRANDA ROCHA, G. Conflitos socioambientais e perspectivas de governança em Unidades de Conservação: o caso da Floresta Estadual do Amapá, Amazônia, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 49, 2018.

COUTINHO, M. P.; GONCALVES, D. A.; CARAM, R. O.; SOARES, P. V. Áreas de inundação no trecho paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul e nascentes do Cadastro Ambiental Rural. *Rev. Bras. Gest. Urbana* [online]. 2018, vol.10, n.3 p.614-623. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692018000300614&lng=en&nrm=iso>. ISSN 2175-3369. DOI: <<https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.003.ao09>>.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. Dados, informações e produtos do serviço geológico do Brasil. 2007. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>.

DACACH, N. G. Sistemas urbanos de água. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos. 1979. 2ª ed. 490 p.

DE JULIO, M. Efeito da massa molecular das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com reagente de Fenton, floculação e flotação de águas de mesma cor verdadeira. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005. 276 p.

DE PÁDUA, E. M. M. Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática. 18 ed. Papyrus Editora, 2016. Acesso em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=I5GFDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=metodologia+de+pesquisa&ots=Q9yALbZCKF&sig=YVIH4EehKmdnxFEUsEiftrYY3Qc#v=onepage&q=quantitativa&f=false>>.

DINO, B. R.; TOLEDO, A. Diagnóstico do uso e cobertura do solo em áreas de preservação permanente e a qualidade da água de dois rios na bacia do Alto

Paranapanema. Enciclopédia Biosfera, v. 17, n. 33, 2020. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2020C/diagnostico.pdf>>.

ESPÍRITO-SANTO, H. M. V.; MAGNUSSON, W. E.; ZUANON, J.; MENDONÇA, F. P.; LANDEIRO, V. L. Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian forest streams: evidence for predictable changes. *Freshwater Biology*, v.54, p.536-548, 2009.

FARIA, T.F.; KAMADA, I. Complicações de estomias e perfil clínico de crianças atendidas em um hospital de referência. *ESTIMA, Braz. J. Enterostomal Ther.*, 18: e1620. 2020. DOI: <https://doi.org/10.30886/estima.v18.911_PT>.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*, v. 36 (3), p. 395 – 400, 2006.

FENGLER, F. H. Aplicação da Análise Dimensional em indicadores ambientais de áreas degradadas pela exploração de cassiterita. 2018. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Câmpus Experimental de Sorocaba, UNESP - Univ Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

FENGLER, F. H.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M. M.; LONGO, R. M.; MEDEIROS, G. A.; MELO, W. J.; JAKOVAC, C. C.; RIBEIRO, A. I. Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: A new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. *Ecological Engineering*, 108, 2017, p 93-99.

FRANCISCO, A. X. O impacto na economia brasileira e mundial do fim do desmatamento no Brasil: uma abordagem econômica por meio de modelo de equilíbrio geral. Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo. 2018. 131f.

FREITAS, S. P. O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da PCH Bicas. Dissertação. Escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2012.

FUNES, E. A. Áreas das Cabeceiras–Terra de Remanescentes: Silêncio, Matá, Castanhaduba, Cuecé, Apui e São José. São Paulo, Comissão Pró-Índio de São Paulo/UFC, 1999.

GARCÊZ, D. L. Estanho em amostras ambientais por espectrometria de fluorescência atômica. Dissertação, UNESP: Rio Claro, 2015. 99 p.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa, coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Acesso em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>.

GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, F. H. S. ; BETTINE, S. C. ; DEMANBORO, A. C. ; RIBEIRO, A. I. Water Quality Index in an urban watershed. International Journal of Sustainable Development and Planning (Online), v. 11, p. 1037-1043, 2016.

GOMES, R. C. Interferências do uso e ocupação do solo na qualidade das águas do ribeirão das Pedras – CAMPINAS/SP. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP. 2017. 109p.

GONÇALVES, D. C. M.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. Estrutura demográfica de regeneração natural de palmeiras em fragmentos florestais na Amazônia Oriental. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.6, p.44-51, 2018. DOI: <<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0005>>.

GUEDES, J. C. F.; SILVA, S. M. P. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. ACTA Geográfica, v.12, n.29, p. 127-144, 2018. ISSN: 2177 4307. Disponível em: <<https://revista.ufrn.br/actageo/article/view/4001/2522>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v12i29.4001>.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for educations and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1): 9p.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; DE REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; DE SOUZA, G. C.; MARIN, D. C., HACKSPACHER, P. C. 2017. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports - Nature*. 7 (e) DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, C. J. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T. Efeito da exploração florestal de impacto reduzido sobre a regeneração natural em uma floresta densa de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.95, p.306-315, 2012.

IBAMA. Diretoria de Licenciamento Ambiental. Programas de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) em licenciamentos ambientais de mineração/ Aline Fonseca de Carvalho (org.) - Brasília: Ibama, 2019.

IBRAM. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Carta compromisso perante a sociedade. Os rumos da transformação do setor mineral brasileiro. Disponível em: <<http://portaldaminerao.com.br/arquivos/ibram-dados-do-setor-mineral-2o-trimestre-1o-semester-2020/>>.

ICMM. International Council on Mining and Metals. The mining sector in Brazil: building institutions for sustainable development. Mining Partnerships for Development – Spotlight series 17. 2012. Disponível em: <https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/mining-partnerships-for-development/inbrief_mining-sector-in-brazil>.

IMAFLOA (2014). Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2012): setor agropecuário. São Paulo: Observatório do Clima. Acesso disponível através do site: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/analise-da-evolucao-das-emissoes-de-gee-no-brasil-1990-2012-setor-agropecuario/>.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Catálogo de imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.

IPEA. Projeto Governança Metropolitana no Brasil - A construção do urbano-territorial na Amazônia. Brasília: 2021. DOI: <<https://dx.doi.org/10.38116/rp-rmmanaus-comp-b>>.

JUNK, W. J.; MELLO, J. A. S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

KOHLHEPP, Gerd. O Programa Piloto Internacional de Proteção das Florestas Tropicais no Brasil (1993-2008): As primeiras estratégias da política ambiental e de desenvolvimento regional para a Amazônia Brasileira. Revista NERA, ano 21, n. 42, p.309-331, dossiê, 2018.

LATORRE, N. S.; OLIVEIRA, L. E.; DE ARAGÃO, C.; ANDRESON, L. O. Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia Legal brasileira. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 1, 2017.

LEMOS, C. E. F.; VIEIRA, M. I. S.; FERRAZ, R. R. Compartimentação hidrográfica da bacia de drenagem do Rio Branco, estado de Roraima, Brasil por meio da base hidrográfica otocodificada. Acta Geográfica, v. 11, n. 26, p. 35-53, 2017.

LIMA, G. M. Estanho: um metal estratégico ontem e hoje. Quím. Nova, São Paulo , v. 42, n. 10, p. 1189-1198, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170444>>.

LOPES, V. S. M. Avaliação preliminar da contaminação por BTEX, em água subterrânea de poços tubulares, no município de Natal-RN. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2011. 70 p.

LOPES, L. N. A.; LIRA, B. R. P.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; COSTA, L. S.; SOUSA, A. A. N. Análise da variabilidade da precipitação frente às mudanças no uso da terra no município de Tucuruí-PA. Research, Society and Development, v. 9, n. 3, p. e186932726-e186932726, 2020.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. DE A. S.; SILVA, F. D. DOS S.; ROCHA JÚNIOR, R. L. DA; ATAIDE, K. R. DA P. Previsões de Vazões Mensais na Bacia Hidrográfica do

Xingu - Leste da Amazônia. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863550012>.

MAFRA, R. C., PINTO, M. A., MARQUES, L. G., THOMAZ, L. F., FELICI, E. M. & COSTA, L. A. Análise da qualidade da água subterrânea em áreas industriais contaminadas na UGRHI - 22. Colloquium Exactarum, v. 11, n3, jul. – set. 2019. p. 17 – 30. DOI: <<http://dx.doi.org/10.5747/ce.2019.v11.n3.e281>>.

MARTINS, W. B. R. Restauração de ecossistemas degradados pela mineração na Amazônia Oriental. 2020. 140 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. Análise fatorial - Brasília: Enap, 2019. 74 p.

MAUÉS, M. M.; OLIVEIRA, P. E. A. M. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. Oecologia Australis, v. 14, n. 1, p. 238-250, 2010.

MEIRA-JUNIOR, M. S.; PEREIRA, I. M.; MACHADO E. L. M.; MOTA, S. D. L. L.; OTONI, T. J. O. Espécies potenciais para recuperação de áreas de floresta estacional semidecidual com exploração de minério de ferro na serra do espinhaço. Bioscience Journal, v. 31, n. 1, 2015.

MELLO, K; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. Journal of Environmental Management, v. 270, p. 110879, 2020.

MELLO, G. F. Áreas degradadas pela exploração de cassiterita: avaliação das condições dos agregados e atividades biológicas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Campus Experimental de Sorocaba, Sorocaba, 2015. 127 p.

MENDONÇA, F. Avaliação dos métodos colorimétrico e espectrofotométrico (ICP-OES) na determinação de fósforo total em amostras ambientais. Universidade Federal do ABC. Santo André. 2013. 20 p.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. D. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. D. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016.

MMA/IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari – Rondônia. Volume I – Diagnóstico. Elaboração: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis. 2005. 158 p.

MOURA, V. C. S.; VALENTE, P. C. N.; GOCH, Y. G. F.; OLIVEIRA JUNIOR, J. M. B.. Impactos socioambientais provocados por atividade mineradora no município de Juruti (PA). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.6, p.241-253, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0024>.

MOREIRA, A. C. Comparação da Análise de Componentes Principais e da CATPCA na Avaliação da Satisfação do Passageiro de uma Transportadora Aérea. *Investigação Operacional*, v. 27, n. 2, p. 165-178, 2007.

MYERS, N. Tropical forests: present status and future outlook. *Climatic Change*, v. 19, n. 1-2, p. 3-32, 1991.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. *Mercator (Fortaleza)*, v. 13, n. 1, p. 107-118, 2014.

OLIVEIRA, S. C.; AMARAL, R. C.; ALMEIDA, K. C. D. B.; PINTO, C. C. Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 711-721, 2017.

OKUMURA, A. T. R.; DA SILVA, A. G.; DA SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. D. N.; BIFANO, R. B. A.; VIANA, R. V. Q. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 04, p. 1835-1850, 2020. Disponível em: <
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/243982/36130>>.

ÖZTÜRK, M.; COPTY, N. K.; SAYSEL, A. K. Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed. *Journal of Hydrology*, v. 497, p. 97-109, 2013.

PIO, S; HENRIQUES, A. G. O estado ecológico como critério para a gestão sustentável das águas de superfície. *Congresso da água – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*. 2000.

PIRES, A. P.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E. D.; LOYOLA, R.; SCARANO, F. R. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in ecology and conservation*, v. 15, n. 3, p. 187-193, 2017.

PEIXOTO-OLIVEIRA, J.; NEVES, M. A.; CALEGARI, S. S.; GUADAGNIN, F. Compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. *Geologia USP. Série Científica*, v. 18, n. 2, p. 57-70, 2018.

PEREIRA, A. R.; SANTOS, A. D. A.; SILVA, W. T. P. D.; FROZZI, J. C.; PEIXOTO, K. L. G. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 3, p. 239-246, 2013.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; BOAS, M. A. V. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. *Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável*, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

RAMOS, M. R.; UHLMANN, A.; JUSTEN, L.; FREIRE, T. M.; DE SOUZA PANTA, D. A. Uso do solo e a estacionalidade climática afetam os atributos biológicos do solo? *Revista Agroecossistemas*, v. 12, n. 1, p. 178-200, 2021.

RAMOS, T. D. Avaliação da exposição ambiental ao manganês na população residente no entorno de um estaleiro no município de Angra dos Reis, RJ. 2013. viii,90 f. Dissertação (Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2013.

REBOUÇAS, A. *Uso inteligente da água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.

REIS, G. P.; MORAES, E. O. Variação da umidade relativa do ar no coração da floresta amazônica, um estudo de caso no município de Coari (AM) durante o ano de 2015. *XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física*, Unicamp, Campinas – São Paulo. 2017, p. 2479 – 2486.

RIBEIRO, A. I. Mecanização no preparo de solo em áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari (Rondônia-BR). Tese. 121 p. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP. 2005.

ROCHA, G. C.; ROMÁN, R. M. S.; FOLEGATTI, M. V.; LINO, J. S. Aspectos físicos e sociais da geografia da disponibilidade hídrica municipal no Brasil. *Irriga*, v. 18, n. 3, p. 402 - 414, 2013.

RODRIGUES, D. M. S. Dinâmica da estrutura e diversidade de açazais no estuário amazônico. Orientadora: Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha; Co-orientador, Silas Mochiutti. 2019. 80 p.

RODRIGUES, V.; ESTRANY, J.; RANZINI, M.; DE CICCIO, V.; MARTÍN-BENITO, J. M. T.; HEDO, J.; LUCASBORJA, M. E. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). *Science of the Total Environment*, Vol. 622–623, p. 1553-1561, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.028>.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 19, n. SPE, p. 87-94, 2014.

SACHS, J., SCHMIDT-TRAUB, G., KROLL, C., LAFORTUNE, G., FULLER, G., WOELM, F. 2020. The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020. Cambridge: Cambridge University Press.

SANCHEZ, J. C. D.; FORMOSO, M. L. L. Utilização do carvão e meio ambiente. Porto Alegre: CIENTEC, 1990. 34p.

SANTOS, A. J. Pedra bonita – as pedras que contam: aspectos socioeconômicos do ciclo de mineração de cassiterita no Vale do Jamari / Sub-bacia do Rio Jacundá do fim da década de 50 à 90. Dissertação. PUC-RS: Porto alegre, 2014. 115 p.

SANTOS, J. H. Análise do teor de estanho e minerais mais presentes na cassiterita. Ariquemes: FAEMA, 2018. 37 p.

SANTOS, K. P.; BARROS, R. G.; BÁRBARA, V. F. Análises ecotoxicológicas em cavas de mineração a céu aberto: uma revisão sistemática. *Revista Ibero Americana*

de Ciências Ambientais, v.11, n.3, p.317-331, 2020. DOI:
<<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0025>>.

SANTOS, A. R.; SILVA, R. C. F.; ASSIS, L. C.; MAUAD, F. F. 2019. Defining environmental conservation levels considering anthropic activity in the Uberaba River Basin protected area. *Revista ambiente e água*, Taubaté, v. 14, n. 1, e2279, 2019. Disponível: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2279>>.

SANTOS, S. M.; ZUANON, J. A. S.; MENDONÇA, F. P.; DE OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; PANTOJA-LIMA, J. Influência da piscicultura de pequena escala em canais de igarapés sobre as categorias tróficas da ictiofauna Amazônica. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 5, p. 210-226, 2020.

SILVA, M. A.; VARGAS, R. R.; SAAD, A. R.; ROSSINI, E. F.; QUEIROZ, W. Reflexos do uso da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do Córrego Taboão, Guarulhos (SP). *Revista UNG – Geociências*, v. 16, n.1, p. 69-86, 2017. ISSN: 1981 741X. Disponível em:
<http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/2952/2151>.

SILVA, I. B. B.; PINTO, A. P. A.; MORTATI, A. F.; OLIVEIRA, L. L. Caracterização hidrológica e ambiental de uma pequena bacia do baixo Rio Tapajós (AM). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.6, p.14-27, 2018. DOI:
<<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0002>>.

SIQUEIRA-GAY, J.; SÁNCHEZ, L. E. 2020. Keep the Amazon Niobium in the Ground. *Environmental Science and Policy* 111(C): 1–6. DOI:
<<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.012>>.

SOARES, T. M. Ciclagem de nitrogênio em florestas restauradas após a mineração de bauxita. Orientador: Takashi Muraoka. Dissertação de mestrado em Ciências – Centro de energia nuclear na agricultura e no ambiente da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016. 55 p.

SOUZA, A. C.; BASTOS, R. R.; VIEIRA, M. de T. Análise de Correspondência Simples e Múltipla para Dados Amostrais Complexos. 19º SINAPE: São Pedro/SP, 2010.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. Eng. sanit. ambient, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.

STAEVIE, P. M. Crescimento demográfico e exclusão social nas capitais periféricas da Amazônia. TEXTOS E DEBATES, Boa Vista, n.28, p. 185-204, jul./dez. 2015.

SØNDERGAARD, M.; LAURIDSEN, T. L.; JOHANSSON, L. S.; JEPPESEN, E.. Gravel pit lakes in Denmark: chemical and biological state. Science of the Total Environment, v.612, p.9-17, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.163>>.

TAVARES, P. A.; SANTOS GONÇALVES, P. V.; NEVES, F.; DUTRA, V. A. B; BELTRÃO, N. E. S. Corpos hídricos nas cidades amazônicas: Estudo sobre a provisão de serviços ecossistêmicos em áreas urbanas. Sessão temática: Biodiversidade, serviços ecossistêmicos e valoração. XIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Unicamp: Campinas, 2019.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1999. Vol. 96, p. 5995–6000.

VENDRUSCOLO, J.; SILVA, A. F.; SCHMIDT CAVALHEIRO, W. C.; STACHIW, R.; PEREZ MARIN, A. M. Índice de desmatamento na bacia do rio Bamburro durante período de 1985 a 2015, Amazônia Ocidental, Brasil. Revista Geográfica Venezolana, vol. 58, núm. 2, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 2017. pp. 378-393.

VIEIRA, J. S. Caracterização da piscicultura em barramentos na região de Theobroma no estado de Rondônia. Dissertação (mestrado). Universidade de Taubaté, 2018.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

WANG, J.; LIU, G.; LIU, H.; LAM, P. K. S. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. *Science of the Total Environment*, Vol. 583, p. 421-431, 2017. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.088>.

WENZEL, D. A.; DE SOUSA JUNIOR, M. F.; ULIANA, E. M.; MENDES, M. A. D. S. A. Dinâmica da cobertura do solo em três bacias hidrográficas da região amazônica do estado de Mato Grosso, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e3919108613-e3919108613, 2020.

WUYTS, B.; CHAMPNEYS, A. R.; HOUSE, J. I. Amazonian forest-savanna bistability and human impact. *Nature Communications*, 2018, v. 8, p. 15519.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.3, p.714-724, 2015.

ZAGO, V. C. P.; DAS DORES, N.; WATTS, B. A. Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil. *Environmental pollution*, v. 249, p. 1029-1037, 2019.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 13, Oct. 2017, p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002>.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TABELAS COM TODOS OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
PONTO A PONTO

Igarapé Japiim - Barragem 14 de abril (P01)

	Unidade	Set. 1999	Jan. 2000	Jul. 2000	Fev. 2001	Jul. 2001	Fev. 2002	Jul. 2002	Fev. 2003	Abr. 2007	Ago. 2007	Nov. 2008	Jul. 2009	Fev. 2010	Ago. 2010	Mar. 2011	Set. 2011	Abr 20/13	Set. 2013	Jun. 2015	Nov. 2015	Out. 2018	Mai. 2019
Coliformes Termot.	NMP/100mL	8	-	20	17	20	-	-	-	60	-	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-
Coliformes totais	NMP/100mL	> 8	-	-	9	14	20	110	40	330	-	1,8	-	-	-	200	-	15	-	450	2200	-	-
Cor	mg Pt/L	1	81	51	119	61	76	20	91	52	51	31	60	72	30	68	43	68	9	45	31	55,8	53,7
DBO5,20	mg/L	1	-	6	50	2	2	-	44	3	-	2	-	-	7,9	4,9	-	-	-	-	-	5	-
DQO	mg/L	2	6	65	211	5	4	-	82	9	36	6	11	-	13,5	16	14	1	-	-	-	-	-
Condutividade	uS/mL	-	6,8	3,3	8,5	4,5	15,8	7,5	10,2	10,3	-	4	4,4	56	3,2	3	2,5	-	4,32	4,2	0,4	-	-
Turbidez	UNT	1,9	5,5	4,8	2,8	2,9	3,43	4,5	4,2	4	-	6	-	1,8	3,5	11,5	10,5	-	0,4	2	3	24,9	2
OD	mg/L	10,5	5,27	6,4	2,7	4,3	4,73	4	4,2	4,2	-	6,6	5,2	5,4	6,4	5,8	5,2	-	3,7	10,4	5	6,5	5,5
Temperatura	°C	31,5	30	26,7	28,4	27,7	31	29,3	30,2	30,1	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	5,5	5,08	5,1	5,1	5,3	5,4	5,5	5,1	5,2	-	6	7,55	6,2	6,68	6,2	7,1	-	7,49	5,4	6	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	0,16	0,66	1,5	0,61	0,7	0,52	0,16	1,1	-	16,27	0,22	1,4	-	0,9	-	-	0,5	-	10,5	8,5	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	0,02	-	0,3	0,001	-	0,3	-	2,6	0,45	-	-	0,82	-	-	1,8	-	-	-	0,05	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-	0,003	0,04	0,2	-	-	0,017	0,01	-	0,0058	0,0158	0,0255	-	-	-	-	0,39	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,1	1,3	0,1	0,2	0,23	-	-	-	-	0,12	0,002	-	0,165	-	-	-	0,12	0,03	-	-	0,14	-
Cobre	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	-
Chumbo	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	0,9	-	-	-	-	0,1	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	-
Ferro Solúvel	mg/L	0,1	1,45	2,4	0,7	0,78	0,7	1,25	0,66	0,59	1,2	0,28	1,11	1	1,27	1,05	0,75	0,75	0,16	0,49	0,63	0,11	0,29
Manganês	mg/L	0,2	0,02	0,01	-	0,01	-	-	-	0,01	0,05	0,01	-	0,019	0,049	-	0,008	0,015	-	0,01	0,05	-	-
Prata	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanho	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercúrio	mg/L	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totais	mg/L	80	33	59	30	162	247	14	39	25	40	15	-	48	58	-	-	23	18	74	6	-	-
Sólidos Totais Dis.	mg/L	61	-	10	20	92	127	2	27	3	4	3	-	36	2	-	1,8	9	3	3	4	5	-

Barragem Serra da Onça (P05)

	Unidade	Set. 1999	Jan. 2000	Jul. 2000	Fev. 2001	Jul. 2001	Fev. 2002	Jul. 2002	Fev. 2003	Abr. 2007	Ago. 2007	Nov. 2008	Jul. 2009	Fev. 2010	Ago. 2010	Mar. 2011	Set. 2011	Abr 2013	Set. 2013	Jun. 2015	Nov. 2015	Out. 2018	Mai. 2019
Coliformes fecais	NMP/100mL	4,6	-	-	-	-	20	170	-	20	-	20	-	-	-	-	5	-	220	-	20	-	-
Coliformes totais	NMP/100mL	> 8	-	20	8	11	20	20	40	20	40	45	-	-	-	40	-	-	220	20	470	-	-
Cor	mg Pt/L	2	20	11	8	1	3	1	16	8	12	41	22	26	4	21	30	64	33	13	9	15,9	15,7
DBO5,20	mg/L	2	14	16	9	2	-	-	5	12	-	2	3	13,8	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	5	29	86	17	6	1	1	8	19	43	6	9	36	22	-	16	-	-	6	-	-	-
Condutividade		10,5	4,25	8,5	4,7	4,1	4,92	4,2	5	4,7	-	6	3,67	38	3	4,5	2	-	3,56	5	0,4	-	-
Turbidez	UNT	1,9	5,1	4,1	2,7	2,1	2,77	3,9	3	3,4	-	1	-	1,8	-	18	7,5	-	2	5	-	2,8	1,3
OD	mg/L	10,5	8,64	2,1	5	6,8	5,88	5,2	5	6,1	-	5,8	7,2	6,8	6,3	7,75	7,2	-	8,6	7,1	6,2	2,2	5,1
Temperatura	°C	31,5	30,8	31,2	31,4	29,2	30,9	30,1	30,8	31	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	5,5	5,77	6,5	6	5,8	6,2	5,8	5,6	6	-	6,2	6,96	6,4	6	7	6,92	-	6,11	6,1	6,72	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	0,11	0,1	1,2	0,38	0,5	0,8	0,76	0,6	0,17	14,28	0,2	1,12	-	-	-	-	3,7	-	1,2	3,7	-	-
Nitrato	mg/L	-	0,03	0,06	0,06	0,2	0,7	0,1	0,3	0	0,8	0,45	-	-	-	-	-	3,2	-	0,109	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	0,02	0,008	0,005	0,003	0,007	-	-	0	0,015	0,01	-	-	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,5	-	0,1	-	0,06	-	-	-	0	0,18	0,002	-	0,17	-	-	-	0,17	0,028	-	-	1,083	-
Cobre	mg/L	< 0,1	-	0,02	-	0,01	-	-	-	0	0,009		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/L	< 0,1	0,01	-	-	-	-	-	-	0	0,004		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	-
Chumbo	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	0	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,03		-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-
Ferro Solúvel	mg/L	< 0,1	0,29	1,8	0,1	1,82	0,05	0,05	-	0,14	0,5	0,26	0,25	0,1	0,25	1,25	0,05	0,2	0,29	0,17	0,1	0,02	0,05
Manganês	mg/L	< 0,1	0,02	0,4	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,02	-	0,019	-	-	0,078	0,015	-	0,02	0,01	-	0,01
Prata	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	0	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanho	mg/L	< 0,1	-		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercúrio	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	0	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totais	mg/L	76	34	98	25	117	302	21	17	15	33	95	-	40	20	69	2	34	15	94	12	-	-
Sólidos Totais Dis.	mg/L	37	-	55	10	55	160	17	11	4	3	4	-	35,5	2,7	2,5	-	16	2	3	3	-	-

Barragem Duda (P09)

	Unidade	Set. 1999	Jan. 2000	Jul. 2000	Fev. 2001	Jul. 2001	Fev. 2002	Jul. 2002	Fev. 2003	Abr. 2007	Ago. 2007	Nov. 2008	Jul. 2009	Fev. 2010	Ago. 2010	Mar. 2011	Set. 2011	Abr. 2013	Set. 2013	Jun. 2015	Nov. 2015	Out. 2018	Mai. 2019
Coliformes Termot.	NMP/100mL	1,1	< 20	40	< 2	< 20	1300	80	< 2	20	< 2	20	< 1,8	-	-	-	-	-	< 1,8	< 18	-	1700	-
Coliformes totais	NMP/100mL	> 8	230	140	240	40	2400	< 2	< 2	70	< 2	900	< 1,8	-	-	-	100	-	< 1,8	< 18	-	-	-
Cor	mg Pt/L	37	72	44	82	32	64	17	86	64	34	37	45	60	70	62	31	68	30	34	20	39,6	47
DBO5,20	mg/L	4	< 1	<1	16	20	2	< 1	12	2	< 2	2	4	15,8	4,9	-	-	< 2,0	< 2,0	-	-	8	-
DQO	mg/L	7	21	7	39	50	5	1	32	11	49	6	13	23	28	-	23	12	35,4	17	-	-	-
Condutividade	uS/mL	-	8	6	7,5	4,5	6,3	3,2	2,5	7,3	-	9	2,91	9	3	4	2	-	2,36	5	0,4	-	-
Turbidez	UNT	-	1,55	2,4	2,3	2	2,27	1,8	2,3	2,9	-	1	< 1	8,6	12	18	14	-	< 1,0	-	-	2,6	1,9
OD	mg/L	-	7,66	4,9	2,7	5,3	3,91	5,1	5,1	4,7	-	5,3	6,2	5,1	6,2	8,1	6	-	6,5	6,8	5,9	1,5	4,8
Temperatura	°C	-	29,3	28,8	28,7	32,2	30,5	31,3	29,8	29,6	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	5,27	5,6	5,1	6,1	5,77	6,1	5,6	5,5	-	6,4	6,67	6,2	6,08	8,2	6,65	-	6,15	6,1	6,2	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	0,34	0,1	1	0,79	0,45	1,3	2,82	3	0	25,25	0,31	1,27	0,69	1,9	-	-	1,7	< 0,02	1,4	3,4	-	0,6
Nitrato	mg/L	-	0,01	0,02	0,01	0,4	1,1	0,2	0,3	0	1,6	0,45	< 0,45	-	-	-	-	2,6	< 0,45	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	0,001	0,003	0,001	0,004	0,009	< 0,1	< 0,01	0	0,015	0,01	< 0,006	0,0058	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,3	0,7	0,1	0,1	0,32	< 0,1	< 0,1	< 0,02	0	1,1	0,002	< 0,002	0,175	-	-	-	0,12	0,036	-	-	0,349	-
Cobre	mg/L	< 0,1	< 0,01	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0	0,009	-	< 0,002	-	-	-	-	< 0,009	< 0,009	-	-	-	-
Cobalto	mg/L	< 0,1	0,02	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,05	0	0,0008	-	< 0,002	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02	-	-	0,002	-
Chumbo	mg/L	< 0,1	< 0,01	<0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,01	0	0,003	-	< 0,01	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	< 0,1	< 0,01	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	0,01	0,02	-	< 0,01	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	-	0,03	-	-
Ferro Solúvel	mg/L	0,4	1,2	1,5	0,8	0,37	0,4	0,3	0,59	0,77	0,35	0,29	0,61	0,7	0,05	0,8	0,45	0,6	0,36	0,35	0,23	0,44	0,38
Manganês	mg/L	< 0,1	0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,05	0,01	0,005	0,01	< 0,01	-	-	-	-	-	< 0,01	-	-	-	-
Prata	mg/L	< 0,1	< 0,01	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0	< 0,002	-	< 0,01	-	-	-	-	-	< 0,01	-	-	-	-
Estanho	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercúrio	mg/L	< 0,1	0,0002	<0,0002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0002	< 0,0001	0	0,0001	-	< 0,0001	-	-	-	-	-	< 0,0001	-	-	-	-
Sólidos Totais	mg/L	84	35	66	31	177	296	5	51	50	15	50	< 2	7	82	35	-	26	16	16	2	-	-
Sólidos Totais Dis.	mg/L	57	-	25	18	85	128	1	33	3	4	3	< 2	6,5	2,6	2,3	-	15	< 2,0	3	3	-	6

Rio Jacundá - Área Benjamin (P11)

		Set.	Jan.	Jul.	Fev.	Jul.	Fev.	Jul.	Fev.	Abr.	Ago.	Nov.	Jul.	Fev.	Ago.	Mar.	Set.	Abr.	Set.	Jun.	Nov.	Out.	Mai.
	Unidade	1999	2000	2000	2001	2001	2002	2002	2003	2007	2007	2008	2009	2010	2010	2011	2011	20/13	2013	2015	2015	2018	2019
Coliformes Termot.	NMP/100mL	> 8	170	220	1600	23	5000	5000	1700	700	130	220	< 1,8	40	55	1900	190	14800	130	20	130	330	45
Coliformes totais	NMP/100mL	> 8	3000	900	1600	90	9000	9000	5000	1700	270	5400	< 1,8	15800	15800	2150	2100	10	320	2300	260	-	-
Cor	mg Pt/L	95	89	89	90	61	67	19	106	68	80	217	69	83	10	116	72	40	124	61	93	125,9	68,1
DBO5,20	mg/L	3	13	<1	7	2	2	< 1	25	2	< 2	2	3	-	7,9	-	-	< 2,0	< 2,0	-	5	5	-
DQO	mg/L	8	39	22	18	5	5	1	44	8	47	6	9	13	10	-	12	3	< 5,0	-	6	-	-
Condutividade	uS/mL	-	10	13	8,5	8,7	8,9	7,3	9,8	9,3	-	6	8,84	3	17,9	62	21	-	10,9	10,4	0,4	-	-
Turbidez	UNT	1,9	14,2	13	8,5	8,7	8	9,7	9	8,5	-	24	< 1	-	-	21,5	15,5	-	12	2	5	22,9	2,7
OD	mg/L	10,5	6,93	5	4	5,2	4,8	3,3	5,3	5,3	-	5	6,4	5,4	6,5	5,2	5,25	-	6,9	6,3	6,4	1,5	6,1
Temperatura	°C	31,5	24,8	24,2	24,8	22,7	25,5	26,5	25,4	25,1	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	5,5	5,56	6,1	5,7	5,9	5,9	6	6,1	5,8	-	6,71	6,2	6,6	6,32	7,8	6,3	-	6,26	6,1	6,9	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	0,24	0,37	1,7	0,44	0,5	0,71	0,34	3,36	0	10,2	0,18	1,46	-	1,9	-	-	3,75	0,6	1,4	0,9	-	-
Nitrato	mg/L	-	1,8	0,05	0,01	0,2	0,4	0,2	0,3	0	3,1	0,9	< 0,45	-	-	-	-	2,7	0,91	-	2	1,47	-
Nitrito	mg/L	-	< 0,001	0,002	0,005	0,001	0,004	< 0,1	< 0,01	0,002	0,026	0,01	0,006	-	-	-	-	-	0,05	0,099	-	0,08	-
Fósforo Total	mg/L	< 0,1	0,9	0,2	< 0,01	0,2	0,06	< 0,1	< 0,02	0	0,002	0,002	0,002	0,19	-	-	-	0,09	0,04	-	-	0,62	-
Cobre	mg/L	< 0,1	0,12	0,09	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	0,007	0,009		0,002	-	-	-	-	< 0,009	< 0,009	-	-	0,003	-
Cobalto	mg/L	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,05	0	0,0008		0,002	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02	-	-	-	-
Chumbo	mg/L	< 0,1	< 0,01	< 0,01	0,001	0,001	0,001	< 0,01	< 0,01	0	0,003		< 0,01	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	0	0,03		< 0,01	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	-	0,04	-	-
Ferro Solúvel	mg/L	1	0,94	1,3	0,7	0,46	0,6	0,54	0,21	0,71	0,91	1,32	0,97	0,85	0,85	0,45	0,75	1,1	1,28	0,54	1,29	1,25	0,49
Manganês	mg/L	< 0,1	0,01	0,07	< 0,01	0,02	< 0,01	0,0002	< 0,05	0,01	0,04	0,03	0,02	0,009	0,069	-	0,028	0,015	< 0,01	-	0,05	0,04	0,02
Prata	mg/L	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0	0,002		< 0,01	-	-	-	-	-	< 0,01	-	-	-	-
Estanho	mg/L	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercúrio	mg/L	< 0,1	< 0,0002	< 0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	< 0,0002	< 0,0001	0	0,0001		< 0,0001	-	-	-	-	-	< 0,0001	-	-	-	-
Sólidos Totais	mg/L	73	16	140	48	119	230	22	6	200	40	65	< 2	2	40	39	-	44	28	24	26	-	-
Sólidos Totais Dis.	mg/L	58	-	52	41	88	118	4	5	6	13	12	< 2	2	11,8	3,5	12,2	35	7	6	22	26	7

APÊNDICE B

TABELAS UTILIZADAS PARA A ELABORAÇÃO DOS GRÁFICOS ESTATÍSTICOS
PONTO A PONTO

Igarapé Japiim ã Barragem 14 de abril

A) Tabela utilizada para elaboração da análise de correspondência entre os usos do solo nos três anos analisados (dados em porcentagem, padronizados com três casas decimais). Nos usos do solo que estariam zerados em determinados anos foi atribuído o valor de 0,001% apenas para efeito de constatação do mesmo. Representatividade dos dados no eixo 1 de 84,167% e no eixo 2 de 15,833%.

	1999	2009	2019
Espelho d'água - Lântico	3,691	1,997	3,570
Área de alagamento	0,001	4,175	1,493
Vegetação nativa	74,304	74,304	74,304
Área sem vegetação - Solo exposto	22,005	1,170	0,242
Área reflorestada - Vegetação densa	0,001	12,243	19,463
Área reflorestada - Vegetação intermediária	0,001	2,118	0,928
Área reflorestada - Vegetação rala	0,001	3,994	0,001

B) Dados utilizados para a elaboração da análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade das águas nos três anos analisados. A representatividade das componentes 1 e 2 foram, respectivamente 63,63% e 35,738%.

	Abreviações	1999	2009	2019
Coliformes Termotolerantes	CT	8	0	0
Cor	COR	1	60	53,7
DBO5,20	DBO	1	0	0
DQO	DQO	2	11	0
Condutividade	COND.	0	4,4	0
Turbidez	TURB.	1,9	0	2
OD	OD	10,5	5,2	5,5
Nitrogênio Total	NT	0,16	1,4	0
Nitrato	NO3	0	0	0
Nitrito	NO2	0	0	0
Fósforo Total	PT	0,1	0	0
Cobre	CU	0	0	0
Cromo Total	CR	0,9	0	0
Ferro Solúvel	FE	0,1	1,11	0,29
Manganês	MN	0,2	0	0
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	61	0	0

Barragem Serra da Onça

A) Tabela utilizada para elaboração da análise de correspondência entre os usos do solo nos três anos analisados (dados em porcentagem, padronizados com três casas decimais). Nos usos do solo que estariam zerados em determinados anos foi atribuído o valor de 0,001% apenas para efeito de constatação do mesmo. Representatividade dos dados no eixo 1 de 61,416% e no eixo 2 de 38,584%.

	1999	2009	2019
Espelho d'água - Lântico	5,437	2,665	3,838
Área de alagamento	1,706	5,011	2,132
Vegetação nativa	40,832	40,832	40,832
Área sem vegetação - Solo exposto	52,026	0,001	0,001
Área reflorestada - Vegetação densa	0,001	12,154	53,198
Área reflorestada - Vegetação intermediária	0,001	13,539	0,001
Área reflorestada - Vegetação rala	0,001	25,800	0,001

B) Dados utilizados para a elaboração da análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade das águas nos três anos analisados, na qual cada parâmetro mantém a sua unidade de medida. A representatividade das componentes 1 e 2 foram, respectivamente 63,492% e 35,005%.

	Abreviações	Set./99	Jul./09	Mai./19
Coliformes fecais	CT	4,6	0	0
Cor	COR	2	22	15,7
DBO5,20	DBO	2	3	0
DQO	DQO	5	9	0
Condutividade	COND.	10,5	3,67	0
Turbidez	TURB.	1,9	0	1,3
OD	OD	10,5	7,2	5,1
Nitrogênio Total	NT	0,11	1,12	0
Nitrato	NO3	0	0	0
Nitrito	NO2	0	0	0
Fósforo Total	PT	0,5	0	0
Cobre	CU	0	0	0
Cromo Total	CR	0	0	0
Ferro Solúvel (Fe2)	FE	0	0,25	0,05
Manganês	MN	0	0	0,01
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	37	0	0

Barragem Duduca

A) Tabela utilizada para elaboração da análise de correspondência entre os usos do solo nos três anos analisados (dados em porcentagem, padronizados com três casas decimais). Nos usos do solo que estariam zerados em determinados anos foi atribuído o valor de 0,001% apenas para efeito de constatação do mesmo. Representatividade dos dados no eixo 1 de 95,946% e no eixo 2 de 4,0539%.

	1999	2009	2019
Espelho d'água - Lântico	4,286	3,410	1,222
Área de alagamento	3,630	3,995	4,029
Vegetação nativa	91,960	92,460	92,749
Área sem vegetação - Solo exposto	0,123	0,001	0,017
Área reflorestada - Vegetação densa	0,001	0,030	0,355
Área reflorestada - Vegetação intermediária	0,001	0,072	0,431
Área reflorestada - Vegetação rala	0,001	0,032	1,196

B) Dados utilizados para a elaboração da análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade das águas nos três anos analisados, na qual cada parâmetro mantém a sua unidade de medida. A representatividade das componentes 1 e 2 foram, respectivamente 75,774% e 23,065%.

	Abreviações	1999	2009	2019
Coliformes Termotolerantes	CT	1,1	0	0
Cor	COR	37	45	47
DBO_{5,20}	DBO	4	4	0
DQO	DQO	7	13	0
Condutividade	COND.	-	2,91	0
Turbidez	TURB.	2,6	0	1,9
OD	OD	0	6,2	4,8
Nitrogênio Total	NT	0,34	1,27	0,6
Nitrato	NO ₃	-	0	0
Nitrito	NO ₂	-	0	0
Fósforo Total	PT	0,3	0	0
Cobre	CU	0	0	0
Cromo Total	CR	0	0	0
Ferro Solúvel	FE	0,4	0,61	0,38
Manganês	MN	0	0	0
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	57	0	6

Rio Jacundá - Área Benjamin

A) Dados utilizados para a elaboração da análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade das águas nos três anos analisados, na qual cada parâmetro mantém a sua unidade de medida. A representatividade das componentes 1 e 2 foram, respectivamente 85,612% e 10,471%.

	Abreviação	1999	2009	2019
Coliformes Termotolerantes	CT	0	0	45
Cor	COR	95	69	68,1
DBO5,20	DBO	3	3	0
DQO	DQO	8	9	0
Condutividade	COND.	0	8,84	0
Turbidez	TURB.	1,9	0	2,7
OD	OD	10,5	6,4	6,1
Nitrogênio Total	NT	0,24	1,46	0
Nitrato	NO3	0	0	0
Nitrito	NO2	0	0	0
Fósforo Total	PT	0	0	0
Cobre	CU	0	0	0
Cromo Total	CR	0	0	0
Ferro Solúvel	FE	1	0,97	0,49
Manganês	MN	0	0,02	0,02
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	58	0	7