

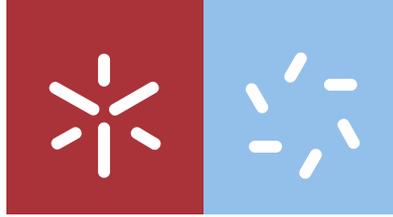


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Helena de Souza Corrêa

**Avaliação da Qualidade da Água na
Influência de Atividades Mineiras e
seus Efeitos na Comunidade Indígena
dos Xikrins do Rio Cateté (Pará,
Brasil)**





Universidade do Minho
Escola de Ciências

Helena de Souza Corrêa

**Avaliação da Qualidade da Água na
Influência de Atividades Mineiras e seus
Efeitos na Comunidade Indígena dos Xikrins
do Rio Cateté (Pará, Brasil)**

Trabalho de Dissertação

Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente

Especialização em Monitorização e Remediação Ambiental

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes

Março de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar á Deus pela força e determinação neste período de tantas mudanças. Agradeço a toda minha família que ajudou e apoiou incondicionalmente para a realização deste sonho, em especial ao meu pai João José Martins Corrêa e minha mãe Maria do Carmo de Souza Corrêa o qual dedico este trabalho. Também agradeço ao meu cunhado Valdemar Campos de Sousa que sem seu apoio e toda ajuda não teria tido esta oportunidade.

Seguidamente apresento os meus agradecimentos aqueles que fizeram parte da produção deste trabalho, como Eran Paulo Rodrigues e o Professor Doutor Reginaldo Sabóia de Paiva (GTEMA/CNPQ/UFPA) pelo fornecimento dos dados desta investigação tão relevante para a região amazônica. Em especial gostaria de agradecer a minha orientadora da dissertação Professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes pela paciência, disponibilidade e incentivo que foi fundamental para a realização do trabalho.

E por último, mas não menos importante, quero agradecer a todas os amigos e pessoas, que me ajudaram, neste percurso acadêmico e que no qual estiveram sempre presentes, em especial aos meus amigos que cursaram o mestrado comigo que me deram todo o apoio, auxílio e incentivo.

RESUMO

A água é um elemento essencial e indispensável à manutenção da vida, sendo fundamental uma gestão sustentável, de forma a adequar o seu uso e suprimindo as diferentes necessidades. No entanto, a ocorrência deste recurso em quantidade e qualidade adequada tem-se tornado um grande desafio à sociedade global.

A bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas está localizada numa das áreas mineiras mais importante do Brasil - a Província Mineral de Carajás - com minas ativas de ferro, cobre, níquel e manganês. O rio Cateté, pertence à bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, e localiza-se no sudeste do Estado do Pará (região Norte do Brasil), com uma extensão de cerca de 168,3 km, em que cerca de 84,9 km atravessa uma Terra Indígena, designada por Comunidade *Indígena* de Xikrin do rio Cateté. O presente trabalho tem como objetivo a caracterização espacial e temporal da água do rio Cateté, com avaliação da potencial contaminação, na influência dos resíduos da atividade mineira do empreendimento mineiro de Onça-Puma; bem como, identificar os riscos para a saúde dos indígenas da região. Para tal, foram considerados os resultados de monitorização da água do rio Cateté, obtidos nos últimos dois anos (2018-2020), e fornecidos pelo Grupo de Tratamento de Minério, Energia e Meio Ambiente (GTEMA) e Universidade Federal do Pará (UFPA, Brasil). As colheitas de água foram realizadas nos meses de época mais chuvosa (janeiro/fevereiro) e de época seca (junho-setembro), da região amazónica, no ano de 2018, tendo sido repetida na época húmida, no ano de 2020. A qualidade da água do rio Cateté apresenta um elevado teor para os metais: Fe, Ni, Cu, Cr, Mn, Zn, Al e Pb, com níveis contaminantes, demonstrando uma evolução perigosa para o período temporal analisado. Os elevados teores de metais na água estarão provavelmente relacionados com a atividade mineira de Onça-Puma e seus efluentes. Os resultados obtidos em análises clínicas e mineralográficas na população indígena de Xikrin revela a presença de metais pesados no organismo humano, em quantidades contaminantes. Como medidas de monitorização e prevenção da qualidade da água nesta região, sugere-se a continuação do programa realizado pelo GTEMA/CNPQ e UFPA, com a sensibilização do povo indígena para a não utilização da água do rio e de uma certa forma auxiliar a empresa responsável pelo empreendimento em encontrar alternativas viáveis para prevenir a contaminação do rio Cateté, assim como, uma tentativa de remediar a situação atual.

Palavras-Chave: Rio Cateté, atividade mineira, metais, contaminação, saúde humana.

ABSTRACT

Water is an essential and indispensable element for the maintenance of life, being the sustainable management of this resource is important and essential, in order to adapt the use of water in a way that meets the needs of living beings. However, the occurrence of this resource in adequate quantity and quality has become a major challenge for global society.

The Itacaiúnas River basin is located in one of the most important mining areas in Brazil - the Carajás Mineral Province - with active mines of iron, copper, nickel and manganese. The Cateté River, which belongs to the Itacaiúnas River basin, is located in the southeast of the State of Pará (Northern Brazil), with a length of about 168.3 km, which about 84.9 km crosses an Indigenous Land, called the Xikrin Indigenous Community of the Cateté River.

The present work has as main goal the spatial and temporal characterization of the Cateté river 's water, with the evaluation of the potential contamination, in the influence of the drainage of the residues of the mining activity of the mining project of Onça-Puma; as well as, to identify the health risks to the indigenous people of the region. For this purpose, the data provided by the Ore, Energy and Environment Treatment Group (GTEMA) and the Federal University of Pará (UFPA, Brazil), resulting from the research and monitoring work carried out in the last two years (2018-2020) regarding the characteristics of the waters of the Cateté River were considered. The first sample collection was carried out on wet season months (January / February) and dry season months (June-September), in the Amazon region, in 2018, having been held again in the wet season, in 2020.

The water quality of the Cateté River has a high content of heavy metals Fe, Ni, Cu, Cr, Mn, Zn, Al and Pb, with contaminating levels, demonstrating a dangerous evolution for the analyzed period. The high levels of metals in the water are likely to be related to the mining activity of Onça-Puma and its effluents. The results obtained in clinical and mineralographic analyzes in the indigenous population of Xikrin reveal the presence of heavy metals in contaminating quantities in their bodies.

As water quality monitoring and prevention measures in this region, it is suggested to keep the program carried out by GTEMA / CNPQ and UFPA, with the awareness of the indigenous people to not use the river waters and, in a certain way, help the responsible company for the undertaking to seek viable alternatives so as not to increase the contamination of the Cateté River, as well as fix the situation.

Key words: Cateté River, mining activity, metals, contamination, human health.

ÍNDICE

Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiii
2. A ÁGUA E AS ATIVIDADES MINEIRAS.....	17
2.1 Qualidade da Água.....	17
2.2 Influência das Atividades Mineiras.....	19
2.3 Comunidades Indígenas.....	21
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.1 Localização Geográfica.....	22
3.2 Enquadramento Geológico e Geomorfológico.....	24
3.3 Enquadramento Hidrográfico e Hidrogeológico.....	26
3.4 Clima.....	28
3.5 Uso e Ocupação do Solo.....	30
3.6 Atividade Mineiras (Mina Onça-Puma).....	32
3.7 Comunidade Indígena Xikrins do rio Cateté.....	36
4. METODOLOGIA.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 Parâmetros Analisados.....	43
5.2 Resultados Físicos-Químicos.....	44
5.2.1 pH.....	44
5.2.2 Cor.....	45
5.2.3 Turbidez.....	47
5.2.4 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	48
5.2.5 Cobre.....	49
5.2.6 Crômio.....	51
5.2.7 Ferro.....	52
5.2.8 Manganês.....	54
5.2.9 Níquel.....	55

5.2.10	Zinco.....	57
5.2.11	Chumbo.....	58
5.2.12	Alumínio.....	60
5.2.13	Carência Bioquímica do Oxigênio (CBO ₅) e Oxigênio Dissolvido (OD).....	60
5.3	Avaliação temporal da qualidade da água entre os anos de 2018 e 2020.....	64
5.4	Potenciais efeitos na saúde humana da comunidade indígena Xikrin do rio Cateté.....	72
6.	PROPOSTA DE MEDIDAS DE MONITORIZAÇÃO E PREVENÇÃO.....	75
7.	CONCLUSÃO.....	76
	Bibliografia.....	78
	Anexo I – Identificação das Classes Temáticas de Ocupação do Solo.....	83
	Anexo II – Resultado Mineralográfico – Resultado somente dos valores em excesso (Fonte: Relatório Parcial de Monitoramento do rio Cateté na Terra Indígena Xikrin do Catete no período de dezembro/2019 a março/2020).....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água (Fonte: ANA, 2020). ...	19
Figura 2 Enquadramento geográfico da TI Xikrin do rio Cateté.	22
Figura 3 Terra Indígena Xikrin do rio Cateté (Fonte: Costa, 2019).	23
Figura 4 Declividade na área da TI Xikrin do rio Cateté.	25
Figura 5 Associação tectônica e recursos minerais do Domínio Carajás (Fonte: Vasquez et al., 2008).	26
Figura 6 Bacia Hidrográfica na área de influência da região de estudo.	27
Figura 7 Crianças a brincarem no rio Cateté (Fonte: Reportagem Publica, 2017).	28
Figura 8 Localização das estações pluviométricas no estado do Pará (Fonte: Lopes et al., 2013). ...	30
Figura 9 Ocupação do solo na TI Xikrin do rio Cateté.	32
Figura 10 Empreendimento mineiro da Onça Puma (Fonte: Vale, 2020).	33
Figura 11 Níquel produzido no empreendimento da Onça Puma (Fonte: Vale, 2012).	33
Figura 12 Localização da Serras de Onça e de Puma, empreendimento mineiro e sua relação com o rio Cateté (Fonte: GTEMA/UFPA, 2019).	34
Figura 13 Fotografia da Serra de Puma (Fonte: Vale, 2012).	35
Figura 14 Localização da Mineradora de Onça-Puma em relação à TI Xikrin do rio Cateté.	36
Figura 15 Sedimentos de matéria particulada laterítica em deposição nas margens do rio Cateté (Fonte: Costa, 2019).	38
Figura 16 Pontos de amostragem do rio Cateté nas terras indígenas dos Xikrins.	40
Figura 17 Variação do parâmetro pH do rio Cateté na área da TI.	45
Figura 18 Variação do parâmetro cor do rio Cateté na área da TI.	46
Figura 19 Coloração do Rio Cateté.	47
Figura 20 Variação dos valores de turbidez da água do rio Cateté na área da TI.	48
Figura 21 Variação do parâmetro STD na água do rio Cateté na área da TI.	49
Figura 22 Variação dos teores de Cobre na água do rio Cateté.	50
Figura 23 Variação dos teores de Crômio na água do rio Cateté.	51
Figura 24 Mapa de distribuição do elemento crômio no solo da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (destaque para círculo vermelho que corresponde as áreas amostradas pelos pontos PT01 e PT03) Fonte: Salomão et al. (2020).	52
Figura 25 Variação dos teores de Ferro na água do rio Cateté.	53

Figura 26 Variação dos teores de Manganês na água do rio Cateté.....	55
Figura 27 Variação dos teores de níquel na água do rio Cateté.....	56
Figura 28 Mapa de distribuição do elemento níquel no solo da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (destaque para círculo vermelho que corresponde as áreas amostradas pelos pontos PT01 e PT03) Fonte: Salomão et al. (2020).	57
Figura 29 Variação do teor de Zinco na água do rio Cateté.	58
Figura 30 Variação dos teores de chumbo nas águas do rio Cateté.	59
Figura 31 Variação do teor de alumínio nas águas do rio Cateté.....	60
Figura 32 Variação dos valores de CBO na água do rio Cateté.....	61
Figura 33 Variação dos valores de OD na água do rio Cateté.	62
Figura 34 Manchas de espuma abundante no rio Cateté (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFGA, 2020).	62
Figura 35 Comparação temporal do pH da água do rio Cateté entre 2018 e 2020.	65
Figura 36 Comparação temporal da água do rio Cateté entre 2018 e 2020: a) turbidez; b) STD.	65
Figura 37 Comparação dos teores de Cu na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.....	66
Figura 38 Comparação dos teores de Cr na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.	67
Figura 39 Comparação do teor de Fe na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.	67
Figura 40 Comparação do teor de Mn na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.	68
Figura 41 Comparação do teor de Ni na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.....	68
Figura 42 Comparação do teor de Zn na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.	69
Figura 43 Comparação do teor de Pb na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.	69
Figura 44 Comparação do teor de Al na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.	70
Figura 45 Comparação dos valores de CBO (a) e OD (b) da água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.....	70
Figura 46 Indivíduos contaminados por grupo etário.	73
Figura 47 Variação do número de leucócitos por indígena.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distribuição da área da TI Xikrin do rio Cateté pelos territórios municipais.....	23
Tabela 2 Distribuição da ocupação do solo na TI Xikrin do rio Cateté (Fonte: TerraClas & INPE, 2020.	32

Tabela 3 Localização e características dos pontos de amostragem de água (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).....	40
Tabela 4 Valores paramétricos e metodologias laboratoriais de análise físico-química (Fonte: Resolução CONAMA, 2005).....	43
Tabela 5 Casos de doenças registadas, em 2017, na população de aldeias e sua possível relação com os metais encontrados no Rio Cateté (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).....	72
Tabela 6 Percentagem de indígenas por grupo etário e por elemento contaminante (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).....	73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ANA	Agência Nacional de Águas
CBO	Carência Bioquímica de Oxigênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GTEMA	Grupo de Tratamento de Minério, Energia e Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MOP	Mineração Onça Puma
OD	Oxigênio Dissolvido
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SM	Método Padrão
TI	Terra Indígena
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UFPA	Universidade Federal do Pará
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais abundantes do planeta, pois cerca de 2/3 da superfície da Terra estão cobertos por água, sendo um bem precioso e fundamental para a sobrevivência humana e suas atividades diárias (Henriques, 2010).

No que se refere à sua distribuição global, a água líquida encontra-se distribuída pelos oceanos (96,6%) e continentes (3,4%), ocorrendo sob a forma de vapor de água na atmosfera (0,013%). No entanto, maioritariamente a água presente nos oceanos é imprópria para consumo humano direto e menos de 1% encontra-se nos rios, sistemas aquíferos e lagos de água doce (Medina, 2015).

Na gestão sustentável da água é exigida uma necessidade crescente de salvaguardar este bem essencial ao ser humano, pois é utilizada nas diversas atividades diárias, como seja para abastecimento doméstico e público, uso agrícola e industrial, assim como, na produção de energia elétrica e outros (Henriques, 2010).

A qualidade da água pode ser afetada por diversas fontes de poluição, que podem ser pontuais ou difusas, dependendo da possibilidade de reconhecimento imediato ou não do foco de origem. A identificação do foco de contaminação é fundamental no processo de prevenção ou recuperação de áreas contaminadas e consequente gestão sustentável dos recursos hídricos. De salientar que na contaminação de uma massa de água, as principais consequências refletem-se direta e indiretamente nas comunidades humanas e meio ambiente.

Como descreve Henriques (2010): “A conservação da água é obrigação de todos, especialmente porque a água é um património de todos e todos devemos reconhecer seu valor, não esquecendo que sem a água não há vida e que alterando a sua qualidade, a vida do homem e dos outros seres vivos é prejudicada.”

O Brasil é um país localizado na América do Sul, onde se encontra algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo, com a presença de rios extensos e com grande volume de água, estimando-se que possui cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Porém, a sua distribuição natural é irregular, sendo que na região Norte do país, concentra cerca de 80% da quantidade de água disponível, mas correspondendo apenas a 5% da população total brasileira (ANA, 2020).

A região hidrográfica da Amazônia, por exemplo, corresponde a cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do País. Os recursos hídricos desta região constituem um património nacional, que a nação brasileira deve salvaguardar e conservar. Contudo, a

gestão dos recursos hídricos no Brasil é considerada um grande desafio, tendo por base o desenvolvimento e gestão sustentável. Neste sentido, tem-se assistido a diversas dificuldades na gestão dos recursos hídricos, principalmente associadas com a expansão das ações antrópicas, nomeadamente, o desmatamento, atividades mineiras, a monocultura de grãos, entre outras (MMA, 2006).

Este trabalho tem como principal objetivo a avaliação da qualidade da água do rio Cateté, localizado na região sudeste do Estado do Pará – região norte do Brasil. Este rio tem uma extensão de aproximadamente 168,3 km, atravessando três municípios: Parauapebas, Água Azul do Norte e Marabá, e está sujeito a diversas pressões antrópicas, das quais se destacam as atividades mineiras que ocorrem na região. A avaliação da qualidade da água nesta região tem ainda uma importância adicional, pois o rio Cateté atravessa a Terra Indígena Xikrins do Rio Cateté, pelo que uma possível contaminação da água poderá ter consequências na saúde humana da comunidade indígena.

A comunidade indígena tem vindo a sofrer severos impactes nas atividades culturais e na saúde, como consequência da contaminação da água do rio, uma vez que utiliza esta água na higiene pessoal, alimentação, lazer, cultura, entre outras. Por outro lado, têm sido identificados problemas de saúde em alguns membros da comunidade indígena que poderão estar associados ao consumo direto e indireto de água contaminada.

Diversos estudos realizados na região, mostram que, há aproximadamente dez anos, o Rio Cateté tem vindo a registar valores contaminantes em alguns elementos químicos, principalmente associados à descarga de efluentes provenientes da extração de ferro - níquel das atividades mineiras da região, devido à falta de um tratamento adequado antes de serem lançados nas águas do rio. É considerado que o projeto de exploração mineira desenvolvido na região tem provocado impactes extremos e duradouros, que se repercutem na dinâmica social e ambiental de toda a região (França, 2020).

Com este trabalho pretende-se uma caracterização espacial e temporal da água do rio Cateté, na área de influência das atividades mineiras do empreendimento Onça-Puma. Para tal, serão apresentados e interpretados os dados obtidos e cedidos pela equipa de investigação do Grupo de Tratamentos de Minério, Energia e Meio Ambiente (GTEMA/CNPQ), da Universidade Federal do Pará (UFPA). A avaliação da qualidade da água permitirá inferir dos possíveis riscos para a saúde da comunidade indígena, devido ao contato direto e indireto com a água, uma vez que utilizam este recurso nas suas atividades diárias, como seja para consumo humano, higiene pessoal e atividades agrícolas. Com os resultados obtidos será possível propor um conjunto de medidas de prevenção e monitorização da qualidade da água do rio Cateté.

2.A ÁGUA E AS ATIVIDADES MINEIRAS

2.1 Qualidade da Água

A água é um elemento essencial e indispensável à manutenção da vida, sendo um dos compostos de maior importância na crosta terrestre, com características bastante particulares, para além de que, nenhum processo metabólico ocorre sem a sua intervenção direta ou indireta (Souza et al., 2014).

A principal fonte de abastecimento de água potável do planeta é a água superficial, correspondendo à que não se infiltra no solo, ficando acumulada na superfície e que sofre escorrência superficial; originando os rios, riachos, lagoas e córregos (ANA, 2020).

A legislação brasileira, assegura de acordo com o Decreto n.º 24.643/1934, de 10 de julho, o *Código de Águas*, o qual estabelece que é garantido o uso gratuito de qualquer corrente para as primeiras necessidades de vida, permitindo a todos utilizar as águas públicas para necessidade e bem estar (artigo n.º 34 e 36; Diário Oficial da União, 1934). No entanto, e em algumas situações, é perceptível a dificuldade em manter a qualidade da água superficial para as “*primeiras necessidades de vida*”.

Importa ressaltar que, uma *água de qualidade* corresponde a uma água com um conjunto de características físicas, químicas e biológicas adequadas de acordo com a sua utilização, o que a legislação brasileira classifica a partir da sua potabilidade (possibilidade do seu uso para consumo humano), a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem estar dos ecossistemas (Diário Oficial da União, 1934).

No território brasileiro, e de acordo a Resolução CONAMA n.º 357/2005, de 17 de março, os corpos de água são divididos em águas doces, salobras e salinas, sendo classificadas em conformidade com a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. Os vários usos da água possuem diferentes requisitos de qualidade, por exemplo, para se preservar as comunidades aquáticas é necessária uma água com determinada concentração de oxigénio dissolvido, temperatura, pH, nutrientes, entre outros, em contrapartida, os requisitos de qualidade da água para a navegação são menores, devendo estar ausentes os materiais flutuantes e os materiais sedimentáveis que causem assoreamento do corpo de água (ANA, 2020).

Assim, as águas doces são classificadas na Resolução CONAMA (2005), em:

- **Classe Especial:** águas destinadas ao abastecimento para consumo humano (com desinfecção), à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

- **Classe 1:** águas destinadas ao abastecimento para consumo humano (após tratamento simplificado), à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (por exemplo, natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas, e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
- **Classe 2:** águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano (após tratamento convencional), à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (por exemplo, natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa ter contato direto, e às atividades de aquicultura e piscicultura;
- **Classe 3:** águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano (após tratamento convencional ou avançado), à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário, e à dessedentação de animais (local que ocorre acúmulo de água para consumo animal, como bebedouros, lagos, ribeirões, açudes, entre outros);
- **Classe 4:** águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

A Figura 1 mostra que a água de Classe Especial deve ter a sua condição natural, não sendo permitido o lançamento de efluentes, mesmo que tratados; e destina-se a usos mais exigentes. Contudo, nas restantes classes são admitidos níveis crescentes de poluição, sendo considerada na Classe 1, a água com os menores níveis de poluição e nas restantes classes, os maiores níveis de poluição. O nível de exigência para o uso da água também diminui desde a água de Classe 1 para a de Classe 4 (Figura 1). O presente trabalho terá principal enfoque nas águas doces com classe 2, correspondente à classificação do rio Cateté.



Figura 1 | Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água (Fonte: ANA, 2020).

Importa destacar, segundo a ANA (2019), que o Brasil ainda não possui uma rede integrada de monitorização da qualidade das águas. Sendo referido que em nove estados do território nacional não existem quaisquer pontos de medição e controle de qualidade da água, a incluir o estado do Pará onde se localizada a área de estudo.

2.2 Influência das Atividades Mineiras

Uma vez que a qualidade da água não pode ser analisada independentemente da atividade humana e das medidas de gestão, o presente subcapítulo apresentará a influência das atividades mineiras na qualidade da água de corpos hídricos.

De acordo com o Decreto-Lei nº 1.985/1940, de 29 de janeiro, o qual corresponde ao Código de Minas, alterado pela lei nº 14.066/2020, de 30 de setembro, estabelece que: “... a *atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, o armazenamento de estéreis e rejeitos e o transporte e a comercialização dos minérios, mantida a responsabilidade do titular da concessão diante das obrigações deste Decreto-Lei até o fechamento da mina, que deverá ser obrigatoriamente convalidado pelo órgão regulador da mineração e pelo órgão ambiental licenciador*”.

Ainda de acordo com a legislação supracitada, o exercício da atividade de mineração abrange:

- I. *“a responsabilidade do minerador pela prevenção, mitigação e compensação dos impactos ambientais decorrentes dessa atividade, contemplando aqueles relativos ao bem-estar das comunidades envolvidas e ao desenvolvimento sustentável no entorno da mina;*

- II. *a preservação da saúde e da segurança dos trabalhadores;*
- III. *a prevenção de desastres ambientais, incluindo a elaboração e a implantação do plano de contingência ou de documento correlato;*
- IV. *a recuperação ambiental das áreas impactadas.”*

A mineração é uma atividade económica fulcral no Brasil e no mundo, pois promove a ligação de indústrias às matérias-primas para a criação de bens de consumo que são utilizados pelas pessoas no seu quotidiano. Contudo, a atividade mineira pode resultar em graves impactes ambientais, por vezes, irreversíveis. A atividade mineira tem sido considerada como uma atividade geradora de resultados menos positivos para os biomas e pessoas que residem próximo do local explorado (PETESA/UFBA, 2018).

Os impactes ambientais resultantes das atividades mineiras podem incluir alterações nos recursos hídricos, biológicos, atmosféricos e geomorfológicos, podendo ser destacados como principais: a remoção do coberto vegetal na área de extração e consequente alteração na biodiversidade local; contaminação de solos; sedimentação e contaminação de rios por indevido descarte de material e de produtos químicos utilizados na extração mineral; contaminação do ar (quando há queima de material); intensificação de processos erosivos; contaminação da água por descarga de minerais extraídos; entre outros. A poluição e contaminação de linhas de água ocorre normalmente pela descarga inadequada de rejeitos produzidos durante o processo de mineração ou do próprio minério (PETESA/UFBA, 2018).

Segundo Mello et al. (2018), um importante contributo para a qualidade da água em paisagens da floresta tropical é a cobertura vegetal, pois com a ocupação da floresta por atividades antrópicas (e.g., mineração, agricultura, pecuária) diminui a qualidade da água devido ao aumento da erosão dos materiais do solo. Nas regiões em que ocorrem atividades mineiras, o processo pode ser agravado com o lançamento de efluentes mineiros nos cursos de água, aumento da produção de águas residuais e consequente carga de poluentes nos rios. Ainda de acordo com os autores, são necessários mais estudos que avaliem os serviços ecossistémicos prestados pela vegetação natural e sua importância na qualidade da água das bacias hidrográficas, auxiliando no planeamento ambiental, na identificação de futuras ações de conservação e restauração florestal e na elaboração de políticas públicas de proteção dos mananciais. Segundo Salomão et al. (2020), a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, cujo rio Cateté é um afluente, é influenciada principalmente pelas características geotectónicas e litológicas dominantes na região, que se sobrepoem aos efeitos antropogénicos. Assim sendo, os elevados valores de concentração de Ferro (Fe), Níquel (Ni), Crómio (Cr) e Cobalto (Co) na água da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas estarão associados com as fontes naturais locais. Neste sentido, é necessária a avaliação

da qualidade da água dos rios na influência das atividades mineiras, em especial, na região amazônica, onde ocorrem comunidades isoladas como as comunidades indígenas, tal como, a comunidade indígena dos Xikrins do rio Cateté, que recebe este nome justamente pela sua forte relação com o rio Cateté.

2.3 Comunidades Indígenas

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2010), estão registrados cerca de 896.917 mil indígenas, distribuídos por 305 povos indígenas, com 274 dialetos no Brasil, representando cerca de 0,47% da população nacional e ocupando 13,8% do território nacional, sendo que maioritariamente estão localizados na região amazônica. O Brasil é reconhecido pela sua *“diversidade étnica, pela miscigenação, pelo reconhecimento de povos e comunidades tradicionais, além de outras características adquiridas pelo processo de colonização”* (França, 2020).

Na Constituição Federal do Brasil (1988), através dos Artigos 231º e 232º, estão reconhecidos os direitos dos povos indígenas, nomeadamente a organização social, costumes, línguas, tradições e costumes, assim como, os direitos originários sobre as terras, usufruindo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos. O Artigo 231º (3º parágrafo), estabelece que *“o aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei.”*

Contudo, a constante necessidade em expandir, crescer e desenvolver o país, tem afetado fortemente as comunidades indígenas e, conseqüentemente, a sociedade em geral, pois é indissociável a relação entre grandes empreendimentos, com povos indígenas, direitos humanos (sociedade em geral), território (solo e água) e saúde (Porto et al., 2013).

Desde a época da colonização do Brasil até a atualidade, as comunidades indígenas são afetadas com o *“desenvolvimento do território”*, pois tendo por objetivo o progresso, benefício econômico, geração de emprego e renda, entre outros, em contrapartida, provocam a destruição ambiental e social, com ocorrência de crimes e violação de direitos e até alteração no perfil epidemiológico dos povos indígenas. Contudo, é bastante difícil relacionar as alterações resultantes das atividades antrópicas no território das comunidades indígenas, e os fatores causais diretos que reflitam essas alterações, assim como, o aparecimento e a disseminação de doenças nos indivíduos destas comunidades, em particular por inexistência de uma investigação completa e conclusiva (França, 2020).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização Geográfica

A área do presente estudo situa-se na Terra Indígena (TI) Xikrin do Rio Cateté, localizada na região norte do Brasil, a qual está inserida na jurisdição de três municípios do sudeste do Estado do Pará, nomeadamente, Parauapebas, Água Azul do Norte e Marabá (Figura 2). Está, ainda, limitada com as áreas de conservação da Floresta Nacional do Itacaiúnas, Floresta Nacional do Tapirapé Aquiri e Floresta Nacional de Carajás, além de fazer limites com outros municípios (Figura 3).

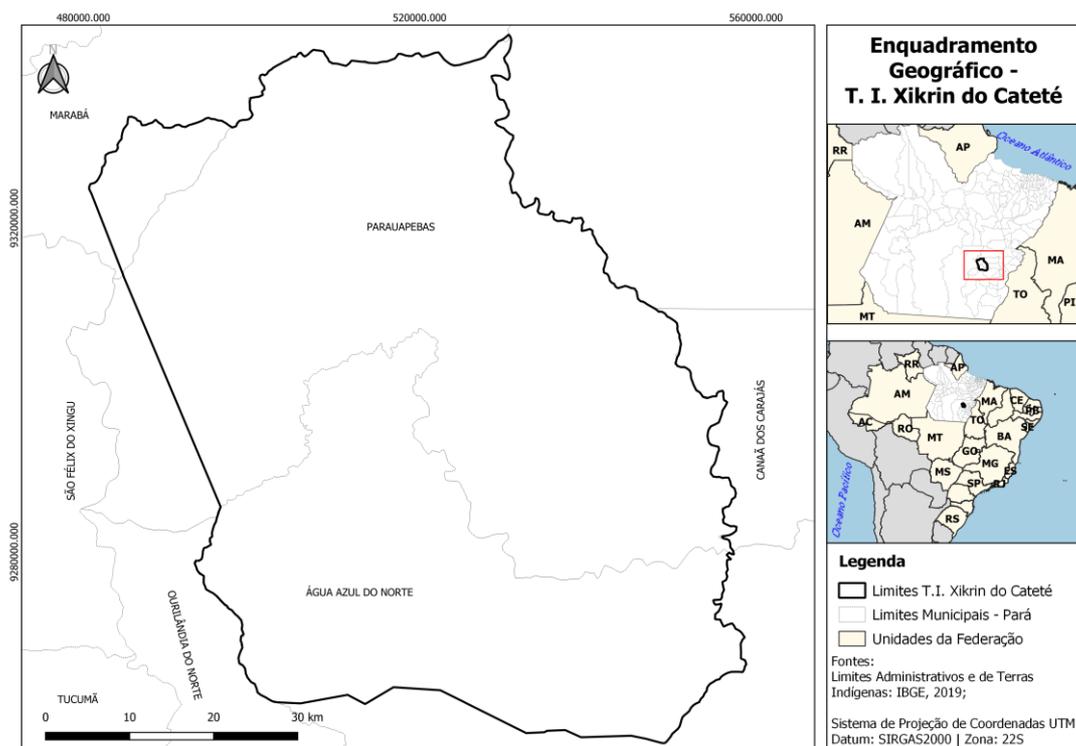


Figura 2 | Enquadramento geográfico da TI Xikrin do rio Cateté.

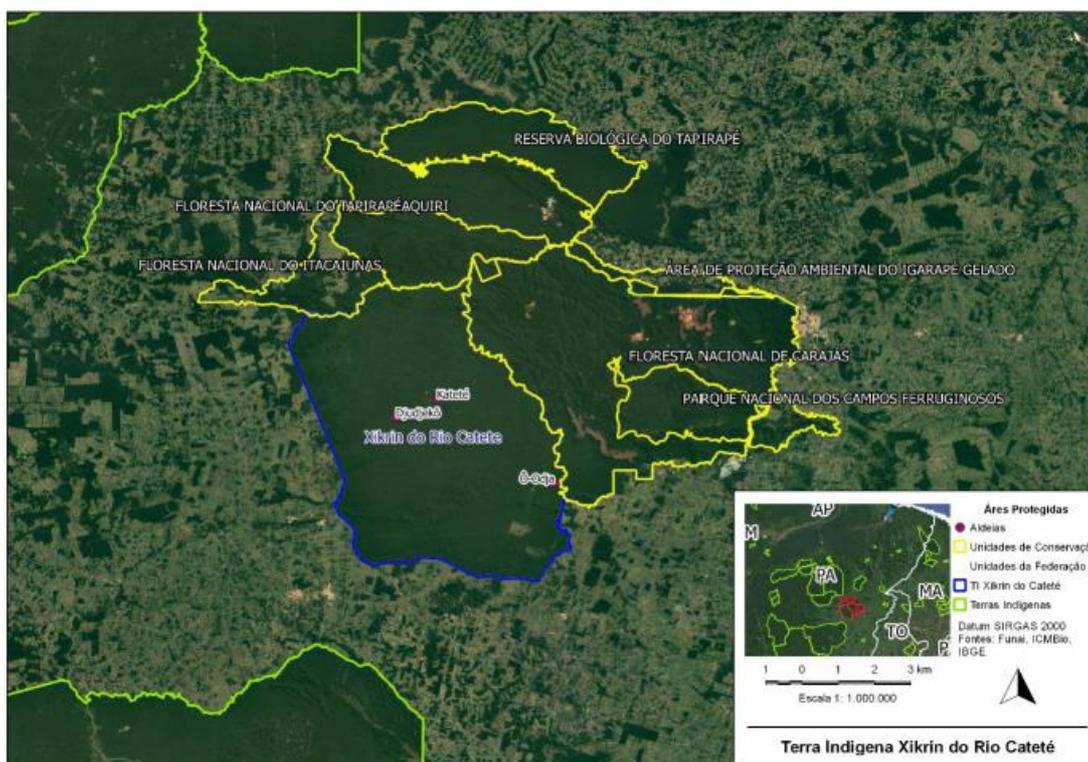


Figura 3 | Terra Indígena Xikrin do rio Cateté (Fonte: Costa, 2019).

A TI Xikrin do rio Cateté, com uma área de cerca de 439 000 ha, localiza-se maioritariamente no município de Parauapebas (61% da área da TI), seguido do município de Água Azul do Norte (cerca de 36% da área da TI) e o município de Marabá (3%) (Tabela 1).

Tabela 1 | Distribuição da área da TI Xikrin do rio Cateté pelos territórios municipais.

MUNICÍPIO	ÁREA DO MUNICÍPIO (ha)	ÁREA DA TI NO MUNICÍPIO (ha)	%
Parauapebas	688.620,80	266.191,64	60,72%
Água Azul do Norte	711.395,50	157.705,22	35,97%
Marabá	1.512.805,80	14.498,58	3,31%
Total		438.395,44	100,00%

A área da TI está ainda limitada geograficamente a este - oeste pelos rios Cateté e Itacaiunas; e a norte - sul, entre a Serra Carajá/rio Aquiri e a serra da Seringa; localizando-se em terras firmes de mata tropical (nomeadamente “mata de cipó”).

A Terra Indígena Xikrin do rio Cateté corresponde a uma área de reserva regularizada¹ e tradicionalmente ocupada por povo indígena, o qual possui uma extensão territorial de cerca de mais de 438 000 ha, com um perímetro de aproximadamente 360 km e uma população de 1183 indivíduos, correspondente ao povo Caiapó-Xikrin (ISA, 2020).

Importa ressaltar que, para além da presença das áreas de conservação da Floresta e dos rios, o território da reserva é envolto por atividades de agropecuária que se repercutem diretamente na disposição vegetal, podendo ser observado o contraste entre a vegetação de pastos e a floresta de mata densa, com abundância de espécies, especialmente de castanheiras (Costa, 2019).

3.2 Enquadramento Geológico e Geomorfológico

O domínio geomorfológico da região em estudo está inserido no Planalto Residual do Sul da Amazônia, sendo uma unidade de relevo que apresenta vertentes declivosas e remanescentes de antigas superfícies de erosão, geralmente localizadas no interior de florestas preservadas, especialmente inseridas em territórios indígenas. Tem um aspeto montanhoso, com agrupamento de morros e serras baixas, além de um conjunto de platôs² isolados dispostos em distintos arranjos litoestruturais, contrastando com vastas superfícies aplanadas do Sul da Amazônia, em que nos topos pode ocorrer lateritos (Paraense, 2018).

A área de estudo é maioritariamente abrangida por uma declividade até 5° (Figura 4), o que caracteriza as Superfícies Aplanadas do Sul da Amazônia, constituindo um extenso domínio geomorfológico que abrange vastas áreas do centro-sul do estado paraense, nomeadamente os municípios de: Trairão, Novo Progresso, Novo Repartimento, Pacajás, Anapu, Xinguara, Ourilândia do Norte, Tucumã, São Félix do Xingu, Rio Maria, Pau d'Arco e Redenção (Paraense, 2018).

¹ Terras que, após o decreto de homologação, foram registadas em Cartório em nome da União e na Secretaria do Património da União.

² Classificação dada a uma forma de relevo constituída por uma superfície elevada, com cume em geral nivelado, formado devido à erosão eólica ou pelas águas.

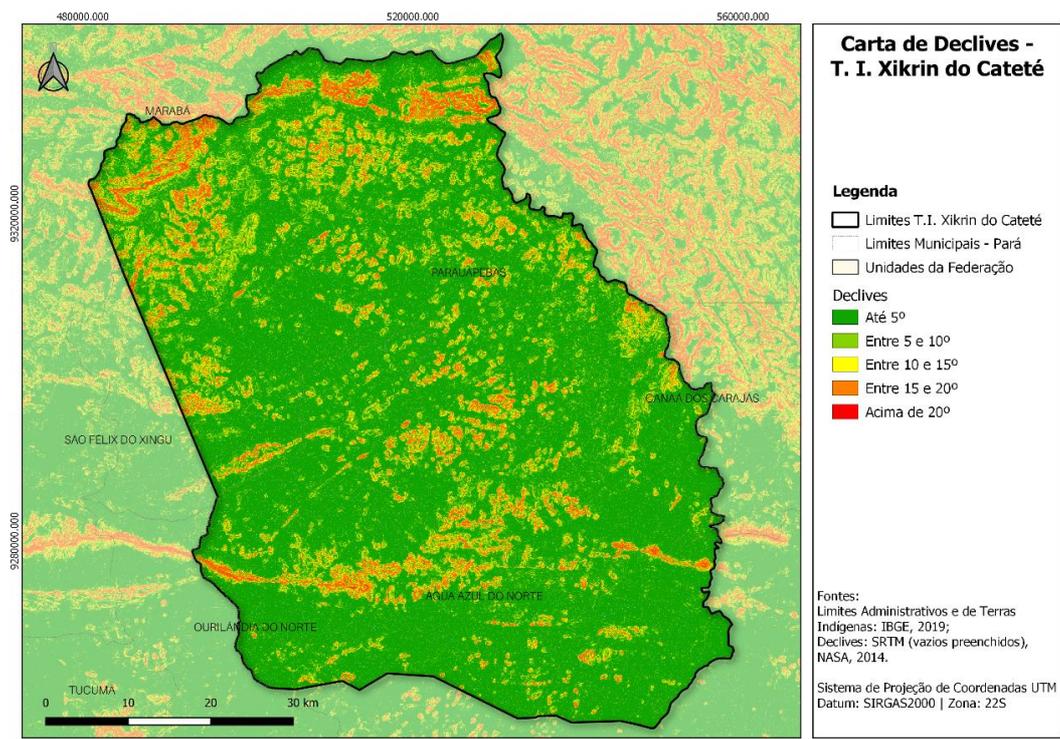


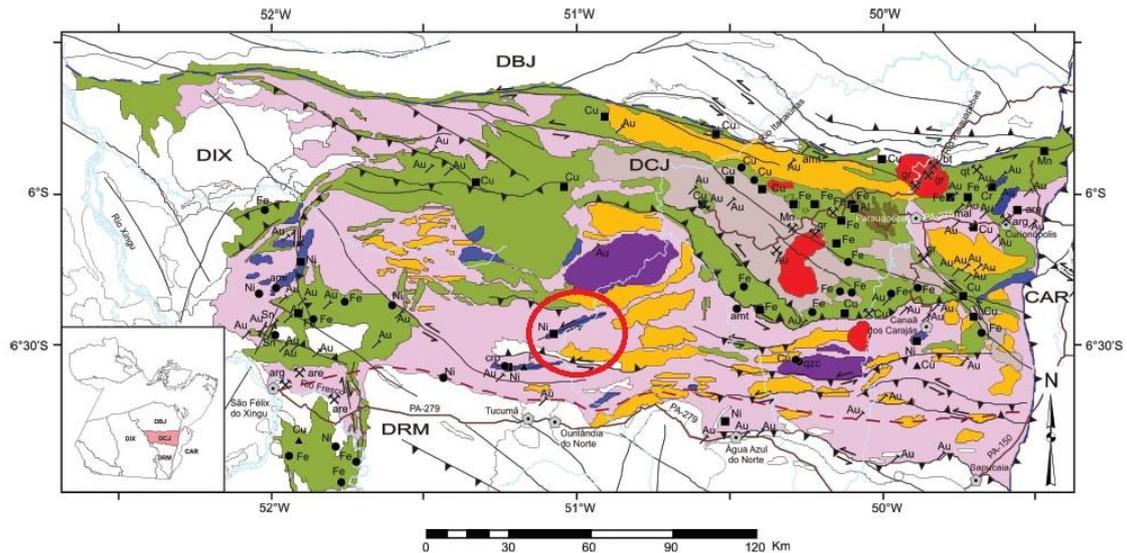
Figura 4 | Declividade na área da TI Xikrin do rio Cateté.

No entanto, na área em estudo verifica-se também a ocorrência de declividades até 20°, estando distribuída pelas zonas centro-norte da TI e mais a sul, em que na zona a sudoeste se verificam as maiores declividades que estão associadas à ocorrência de serras, nas quais ocorrem os trabalhos de exploração mineira.

As formas de relevo da região são predominantemente moldadas em rochas granitoides: granitos e gnaisses do Complexo Xingu, conjuntamente com rochas metavulcânicas e metassedimentares, de idade pré-Câmbrica. Portanto, este domínio geomorfológico apresenta um notório predomínio de superfícies aplanadas (Paraense, 2018).

A área da TI Xikrin do rio Cateté situa-se geotectonicamente na porção sul do Cráton Amazônico, região sudoeste da Província Mineral de Carajás, na Folha São Félix do Xingu, sendo uma das mais importantes províncias metalogenéticas do mundo, com caráter prospectivo e restritos às áreas de ocorrências das mineralizações, tais como, Ferro (Fe), Níquel (Ni) e Cobre (Cu) (Vasquez et al., 2008).

A Província Mineral de Carajás é dividida em dois blocos geologicamente distintos: Domínio Carajás, especificamente onde está localizada a TI Xikrin do rio Cateté (Figura 5), e Domínio Rio Maria (Vasquez et al., 2008).



Associações Tectônicas do Domínio Carajás

Magmaísmo Félsico Intracontinental

PP34a *Suitas Plutônicas Alcalinas Intracontinentais* - granitos de afinidade alcalina relacionados à extensão crustal orosiriiana/estateriana. Suíte Intrusiva Serra dos Carajás (1883-1874 Ma).

Magmaísmo Máfico-Ultramáfico Intracontinental

PP1u *Complexo Máfico-Ultramáfico Sideriano* - corpos máfico-ultramáficos siderianos. Suíte Intrusiva Cateté (2378 Ma).

Bacia Sedimentar Arqueana

A4bcp *Bacia Cratônica Plataformar Neoarqueana* - seqüência plataformar regressiva de sedimentação neoarqueana. Formação Águas Claras (< 2778 e > 2708 Ma).

Terreno Granitóide-Greenstone Neoarqueano

A4c *Granitos de Alto K Neoarqueanos* - granitos potássicos neoarqueanos (2763-2730 Ma). Complexo Granítico Estrela, granitos Piaçubé, Planalto, Serra do Rabo e Igarapé Gelado.

A4i *Complexo Máfico-Ultramáfico Neoarqueano* - corpos máfico-ultramáficos neoarqueanos. Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga (2763 Ma).

A4gb *Greenstone Belts Neoarqueanos* - seqüências metavulcano-sedimentares neoarqueanas (2776-2740 Ma). Grupos Rio Novo, São Felix, São Sebastião, Aquiri, Grão Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca e Igarapé Salobo.

Embasamento Mesoarqueano

A3gn *Associação granito-gnáissico-migmatítica Mesoarqueana* - ortognaisses migmatíticos com protólito (2874 Ma) e metamorfismo de alto grau (2859 Ma) mesoarqueanos. Complexo Xingu.

A3gt *Associação Granulítica Mesoarqueana* - ortogranulitos com protólito (3002 Ma) e metamorfismo granulítico (2859 Ma) mesoarqueanos, com charnockitos máficos contemporâneos. Ortogranulito Chicrim-Cateté e Diopsídio Norito Plum.

Domínios Tectônicos

--- Limite com assinatura geofísica DBJ - Domínio Bacajá
 --- Limite com assinatura estrutural DCJ - Domínio Carajás CAR - Cinturão Araguaia
 --- DRM - Domínio Rio Maria DIX - Domínio Iriri-Xingu

Estruturas

— Falha ou fratura
 — Falha compressional (cavalgamento)
 — Falha transpressional (dextral / sinistral)
 — Falha transcorrente (dextral / sinistral)

Base Planimétrica

PA-150 Rios e Igarapés
 — Estradas
 * Cidades

Recursos Minerais

Metais Nobres

Ouro (Au)
 Platina (Pt)

Metais Ferrosos

Cromo (Cr)
 Ferro (Fe)
 Manganês (Mn)
 Níquel (Ni)

Metais Não Ferrosos

Alumínio (Al)
 Cobre (Cu)
 Estanho (Sn)

Material de Uso na Construção Civil

Areia (are)
 Argila (arg)
 Brita (bt)
 Granito (gr)
 Quartzito (qt)

Rochas e Minerais Industriais

Amianto (ami)

Gemas

Ametista (amt)
 Crispósio (crp)
 Quartzo citrino (qzc)
 Malaquita (mal)

Grau de Importância

■ Depósito
 ● Ocorrência

Status Econômico

▲ Indício
 ↗ Garimpo
 ✕ Mina ativa
 ✕ Mina inativa

Figura 5 | Associação tectônica e recursos minerais do Domínio Carajás (Fonte: Vasquez et al., 2008).

3.3 Enquadramento Hidrográfico e Hidrogeológico

O Pará é o estado da região amazônica que possui a mais vasta rede de drenagem do Brasil, contemplando assim grandes e extensas bacias hidrográficas, de modo que os rios adquirem uma relevância única na vida da população. O regime hidrológico destes rios, e conseqüentemente das suas bacias hidrográficas, pode ser severamente afetado com a falta ou o excesso de precipitação (Lopes et al., 2013).

A TI Xikrin do rio Cateté está localizada na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, tendo como principais limites: o rio principal - denominado rio Itacaiúnas (sentido norte-sul) e o afluente - rio Cateté (sentido oeste - este) (Figura 6), os quais influenciam consideravelmente a vida dos indígenas. O rio Cateté, de acordo com a base cartográfica da ANA (2020), possui uma extensão de cerca de 168,3 km, em que cerca de 84,9 km estão dentro da TI Xikrin do rio Cateté.

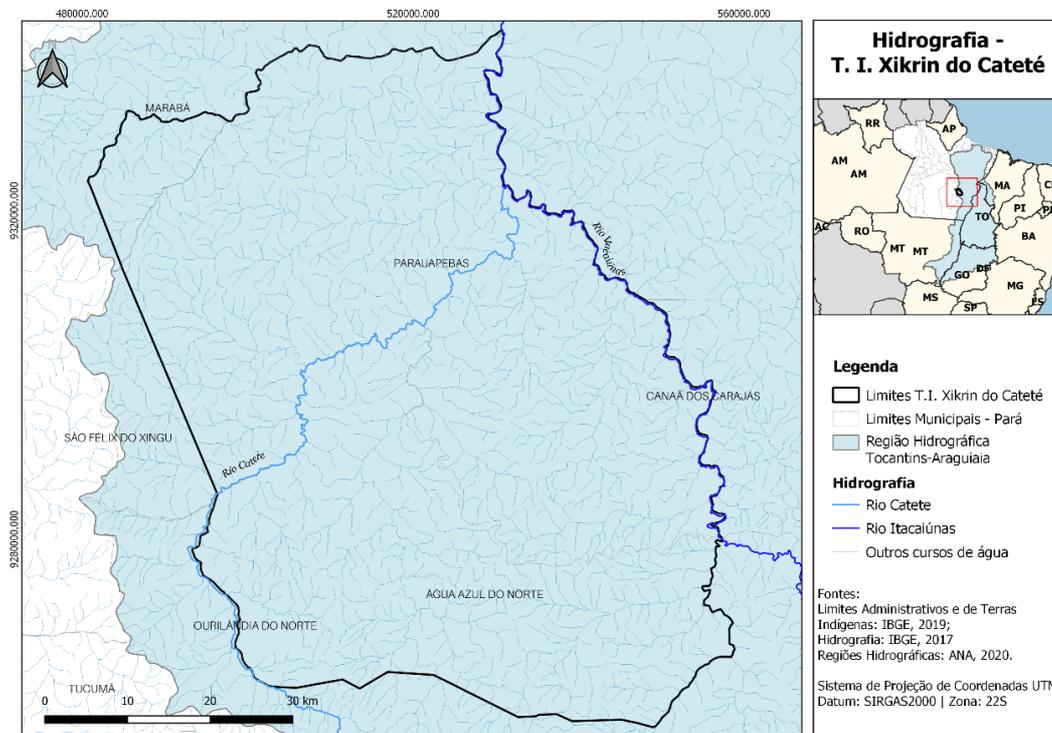


Figura 6 | Bacia Hidrográfica na área de influência da região de estudo.

Os rios Cateté e Itacaiúnas abastecem as aldeias da TI e têm sido o principal recetor de efluentes provenientes das atividades mineiras. Os rios são fatores determinantes no posicionamento das aldeias e para a prática da cultura indígena, como o simples hábito de tomar banho, a prática da atividade pesqueira e o manejo da mandioca, tubérculo essencial para a alimentação indígena, para a produção de farinha de mandioca e outros produtos alimentares, bem como, para atividades recreativas e de diversão (Figura 7).



Figura 7 | Crianças a brincarem no rio Cateté (Fonte: Reportagem Publica, 2017).

3.4 Clima

Dada a relevância que o clima ocupa no cenário político-técnico-científico no Estado do Pará e na Amazônia como um todo, pode ser destacada a influência regional das variações no tempo e no espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação, sendo esta última a mais importante na região (Lopes et al., 2013).

O clima no Pará tem no seu interior a predominância de um Clima Equatorial Quente e Húmido. Entretanto, como a sua área é muito extensa, existe alguma variabilidade nos tipos climáticos deste Estado, e que segundo a classificação de Köppen se destacam: o Clima Equatorial Semi-húmido e o Clima Tropical Equatorial de Savanas (Gomes, 2017).

No sul do estado, ocorre o clima tropical, que tem duas estações definidas: uma seca e chuvosa e outra também quente e seca, o que influencia as atividades agrícolas, sazonalidade do nível de água nos rios; com um aumento da suscetibilidade de ocorrência de riscos naturais, como cheias e inundações.

O Estado do Pará sofre influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), designado como um fenômeno meteorológico de escala intrasazonal que influencia a distribuição de precipitação, sendo em muitos casos, responsável por alguma variabilidade no clima regional. Como principal efeito tem-se uma maior frequência de precipitação nos meses de verão, coincidindo com a estação chuvosa, e afetando

os índices pluviométricos, principalmente na porção Sul do Estado (Lopes et al., 2013). Dada a sua posição geográfica, o Estado do Pará experimenta pequenas variações ao longo do ano, quanto à maioria das variáveis climáticas como a temperatura do ar, insolação, humidade, direção e velocidade do vento. O índice pluviométrico, por sua vez, apresenta marcadamente duas estações no ano, sendo uma bastante chuvosa, regionalmente conhecida como inverno amazónico, e a outra considerada seca, a qual pode ser chamada de verão amazónico (Albuquerque et al., 2010).

O regime hidrológico, entretanto, pode ser severamente afetado pela falta ou excesso de precipitação. Diante de tal circunstância, as atividades económicas ligadas aos setores da agricultura, turismo, transporte, energia, indústria, entre outros, são diretamente dependentes e amplamente influenciados pela variabilidade pluviométrica regional (Lopes et al., 2013). Uma parte considerável dos seus habitantes exerce atividades que estão diretamente relacionadas com as condições climáticas e ambientais, pelo que um conhecimento detalhado do clima e sua variabilidade em diferentes escalas (anual, sazonal e intrasazonal) constitui um instrumento extremamente útil para a população. Muitas vezes, tem como resultado diversas informações estratégicas que podem ser utilizadas para promover o desenvolvimento da região, uma vez que permite o planeamento das ações do governo, assim como, de instituições privadas.

Na Figura 8, pode-se verificar a área de estudo apresenta uma topografia com cotas variando entre 200 e 300 m. Nesta região, as estações pluviométricas mais próximas correspondem às das entidades: Agência Nacional da Água (ANA), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE). A mesorregião sudeste paraense regista no período de maior pluviosidade, que tem início no mês de novembro e atinge seu maior ponto entre os meses de dezembro a março, possui uma pluviosidade entre 150 mm à 350 mm, enquanto no período de menor precipitação maio a outubro, apresenta de 35 mm à 144 mm, no período compreendido entre 1987 e 2008 (Albuquerque et al., 2010).

As temperaturas médias mensais mais elevadas são registadas no período entre novembro a março, com um valor de 32.5°C, enquanto as temperaturas mínimas, de cerca de 21°C, são registadas entre os meses de maio a outubro (Sarmiento, 2019).

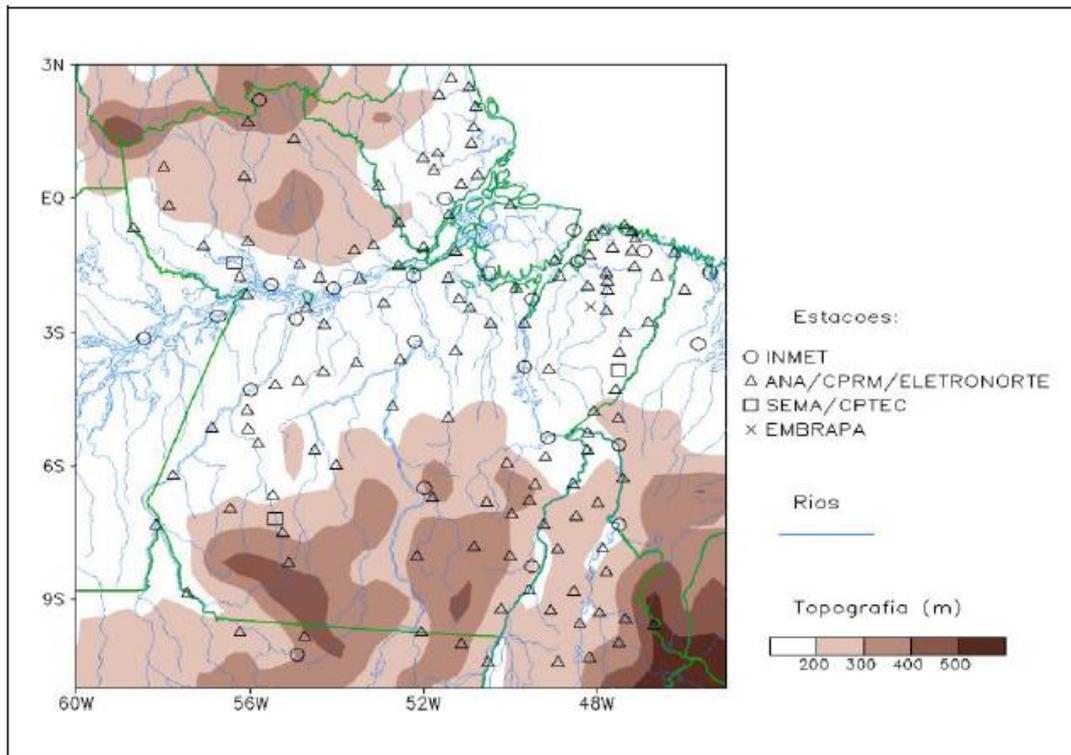


Figura 8 | Localização das estações pluviométricas no estado do Pará (Fonte: Lopes et al., 2013).

Visto que o Pará apresenta uma dimensão territorial expressiva, com 1.246.833 km², o tempo atmosférico sobre o Estado, além dos efeitos locais, é também influenciado por sistemas de mesoescala, como aglomerados convectivos e linhas de instabilidade, e sistemas meteorológicos de grande escala transientes, como as zonas frontais, e quase-estacionários, sobretudo, a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e a Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS (COHEN, 1989; COHEN et al., 1989). Assim sendo, a influência dos diferentes sistemas meteorológicos resulta numa distribuição pluviométrica elevada, porém com uma distribuição não homogênea pelo território.

3.5 Uso e Ocupação do Solo

Dada a vasta extensão da região, é ainda incipiente o conhecimento dos solos da Amazônia, cujos estudos são recentes, a partir de 1950, ocorrendo diversos estudos concentrados em certas partes da região. Até a década de 70, a região da área de estudo, situada no sudeste do Estado do Pará, ainda se encontrava isolada e inserida no cenário mais desconhecido do território brasileiro. A ocupação desenfreada que vem ocorrendo nas últimas décadas por assentamentos e fazendas de gado, retirando grande parte da cobertura vegetal desta zona, tem vindo a transformar a área de floresta em pastos (Schaefer et al., 2017).

As unidades pedológicas identificadas na área de estudo e respectivas características são:

- **Neossolo litófico:** apresenta características de reduzida profundidade, situando-se em relevos mais declivosos, sendo compostos por bases e alumínio;
- **Nitossolo Vermelho Eutrófico:** são solos profundos, bem drenados, com pouca diferenciação entre os horizontes, desenvolvidos a partir da intemperização de rochas básicas e ultrabásicas;
- **Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico:** são solos profundos, com um acentuado aumento de argila do horizonte superficial "A" para o subsuperficial "B", podendo apresentar cerosidade. Possui uma tonalidade avermelhada, devido à presença de teores mais elevados de Ferro e à natureza dos óxidos de ferro presente no material originário, em ambientes bem drenados, apresenta uma fertilidade natural muito variável devido à diversidade de materiais de origem (EMBRAPA, 2018).

Em termos de ocupação do solo, na área delimitada da TI Xikrin do rio Cateté, com base nos dados da TerraClass & INPE (2020), verifica-se que a área é predominante coberta por vegetação natural florestal primária da região amazônica, abrangendo uma área de 430020,96 ha (correspondendo a 98,5% da área da TI), seguido de vegetação natural florestal secundária com 3131,22 ha (correspondente a 0,72% da área da TI) e área de pastagem (herbácea e arbustiva) com 3037,82 ha (representa 0,70% da área da TI; Figura 9).

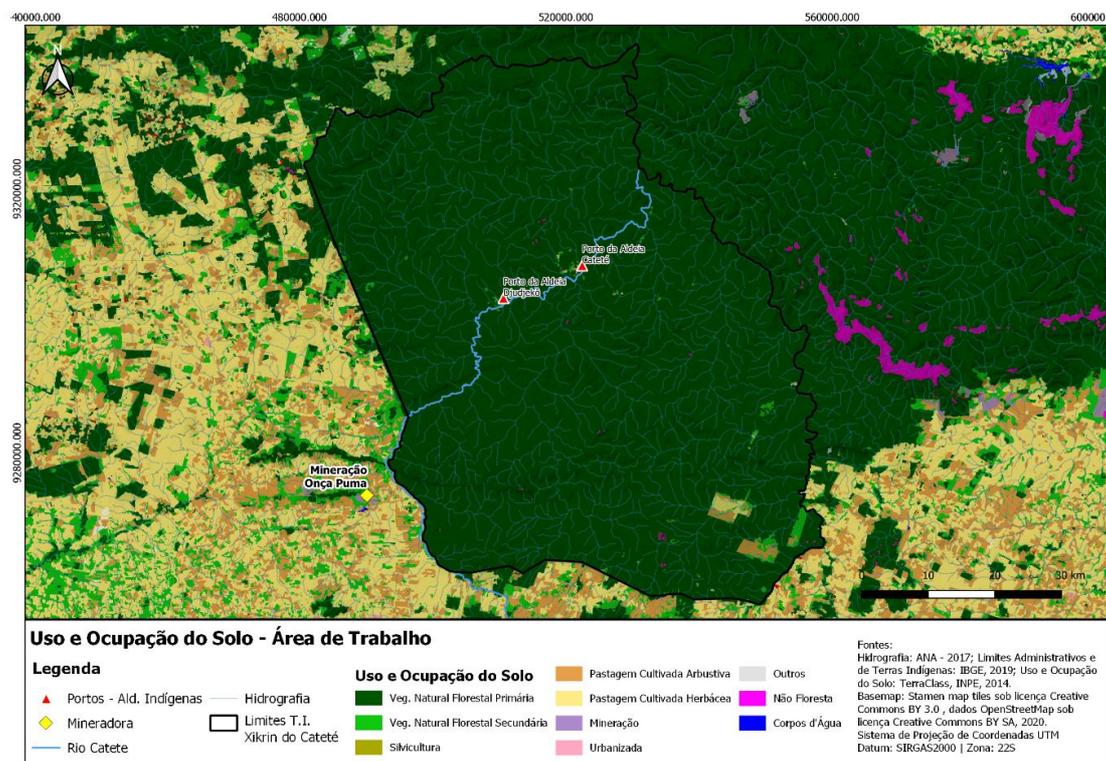


Figura 9 | Ocupação do solo na TI Xikrin do rio Cateté.

Na Tabela 2, verifica-se a distribuição das classes temáticas na área do TI Xikrin do rio Cateté. É possível observar que tratando-se de um território indígena e condicionado a regime de proteção, a grande maioria da área não registra intervenção humana. No Anexo I, encontram-se identificadas e caracterizadas as unidades de classes temáticas da Tabela 2.

Tabela 2 | Distribuição da ocupação do solo na TI Xikrin do rio Cateté (Fonte: TerraClas & INPE, 2020).

CLASSES TEMÁTICAS	ÁREA (ha)	REPRESENTAÇÃO NA ÁREA DA TI (%)
Vegetação Natural Florestal Primária	430.020,9561	98,5057
Vegetação Natural Florestal Secundária	3.131,22	0,7173
Pastagem Cultivada Arbustiva	2.002,4971	0,4587
Pastagem Cultivada Herbácea	1.035,3263	0,2372
Área de Não Floresta	244,5953	0,0560
Urbanizada	86,3546	0,0198
Outros	11,5877	0,0027
Desflorestamento no ano	10,3014	0,0024
Corpo de Água	1,5663	0,0004
Total	436.544,409	100

3.6 Atividade Mineiras (Mina Onça-Puma)

A atividade mineira na região sudeste do Pará é um setor em constante desenvolvimento, e que tem despertado interesse em grandes companhias deste segmento, sendo denominada Província Mineral de Carajás, por ser uma região rica em garnierite³, um silicato de magnésio e níquel de composição variável. Importa ressaltar que os Estados do Pará e Goiás concentram quase 80% das reservas de Ni e é onde se localizam os maiores e os mais importantes depósitos econômicos de níquel do país, em que na maioria dos quais predominam os minérios lateríticos (MME, 2009).

A mineração de Onça Puma (MOP) é um empreendimento da mineradora do Grupo Vale localizado no município de Ourilândia do Norte - PA, com atividade de exploração de depósitos de níquel (Ni) laterítico das Serras de Onça e de Puma (Figura 10).

³ Mineral composto por silicatos hidratados de Ni, sendo uma importante fonte de Ni, cm dureza 2 a 3, brilho terroso e opaco.



Figura 10 | Empreendimento mineiro da Onça Puma (Fonte: Vale, 2020).

A mineradora que é considerada a maior produtora global de Ni tem a sua mina em funcionamento desde o ano de 2011, e tem estimada uma vida útil da mina de 36 anos, com uma reserva mineral de 110,32 milhões de toneladas (provada e provável), com teor médio de reserva de 2,4% - 1,6% de Ni para os primeiros 20 anos (Figura 11).



Figura 11 | Níquel produzido no empreendimento da Onça Puma (Fonte: Vale, 2012).

O depósito níquelífero de Onça Puma está localizado em duas serras (Figura 12), e corresponde a um depósito de alteração hidrotermal, gerado por processos supergênicos, onde a laterização atuou intensamente sobre as rochas básicas e ultrabásicas, formando um horizonte saprolítico ferruginoso

(Ruggiro, 2013). Configuram-se como complexos máfico-ultramáficos (dunitos e peridotito serpentinizados, piroxenitos e gabros), de forma alongada e de direção aproximada este-oeste, que sobressaem na paisagem como serras de topo tabular, com desníveis até 200m (Oliveira, 1990).



Figura 12 | Localização da Serras de Onça e de Puma, empreendimento mineiro e sua relação com o rio Cateté (Fonte: GTEMA/UFPA, 2019).

A serra de Puma, com uma extensão de 23km x 3km (Figura 13), é composta por peridotitos serpentinizados na sua porção ultramáfica. Sobre estas rochas desenvolveu-se uma capa laterítica, com saprólito silicatado na base (serpentina, clorite e esmectite) e material ferruginoso no topo (goethite, hematite e quartzo). O perfil de alteração é mais desenvolvido nas zonas de menor declive e, no topo tabular da serra, está coberto por um nível de silcrete. Nos níveis inferiores do perfil, o saprólito é recortado por veios de quartzo e garnierite. Os teores médios dos elementos Ni, Fe e Co no minério são de 2,0%; 26,4% e 0,084%, respectivamente, indicando que se trata de um minério com forte componente de oxidação (Oliveira, 1990).



Figura 13 | Fotografia da Serra de Puma (Fonte: Vale, 2012).

Na serra de Onça, com uma extensão de 22km x 3km, as rochas ultramáficas são representadas por dunitos serpentinizados e piroxenitos. O perfil de alteração é semelhante ao da Serra de Puma, sendo que também nesta aparece o nível de silcrete, no topo da serra, e veios preenchidos por quartzo e garnierite, na base do perfil. Os teores médios de Ni, Fe e Co são de 2,14%; 15,9% e 0,067%, respectivamente, caracterizando, portanto, um minério menos oxidado que o de Puma (Oliveira, 1990). O depósito mineral de Onça- Puma possui altos teores de níquel, com um teor médio acima de 2% Ni para um cut-off⁴ de 1,5%, e uma reserva superior a 40 milhões de toneladas (Oliveira, 1990). O grande desafio da atividade exploradora do empreendimento de Onça Puma é a sua localização na zona sudoeste da Terra Indígena (TI) Xikrin do rio Cateté, no município de Ourilândia do Norte, na região sudeste do Estado Pará (Figura 14), embora seja um empreendimento licenciado, desde o ano de 2011, pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMAS-PA). O empreendimento tem causado diversos impactos ambientais na zona, que incluem a contaminação da água do rio Cateté devido à exploração do minério e consequente recepção dos despejos de resíduos de beneficiamento do minério, nomeadamente rejeitados mineiros, com diferentes teores de metais que, quando presentes na água, possuem um efeito tóxico.

⁴ Cut-off ou teor de corte é o teor mínimo da substância útil que permite a sua extração econômica.

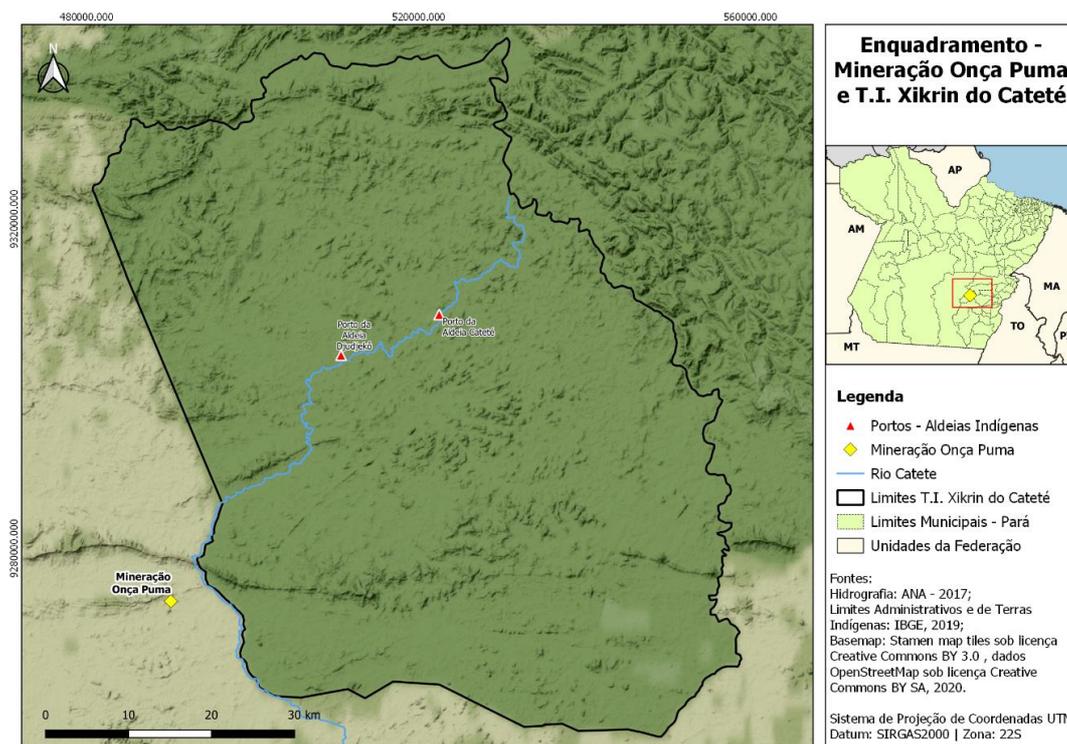


Figura 14| Localização da Mineradora de Onça-Puma em relação à TI Xikrin do Cateté.

É imperativo descrever que o empreendimento mineiro inclui intervenções em recursos hídricos, como: barragens para decantação e contenção de finos, que são estruturas de engenharia construídas com intuito de conter os sólidos provenientes da erosão e do carreamento a partir de áreas decapadas da lavra ou depósitos de estéril; barragens para contenção de rejeitos, que são estruturas do sistema de beneficiamento de minério; e bacias de sedimentação de dreno, assim como bacias de efluentes, correspondente a um dos processos mais simples para o tratamento de efluentes através da sedimentação de partículas maiores.

3.7 Comunidade Indígena Xikrins do rio Cateté

A conservação das tradições e a influência da cultura do “*homem branco*” têm sido um desafio constante para os índios da etnia Xikrin do rio Cateté que habitam no sudeste paraense. A realidade é que a relação do índio com a natureza sempre foi harmoniosa e de respeito, porém, ao se adaptarem aos costumes do “*homem branco*”, os indígenas mudaram os seus próprios hábitos, como a sua relação com a água e o ambiente (Costa, 2019).

O rio Cateté cuja extensão não é superior a 120 km de um extremo ao outro, é um recurso hídrico de extrema importância para a própria instalação da aldeia no local, devido ao uso da água para banho dos

indígenas, a prática da pesca para subsistência e lazer, utilização da água para o processo de preparação de alimentos e próprio consumo.

No período de estiagem na região, entre os meses de maio a setembro, é o mais propício para o que chamam de “*bater timbó*”, devido a apresentar o menor volume de água no rio. A prática de “*bater timbó*” consiste em utilizar um tipo de cipó particular na pescaria coletiva tradicional dos Xikrin, cujo “*timbó*” possui uma substância tóxica que, quando liberada na água, reduz a concentração de oxigênio, obrigando os peixes a ascenderem à superfície em busca de ar, no preciso momento em que são flechados (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Outra prática habitual dos indígenas diretamente relacionada com a água do rio Cateté é o processo de preparo de um alimento tradicional indígena, a farinha de mandioca, que ocorre com a introdução do tubérculo, nomeadamente mandioca⁵, na água do rio Cateté durante semanas para amolecer e inchar, sendo depois triturada e misturada com a mandioca seca para ser torrada. Também é tradição entre os Xikrin comerem batatas-doces, cultivadas nas margens do rio Cateté, usando a água do rio para molhar o alimento antes de mastigá-lo (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Contudo com a constatação de que as águas do rio Cateté se encontram contaminadas com metais pesados e a indicação médica de proibição de usar a água do rio para processar e consumir os alimentos que tem contato com a água, os indígenas têm evitado consumir o peixe pescado na área, reduzindo a utilização da mesma no preparo da farinha, passando a utilizar reservatórios de água, e mesmo não tomarem banho na água do rio (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

A atividade mineira na região e os impactes ocasionados nos recursos hídricos são visíveis, diretamente através da coloração do rio ou da acumulação de sedimentos característicos de metais oxidados nas margens do rio, onde estão localizados os portos das aldeias (Figura 15).

⁵ Espécie de planta tuberosa da família das *Euphorbiaceae*. O nome dado ao caule do pé de mandioca é maniva, o qual, cortado em pedaços, é usado no plantio. Trata-se de um arbusto que teria tido sua origem mais remota no oeste do Brasil (sudeste da Amazônia) e que, antes da chegada dos europeus à América, já estaria disseminado, como cultivo alimentar, até a Mesoamérica (Guatemala, México).



Figura 15 | Sedimentos de matéria particulada laterítica em deposição nas margens do rio Cateté (Fonte: Costa, 2019).

Os Xikrin do rio Cateté são originários da etnia *Kayapó* do sub-grupo *Mebengôkre*, distribuídos na Floresta Amazônica, localizada no sul e sudeste do Estado do Pará, até à região central do Brasil, a qual regista cerca de 9 mil indígenas oriundos desse subgrupo.

A TI dos Xikrin do rio Cateté está situada numa área significativa da floresta amazônica, cercada por fazendas, ou seja, monocultivos de pastagens e outras espécies comerciais, além de presença de empreendimentos de exploração mineira, entre outros grandes projetos de cunho capitalista. A comunidade indígena é circunscrita por limites de atividades mineiras, desde a década de 1970, as quais influenciaram diretamente as repercussões nas vidas dos indígenas, resultantes das relações da dinâmica da mineração, onde afetaram, entre outros pontos, a sua organização social e política (Carvalho, 2015).

As terras indígenas brasileiras estão posicionadas em localidades com alto nível de preservação e conservação da natureza, contudo tem se buscado um desenvolvimento harmonioso entre o desenvolvimento económico, social e ambiental da região. No entanto, a atividade mineira com seu elevado grau de exploração, não consegue mitigar os impactes gerados, como a produção de rejeitos, que são resíduos de beneficiamento do minério (ISA, 2020).

Nas primeiras décadas do século XX, como convenção, foram denominados dois grupos de Xikrin, em alusão aos rios próximos onde realizaram a sua ocupação territorial, correspondendo aos Xikrin do Cateté e aos Xikrin do Bacajá (Vidal, 1982).

A TI dos Xikrins do rio Cateté é composta por três aldeias: a aldeia Cateté, a primeira disposta no território e com maior quantitativo populacional; a aldeia Dju-djekô, foi criada a partir da separação da aldeia Cateté; e a aldeia Ô-odjã, a última a ser constituída e com menor quantitativo demográfico, sendo que apresentam uma organização política autónoma entre si (Costa, 2019).

A área de estudo do trabalho inclui os portos fluviais das aldeias Cateté e Djudjekô, com as respetivas localidades nas margens do rio Cateté (Figura 14). Esta disposição geográfica influencia a disponibilidade de caça e outros animais no território, pois, devido ao fluxo de veículos nas estradas de acesso às aldeias, os animais são afugentados, limitando o seu território de movimentação. Esta disposição geográfica repercute-se também na proteção territorial necessária relativa à ocorrência dos projetos minerais e dos latifúndios em redor da TI (Costa, 2019).

4. METODOLOGIA

No presente estudo são apresentados e interpretados os resultados obtidos em amostras de água colhidas ao longo do rio Cateté, disponibilizados pelo Grupo de Tratamento de Minérios Energia e Meio Ambiente – Universidade Federal do Pará (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019), em parceria com as Associações Indígenas de Porekrô, Kakarekré e Baypran – Terra Indígena Xikrin do rio Cateté.

No ano de 2018, foram realizadas colheitas de água em 14 pontos selecionados ao longo do percurso do rio Cateté (Figura 16), que atravessa a terra indígena Xikrin, para a realização de análises químicas na água e tentar avaliar a possível influência das atividades mineiras do empreendimento Onça Puma na água do rio Cateté.

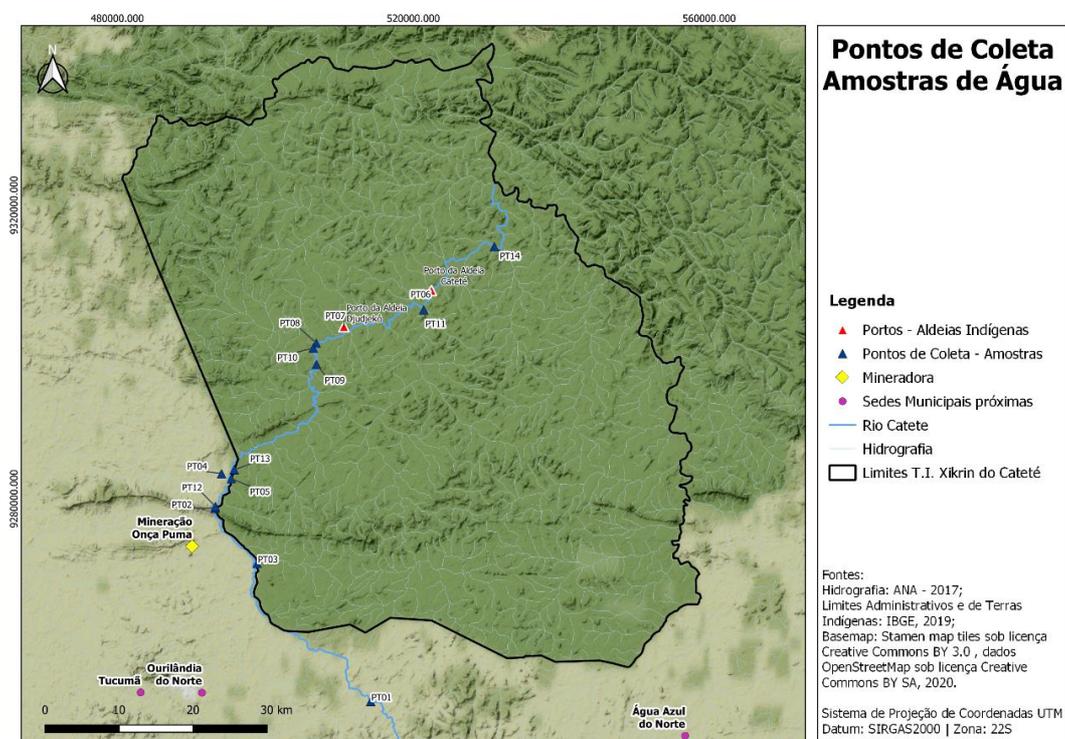


Figura 16 | Pontos de amostragem do rio Cateté nas terras indígenas dos Xikrins.

Importa ressaltar que as duas aldeias indígenas localizadas na área mais afetada pela possível contaminação do rio Cateté – Aldeia Cateté e Aldeia Djudjekô - serão abordadas no trabalho com a localização dos respectivos portos fluviais (PT06 e PT07), identificados na Figura 16.

Os pontos de amostragem foram selecionados de modo a caracterizar a água do rio Cateté antes e depois de receber os rejeitos da atividade mineira. Na Tabela 3 são enumerados os pontos de colheita de água do rio e as principais características das zonas selecionadas.

Tabela 3 | Localização e características dos pontos de amostragem de água (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

PONTOS DE AMOSTRAGEM	LOCALIZAÇÃO
PT01	Ponto de Referência Montante da mina Onça-Puma, local sem atividade mineira.
PT02	Próximo da estrada vicinal, que se conecta com uma sequência de bacias de sedimentação de dreno.
PT03	Ponto nas proximidades de fazendas, a montante da mina.
PT04	Canal de transporte do dreno da barragem de contenção de finos para o rio Cateté.
PT05	Canal de transporte de efluentes, após o ponto PT04.
PT06	Porto da aldeia Cateté. Local onde os indígenas desenvolvem atividades habituais (limpeza pessoal – banho, atividade pesqueira e preparo da mandioca para alimentação).
PT07	Porto da aldeia Djudjekô. Local onde os indígenas desenvolvem atividades habituais (limpeza pessoal – banho, atividade pesqueira e preparo da mandioca para alimentação).
PT08	A jusante dos canais de despejo dos rejeitados mineiros.
PT09	A jusante dos canais de despejo de dreno de bacias de sedimentação de efluentes da atividade mineira (rio Bekwara)
PT10	A jusante dos canais de despejo de dreno e anterior à entrada do rio Bekwara.
PT11	A montante do porto da aldeia indígena Cateté, próximo dos locais de despejo de efluentes das bacias de sedimentação de dreno.
PT12	Corpo hídrico do rio Cateté.
PT13	Canal de efluentes proveniente da bacia de finos que escorre para o rio Cateté.
PT14	Ponto de confluência entre o rio Cateté e o rio Itacaiúnas.

As colheitas das amostras foram efetuadas entre janeiro e abril de 2018 (período de elevada pluviosidade – época húmida) e nos meses de junho e setembro do mesmo ano (período de reduzida pluviosidade – época seca). Para uma avaliação da variação temporal das características da água, em fevereiro de

2020, foram colhidas amostras de água em oito dos pontos anteriormente analisados: PT01, PT02, PT04, PT05, PT06, PT07, PT08 e PT09. Importa referir que não foram realizadas colheitas em todas as amostras de água anteriormente analisadas, devido os trabalhos ter sido interrompido pela declaração de estado de emergência no Brasil, devido à pandemia do coronavírus - COVID-19.

A análise físico-química da água ocorreu em conformidade com a legislação brasileira vigente na Resolução CONAMA (2005) e sob a NBR n.º 9898/1987, na utilização de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Carvalho, 2015). Neste sentido, foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos na água: cor, sabor, odor, turbidez, pH, Sólidos Totais Dissolvidos (SDT), Cobre, Crómio, Ferro, Manganês, Níquel, Zinco, Chumbo, Mercúrio, Alumínio, Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅) e Oxigénio Dissolvido (OD). Estes parâmetros foram determinados num laboratório de análise de águas efluentes e alimentos, o Laboratório Multi-Análises (Belém do Pará, Brasil) certificado pela NBR ISO 9001⁶.

Para além da avaliação espacial e temporal das características da água do rio Cateté, foram realizadas observações comparativas sobre os sintomas e doenças constatadas na comunidade indígena e sua possível associação com os metais pesados presentes na água do rio. Devido à dificuldade em afirmar uma correlação direta entre estas, em março de 2020, foram realizados exames clínicos e mineralográficos, pela Empresa médica Amazônia Saúde (Belém, Estado do Pará) e, posteriormente, as amostras recolhidas foram enviadas para os laboratórios especializados, Laboratório de Análises Clínicas Dr. Paulo C. Azevedo (Belém, Estado do Pará) e Laboratório Hermes Pardini (Vespasiano, Estado de Minas Gerais).

Os exames mineralográficos foram realizados através do aparelho de mineralograma, para a determinação do grau de contaminação em metais pesados na população indígena. O exame foi realizado a partir da colheita de cabelos (foliculo capilar) de 35 indígenas Xikrins, os quais foram divididos em três grupos etários (idades entre 10-29 anos; 30 a 50 anos e acima dos 50 anos).

⁶ ISO (International Organization for Standardization) 9001 designa um grupo de normas técnicas que estabelecem um modelo de gestão da qualidade para organizações em geral

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros Analisados

Para a avaliação da qualidade da água do rio Cateté, em relação aos resultados obtidos nos parâmetros físico-químicos, recorreu-se à sua comparação com os valores paramétricos estabelecidos na Resolução CONAMA (2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água de 2ª classe⁷ e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, assim como determina as condições e padrões de lançamento de efluentes (Tabela 4).

Tabela 4 | Valores paramétricos e metodologias laboratoriais de análise físico-química (Fonte: Resolução CONAMA, 2005).

PARÂMETRO	VALOR PARAMÉTRICO	UNIDADES	MÉTODO
Alumínio	0,1	mg/L	SM22.Método 3500 Al B
Chumbo	0,01	mg/L	SM22.Método 3500 Pb D
Cloreto	250	mg/L	SM22.Método 4500 Cl ₂ -B
Cobre	0,009	mg/L	SM22.Método 3500 Cu C/E
Cor Verdadeira	75	mg Pt/L	SM22.Método 2120C
Crômio	0,05	mg/L	SM22.Método 3500 Cr D
CBO ₅ 20°C	5	mg/L	SM22.Método 5210 B
Ferro	0,3	mg/L	USEPA-June 27, 1980 45(126:43459)
Gosto e Odor	NFR	-	SM22.Método 2150 B/C
Manganês	0,1	mg/L	USEPA 44(116)34 193(June 14, 1979)
Mercúrio	0,0002	mg/L	USEPA 7470A 1994rev.01/USEPA 60
Níquel	0,025	mg/L	Adapted from Watanabe.H, Talanta21
OD	>5	mg/L O ₂	SM22.Método 4500-OG

⁷ Segundo a Resolução CONAMA N.º 357/2005 e alterada pela Resolução CONAMA N.º 430/2011, os corpos de água de águas doces 2ª classe são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

PARÂMETRO	VALOR PARAMÉTRICO	UNIDADES	MÉTODO
pH	6-9		SM22.Método 4500 B
SDT	500	mg/L	SM22.Método 2540C
Turbidez	100	UNT	SM22.Método 2130B
Zinco	0,18	mg/l	SM22.Método 3500 Zn B

Os resultados das análises físico-químicas mais relevantes serão elencados a seguir, com o intuito de caracterizar a água do rio Cateté que atinge a TI XiKrin do rio Cateté, sendo os indicadores separados sob os aspetos físicos e químicos. Os parâmetros considerados são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos pela Resolução CONAMA (2005) para determinado uso.

5.2 Resultados Físicos-Químicos

5.2.1 pH

Os metais pesados passam por transformações químicas nas águas que os tornam mais nocivos ao ambiente, estando estas características tóxicas também relacionadas com o pH do meio. Importa realçar que a maioria dos metais é insolúvel em água para valores de pH neutro ou básico e, portanto, são adsorvidos rapidamente pela matéria particulada ou assimilados pelos organismos (Dornfeld, 2002).

Os resultados das medições dos valores de pH permaneceram entre 6,0 e 8,0, ou seja, as águas do rio Cateté encontram-se em estado predominantemente neutro a básico, sendo registado uma reduzida oscilação entre a época húmida e época seca (Figura 17). Na época seca verifica-se em todas as amostras valores inferiores aos obtidos na época húmida, tendo uma variação entre 6 e 7,5, uma vez que o ponto PT03 identifica o menor valor de pH em época seca (6,0) e o valor mais elevado na época húmida (8,05).

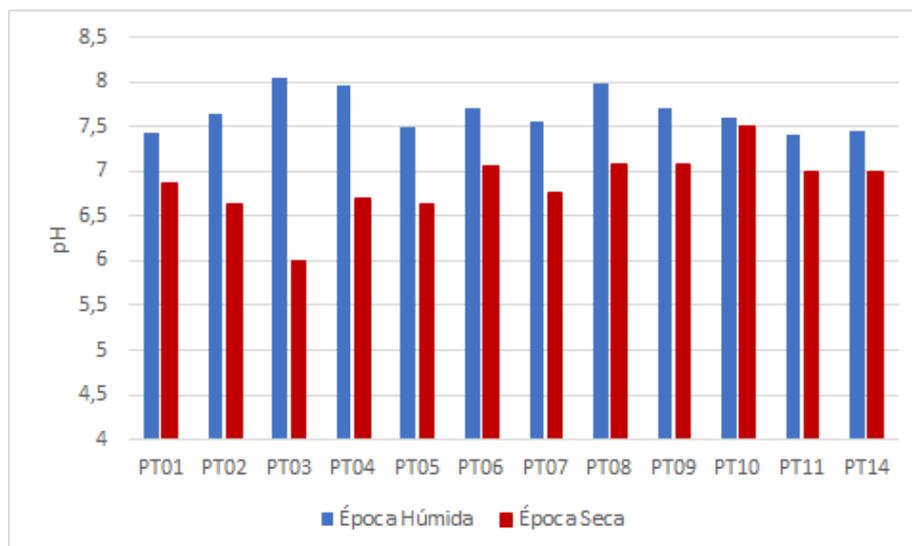


Figura 17 | Variação do parâmetro pH do rio Cateté na área da TI.

Os resultados obtidos para os valores de pH da água sugerem que alguns dos metais pesados possíveis de encontrar na água do rio Cateté, poderão estar adsorvidos na matéria particulada (sedimentos) ou assimilados pelos organismos (e.g. peixes, utilizados para alimentação dos indígenas), podendo aumentar a sua solubilidade com as variações no valor de pH, e consequentemente aumentar os teores dissolvidos na água.

5.2.2 Cor

O parâmetro cor está associado ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessar a água, ocorrendo esta redução devido à absorção de parte da radiação eletromagnética, a partir da presença de sólidos dissolvidos, em especial, material em estado coloidal orgânico e inorgânico. O indicador cor também pode ser alterado devido à presença de compostos inorgânicos que possuem propriedades específicas e provocam os efeitos da matéria em estado coloidal. Os principais compostos inorgânicos são os óxidos de ferro e manganês (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2020). Na Figura 18 pode-se verificar a variação da cor na água do rio Cateté e o valor paramétrico para este parâmetro. Nos períodos de época húmida, no ano de 2018, os valores obtidos superaram significativamente o valor de referência, enquanto em período de época seca registam-se valores mais próximos ao de referência.

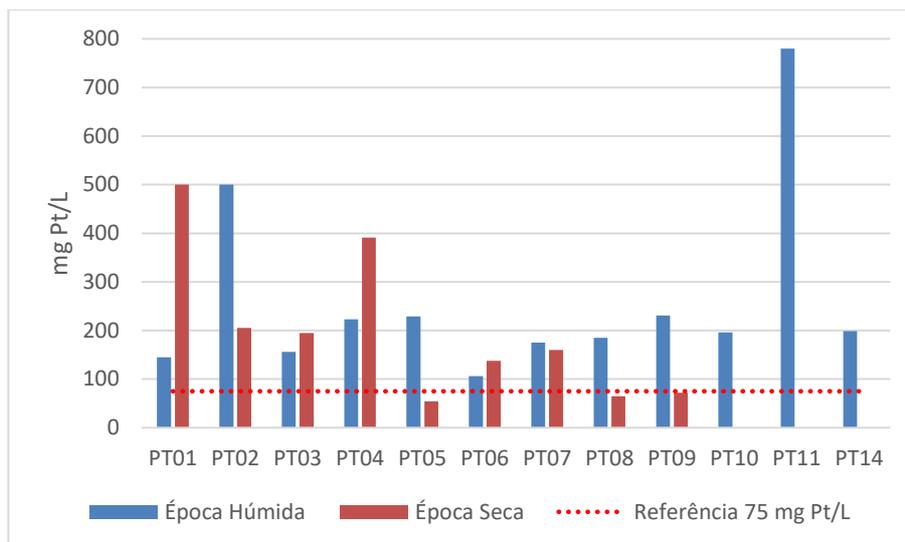


Figura 18 | Variação do parâmetro cor do rio Cateté na área da TI.

No período de maior pluviosidade, o parâmetro cor tende a apresentar valores mais elevados do que na época seca, provavelmente devido ao caudal mais elevado do rio e conseqüente maior agitação, promovendo a mobilização de algumas partículas sólidas; conferindo uma coloração à água (Figura 18). Nos pontos de água PT01 e PT03 observa-se que, em ambos os períodos, o valor obtido encontra-se acima do valor de referência, o que demonstra que antes do empreendimento de Onça Puma, o rio Cateté já possui uma maior coloração, o que implica ser resultado da própria condição geológica da região e de substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, entre outros substratos. Contudo, após o empreendimento mineiro, os valores deste indicador sofrem oscilações, com particular atenção aos pontos de água PT11 e PT02, que no período de elevada pluviosidade apresentam um valor acima de 700 mg Pt/L e 500 mg Pt/L, respectivamente, correspondendo aos locais próximos dos pontos de descarga de efluentes mineiros provenientes das bacias de sedimentação.

A Figura 19 mostra a coloração do rio Cateté, com um estado de degradação visível, em que as margens do rio com material particulado de cor característica da presença de metais oxidados (cor laranja-avermelhada), associado ao minério de ferro-níquel “laterítico” lavrado no empreendimento Onça-Puma, sendo esta coloração característica da presença de Fe.



Figura 19 | Coloração do Rio Cateté.

5.2.3 Turbidez

O parâmetro turbidez da água representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, sendo que esta redução ocorre através do processo de absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca. Esta propriedade resulta da presença de sólidos em suspensão na água, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, algas, bactérias, entre outros (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2020).

A Figura 20 apresenta a variação espacial e temporal dos valores de turbidez da água do rio Cateté, a qual apresenta valores abaixo do valor de referência, exceto no ponto de água PT02, que no período de maior pluviosidade registou um valor de 4000 UNT. Contudo na figura exposta, optou-se por limitar o valor de apresentação a 140 UNT para melhor verificação da variação nos pontos restantes. O valor mais elevado no PT02, pode ser justificado pelo aumento da erosão das margens do rio durante a estação chuvosa, resultado no desmatamento da área, ou seja, da retirada do coberto vegetal para a instalação de projetos ou mesmo conversão da área para pastagem, o que acaba por resultar no aumento da turbidez das águas do rio Cateté.

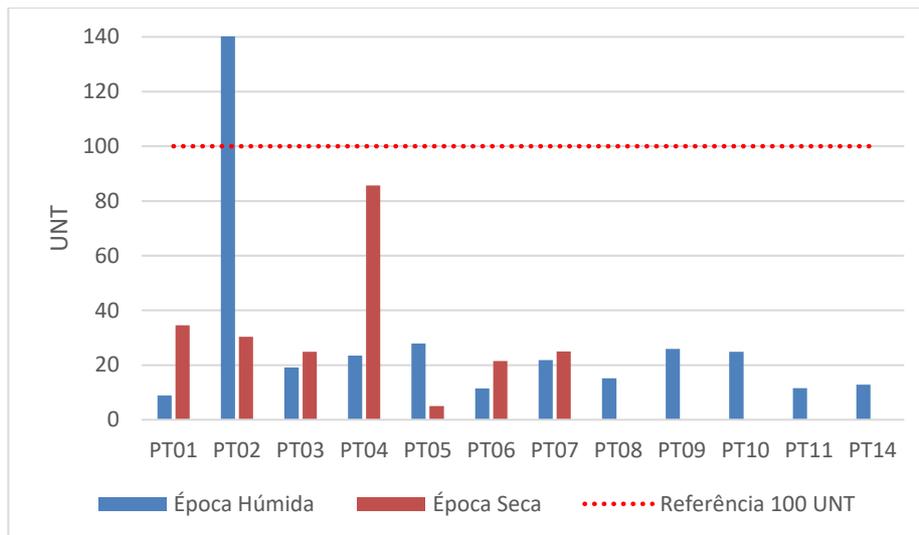


Figura 20 | Variação dos valores de turbidez da água do rio Cateté na área da TI.

Importa destacar que este parâmetro na estação húmida, e nos pontos PT02, PT05, PT09 e PT10, tinham os maiores valores registados. No entanto, no que se refere a turbidez, o PT02 regista o maior valor (4000 UNT), enquanto o ponto PT11 apresenta valor bastante inferior (11,51 UNT), o que revela a presença de uma possível fonte de contaminação próxima do ponto PT02.

Ainda na Figura 20, a variação da turbidez entre os períodos analisados, mostra que na época seca, houve maior variação do que no período húmido, o que pode ser justificado pela menor quantidade de água na estação seca, em que a presença de sólidos seja mais elevada e não se dissolvem como na estação chuvosa. No entanto, nenhum dos resultados ultrapassa o valor limite de referência.

Destaca-se que a presença de turbidez na água provoca uma redução de intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo de água, resultante também das características do ecossistema, como ocorre na região amazônica com a grande presença de matéria orgânica nos fundos dos corpos de água, o qual resulta em grandes quantidades de sólidos suspensos na água, causando uma coloração aparentemente escura e com maior turbidez. Estas partículas quando sedimentadas formam bancos de lodo onde a digestão anaeróbia leva à formação de gases metano e gás carbônico, com destaque para o gás sulfídrico, sendo malcheiroso, com odor característico a “*ovo deteriorado*” (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2020).

5.2.4 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é um parâmetro indicador de qualidade da água, que representa o peso total dos constituintes minerais dissolvidos na água, por unidade de volume, o qual implica a ocorrência de um conjunto de substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na água sob formas moleculares, ionizadas ou microgranulares (Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2020).

O resultado obtido para o indicador STD revela que em todos os pontos de água colhidos, os valores são inferiores ao valor de referência no período analisado (Figura 21).

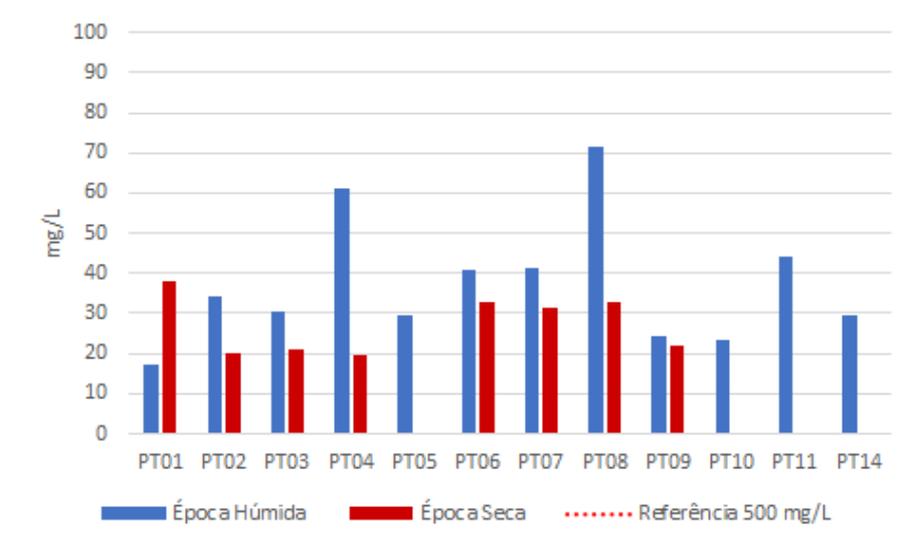


Figura 21 | Variação do parâmetro STD na água do rio Cateté na área da TI.

No período de maior pluviosidade, o parâmetro STD apresenta valores mais elevados do que na época seca, exceto no ponto PT01, provavelmente devido ao caudal mais elevado do rio e sua consequente maior agitação, promovendo a mobilização das partículas sólidas; implicando em uma maior dissolução dos sólidos na água. Para o ponto PT05, o resultado laboratorial inferior ao limite de detecção do método (0,00 mg/L) sugere a ocorrência de um possível lapso neste resultado.

Importa destacar que nos três parâmetros analisados (cor, turbidez e STD) não se constatou resultados para os pontos PT10, PT11 e PT14 na época seca, o que não consta nos relatórios das análises os resultados.

5.2.5 Cobre

O Cobre é um elemento essencial que ocorre em reduzidas quantidades na água, sendo considerado prejudicial à saúde humana quando em quantidades elevadas. Este elemento químico é utilizado na

produção de ligas, encanamento, fios, pinturas, cerâmicas, pigmentos, pesticidas e na indústria química. O excesso de cobre ocorre por meio da suplementação, pois apresenta uma alta capacidade bioacumulativa nos organismos vivos, o que significa que pode ser transferido ao Homem através da cadeia alimentar (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Os sintomas de toxicidade aguda através da ingestão de cobre incluem dor abdominal, náuseas, vômitos e diarreia. Os sinais mais graves de toxicidade aguda de cobre incluem danos severos no fígado, insuficiência renal, além de causar uma desordem metabólica, nomeadamente, doença de Wilson, que se refere a uma doença metabólica, recessiva, autossômica, que resulta na alteração do gene ATP7B, ao nível do cromossoma 13 (Bittar, 2008).

A Figura 22 mostra que no período de elevada pluviosidade, nos pontos de água PT01 e PT03, correspondentes aos pontos de referência localizados a montante do empreendimento de Onça-Puma, não foram registados teores significativos de Cu, exceto no ponto PT01, e na época seca. Contudo nos pontos de água PT02, PT04, PT05, PT09, PT10, PT11 e PT14, localizados a jusante do empreendimento mineiro, foi identificada a presença de Cu, mostrando que as atividades mineiras introduzem este elemento químico na água.

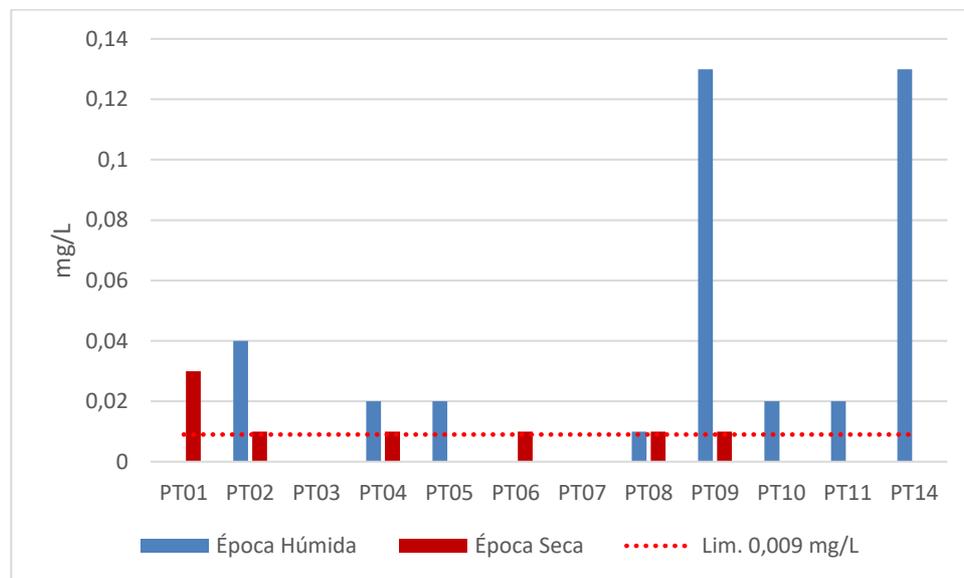


Figura 22 | Variação dos teores de Cobre na água do rio Cateté.

De um modo geral, os teores de Cu na água são mais elevados no período de maior pluviosidade, o que pode ser justificado pela maior mobilidade deste elemento na presença de maiores volumes de água. Nos períodos de menor pluviosidade verificou-se uma redução significativa dos teores de Cu. No entanto, a água do ponto PT01 merece uma particular atenção pois no período de maior pluviosidade não revelou a presença do elemento, porém no período de menor pluviosidade (mais seco), encontrou-se um valor

acima do valor limitado pela Resolução CONAMA (2005), com um valor de 0,04 mg/L, podendo ser justificado pelo efeito de concentração. A água analisada nos diversos pontos revela-se poluída em Cu, não devendo ser utilizada para consumo humano.

O PT03 é um dos pontos de referência, estando localizado a jusante do empreendimento e mais próximo da entrada para a TI Xikrin, e não foi detectada a presença de Cu, contudo, a partir deste ponto já é detectada a sua presença na água. No ponto PT07, referente ao porto da aldeia Djudjekô, também não foi detectado nenhum teor de Cobre, em nenhum dos dois períodos analisados (Figura 22).

5.2.6 Crómio

O elemento Crómio pode ocorrer nas águas naturais, em diferentes estados de oxidação, sendo os principais, nomeadamente, o crómio trivalente Cr^{3+} , $Cr(OH)^{2+}$, $Cr(OH)^4$ e o crómio hexavalente, como CrO_4^{2-} e $Cr_2O_7^{2-}$ (Bittar, 2008). Importa destacar que o crómio hexavalente é tóxico e cancerígeno, o que ocasiona efeitos corrosivos no aparelho digestivo e nefrite (Silva, 2018).

Os resultados registados para o elemento crómio na água do rio Cateté, mostram que este elemento químico potencialmente tóxico tende a ocorrer em maior concentração no período de maior pluviosidade, sendo identificado em quase todos os pontos de água colhidos (Figura 23). No entanto, pode ser destacado o ponto de água PT01, pois apresenta um valor superior ao valor limite definido pela Resolução CONAMA (2005), mesmo estando localizado a montante e sem influência da atividade mineira.

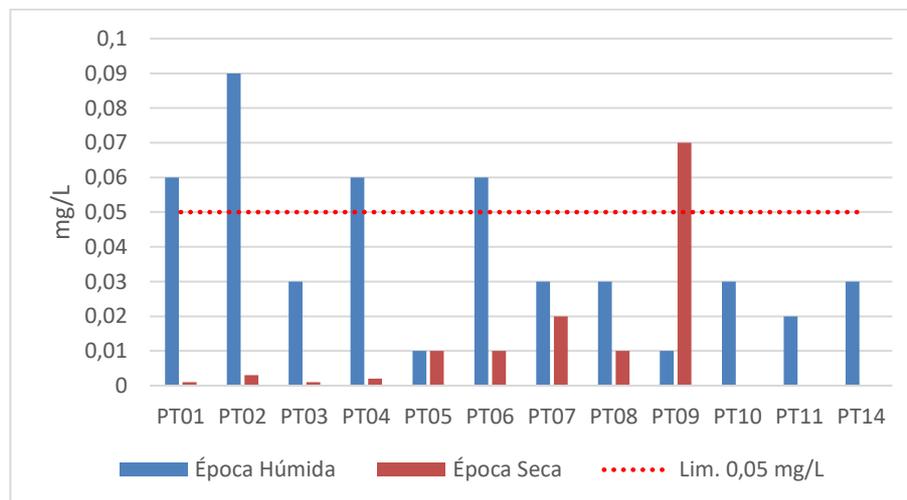


Figura 23 | Variação dos teores de Crómio na água do rio Cateté.

Segundo Salomão et al. (2020), existem evidências que os domínios geotectónicos e a litologia local, influenciam diretamente na presença de determinados elementos químicos nos corpos de água da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, à qual pertence o rio Cateté, tal como o crómio. Diante disto, justifica-se a

presença de crómio nos pontos PT01 e PT03, ainda que em maior quantidade no ponto PT01, podendo estar associado à geoquímica da região (Figura 24).

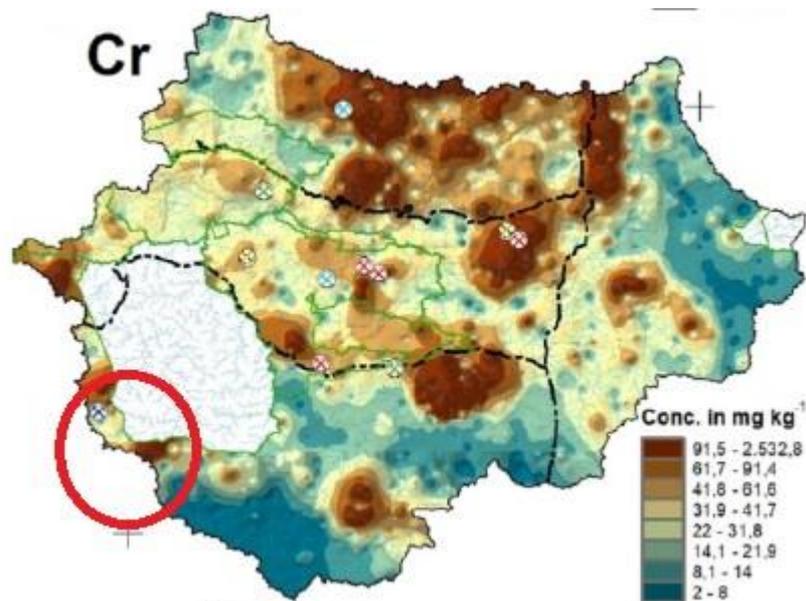


Figura 24 | Mapa de distribuição do elemento crómio no solo da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (destaque para círculo vermelho que corresponde as áreas amostradas pelos pontos PT01 e PT03) Fonte: Salomão et al. (2020).

Relativamente aos pontos de água PT02, PT04 e PT06, sendo pontos localizados a jusante do empreendimento mineiro, mostram teores de Cr superiores aos valores paramétricos para este elemento. De entre estes, o ponto de água PT02 é o de maior incidência, correspondendo ao local de descarga de efluentes localizado mais próximo do rio Cateté.

De um modo geral, os teores de Cr na água são maiores no período de época húmida, devido maior mobilidade deste elemento na presença de maiores volumes de água, com destaque para o ponto PT09 (0,07 mg/L), o qual está localizado após os canais de descarga de dreno, apresentando um valor superior ao de referência.

Contudo, ao contrário do que se verifica na época seca, na época húmida regista-se uma redução significativa dos teores de crómio. No entanto, destaca-se a atenção para o ponto PT07 (porto da aldeia Djudjekô), no qual ocorrem teores relativamente semelhantes nos dois períodos analisados, mesmo que abaixo do limite paramétrico de 0,05 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA (2005).

5.2.7 Ferro

O Ferro é um elemento abundante nas águas naturais sendo originário naturalmente da dissolução de compostos existentes no solo e nas rochas. É encontrado na natureza sob a forma de óxidos e em minerais, agrupado com silício e/ou enxofre (Silva, 2018).

O ferro pode ocorrer na água nos estados de oxidação de ferro ferroso (Fe^{2+}), sendo um ião mais solúvel, e o ferro férrico (Fe^{3+}). Em grandes quantidades, o elemento Fe, em especial o Fe^{2+} , torna-se nocivo, atribuindo à água sabor, cor e turbidez; inadequadas para o consumo doméstico e industrial (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

No período de época húmida, apenas a água do ponto PT02 registou a presença de Fe, com um teor de 1,6 mg/L, sendo este ponto um local de descarga de efluentes proveniente da mina de Onça-Puma (Figura 25). No entanto, o período com maior teor de Fe é registado na época seca, como verificado nos pontos de água PT01, PT03, PT04, PT05, PT06, PT07, PT08, PT09, PT12 e PT13, devido ao efeito de concentração na água, com destaque para os pontos PT08, PT09 e PT12, com teores de 13,32 mg/L e os dois últimos de 11,69 mg/L, no período de seca, sendo que o PT08 e PT09, estão localizados a montante dos pontos referentes aos portos fluviais das aldeias Cateté e Djudjekô (PT06 e PT07), ou seja, com forte impacte direto na população indígena.

A água do rio Cateté está poluída em Ferro não podendo ser utilizada para consumo humano (Figura 25).

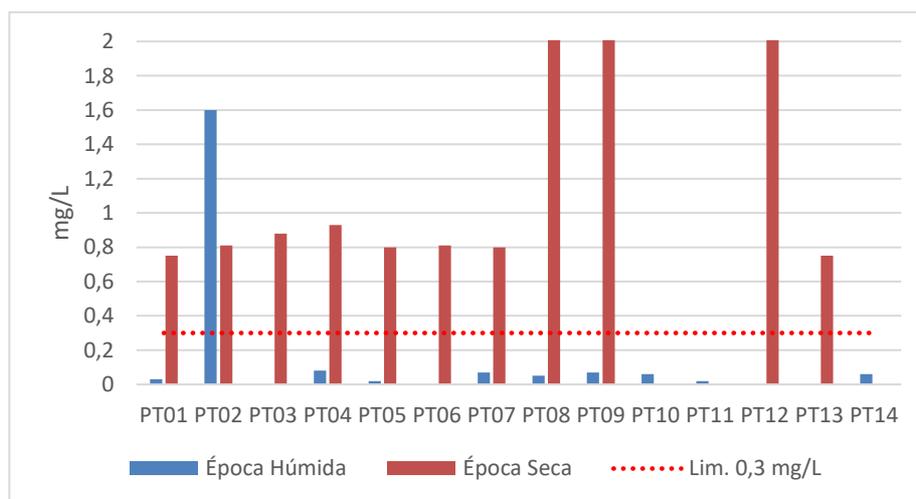


Figura 25 | Variação dos teores de Ferro na água do rio Cateté.

Os elevados valores apresentados na figura anterior, demonstram a forte presença de Fe nas águas do rio Cateté, assim como verificado na Figura 19, com a coloração laranja-avermelhada nas margens do rio, demonstrando a presença de metais oxidados. Importa ressaltar que o minério lavrado na mina de Onça-Puma é o ferro-níquel “laterítico”, o que associa a presença de ferro a atividade antrópica.

No entanto, verifica-se que nos pontos de água localizados a montante do empreendimento (PT01 e PT03) apresentam a presença de Fe, o que se relaciona com os resultados obtidos por Salomão et al. (2020), o que associa os elevados valores de concentração de ferro nos corpos de água da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas e seus afluentes, como o rio Cateté, às fontes naturais da região. No

entanto, no ponto de água PT03, na época húmida, não foi detectada a presença do elemento Fe na água. Contudo, nos pontos de água PT08 e PT09, que correspondem a pontos localizados a jusante de canais de descarga de efluentes do empreendimento de Onça-Puma registam os teores elevados de Fe, 13,32 e 11,69 mg/L, respectivamente.

Assim, pode afirmar-se que a presença de ferro nas águas do rio Cateté está associada a fontes naturais da região, relacionadas com a litologia, mas também é influenciado pela atividade antrópica das atividades mineiras.

5.2.8 Manganês

O Manganês é o terceiro metal mais abundante na natureza, a seguir ao alumínio e ferro, e normalmente surge associado ao ferro. É importante destacar que estes dois elementos - ferro e manganês - são semelhantes quimicamente e causam problemas semelhantes, dependendo das suas concentrações, conferindo à água uma coloração amarelada, turva e sabor amargo (GTEMA/CNPQ/UFGA, 2019).

O manganês pode ocorrer em vários estados de oxidação, sendo as formas mais comuns as de Mn^{2+} , forma mais solúvel, dióxido de manganês (Mn^{4+}) e permanganato heptavalente (Mn^{7+}) solúvel em água.

Na Figura 26 é apresentada a variação dos teores de Mn na água do rio Cateté. Nas águas analisadas apenas no ponto de água PT02 (ponto de descarga de efluentes mineiros no rio Cateté) se detetou a presença deste elemento com um teor de 1,78 mg/L, ou seja, um valor acima do limite permitido pela Resolução CONAMA (2005), no período de mais elevada pluviosidade. De referir, ainda, os pontos de água PT05 e PT07, com teores de Mn no limite do permitido, sendo que o ponto PT07, se refere ao porto da Aldeia Cateté. Ressalta-se que o ponto de água PT05, corresponde ao local que também recebe uma parte do dreno de uma barragem de contenção de finos da MOP, o que poderá justificar a sua ocorrência nos pontos seguintes.

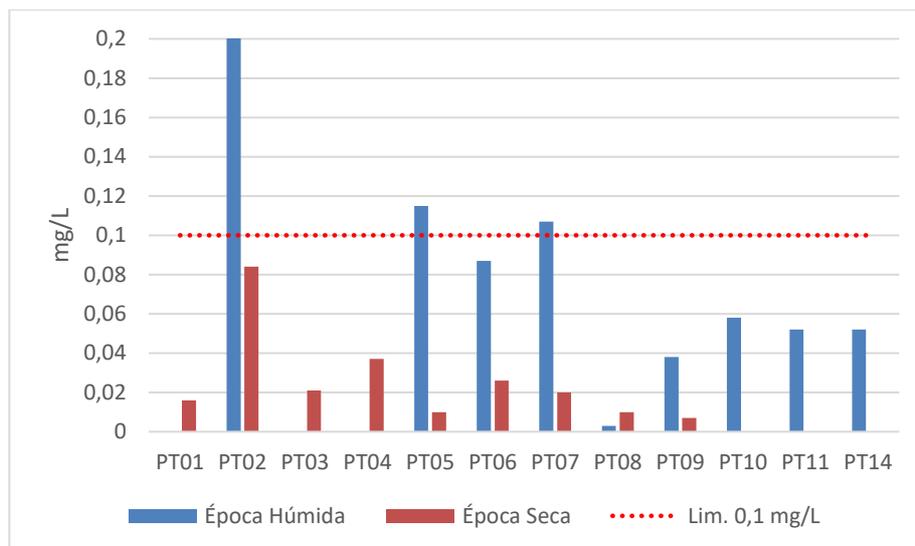


Figura 26 | Variação dos teores de Manganês na água do rio Cateté.

Em termos de variação sazonal, observa-se que os teores de Mn são mais elevados na época húmida, considerando que a maioria dos compostos de manganês é solúvel em água o que poderá justificar uma maior mobilidade deste elemento no período em que o caudal do rio Cateté é mais elevado.

5.2.9 Níquel

O Níquel é um metal de transição forte, maleável, resistente à corrosão e que se mistura com outros metais. É utilizado como ligas e compósitos pelos processos de níquel químico e aspersão térmica, além de que, as suas ligas metálicas são utilizadas para manejar o flúor e fluoretos pois reage com dificuldade com estas substâncias (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Este elemento é um composto tóxico cumulativo, quando absorvido em excesso pelo organismo humano, pode originar situações de dermatite e má formação de feto, como anencefalia (trata-se da má formação do cérebro durante a formação embrionária, que ocorre entre o 23º e o 26º dia de gestação, caracterizada pela ausência total do encéfalo e da caixa craniana do feto), em casos de elevada exposição (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

As principais fontes antrópicas de Ni são originárias da queima de combustíveis fósseis, processos de mineração, fundição de metal, fusão, modelagem de ligas e indústrias de eletrodeposição (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Os teores de Ni na água do rio Cateté, mostram que este elemento está presente na água do rio nos dois períodos temporais, tendendo a ocorrer em quantidades mais elevadas na época de mais elevada pluviosidade (Figura 27). Neste período do ano, identifica-se a presença de Ni nos dois pontos de água localizados a montante do empreendimento de Onça-Puma (PT01 e PT03), provavelmente associados

às condições geológicas da área. Enquanto nos pontos de água localizados a jusante do empreendimento mineiro - pontos PT02, PT04, PT05, PT06, PT08, PT09 e PT10 – a água está contaminada para consumo humano pois regista teores acima do limite de 0,025 mg/L de Ni (Figura 27).

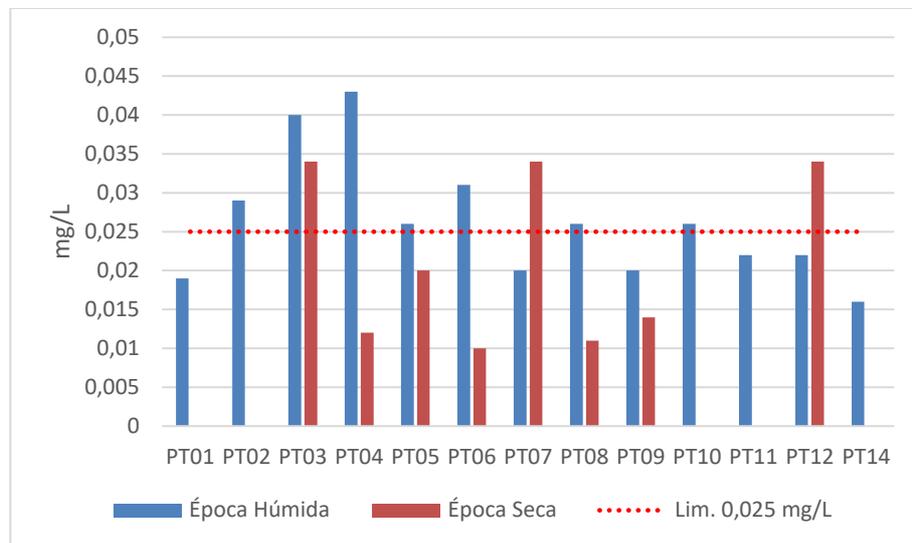


Figura 27 | Variação dos teores de níquel na água do rio Cateté.

Importa ressaltar que o ponto de água PT03 regista nos dois períodos do ano analisados, valores acima do limite para o Ni dissolvido na água, facto que demonstra a presença natural do elemento devido aos domínios geotectónicos e litologia local, pois o ponto referente está localizado a montante da MOP. A Figura 28 demonstra que a área relativa aos pontos de água PT01 e PT03, possui uma elevada concentração do metal níquel no solo, sendo assim um depósito mineral deste elemento e consequentemente a sua ocorrência natural nos pontos de água a montante do empreendimento mineiro.

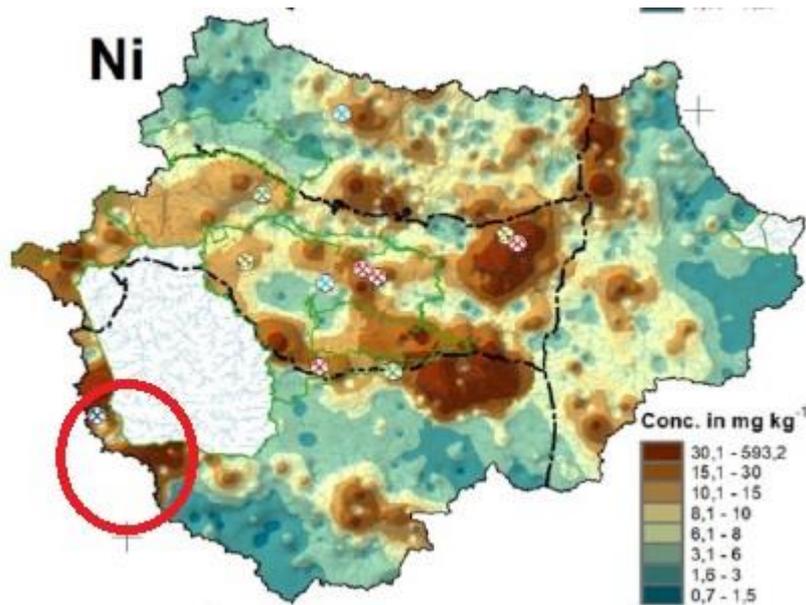


Figura 28 | Mapa de distribuição do elemento níquel no solo da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (destaque para círculo vermelho que corresponde as áreas amostradas pelos pontos PT01 e PT03) Fonte: Salomão et al. (2020).

No que se refere ao período de menor pluviosidade, nos pontos de água PT01 e PT02 não se registaram teores de Ni, enquanto que no ponto de água PT07, que se refere ao porto da aldeia Cateté, e no ponto de água PT12, são os únicos locais a jusante da MOP que estão contaminados em Ni de acordo com o valor estipulado pela Resolução CONAMA (2005) (Figura 27).

5.2.10 Zinco

O Zinco (Zn) encontra-se na atmosfera como material particulado e as principais fontes de emissão tratam-se da mineração, produção de Zn, produção de ferro e aço, queima de carvão vegetal e outros combustíveis fósseis, fundição de metais não ferrosos, eliminação e incineração de resíduos, uso de fertilizantes e agrotóxicos. As partículas de Zn são transportadas para o solo e água através da precipitação húmida ou seca, sendo facilmente adsorvido por minerais e compostos orgânicos, o que promove a sua acumulação nos horizontes superficiais (Fortunato, 2009).

O consumo excessivo de Zn pode afetar a saúde, provocando cólicas estomacais, náuseas, vômitos, anemia, problemas a nível do pâncreas e redução do colesterol HDL (GTEMA/CNPQ/UFGA, 2019).

De um modo geral, todos os pontos de água revelam a presença de Zn nos dois períodos analisados, embora no período de maior pluviosidade, os resultados são superiores, e com valores contaminantes para água de consumo humano (Figura 29), devido ao elemento ter uma mobilidade mais elevada neste período, causado por uma maior diluição na época húmida.

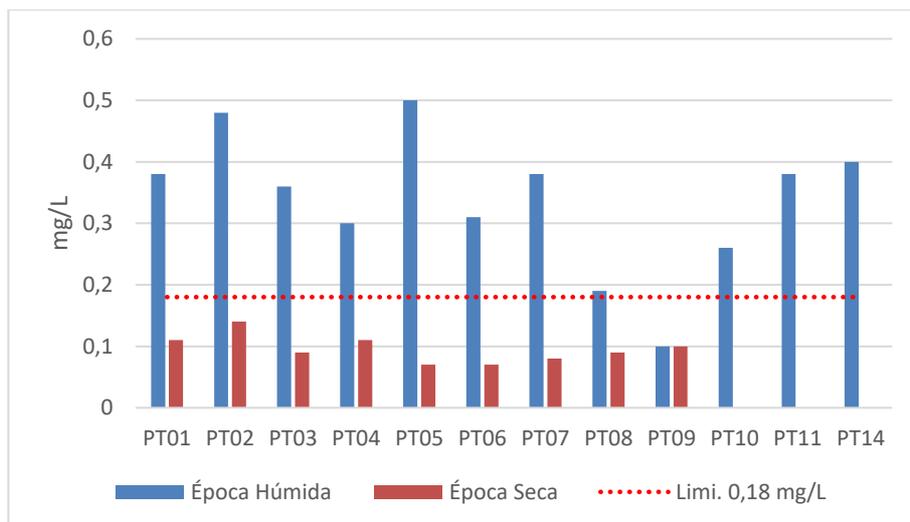


Figura 29 | Variação do teor de Zinco na água do rio Cateté.

Deve-se destacar que o Zn na região estudada, geralmente é encontrado na forma oxidada, como óxido de zinco (ZnO), e tem como característica ser uma substância anfótera (capaz de reagir como base ou ácido, dependendo do pH em que se insere), ou seja, dilui-se tanto em meio ácido como em meio básico (GTEMA/CNPQ/UFGA, 2019). Diante desta característica, o resultado implica de ter maior ocorrência de Zn ser no período de alta pluviosidade no qual todos os pontos mostraram-se alterados, contudo, no período de baixa pluviosidade se determinou níveis bem inferiores ao limite estabelecido.

Deve-se esclarecer que nos parâmetros dos metais Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn não se constatou resultados para os pontos PT10, PT11 e PT14 na época seca, o que não consta nos relatórios das análises os resultados, por não terem sido analisados.

5.2.11 Chumbo

O Chumbo (Pb) é um elemento abundante na crosta terrestre, raramente encontrado no seu estado natural, tendo como principais características: maleabilidade, baixo ponto de fusão, alta resistência à corrosão e alta densidade. Está presente numa grande variedade de minérios, como seja a galena (PbS), anglesite (PbSO₄) e cerussite (PbCO₃), contendo respectivamente, 86 %, 68 % e 77 % de Pb na sua composição. O chumbo também se encontra associado aos minérios de prata, zinco, cobre, níquel e ouro (Fortunato, 2009).

A maior fonte responsável pela libertação de Pb no meio ambiente é através da ação antrópica, principalmente das atividades de mineração e fundição de chumbo primário (minério) e secundário (recuperação de sucatas ou baterias) (GTEMA/CNPQ/UFGA, 2019). O Pb tem um efeito cumulativo, podendo ser acumulado no organismo por vários meses ou anos antes de desencadear a ocorrência de

sintomas, como seja o envenenamento crónico, denominado saturnismo ou plumbismo, o qual se desenvolve a nível do sistema nervoso central (Silva, 2018).

Em termos de presença de Pb na água do rio Cateté, conclui-se que este elemento ocorre pontualmente em cinco pontos de água colhidos e apenas no período de maior pluviosidade, contudo, com valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA (2005) para águas de consumo humano (Figura 30), referente ao período de seca nos respectivos pontos não foram detectados teores de Pb.

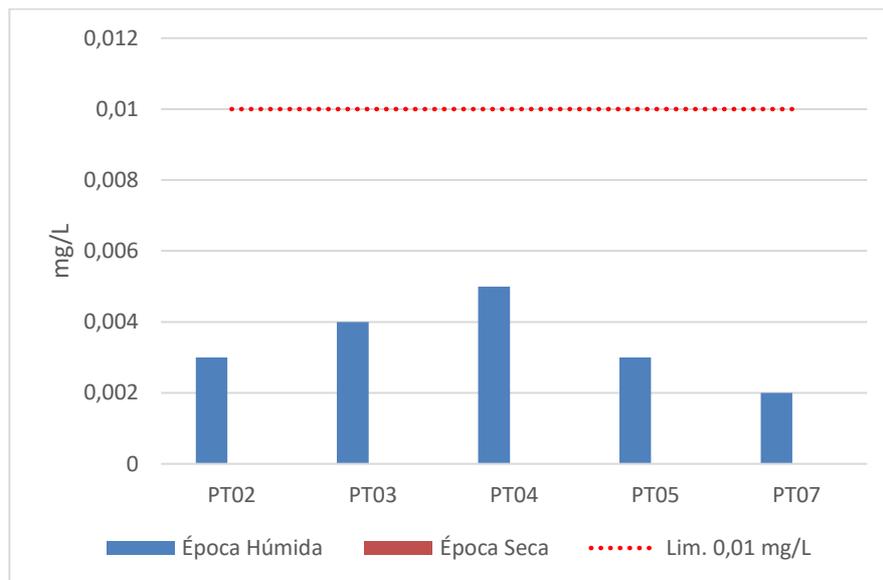


Figura 30 | Variação dos teores de chumbo nas águas do rio Cateté.

Importa destacar que o ponto de água PT03, está localizado a montante do MOP, enquanto o ponto de água PT07 recebe água proveniente da aldeia indígena Djudjekô, ou seja, estando diretamente relacionado com as atividades diárias da comunidade indígena (Figura 30).

O chumbo é um elemento difícil de ocorrer naturalmente em águas superficiais, face à sua baixa mobilidade, porque na forma oxidada não se mistura com a água, assim tem a tendência em formar compostos complexos que não se misturam com a água, nomeadamente, os fosfatos, sulfetos e óxidos, que se complexam com o material orgânico vegetal e formam lodos em regiões de água parada ou com baixa velocidade de fluxo (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Segundo o GTEMA/CNPQ/UFPA (2019), as zonas de baixa velocidade de escoamento, são os locais escolhidos pelos indígenas para o preparo da mandioca para a produção da farinha, mergulhando estas mandiocas na água para promover a primeira etapa de sua produção, a qual é a etapa de amolecimento da mandioca, assim permitindo a contaminação dos alimentos, o que acaba por ser um local propício para a acumulação do elemento chumbo.

5.2.12 Alumínio

O Alumínio (Al) é o elemento metálico mais abundante na natureza e constitui cerca de 8 % da crosta terrestre, sendo encontrado na natureza sob a forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, como sódio, fluoreto e complexos com a matéria orgânica, também pode ser encontrado em vários minerais como feldspatos e micas. O Al é utilizado no fabrico de produtos de uso doméstico, materiais de construção, embalagens, peças para veículos e estruturas de aeronaves, como abrasivos, no processo de tingimento de tecidos na indústria têxtil, além ser utilizado na indústria farmacêutica, na produção de antiácidos e antidiarreicos, e como adjuvante de vacinas (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, 2012).

O excesso de alumínio no organismo humano pode causar alterações crónicas de problemas intestinais, como a síndrome do intestino irritável ou agravamento de hemorroidas, inchaço abdominal e má digestão, problemas de pele, dores nas articulações e musculaturas, queda de cabelo, perda de peso, cansaço, entre outros (ONACIONAL, 2016).

A Figura 31 mostra que o alumínio ocorre em quantidades residuais na água do rio Cateté, apenas no período mais seco, não ultrapassando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA (2005), sendo que no período húmido não foram detectados teores do elemento nos pontos amostrados.

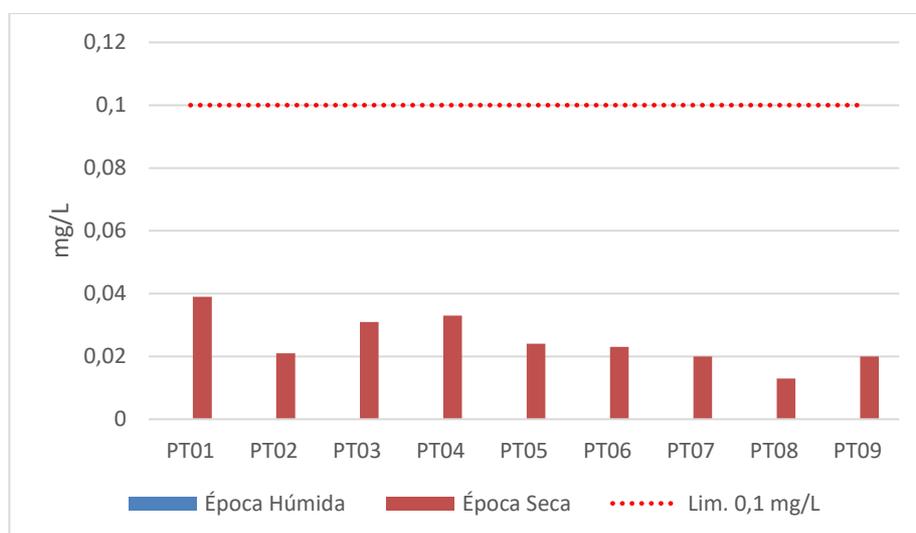


Figura 31 | Variação do teor de alumínio nas águas do rio Cateté.

5.2.13 Carência Bioquímica do Oxigénio (CBO₅) e Oxigénio Dissolvido (OD)

Os parâmetros Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅) e Oxigénio Dissolvido (OD) estão relacionados, indicando que o consumo de uma elevada quantidade de OD, necessária para oxidar a matéria orgânica,

não restará oxigênio suficiente para a respiração dos peixes e outros organismos aquáticos, promovendo um decréscimo na população aquática e um aumento do CBO.

A CBO_5 corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável, sob condições aeróbicas, encontrando-se na maioria das ocorrências com valor superior ao limite de 5 mg/L, ou seja, têm-se necessitado uma elevada quantidade de oxigênio para o processo de oxidação da matéria orgânica, o que sugere um nível considerável no grau de poluição do rio Cateté (Figura 32).

Os valores de CBO da água no rio Cateté, em especial nos pontos de amostragem PT06 (porto da aldeia Cateté), PT02, PT03, PT04, PT05, PT06, PT07, PT08 e PT09, nos dois períodos em análise, ocorrem com níveis acima do limite paramétrico (Figura 32).

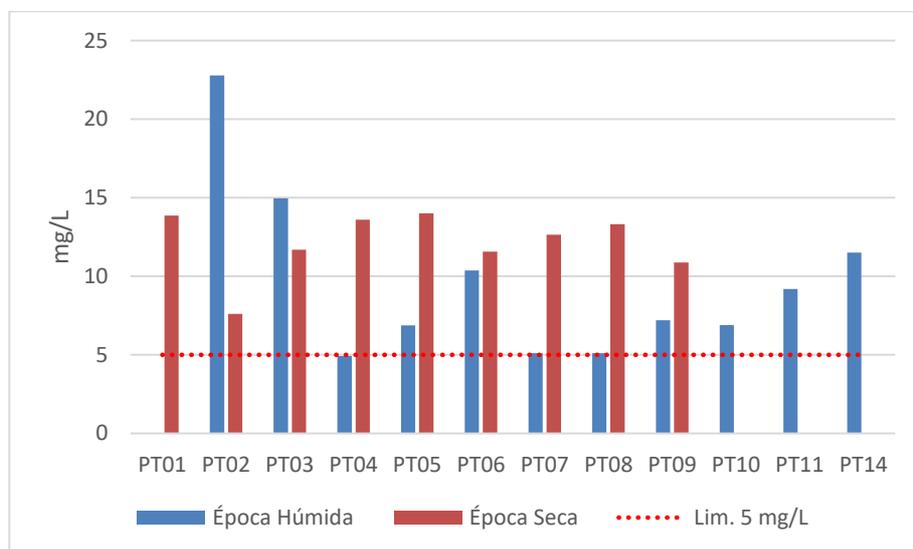


Figura 32 | Variação dos valores de CBO na água do rio Cateté.

O oxigênio dissolvido é responsável por oxidar a matéria orgânica presente na água e permitir a respiração branquial dos peixes. Sendo este material orgânico proveniente dos efluentes lançados nos rios, é fundamental a diminuição desta produção, e consequente quantidade de oxigênio utilizada na sua oxidação. A Figura 33 revela que os resultados do OD na água do rio Cateté seguem uma tendência semelhante à encontrada para o CBO, revelando a elevada quantidade de OD necessária para oxidar o material orgânico encontrado no rio Cateté. Em qualquer dos pontos de água e nas duas épocas do ano analisadas, a água do rio Cateté apresenta valores de OD que a impossibilitam de ser utilizada para consumo humano.

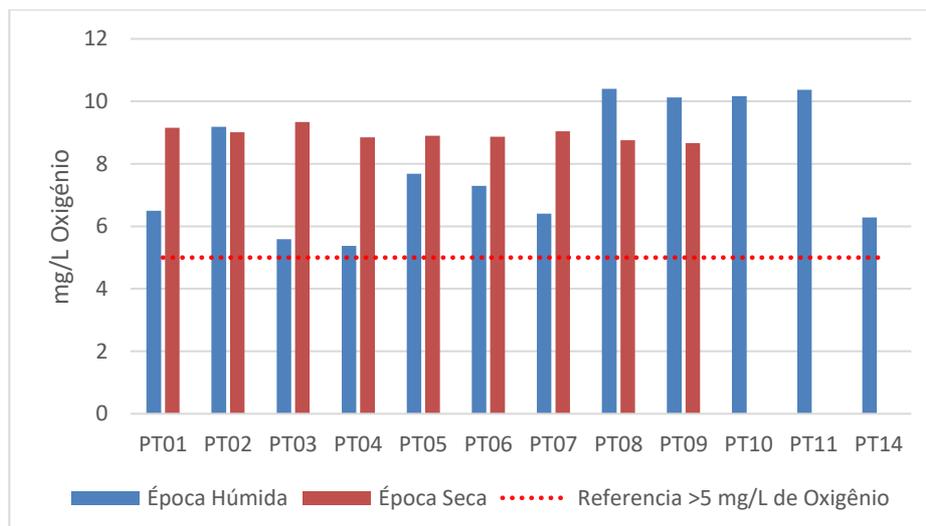


Figura 33 | Variação dos valores de OD na água do rio Cateté.

Tendo em consideração estes indicadores de contaminação, na Figura 34 é possível observar a presença de manchas de espuma ao longo do rio Cateté. Estas acumulações resultam do lançamento de material orgânico oleoso industrial, em que, e neste caso, as bactérias responsáveis pela degradação do material orgânico, necessitam de oxigênio e que devido à contaminação do rio e à sua diminuta taxa de oxigenação, não sobra oxigênio para que as bactérias degradem as substâncias oleaginosas. Estes materiais ao atravessar corredeiras, manifestam-se sob a forma de espumas ao longo da superfície do rio.



Figura 34 | Manchas de espuma abundante no rio Cateté (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).

Importa ressaltar que no caso do rio Cateté, contaminado com alguns metais pesados, após a sua oxidação nas corredeiras, esses metais serão associados às espumas formando um material tóxico espumoso e perigoso para a saúde humana. Nesta situação e quando o indivíduo, ao utilizar o rio, entra em contato com esta espuma, pode contrair vários tipos de problemas epiteliais e até mesmo conjuntivite (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2019).

Em termos dos dois parâmetros analisados - CBO e OD -, os resultados obtidos demonstram alguma incoerência pelo facto de os dois apresentarem teores relativamente elevados. Nas situações com valores de CBO elevados, o teor de OD deveria ser mais reduzido, e vice-versa; pelo que deverá ter ocorrido algum problema laboratorial e sugere-se uma repetição futura destes dois parâmetros.

5.3 Avaliação temporal da qualidade da água entre os anos de 2018 e 2020

No ano de 2020 foi realizada uma nova colheita de amostras de água no rio Cateté, com o intuito de aferir a monitorização temporal deste corpo de água, no período de mais elevada pluviosidade pois corresponde à altura do ano com teores contaminantes para a maioria dos elementos químicos analisados. Os pontos de água selecionados correspondem aos pontos PT01, PT02, PT04, PT05, PT06, PT07, PT08 e PT09 (Figura 16), sendo importante ressaltar que devido a problemas externos ao projeto, mais especificamente à pandemia de COVID-19, não foi possível recolher amostras de água nos restantes pontos.

Importa ressaltar que no ano de 2019, o empreendimento de Onça-Puma teve suspensas todas as suas atividades, determinada pela Justiça Federal do Brasil, devido aos impactes ambientais causados pela atividade mineira. No mês de março do referido ano, a justiça suspendeu as atividades da usina de processamento de Ni, pelo que a empresa determinou a paralisação das atividades no mês de junho seguinte. A Empresa Vale, responsável pela extração mineira, afirma que desde o mês de setembro de 2017 que não há extração mineral nas minas de Onça-Puma, decorrendo apenas atividades na usina de transformação do minério (Vale, 2020). A Empresa Vale, no mês de setembro de 2019, conseguiu suspender a sentença do ato judicial e retornar as atividades nas minas de Onça-Puma. Neste sentido, será possível avaliar e comparar os resultados obtidos ao longo do tempo na monitorização da qualidade da água do rio Cateté.

A colheita das amostras de água foi realizada no mês de fevereiro de 2020, época de maior pluviosidade na região, pelo que será feita a comparação dos resultados obtidos com os do mesmo período e nos mesmos pontos no ano de 2018.

Entre os parâmetros determinados no ano de 2020, destacam-se os valores significativos de pH, turbidez e SDT. A Figura 35 apresenta que as águas do rio Cateté em comparação temporal encontram-se em estado neutro a básico, o que implica na fragilidade do rio, com a insolubilidade da maioria dos metais, sendo adsorvidos por matéria particulada e organismos, em especial atenção aos peixes, que anteriormente ao início da investigação era consumido em larga escala pelos indígenas.

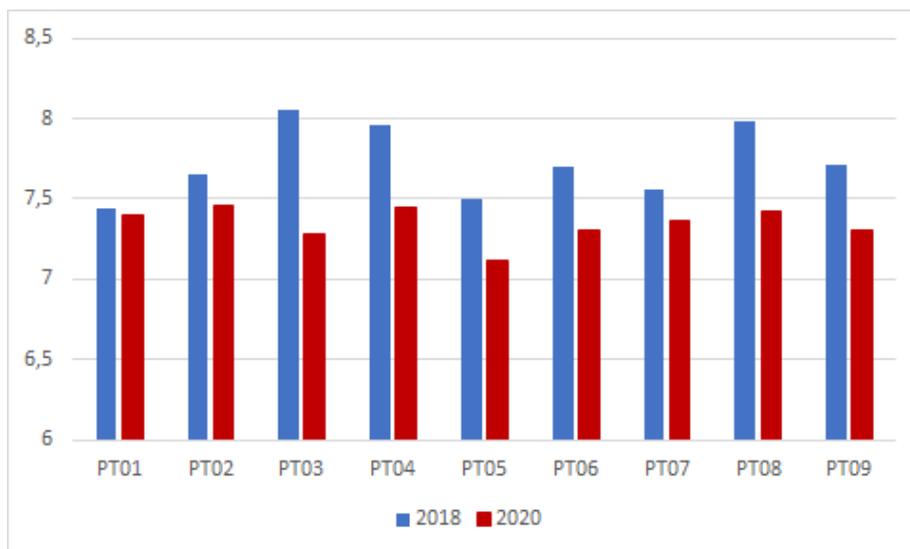
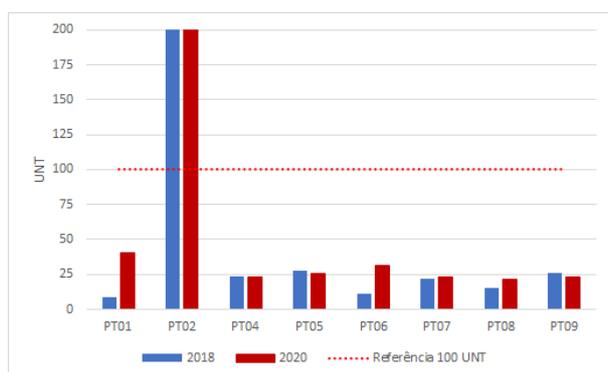


Figura 35 | Comparação temporal do pH da água do rio Cateté entre 2018 e 2020.

Ao que se refere a turbidez, destaca-se a água do ponto PT02 pelo seu decréscimo de 82% em 2020, comparativamente com o mesmo período de 2018 (4000 UNT), embora com valores superiores ao máximo permitido na água para consumo humano referente ao ponto que recebe a descarga de efluentes mineiros mais próximo do rio Cateté. Pode-se justificar esta alteração, devido à paralisação das atividades do empreendimento mineiro, durante o ano de 2019, o que diminuiu o lançamento de efluentes por determinado período. Nos restantes pontos de amostragem, mantêm-se os teores semelhantes aos registados no ano de 2018 (Figura 36a). No que se refere aos STD, em termos gerais, apresenta valores oscilatórios nos vários pontos de água colhidos, com uma tendência de redução no ano de 2020, exceto no ponto de água PT09 (Figura 36b).

a)



b)

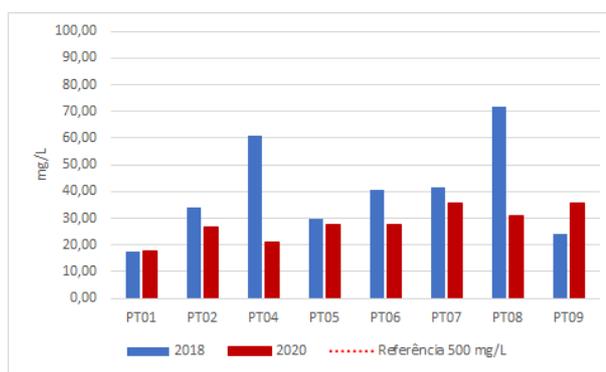


Figura 36 | Comparação temporal da água do rio Cateté entre 2018 e 2020: a) turbidez; b) STD.

O elemento Cu mostra que no ano de ano de 2020 ocorreu um significativo aumento da presença de Cu na água do ponto PT04 (local de transporte do dreno da barragem de contenção ao rio Cateté) e do ponto PT08 (montante do porto da aldeia Djudjekô, que sofre diretamente com a descarga dos drenos),

com teores de 0,8 mg/L e 0,2 mg/L, respectivamente, mas também foi constatado ligeiro aumento nos pontos de água PT06 e PT07, correspondentes aos portos fluviais das aldeias (Figura 37). Pode-se justificar estes aumentos com a contribuição da descarga de efluentes mineiros através de uma grande bacia de efluentes da MOP, que reserva água de dreno que escorre da Serra da Puma. Na água do ponto PT09, por sua vez, a quantidade de Cu diminuiu no ano de 2020.

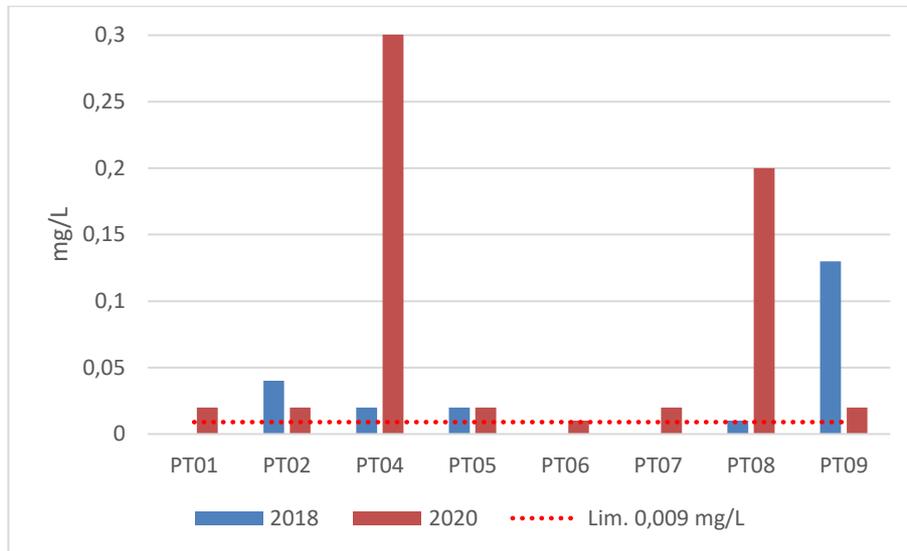


Figura 37 | Comparação dos teores de Cu na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.

Relativamente ao teor de Cr na água, verifica-se uma diminuição considerável no ano de 2020, sendo inferior ao valor paramétrico, e nalguns pontos (PT04, PT07 e PT09) não foi identificada a sua presença. Esta diminuição poderá estar associada com a suspensão das atividades mineiras em 2019, não ocorrendo a introdução deste metal na água. Contudo, na água do ponto PT05, no ano de 2020, foi detectada a presença de Cr na água do rio Cateté, ao contrário do ocorrido no ano de 2018 (Figura 38), o que pode estar associado ao lançamento de algum efluente, uma vez que o ponto de água PT05 se localiza próximo de um local de transporte e possível descarga de efluentes.

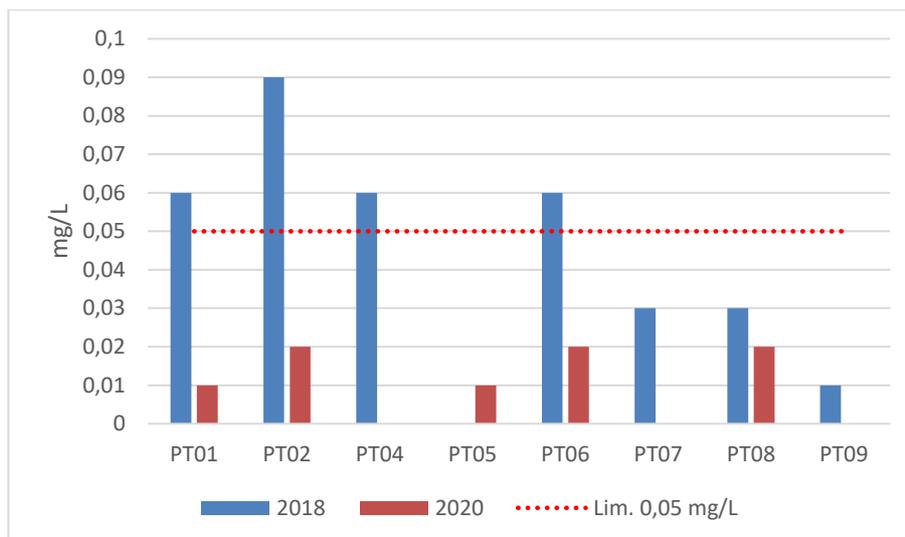


Figura 38 | Comparação dos teores de Cr na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.

O elemento Fe registou uma significativa redução no ponto de água PT02, de 1,6 mg/L para 0,5 mg/L em 2020, mas também uma ligeira redução nos pontos PT07, PT08 e PT09. No entanto, nos pontos de água PT04, PT05 e PT06, foi observado um ligeiro aumentos na presença de Fe. Importa ressaltar que apenas o ponto de água PT02, no ano de 2020, regista valores acima do limite permitido (Figura 39).

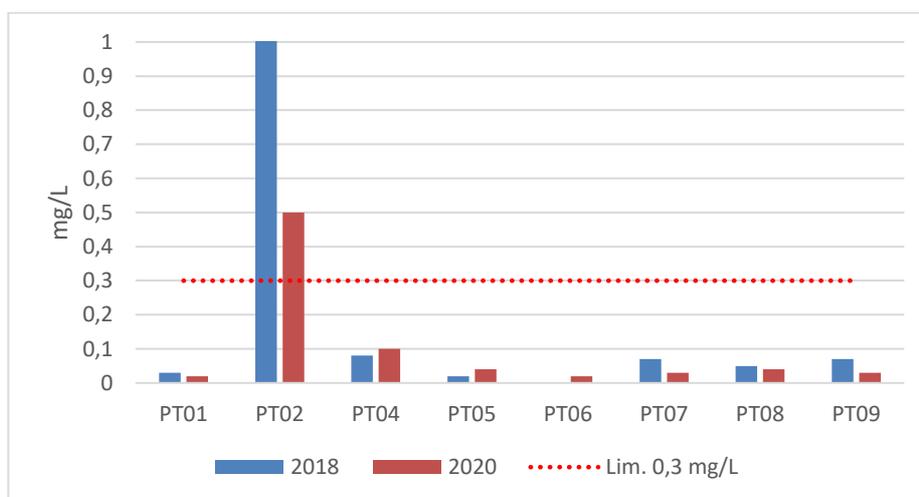


Figura 39 | Comparação do teor de Fe na água do rio Cateté, nos anos de 2018 e 2020.

No que se refere ao elemento Mn, foi verificado, em termos gerais, um aumento nos pontos de água amostrados. No PT08, no ano de 2018, foi registado um teor de 0,003 mg/L e no ano de 2020 apresentou um valor de 0,02 mg/L, assim como no ponto de água PT01 que no ano de 2018 não apresentou teor de manganês e no ano presente, verificou-se um teor de 0,02 mg/L (Figura 40). Porém no ano de 2020, nenhum dos pontos de água registou um teor em Mn acima do valor limite permitido de acordo com a Resolução CONAMA (2005).

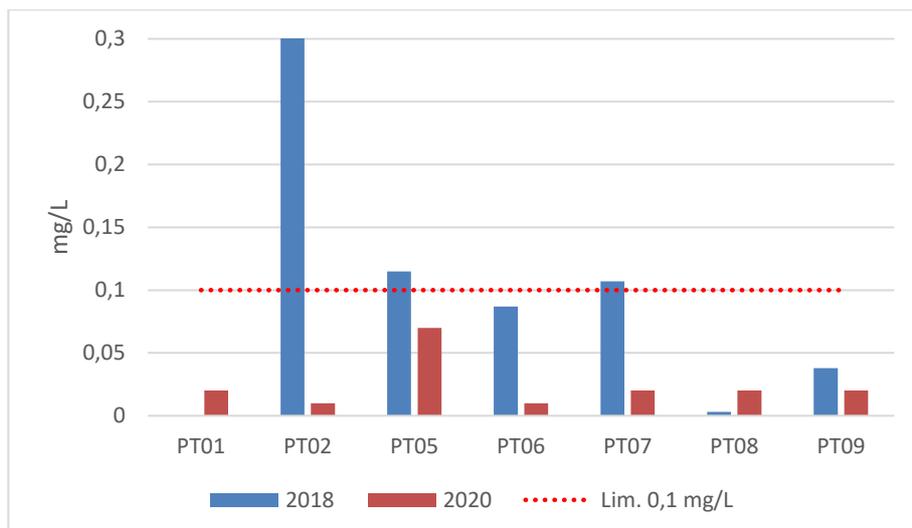


Figura 40 | Comparação do teor de Mn na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

A Figura 41, mostra que nos pontos de água colhidos em 2020, foi registado o valor de 0,01 mg/L para o elemento Ni, significando que nenhum dos pontos ultrapassou o valor limite definido, sendo de destacar uma redução da ocorrência deste metal na água do rio Cateté.

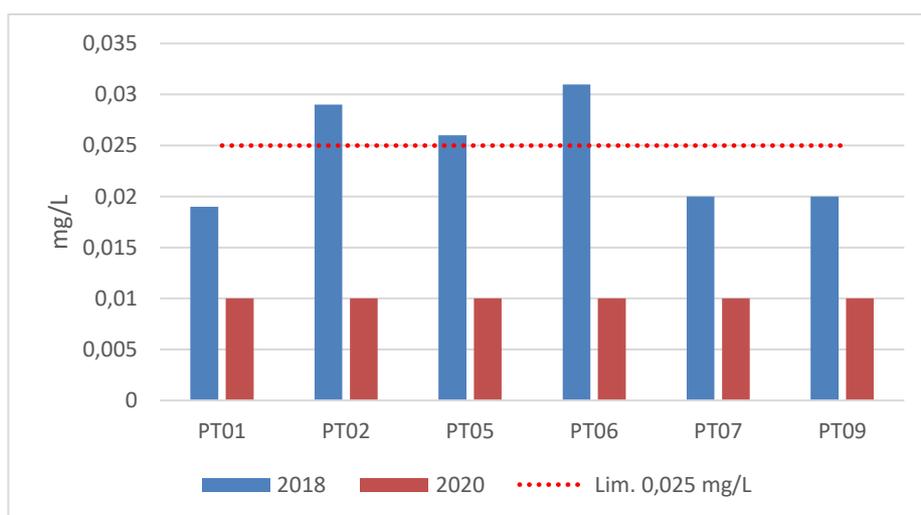


Figura 41 | Comparação do teor de Ni na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

Para o elemento Zn, no ano de 2020, foi registada a sua presença na água, porém na comparação dos teores relativamente com os obtidos no ano de 2018, verifica-se que em todos os pontos de água se registou uma redução significativa de Zn na água, sendo que apenas os pontos PT02 e o PT04, estarem com valores acima do limite permitido (Figura 42).

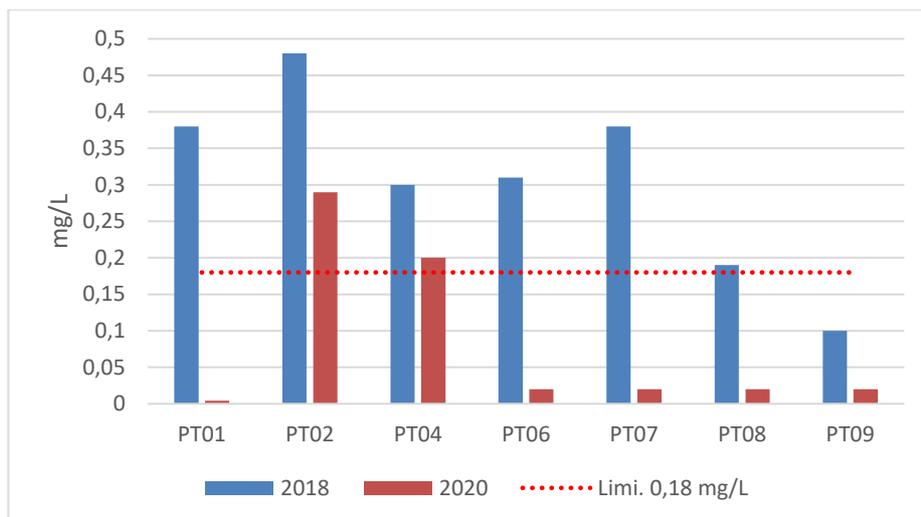


Figura 42 | Comparação do teor de Zn na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

No que se refere a presença de Pb na água do rio Cateté, apenas o ponto PT02 apresenta um teor semelhante ao valor limite, correspondendo ao maior valor registado nos anos de 2018 e 2020 (Figura 43).

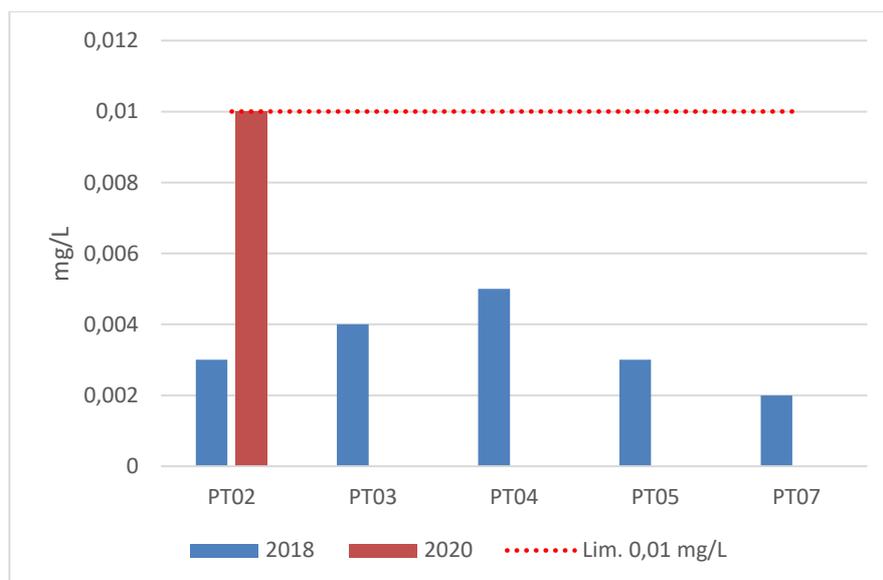


Figura 43 | Comparação do teor de Pb na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

Ao contrário do registado no ano de 2018, em que o Al não foi detectado na água, no ano de 2020 é observada a presença de elemento Al em seis pontos de água. No entanto, ressalta a atenção o teor de Al registado no ponto de água PT02 com o valor de 0,09 mg/L, aproximando-se do valor limite de 0,1 mg/L (Figura 44).

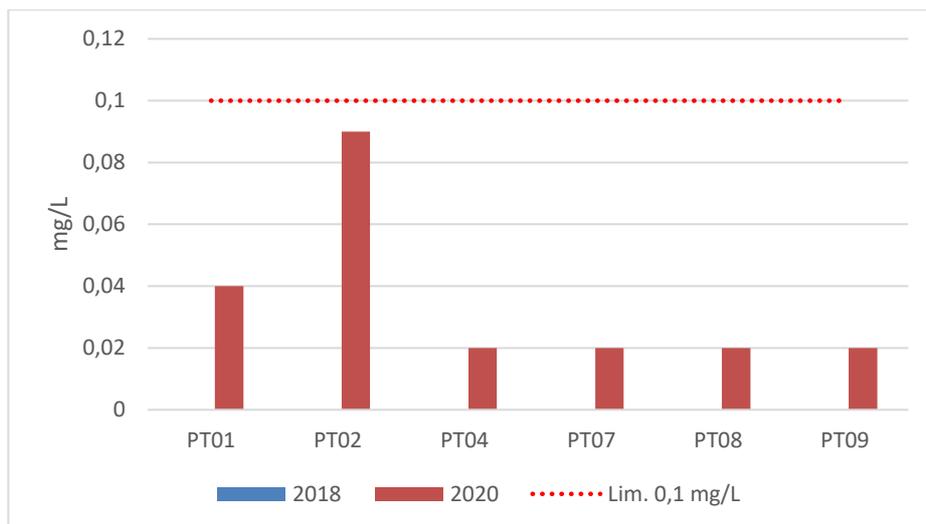


Figura 44 | Comparação do teor de Al na água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

Quanto aos parâmetros CBO e OD, comparando os anos de 2018 e 2020 (Figura 45), verifica-se que a água do ponto PT04 revela um aumento para estes dois parâmetros em 2020. Contudo, a água dos pontos PT02, PT04 e PT06 ultrapassa o valor limite do parâmetro de CBO para água de consumo humano (Figura 45a). Quanto aos valores de OD, nos dois anos analisados, estão acima do referencial em todos os pontos de água, o que revela a necessidade de uma maior quantidade de oxigénio para melhorar a qualidade da água do rio Cateté (Figura 45b).

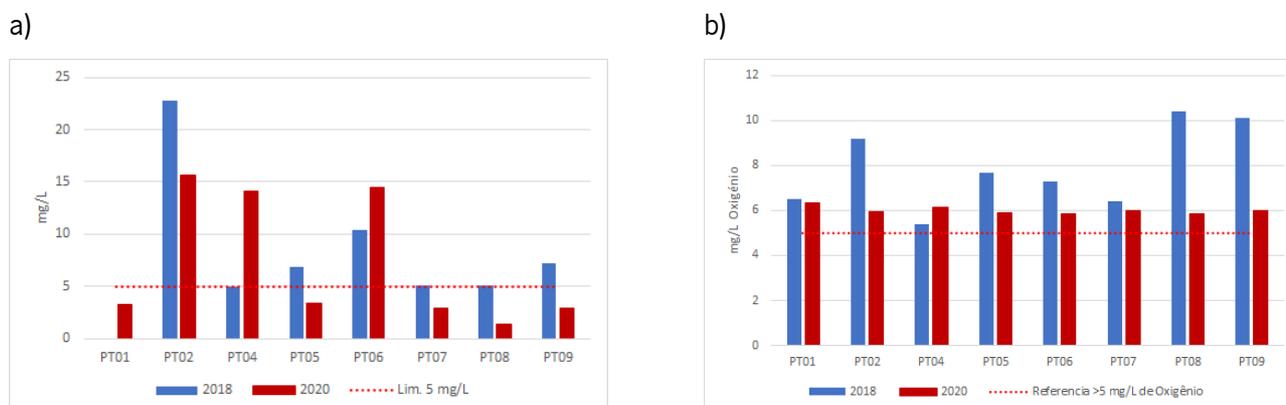


Figura 45 | Comparação dos valores de CBO (a) e OD (b) da água do rio Cateté nos anos de 2018 e 2020.

Tal como referido para estes parâmetros registados em 2018, os resultados de CBO e OD, continuam inconclusivos, a deixar margem para algum erro na determinação destes resultados, pois os valores dos dois parâmetros não deveriam aumentar associadamente, mas sim, com o aumento da CBO, diminuir o OD, o que não ocorre.

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que em alguns pontos de água se registou uma redução nos níveis de contaminação, como nos elementos Cr, Ni e Zn. Contudo, no ano de 2018, não tinha sido constatada a presença dos elementos Pb e Al e no ano de 2020, estes metais foram

identificados, sendo que no ponto de água PT02, ocorrem em teores semelhantes aos respectivos valores limite.

5.4 Potenciais efeitos na saúde humana da comunidade indígena Xikrin do rio Cateté

No ano de 2019 foi realizada uma investigação, através da observação comparativa entre relatórios patológicos, sobre a possível relação de sintomas e doenças desenvolvidas na população indígena e o seu contato com a água do rio Cateté contaminada por metais. Contudo, os dados obtidos, até ao momento, não são suficientes para a devida afirmação e conclusão.

A Tabela 5 apresenta os dados obtidos, no ano de 2017, relativos a doenças registadas na população de indígenas das aldeias de Cateté e de Djudjekô e a probabilidade de estarem relacionadas com a contaminação em metais na água do rio Cateté. As principais doenças registadas incluem: disritmia cerebral, encefalopatia em recém nascidos, psicose paranoide e depressão.

Tabela 5 | Casos de doenças registadas, em 2017, na população de aldeias e sua possível relação com os metais encontrados no Rio Cateté (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).

DOENÇAS	2017	PROVÁVEL METAL ASSOCIADO
Disritmia Cerebral	15 na aldeia Cateté	Cu e Pb
Encefalopatia Recém Nascido (RN)	2 na aldeia Djudjekô	Cu e Fe
Psicose Paranoide	2 na aldeia Cateté	Cu, Pb e Fe
Depressão	2 na aldeia Cateté	Cu e Pb

Tendo em consideração os resultados obtidos de contaminação da água do rio Cateté e a sua utilização direta pelo povo indígena, no ano de 2020, foram realizadas colheitas de sangue e foliculo capilar aleatória, em 35 indivíduos sintomáticos e não sintomáticos, divididos por grupos etários (idades entre 10-29 anos; 30 a 50 anos e acima dos 50 anos). A partir dos resultados das amostras, foram realizadas análises clínicas sanguíneas, e o foliculo capilar pela análise mineralográfica para identificação de organismos contaminados por metais pesados (GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).

A Figura 46 mostra que 28,6 % dos indígenas examinados apresentam uma idade entre 10 a 29 anos, 22,9 % entre 30 a 49 anos e 48,6 % com mais de 50 anos. Estes indivíduos examinados revelam valores contaminantes no sangue, pelo menos para um metal, nomeadamente, chumbo, ferro, manganês, níquel, alumínio ou mercúrio.

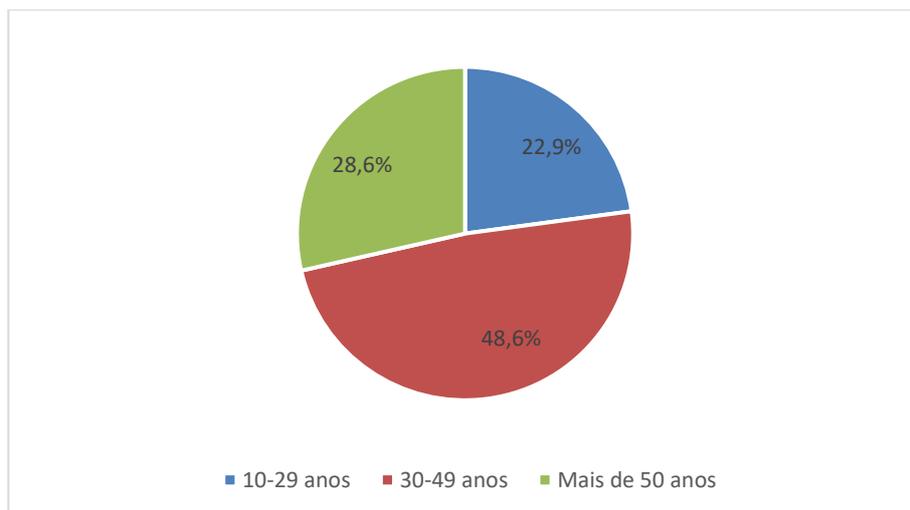


Figura 46 | Indivíduos contaminados por grupo etário.

No Anexo II apresentam-se os resultados dos exames mineralográfico realizado na população de indígenas, com as respectivas quantidades e percentual acima da faixa considerada perigosa para o ser humano. Destaca-se que os elementos considerados tóxicos e os considerados não tóxicos, mas que, a partir de um valor alto, provocam problemas de saúde diversos, estão assinalados com a cor vermelha. Os resultados demonstraram que 100 % do grupo de jovens estão contaminados com pelo menos um elemento, 94,1 % do grupo entre 30 a 49 anos e 40 % dos indivíduos acima de 50 anos.

Na Tabela 6 estão indicados os elementos químicos identificados na população de indígenas, em que se verifica que os metais chumbo, manganês e mercúrio são os mais encontrados em todos os grupos etários investigados.

Tabela 6 | Percentagem de indígenas por grupo etário e por elemento contaminante (Fonte: GTEMA/CNPQ/UFPA, 2020).

CONTAMINAÇÃO	GRUPO ETÁRIO		
	10-29 ANOS	30-50 ANOS	ACIMA DE 50 ANOS
Chumbo (Pb)	75%	82,35%	100%
Ferro (Fe)	50%	35,29%	40%
Manganês (Mn)	75%	94,12%	100%
Níquel (Ni)	12,50%	23,53%	30%
Alumínio (Al)	25%	23,53%	50%
Mercúrio (Hg)	100%	88,23%	90%
Bário (Ba)	12,50%	11,76%	-

De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que os indivíduos revelam contaminação, em pelo menos um elemento tóxico, podendo afirmar-se, que as comunidades indígenas se encontram em estado de alerta e que necessitam de intervenção médica especializada, pois, se nada for realizado para mitigar

os níveis de contaminação por metais no organismo do povo indígena, os efeitos nocivos para a saúde poderão ser irreversíveis.

Referente aos exames de sangue, na Figura 47, verifica-se que 30% da população indígena amostrada se encontra com um número de leucócitos acima do estabelecido para pessoas saudáveis, o que pode desencadear situação de leucocitose. Por outro lado, 9% dos indivíduos registam um número de leucócitos abaixo do valor mínimo para uma pessoa saudável (5000 leucócitos por mm^3 de sangue), podendo desencadear uma situação de leucopenia. De referir que embora estas duas condições não são consideradas como doenças, no entanto, são uma manifestação hematológica de algum transtorno orgânico, crônico ou transitório.

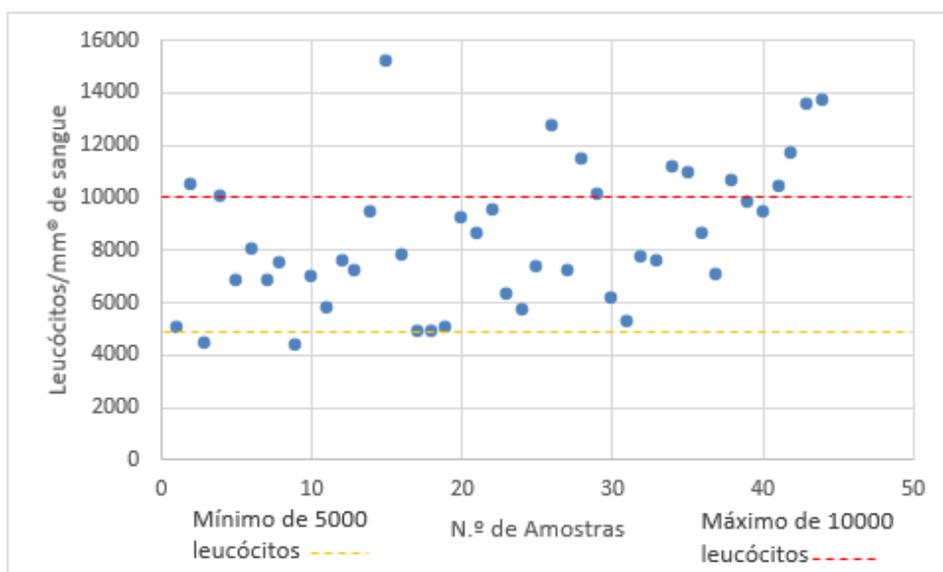


Figura 47 |Variação do número de leucócitos por indígena.

Ainda foi constatado que 77% dos indígenas examinados apresentaram eosinofilia (tipo de leucócito denominado eosinófilos), que implica ser uma resposta do organismo a infecções parasitárias ou devido a alergias. No entanto, esta situação também pode ser devida a doenças graves associada as células sanguíneas, como os linfomas. Contudo, para uma análise completa deveriam ser incluídos exames protoparasitológico e outros exames para detectar lesões nos órgãos ou para outras causas específicas, de forma a obter um número correto de causas possíveis e distúrbios associados à contaminação do rio por metais pesados.

6. PROPOSTA DE MEDIDAS DE MONITORIZAÇÃO E PREVENÇÃO

Na área de estudo do trecho do rio Cateté que atravessa a TI Kikrin do rio Cateté, constata-se um elevado nível de contaminação das águas do rio, o qual pode ser relacionado com a influência do domínio geotectónico e da litologia local, mas não se pode ser omissos em considerar a possível fonte de contaminação antrópica, através das atividades Mineiras de Onça-Puma.

De acordo com os resultados obtidos, é de extrema relevância a continuação das medidas de monitorização adotadas desde o ano de 2018, através do plano de monitorização e recuperação promovido pelo Grupo de Pesquisa em Tratamento de Minério, Energia e Meio Ambiente (GTEMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), o qual pretende continuar as colheitas de amostras de água nos pontos selecionados, com a possibilidade de selecionar outros pontos de amostragem relevantes na área de estudo. A monitorização dos pontos de água permitirá um melhor e maior acompanhamento e sua evolução ao longo do tempo.

É, também, fundamental a monitorização clínica da população indígena das comunidades Xikrin, aumentando o número de indivíduos analisados, tanto na análise clínica como mineralográfica, a fim de se obter dados mais concretos, de modo a associar o aumento de patologias identificadas com o elevado grau de contaminação do rio Cateté.

Com a aquisição de todos os resultados pode ser referido que deverá iniciar-se um planeamento para as comunidades indígenas, como a possível relocação destes para outras áreas em que não sejam afetados por esta contaminação; acompanhado da adopção de possíveis medidas de mitigação para a recuperação da água do rio Cateté que influenciam outras comunidades nos centros urbanos da região, bem como, a redução ou diminuição da descarga de rejeitados mineiros no rio e após um adequado processo de tratamento pelos responsáveis do empreendimento mineiro de Onça-Puma, com recurso a intervenções tecnológicas adequadas.

7. CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas está localizada numa das áreas mineiras mais importante do Brasil que inclui as atividades mineiras de Onça-Puma, com a exploração de depósitos de níquel laterítico. O rio Cateté, pertence à bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, e tem sido o principal recetor de efluentes provenientes destas atividades mineiras. Estes rios abastecem as aldeias da Terra Indígena, atravessando a Comunidade *Indígena* de Xikrin do rio Cateté.

Os rios são fatores determinantes no posicionamento das comunidades indígenas, estando a sua cultura fortemente dependente da água, desde as atividades diárias que incluem a prática da atividade pesqueira e a produção de produtos alimentares, bem como, a sua utilização em atividades recreativas e de diversão.

A análise físico-química de diversos pontos de água ao longo do rio Cateté, em dois períodos sazonais durante o ano de 2018, mostra a presença de elevados teores de metais pesados na água, tais como Fe, Ni, Cu, Cr, Mn e Zn. Muitos dos pontos de água revelam teores mais elevados do que os valores paramétricos definidos para o lançamento de efluentes e posterior utilização em consumo humano e/ou rega de terrenos agrícolas. No ano de 2020, os pontos de água analisados revelam a presença de teores elevados de Pb e Al, estando esta contaminação do rio associada ao enriquecimento natural dos sedimentos geológicos por intemperismo, bem como, às atividades antrópicas desenvolvidas na região. Os resultados obtidos sugerem que a principal fonte poluidora da região estará associada à Mineração de Onça-Puma (MOP), que para além de ter provocado a natural ocorrência de elevadas concentrações de metais pesados no ambiente, é incrementada pela descarga de efluentes mineiros com uma considerável quantidade de elementos metálicos, inexistentes ou em pequenas quantidades a montante do empreendimento mineiro.

De acordo com a Resolução CONAMA (2005), a concentração de metais pesados identificada na água do rio Cateté é superior aos valores aceitáveis para a 2ª classe de águas doces, demonstrando que a água do rio Cateté se encontra imprópria para consumo humano, utilização para banhos ou preparação de alimentos, consumo de peixes e utilização da água para irrigação de hortaliças e outras culturas.

As análises clínicas e mineralográficas realizadas em indivíduos da comunidade indígena revela a presença de metais pesados no sangue e/ou foliculo capilar de alguns indígenas, o que se associa ao aumento da possibilidade de ocorrência de doenças graves.

Os resultados apresentados neste trabalho reforçam a necessidade urgente de adoção de medidas de recuperação e prevenção adequadas para minimizar a contaminação da água do rio Cateté, protegendo

o ambiente e a saúde da comunidade indígena. Neste sentido, salienta-se a necessidade de implementação de medidas de monitorização, prevenção e recuperação adequadas, tanto pelas entidades públicas e privadas envolvidas, bem como, pela população. Neste último ponto é fundamental sensibilizar a população para esta temática científica e divulgar ações de melhoria da qualidade da água, tanto identificando as principais fontes de contaminação e referindo os principais problemas associados à contaminação da água e consequências diretas/indiretas para a saúde humana, bem como, as principais medidas a implementar e os benefícios de uma melhoria da qualidade da água do rio Cateté para toda a região da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas.

BIBLIOGRAFIA

- Albuquerque, M. F. de, Souza, E. B. de, Oliveira, M. do C. F. de, & Souza Júnior, J. A. De. (2010). *Precipitação nas Mesorregiões do Estado do Pará: Climatologia, Variabilidade e Tendências nas Últimas Décadas (1978-2008)*. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 6, v. 6, 151-168.
- ANA (2019). *Qualidade de rios em nove estados está ruim ou regular, aponta estudo*. Acessível em <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/qualidade-de-rios-em-nove-estados-esta-ruim-ou-2019-03-15.6696430832> [consultada a 13 de dezembro de 2020].
- ANA (2020). *Enquadramento – Bases Conceituais*. Acessível em <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx> [consultada a 13 de dezembro de 2020].
- Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (2012). *Alumínio*. Acessível em https://www.apda.pt/site/ficheiros_eventos/201212041544-ft_qi_01_aluminio_21102012.pdf [consultada a 1 de dezembro de 2020].
- Bittar, D. B. (2008). *Determinação dos Metais Pesados Cd, Cu, Cr e Pb nas Águas do Rio Uberabinha e Proposta de Adsorção por Adsorventes Naturais*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia – Minas Gerais – Brasil.
- Carvalho, C. G.P. de (2015). *Análise da acumulação de metais pesados oriundos de atividades de mineração na terra indígena Kikrin Cateté*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente. Universidade Federal do Pará (UFPA). pp.49.
- Cohen, J. C. P. (1989). *Um estudo observacional de linhas de instabilidades na Amazônia*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 174 pp.
- Cohen, J. C. P.; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A. (1989). *Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia*. Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.4, n.11, p.34-40.
- Costa, R. de N. L. da (2019). *BAKRUKREN: o difícil exercício de soberania alimentar pelos Xikrin do Cateté, da aldeia DJu-djekô, no município de Parauapebas, Pará*. Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Territoriais e Sociedade na Amazônia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá – Pará – Brasil.
- Constituição Federal do Brasil (1988). *CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988*. Acessível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm [consultada a 05 de fevereiro de 2020].

- Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA (2020). *Turbidez das águas*. Acessível em <http://www.pha.poli.usp.br> [consultada a 28 de novembro de 2020].
- Diário Oficial da União (1934). Decreto n.º 24.643/1934, de 10 de julho de 1934, *Código de Águas*. Acessível em www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm [consultada a 11 de março de 2020].
- Diário Oficial da União (1940). Decreto-Lei n.º 1.985/1940, de 29 de janeiro de 1940, *Código de Minas*, alterada pela Lei n.º 14.066/2020, de 30 de setembro de 2020. Acessível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm [consultada a 13 de dezembro de 2020].
- Dornfeld, C. B. (2002). Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP). 2002. Tese (Doutorado) - Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Usp, São Paulo.
- EMBRAPA (2018). Alexandre Marcolino, editores técnicos. – 2. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. E-book: il. color. – (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 169).
- Fortunato, J. M. (2009). *Comportamento dos Íons Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco em Área de Manguezal Associado a Antigo Lixão no Município de Santos – SP*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. São Paulo – Brasil.
- França, R.C.M. (2020). *Injustiça Ambiental e os Principais Efeitos à Saúde dos Povos Indígenas no Brasil*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação Internacional, do Centro de Estudos Avançados e Multidisciplinares da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- Gomes, R. R. F. (2017). *Clima do Pará*. Acessível em <https://www.infoescola.com/geografia/clima-do-para/> [consultada em 22 de julho de 2020].
- GTEMA/CNPQ/UFPA (2019). *Relatório de Monitoramento do rio Cateté da Terra Indígena dos Xikrin do Cateté em Março de 2019*. Grupo de Tratamento de Minérios, Energia e Meio Ambiente (GTEMA/CNPQ) e Projeto de Monitoramento do Rio Cateté/PROEX/UFPA.
- GTEMA/CNPQ/UFPA (2020). *Relatório Parcial de Monitoramento do rio Cateté das Terras Indígenas dos Xikrin em Dezembro de 2019 a Março de 2020*. Grupo de Tratamento de Minérios, Energia e Meio Ambiente (GTEMA/CNPQ) e Projeto de Monitoramento do Rio Cateté/PROEX/UFPA.

- Henriques, V. L. da S. (2010). *Monitorização da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Vouga*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro. Aveiro – Portugal.
- IBGE (2010). Acessível em <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo?busca=1&id=3&idnoticia=2194&t=censo-2010-poblacao-indigena-896-9-mil-tem-305-etnias-fala-274&view=noticia> [consultada a 10 de outubro de 2020].
- ISA (2020). *Terra Indígena Xikrin do Cateté*. Acessível em <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3646> [consultada a 21 de julho de 2020].
- Lopes, M. N. G., Souza, E. B. de, & Ferreira, D. B. da S. (2013). *Climatologia Regional da Precipitação no Estado do Pará*. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 9, v. 12, 84-102. Acessível em <https://core.ac.uk/download/pdf/328075628.pdf> [consultada a 10 de outubro de 2020].
- Medina, A. E. C. M. (2015). *Implementação de planos de controlo de qualidade de água para consumo humano*. Dissertação para o Grau de Mestre em Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Mello, K. de, Valente, R. A., Randhir, T. O., & Vettorazzi, C. A. (2018) *Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil*. Ecological Indicators, 93, 1293 – 1301.
- MMA (2006). Água. Acessível em <https://antigo.mma.gov.br/agua.html> [consultada a 10 de outubro de 2020].
- MME (2009). *Produto 38 – Minério de Níquel*. Acessível em http://www.mme.gov.br/documents/36108/449811/P38_RT64_Perfil_do_Nxquel.pdf/8732432b-c520-8ac5-7dc1-1715b9a175c2?version=1.0 [consultada a 10 de outubro de 2020].
- Oliveira, S. M. B. de (1990). *Os depósitos de níquel laterítico do Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Brasil.
- ONACIONAL (2016). *Os Perigos do Alumínio para nós*. Acessível em <https://www.onacional.com.br/saude,9/2016/08/19/os-perigos-do-aluminio-paranos,72085#:~:text=Observa%2Dse%20tamb%C3%A9m%20que%20pessoas,de%20cabelo%2C%20perda%20de%20peso%2C> [consultada a 1 de dezembro de 2020].
- Paraense, B. M. R. (2018). *Análise das Propriedades Físico-Químicas de Metais Potencialmente Tóxicos e Impacto Ambiental Causado nas Águas do Rio Cateté – Carajás – Pará: Estudo de Caso*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil.

- PETESA/UFBA - PET de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal da Bahia (2018). *Impactos Ambientais Causados pela Mineração*. Acessível em <http://www.petesa.eng.ufba.br/blog/impactos-ambientais-causados-pela-mineracao> [consultada a 13 de dezembro de 2020].
- Porto, M. F.; Pacheco, T.; Leroy, J. P. (2013). *Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil: o Mapa de Conflitos*. Rio de Janeiro: Scielo-Editora FIOCRUZ.
- Resolução CONAMA (2005). Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, n.º 357/2005 de 17 de março de 2005, publicada no DOU n.º 53 de 18 de março de 2005, alterada pela Resolução n.º 410/2009 e pela Resolução n.º 430/2011.
- Ruggiro, L. B. (2013). *Espectroscopia de reflectância para caracterização de minerais. Estudo de caso: Depósito de Onça-Puma*, Navegação XXV Salão de Iniciação Científica, Província Mineral de Carajás, Pará-Brasil.
- Salomão, G. N., Agnol, R. D., Sahoo, P., K., Angélica, R. S., Medeiros Filho, C. A. De, Ferreira Júnior, J. da S., Silva, M. S. da, Souza Filho, P. W. M. e, Nascimento Júnior, W. da R., Costa, M. F. da, Guilherme, L. R. G., & Siqueira, J. O. De. (2020). *Geochemical mapping in stream sediments of the Carajás Mineral Province: Background values for the Itacaiúnas River watershed, Brazil*. Applied Geochemistry, 118.
- Sarmiento, P. L. da C. (2019). *Zoneamento Bioclimático para Criação de Ovinos no Estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Zootecnia da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Belém, Pará, Brasil.
- Schaefer, C., E., G., R., Lima, H., N. de, Teixeira, W., G., Vale Jr, J., F., do, Souza, K. W. de, Corrêia, G., R., Mendonça, B., A., F., de, Amaral, E., F., Campos, M., C., C., Ruivo, M. de L., P. (2017). *Solos da Região Amazônica*. Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 111-175.
- SILVA, F. A. (2018). *Análise da água e indicadores da Fauna, Laudo Pericial – Biólogo*. Processo n.º 2383-85.2012.4.01.3905, Minas Gerais - Brasil, outubro de 2018.
- Souza, J. R. de, Moraes, M. E. B. de, Sonoda, S. L., & Santos, H. C. R. G. (2014). *A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil*. REDE – Revista Eletrônica do Prodema, v.8, n.1, 26-45, Fortaleza, Brasil, ISSN: 1982-5528.
- TerraClass & INPE (2020). *Classes Temáticas*. Acessível em <https://www.terraclass.gov.br/> [consultada a 10 de outubro de 2020].

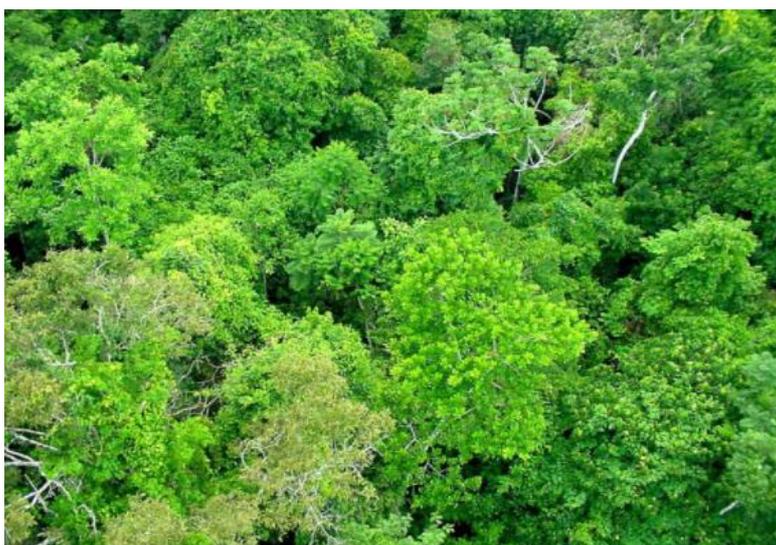
- Vale (2020). *Níquel*. Acessível em <http://www.vale.com/BRASIL/PT/BUSINESS/MINING/NICKEL/Paginas/default.aspx#:~:text=A%20Vale%20%C3%A9%20a%20maior,mundo%2C%20utilizado%20em%20diversas%20aplica%C3%A7%C3%B5es> [consultada 3 de novembro de 2020].
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.G.; Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. (2008). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Organizadores, Vasquez M.L.; Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 328p.
- Vidal, L. (1982). *Levantamento da situação atual dos índios Xikrin do Povo Indígena Kateté*. Recomendações iniciais frente ao projeto Carajás. Universidade de São Paulo.

ANEXO I – IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES TEMÁTICAS DE OCUPAÇÃO DO SOLO

SOLO

Vegetação Natural Florestal Primária

Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.



Vegetação Natural Florestal Primária (Fonte: TerraClass, 2020).

Vegetação Natural Florestal Secundária

Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas, que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.



Vegetação Natural Florestal Secundária (Fonte: TerraClass, 2020).

Pastagem Cultivada

Pastagem com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas/arbóreas, e vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas.



Pastagem Cultivada (Fonte: TerraClass, 2020).

Área Urbanizada

Áreas urbanizadas ou de influência urbana, como lugarejos, vilas, cidades ou regiões metropolitanas, apresentando arruamentos e infraestruturas residencial e industrial.



Área Urbanizada Cultivada (Fonte: TerraClass, 2020).

Desflorestamento

Área cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento.



Desflorestamento no ano (Fonte: TerraClass, 2020).

Área de não floresta

Áreas contidas nos limites da Amazônia Legal Brasileira, cuja cobertura vegetal não é florestal.



Área de não floresta (Fonte: TerraClass, 2020).

Corpos de Água

Corpos de água naturais ou artificiais, como rios, lagoas, açudes e represas.



Corpos de água (Fonte: TerraClass, 2020).

Outros

Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, banco de areia, entre outras.



Outras áreas (Fonte: TerraClass, 2020).

ANEXO II – RESULTADO MINERALOGRÁFICO – RESULTADO SOMENTE DOS VALORES EM EXCESSO (FONTE: RELATÓRIO PARCIAL DE MONITORAMENTO DO RIO CATETÉ NA TERRA INDÍGENA XIKRIN DO CATETE NO PERÍODO DE DEZEMBRO/2019 A MARÇO/2020)

EXCESSO DE METAS PRESENTES NO ORGANISMO		RESULTADO DAS ANÁLISES - METALOGRAMA																														
		METAS ESSENCIAIS												ELEMENTOS TÓXICOS																		
		FÓSFORO (P)		MAGNÉSIO (Mg)		SÓDIO (Na)		POTÁSSIO (K)		FERRO (Fe)		MANGANÊS (Mn)		SILÍCIO (Si)		NÍQUEL (Ni)		MERCÚRIO (Hg)		CHUMBO (Pb)		CROMÍO (Cr)		BÁRIO (Ba)		TÍTÂNIO (Ti)		ZINCO (Zn)				
		120	209	34	200	28	400	5	165	10	47	0,24	1	10,8	27,8	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1		
Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓	Resultado Exame. ↓	Excesso em % ↓			
10 A 29 ANOS	1	11 anos	K / Fe / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	2	14 anos	Mg / K / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	343	71,0	-	-	238	44,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	3	17 anos	P / Mg / Fe / Mn / Si / Pb / Hg	219	4,78	376	88,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	4	20 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Ni / Hg / Ba	-	-	791	295,5	362	40,5	264	72,32	-	-	18,32	1,532	40	43,37	1,0	37,143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	5	23 anos	K / Fe / Mn / Si / Hg / Pb / Al	-	-	-	-	-	-	206	24,85	58	19,15	2,94	694	58	111,47	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	150,0	1,4	75,0	35,9	87,78	
	6	24 anos	Si / Hg / Pb / Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	7	25 anos	Mg / Si / Hg	-	-	643	227,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	8	28 anos	P / Mg / Fe / Mn / Si / Pb / Hg	221	5,74	231	56,5	-	-	-	-	52	10,64	12,52	1,152	182	352,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	9	30 anos	Mg / K / Fe / Mn / Si / Ni / Pb / Hg	-	-	476	138,0	-	-	258	55,35	56	28,15	9,44	844	71	161,65	0,06	37,34	3,7	106,7	1,2	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10	30 anos	P / K / Fe / Mn / Si / Pb / Hg	126	8,13	-	-	-	-	645	179,39	589	382,13	16,91	1,581	84	301,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30 A 40 ANOS	11	30 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Hg / Pb / Ba	-	-	484	132,0	492	22,8	383	132,32	-	-	8,54	854	44	57,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	12	33 anos	Mg / K / Mn / Si / Ni / Hg / Pb / Al	-	-	204	-	-	-	276	67,27	-	-	8,33	232	138	394,62	1,36	94,29	1,4	133,3	1,3	62,5	23,3	238,89	-	-	-	-	-		
	13	33 anos	P / Mn / Si / Hg	211	1,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	14	33 anos	Mg / Na / K / Fe / Mn / Pb / Si	-	-	558	179,0	805	201,3	227	37,58	48	2,13	12,03	1,205	75,61	171,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	15	34 anos	Mg / Na / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	521	163,5	688	74,5	-	-	-	-	7,65	665	238	753,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16	34 anos	Mg / Mn / Si / Hg / Ba	-	-	474	137,0	-	-	-	-	-	-	14,84	1,384	72,04	158,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	17	36 anos	Mg / Si / Ni / Pb / Hg	-	-	343	73,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	18	37 anos	Mg / Fe / Mn / Si / Pb / Al	-	-	232	56,0	-	-	-	-	53	12,77	9,43	843	91	226,16	1,11	72,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	19	37 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Ni / Hg / Pb / Ba	-	-	725	262,5	551	38,3	273	67,88	-	-	15,54	1,454	41	48,95	1,75	150,00	2,1	250,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	41 anos	Na / K / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	-	-	508	27,0	412	149,70	-	-	13,3	1,230	44	37,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	41 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	391	95,3	852	200,5	221	33,94	-	-	7,97	897	29	3,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
22	42 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Hg	-	-	225	12,5	2432	258,0	897	443,64	66	40,43	9,86	886	48	72,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
23	44 anos	Mg / K / Fe / Mn / Si / Hg / Pb / Al	-	-	331	87,5	-	-	238	44,24	68	40,43	8,4	740	71	168,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
24	44 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Hg / Pb / Al	-	-	411	105,5	439	14,8	292	76,97	-	-	13,3	1,230	41	30,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	46 anos	Mn / Si / Pb / Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
26	51 anos	Mg / Na / K / Mn / Si / Ni / Hg / Pb / Al	-	-	376	88,0	413	3,8	205	84,85	-	-	5,39	439	328	379,93	1,22	74,29	1	233,3	1,2	50,0	31,7	252,22	-	-	-	-	-	-		
27	53 anos	P / Na / K / Fe / Mn / Si / Hg / Al / Pb / Ti	126	3,35	-	-	1278	219,0	200	124,24	412	176,60	9,83	881	121	342,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	54 anos	K / Mn / Si / Pb / Hg	-	-	-	-	-	-	286	61,21	-	-	24,68	2,368	44	37,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	57 anos	P / K / Fe / Mn / Si / Pb / Hg	214	2,39	-	-	-	-	378	129,09	353	651,06	8,79	779	134	380,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	60 anos	P / Mg / Na / K / Mn / Si / Ni / Pb / Hg	248	18,66	437	118,5	1354	288,5	254	417,58	-	-	21,58	2,058	86	208,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	61 anos	K / Fe / Mn / Si / Hg / Pb / Al	-	-	-	-	-	-	295	18,18	208	338,30	12,59	131	369,52	1,06	51,43	3,5	483,3	1,0	25,0	97	877,78	-	-	-	-	-	-	-		
32	68 anos	Mg / K / Mn / Si / Ni / Pb	-	-	336	78,0	-	-	331	300,61	-	-	3,99	299	340	401,79	1,54	117,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	73 anos	P / Mg / K / Mn / Si / Ni / Pb / Hg	211	0,96	822	311,0	-	-	289	63,00	-	-	9,99	899	144	436,13	6,45	821,43	1,4	133,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	86 anos	Mg / Na / K / Fe / Mn / Si / Pb / Hg / Al	-	-	204	2,0	488	22,0	474	187,27	-	-	9,55	855	300	238,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	104 anos	Fe / Mn / Si / Hg / Ni / Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

