INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM MINERAÇÃO
CAMPUS MACAPÁ

ANA BEATRIZ COSTA ALVES
KAWANE GOMES NEGRÃO

ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA AZUL DO MUNICÍPIO DE SERRA DO NAVIO NO ESTADO DO AMAPÁ

MACAPÁ
2026

ANA BEATRIZ COSTA ALVES
KAWANE GOMES NEGRÃO

ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA AZUL DO MUNICÍPIO DE SERRA DO NAVIO NO ESTADO DO AMAPÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Tecnologia em Mineração como requisito para a obtenção do título de Tecnólogo em Mineração.
Orientador: Prof. Me. Salvador Rodrigues Taty

MACAPÁ
2026

ANA BEATRIZ COSTA ALVES
KAWANE GOMES NEGRÃO

ANÁLISE FÍSICO – QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA AZUL DO MUNICÍPIO DE SERRA DO NAVIO NO ESTADO DO AMAPÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso Tecnologia em Mineração como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Mineração

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
SALVADOR RODRIGUES TATY
Data: 23/07/2026 08:16:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Me. Salvador Rodrigues Taty (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
gov.br
LIDIA DELY ALVES DE SOUSA
Data: 31/07/2026 10:58:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Me. Lídia Dely Alves de Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
gov.br
SANDRO ROGERIO BALIEIRO DE SOUZA
Data: 31/07/2026 17:24:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Me. Sandro Rogério Balieiro Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 18 de junho de 2026
Conceito/Nota: 93

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A474a Alves, Ana Beatriz Costa
ANÁLISE FÍSICO ? QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA AZUL DO MUNICÍPIO DE SERRA DO NAVIO NO ESTADO DO AMAPÁ / Ana Beatriz Costa Alves, Kawane Gomes Negrão. - Macapá, 2026.
43 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Tecnologia em Mineração, 2026.

Orientador: Me. Salvador Taty Rodrigues.

1. Lagoa Azul. 2. caracterização físico-química. 3. qualidade de água.. I. Negrão, Kawane Gomes. I. Rodrigues, Me. Salvador Taty, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso só foi possível graças ao apoio e incentivo de pessoas que estiveram ao nosso lado durante toda essa trajetória.

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus, pela força, pela sabedoria e pela oportunidade de chegarmos até aqui.

Às nossas famílias, que nos apoiaram com amor, compreensão e paciência em todos os momentos de dedicação aos estudos. Vocês foram a base que sustentou cada passo desta caminhada.

Aos amigos e colegas, que compartilharam conosco experiências, aprendizados e companheirismo ao longo do curso, tornando a jornada mais leve e enriquecedora.

Por fim, agradecemos um ao outro, pela parceria, esforço conjunto e companheirismo que tornaram este trabalho possível.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A água é um recurso essencial e universalmente abundante no planeta, indispensável para todos os seres vivos. Contudo, sua exploração inadequada, intensificada desde a era industrial, tem causado impactos graves, como a redução da qualidade dos recursos hídricos e sua crescente escassez. Serra do Navio destaca-se por suas atrações naturais, incluindo rios, quedas d'água e lagos. Dentre elas, a Lagoa Azul é uma das mais emblemáticas. Esta lagoa se formou devido à antiga exploração de manganês na Mina T6 da ICOMI, onde a mineração atingiu o lençol freático, criando uma área inundada de tonalidade azul vibrante após o abandono das atividades. Este estudo teve como objetivo realizar uma caracterização físico-química detalhada da água da Lagoa Azul, localizada na mina T6, no município de Serra do Navio. Para este trabalho foram analisados pH, dureza total, turbidez, cloreto e determinação de arsênio e manganês. De modo geral, os resultados obtidos indicam que a Lagoa Azul não atende aos padrões de balneabilidade previstos na Resolução CONAMA nº 274/2000, sendo inadequada para recreação de contato primário (como banho prolongado).

Palavras-chave: Serra do Navio; Lagoa Azul; caracterização físico-química; qualidade de água.

ABSTRACT

Water is an essential and universally abundant resource on the planet, indispensable for all living beings. However, its inappropriate exploitation, intensified since the industrial era, has caused serious impacts, such as the reduction in the quality of water resources and their increasing scarcity. Serra do Navio stands out for its natural attractions, including rivers, waterfalls, and lakes. Among them, the Blue Lagoon is one of the most emblematic. This lagoon was formed due to the former manganese exploitation at the ICOMI T6 Mine, where mining activities reached the groundwater table, creating a flooded area with a vibrant blue coloration after the abandonment of operations. This study aimed to carry out a detailed physicochemical characterization of the water of the Blue Lagoon, located at the T6 mine, in the municipality of Serra do Navio. For this work, pH, total hardness, turbidity, chloride, and the determination of arsenic and manganese were analyzed. In general, the results obtained indicate that the Blue Lagoon does not meet the bathing water quality standards established by CONAMA Resolution No. 274/2000, being unsuitable for primary contact recreation (such as prolonged bathing).

Keywords: Serra do Navio; Lagoon; Physicochemical characterization; Water quality;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Imagem da Lagoa Azul.....	14
Figura 2	Cidade de Serra do Navio.....…….	15
Figura 3	Pilhas de rejeitos de manganês……	19
Figura 4	Mapa de Localização das minas de manganês na Serra do Navio……	20
Figura 5	Lagoa Azul……	21
Figura 6	A escala de pH ……	23
Figura 7	Exemplo de turbidez da água……	26
Figura 8	Material coletado e identificado ……..….	31
Figura 9	Fluxograma de teste.....…….....	32
Figura 10	Fluxograma de teste.....…….....	33
Figura 11	Fluxograma de teste.....…….....	34
Figura 12	Equipe realizando coleta de amostra da água na Lagoa Azul Serra do Navio – AP, em 30 de maio de 2025……	36
Figura 13	Equipamento medidor de pH……	37
Figura 14	Mudança de coloração na titulação de dureza total: (a) antes da Titulação; (b) após a titulação com EDTA.....……	38
Figura 15	Amostra de dureza……	38
Figura 16	Amostra após mudança de coloração……...	39
Figura 17	Relatório de Ensaio Anquim……	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrão para corpos de água de Classe II ……...	17
Tabela 2	Padrões da dureza da água ……	25
Tabela 3	Resultados médios obtidos nas análises físico-químicas da água da Lagoa Azul ……	39

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**11**
2	**OBJETIVOS**	**12**
2.1	**Geral**	**12**
2.2	**Específico**	**12**
3	**REFERENCIAL TEÓRICO**	**13**
3.1	**A história de Serra do Navio**	**13**
3.2	**Água utilizada na mineração**	**15**
3.3	**Manganês na Serra do Navio**	**17**
3.4	**Arsênio**	**21**
3.5	**pH**	**22**
3.6	**Determinação de dureza total**	**24**
3.7	**Turbidez**	**26**
3.8	**Cloreto**	**27**
4	**METODOLOGIA DA PESQUISA**	**30**
4.1	**Materiais e métodos**	**30**
4.1.1	Ph	31
4.1.2	Dureza Total	32
4.1.3	Turbidez	33
4.1.4	Cloreto	34
4.1.5	Determinação de Manganês e Arsênico	35
5	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	**36**
5.1	**Determinação de pH e turbidez**	**36**
5.2	**Determinação de dureza total**	**37**
5.3	**Determinação de cloretos e metais pesados**	**39**
5.4	**Avaliação integrada da qualidade da água**	**40**
6	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	**41**
	REFERÊNCIAS	**42**
	ANEXOS	**44**

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida e do equilíbrio ambiental, porém tem sido explorada de forma inadequada desde o avanço da era industrial. Esse uso indiscriminado tem provocado impactos significativos em sua qualidade e disponibilidade. Entre os principais fatores que contribuem para essa degradação estão a poluição, a destruição das áreas alagadas, a retirada das matas ciliares e o descarte de resíduos em rios, lagos e demais corpos hídricos, resultando na redução da disponibilidade de água e no comprometimento da sustentabilidade dos recursos naturais (Tundisi, 2003).

A falta de monitoramento contínuo e de informações acessíveis à população agrava ainda mais esse cenário. Muitos usuários entram em contato com águas contaminadas sem ter conhecimento dos riscos aos quais estão expostos, aumentando a probabilidade de contrair diversas doenças de origem hídrica. Esse risco é ainda mais elevado para indivíduos com sistema imunológico debilitado, como idosos, crianças e pessoas com baixa resistência imunológica (*Lopes et al., 2013*).

No município de Serra do Navio, diversas atrações naturais se destacam, incluindo rios, cachoeiras e lagos, entre eles a Lagoa Azul, uma das mais conhecidas da região. Sua origem está associada à antiga Mina T6 da ICOMI, onde o processo de extração de manganês atingiu o lençol freático, dando origem à lagoa. Após a desativação da mina, o corpo d'água adquiriu uma tonalidade azul característica, tornando-se ponto turístico. O presente estudo analisou a qualidade da água da Lagoa Azul com base nos critérios de balneabilidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000, considerando o contexto ambiental de Serra do Navio, Amapá.

A pesquisa buscou não apenas avaliar os parâmetros físico-químicos da água, mas também compreender a interação entre os elementos químicos presentes, como o manganês e o arsênio, que podem influenciar a qualidade do ecossistema aquático e afetar a biodiversidade local. A análise dessas substâncias é essencial para entender o grau de contaminação e os possíveis riscos ambientais

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O presente estudo teve como objetivo realizar uma caracterização físico-química da água da Lagoa Azul, localizada na mina T-6, no município de Serra do Navio, estado do Amapá.

2.2 Específicos

- Realizar análises laboratoriais como manganês, arsênio, pH, turbidez, dureza total e cloreto.
- Comparar os resultados encontrados nas análises físico-químicas de acordo com a resolução CONAMA nº 274/2000;
- Discutir os resultados obtidos com o que recomenda a legislação pertinente de acordo com a portabilidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A história de Serra do Navio

Serra do Navio é um município geograficamente localizado a noroeste do estado do Amapá (figura 1), segundo os dados do IBGE o município contém sua população estimada em 4.673 e geologicamente falando é composta por gnaisses e granitos, lavas máficas metaforizadas em anfibolito, e duas unidades de sedimentos finos a químicos metaforizadas em xistos e mármores, sendo seu principal minério do Manganês.

Figura 1 - Imagem área da Lagoa Azul.



Fonte: Google Earth, 2024.

> No plano doméstico, deve ser destacado que muitas outras minas de manganês estiveram em produção no Brasil entre 1950 e 1998 (Drummond, 1999). No entanto, com exceção da mina de Carajás, no Pará, que começou a produzir apenas na década de 1980, essas minas eram de pequenas e médias, em comparação a Serra do Navio. Especialmente depois de 1985, a participação de Serra do Navio na produção brasileira caiu constante e fortemente, enquanto crescia de forma sensível a produção de várias minas menores de Minas Gerais e da grande mina de Carajás. Minas Gerais e Pará, desde então, disputam o primeiro lugar entre os estados produtores de manganês. (Drummond, 2000).

Na década de 1940 foram descobertas jazidas de Manganês, no ano de 1946, o presidente da República Eurico Gaspar Dutra declarou as jazidas como reservas do território nacional do Brasil. Com disputas sobre o território pela concessão e só no ano seguinte que Sociedade Brasileira de Indústria e Comércio de Minérios de Ferro e Manganês (Icomi).

De 1947 a 1957 a empresa dedicou-se à pesquisa e prospecção de Serra do Navio, onde foi construída uma cidade (figura 2) para que seus funcionários pudessem viver juntos com a sua família. E em 1957 foi dado o início da exploração de manganês no município.

Figura 2 - Cidade de Serra do Navio



Fonte: Produção Própria.

O modelo de desenvolvimento que trazia aparente prosperidade à região, concentrava a renda advinda da exploração mineral nas mãos dos controladores da empresa e dos grupos políticos que os apoiavam, não se prestando à consolidação de infraestrutura e serviços públicos de qualidade que atendessem a toda a região.

A falta de mecanismos de gestão dos resíduos produzidos também acabou por contaminar o meio ambiente local, especialmente o solo, as águas fluviais e subterrâneas. Os custos sociais de uma aparente prosperidade econômica se revelaram na forma de passivos ambientais que só viriam a ser plenamente compreendidos após o encerramento das atividades da empresa, em 1997.

Após um ano do desativamento da mina, o grupo Jaakko Pöyry Engenharia Ltda (JPE) realizou uma auditoria na área da antiga empresa ICOMI, onde identificou focos de contaminação no lençol freático por vários metais pesados e arsênio. Em 2001, pesquisadores da Universidade Federal do Pará (UFPA) com amostras de cabelos de moradores da Vila Elesbão constataram que, de 100 moradores, 98 tinham no organismo índice de arsênio superior ao tolerado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Estudos realizados por Pereira *et al.* (2001), com base em testes realizados em amostras de cabelo de moradores da área, indicaram que houve contaminação por arsênio em pessoas residentes na Vila do Elesbão. Por apontarem a exposição de populações residentes no entorno das instalações portuárias da ICOMI ao arsênio, tais estudos ensejaram a realização de novas avaliações. A Fundação Nacional de Saúde acionou o Instituto Evandro Chagas para realizar outras investigações acerca da exposição da população residente na Vila do Elesbão (Monteiro, 2008). Entre os crimes ambientais cometidos durante a vigência da licença, o MPE destaca que mais de 30 toneladas foram colocadas em uma grande vala na

Área de Proteção Ambiental do Rio Cúriau – Km 34 da BR 156, próximo da Estrada de Ferro. A comunidade Quilombola residente na área ficou revoltada e parte da obra foi depredada.

3.2 Água utilizada na mineração

A utilização da água para diferentes finalidades exige características físicas e químicas adequadas ao uso a que se destina. Na mineração, a água é empregada principalmente como meio de transporte e exerce grande influência nos processos de concentração mineral. Assim, a água utilizada na flotação difere daquela empregada na separação gravítica, separação em meio denso, lavagem, decantação e lixiviação (Sampaio; Da Luz; Andrade; França, 2010).

Os parâmetros de qualidade da água para o uso no processamento mineral, bem como aqueles inerentes à água a ser descartada para o meio ambiente de acordo com as agências reguladoras e em harmonia com a legislação ambiental vigente, são obtidos com base nos resultados das pesquisas em escalas de laboratório e piloto. Muitas vezes, a característica de qualidade da água tolerável ou benéfica ao processo é ainda pouco conhecida na operação industrial da usina, em decorrência da sua difícil reprodução em laboratório e/ou unidade piloto (Sampaio; Da Luz; Andrade; França, 2010).

> Nesses casos, somente a operação da unidade industrial, por cerca de um ano ou mais, torna conhecidas as interações entre a água utilizada e os diferentes tipos de minérios, inclusive as composições ou misturas deles na alimentação da usina. Enquanto isso, a água disponível à operação da usina passa pelos conhecidos ciclos de sazonalidade, o que exige tempo para atingir as necessárias condições de equilíbrio (Sampaio *et al.*, 2010, p. 00).

A atividade de mineração é um dos meios pelos quais os metais entram no ambiente (Salomons, 1995). Depósitos de rejeitos e pilhas de estéril, decorrentes de atividades de mineração, podem ser fontes de contaminação ambiental graças à presença de metais pesados e arsênio, principalmente quando esses materiais contêm minerais sulfetados e teores elevados de metais. A atividade mineradora, quando comparada a outras fontes de degradação do ambiente, como a agricultura e a pecuária, afeta diretamente pequenas áreas. Contudo, os elementos solubilizados de rejeitos, se atingirem os cursos d'água, podem impactar negativamente áreas localizadas a centenas de quilômetros da mineração (Salomons, 1995).

> Elevados teores de metais pesados podem ser encontrados na cadeia trófica e no homem em arredores de áreas de mineração, pela entrada desses elementos em solos

> agrícolas, cursos d'água e nos alimentos produzidos nestas áreas, podendo colocar em risco toda população localizada no entorno dos empreendimentos minerários (Prieto, 1998). O aumento mundial da contaminação de sistemas de água doce com inúmeros compostos químicos industriais e naturais é hoje um dos principais problemas ambientais (Schwarzenbach *et al.*, 2006). Mineração, emissão de esgoto doméstico, aplicação de fertilizantes e pesticidas degradaram severamente os ecossistemas aquáticos com metais pesados (Bertoletti, 2006; Livingstone, 1993; Zagatto, 1998).

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece a classificação dos corpos d'água no Brasil, as águas doces são categorizadas em diferentes classes de qualidade, cada qual com parâmetros específicos e usos permitidos. Para o desenvolvimento deste estudo, a atenção será direcionada exclusivamente aos elementos que compõem a Classe II, a qual apresenta características adequadas para determinados fins, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões para corpos de água de Classe II.

PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA DA CLASSE II	
PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO
ALUMÍNIO DISSOLVIDO	0,1 mg/L
ARSÊNIO TOTAL	0,14µg/L
MANGANÊS TOTAL	0,1 mg/L
SULFETO TOTAL	0,01 mg/L
TURBIDEZ	5 NTU
pH	6,0 a 9,5
DUREZA TOTAL	5 mg/L
MERCÚRIO TOTAL	0,0002 mg/L
URÂNIO TOTAL	0,002 mg/L
SULFATO TOTAL	250 mg/L
ZINCO TOTAL	0,18 mg/L
CLORETO TOTAL	250 mg/L Cl

Fonte: CONAMA nº 357 de 2005.

A utilização da água para diferentes finalidades exige características físicas e químicas adequadas ao uso a que se destina. Assim, a água empregada para consumo doméstico apresenta propriedades distintas daquela utilizada na indústria e na agricultura. Na

mineração, essa realidade também se aplica, uma vez que a água desempenha papel fundamental nos processos de beneficiamento mineral, sendo utilizada principalmente como meio de transporte e nos processos de concentração de minérios.

Nesse contexto, a água utilizada na flotação apresenta características diferentes daquela empregada na separação gravítica, na separação em meio denso e nos processos de lavagem, decantação e lixiviação. Esses parâmetros são estabelecidos com base em pesquisas realizadas em escala laboratorial e piloto. Entretanto, em muitos casos, as características da água consideradas adequadas ou benéficas ao processo industrial ainda são pouco conhecidas, devido à dificuldade de reproduzir, em laboratório ou em unidades piloto, as condições reais de operação da usina.

> Dessa forma, somente a operação contínua da unidade industrial, durante cerca de um ano ou mais, possibilita compreender de maneira mais precisa as interações entre a água utilizada e os diferentes tipos de minérios processados, incluindo suas composições e misturas na alimentação da usina. Além disso, a água disponível para a operação passa pelos ciclos de sazonalidade, exigindo tempo para alcançar as condições necessárias de equilíbrio operacional (Sampaio; Da Luz; Andrade; França, 2010).

A atividade mineradora constitui uma das principais formas de introdução de metais no meio ambiente (Salomons, 1995). Depósitos de rejeitos e pilhas de estéril provenientes da mineração podem atuar como importantes fontes de contaminação ambiental devido à presença de metais pesados e arsênio, especialmente quando esses materiais contêm minerais sulfetados e elevados teores metálicos. Embora a mineração afete diretamente áreas relativamente pequenas quando comparada a atividades como agricultura e pecuária, os elementos solubilizados dos rejeitos podem atingir cursos d'água e causar impactos negativos em regiões localizadas a centenas de quilômetros da área minerada (Salomons, 1995)

Além disso, elevadas concentrações de metais pesados podem ser incorporadas à cadeia trófica e atingir o ser humano por meio da contaminação de solos agrícolas, corpos hídricos e alimentos produzidos em áreas próximas aos empreendimentos minerários, colocando em risco a saúde das populações do entorno (Prieto, 1998).

3.3 Manganês em Serra do Navio

As características naturais de cada minério influenciam diretamente a forma como sua extração é estruturada, bem como a organização das etapas posteriores de beneficiamento e valorização econômica. Entretanto, a comercialização de minérios, como o de manganês,

mantém seus fundamentos produtivos associados às determinações gerais impostas ao processo de produção de qualquer mercadoria. Assim, fatores como localização, topografia, configuração da jazida e propriedades físico-químicas do minério — ilustradas na Figura 3 — fornecem apenas indicações iniciais sobre as lógicas responsáveis pela formação de estruturas que viabilizam sua mercantilização (Monteiro, 2008).

Figura 3 - Pilhas de rejeito do manganês.



Fonte: Produção Própria.

O manganês ocorre na natureza geralmente combinado a outros elementos, formando minerais predominantemente na forma de óxidos. Embora seja amplamente distribuído nas rochas, não há registros de sua ocorrência na forma metálica natural. Mais de cem minerais contendo manganês são conhecidos, mas apenas pouco mais de uma dezena constitui minerais de minério economicamente aproveitáveis. De modo geral, o manganês ocorre como óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos Harold & Taylor, (1994), sendo os óxidos — como a pirolusita (MnO_2), a psilomelana, a manganita ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$) e a hausmannita (Mn_3O_4) — os principais representantes comerciais.

No contexto brasileiro, o manganês possui papel estratégico tanto pelas reservas existentes quanto pela sua relevância como insumo essencial para a produção de ferroligas e aço. Seu consumo também se estende à fabricação de cerâmicas, pilhas eletrolíticas, ligas especiais, compostos químicos, entre outros. O setor siderúrgico é o maior consumidor mundial do elemento, respondendo por cerca de 85% da demanda. Além disso, diversos países industrializados, como Estados Unidos, Japão e as nações da União Europeia, dependem amplamente de fontes externas para suprir suas indústrias devido à ausência de reservas próprias.

As jazidas de manganês do Amapá, segundo Leal (1988), teriam sido identificadas no início do século XX, embora essa informação tenha sido mantida em sigilo até os anos 1940 para beneficiar interesses corporativos norte-americanos. Contudo, diversas fontes históricas apontam que a descoberta oficial ocorreu em 1945, impulsionada pela intensificação da procura por minério de ferro no pós-Segunda Guerra Mundial. A versão amplamente citada, presente em obras como Guerra (1994) e Urech (1955), corresponde à divulgada pela ICOMI, segundo a qual o então governador Janary Gentil Nunes incentivou financeiramente moradores da região a indicarem possíveis locais com presença mineral. Uma das contribuições resultantes foi a entrega, por um morador local, Mário Cruz, de uma amostra coletada às margens do rio Amapari (ICOMI, 1958).

Segundo Leal (1988), as jazidas de manganês do Amapá teriam sido descobertas no início do século XX; entretanto, essa informação teria sido mantida em sigilo até os anos 40 daquele século, para favorecer os interesses de empresas norte-americanas. Diferentemente dessa versão, que carece de base factual, diversas fontes acerca do descobrimento de jazidas de manganês no Amapá corroboram a indicação de que a descoberta teria ocorrido em 1945, em decorrência do estímulo, naquela época, à procura por minério de ferro na região, acelerada pelo fim da Segunda Guerra Mundial.

A chamada Rota do Manganês (Figura 4) corresponde a uma proposta de roteiro geográfico no município de Serra do Navio, no estado do Amapá, destacando a profunda relação histórica da região com a mineração de manganês, atividade que se desenvolveu por mais de quatro décadas e moldou a economia e o espaço urbano local.

Figura 4 - Mapa de localização das minas de manganês na Serra do Navio.



Fonte: Maurílio Monteiro.

Entre os principais legados ambientais da exploração mineral está a Lagoa Azul da antiga Mina T6 (Figura 5), uma lagoa antropogênica formada após o avanço da mineração até atingir o lençol freático. Localizada a 3,6 km da sede municipal de Serra do Navio, nas coordenadas 0°52'54.3"N e 51°58'47.2"W (SIRGAS 2000), a lagoa destaca-se por sua coloração azul intensa, cercada por vegetação exuberante composta por espécies nativas e exóticas introduzidas no processo de revegetação iniciado em 1983. Estudos indicam que a ICOMI implantou no local espécies como *Pinus*, *Eucalyptus* e Acácia, com o objetivo de recuperar áreas mineradas (Revecom, 2000 *apud* Almeida, 2020).

Figura 5 - Lagoa Azul



Fonte: Autoria Própria.

Além de representar um marco ambiental resultante da atividade mineral, a Lagoa Azul tornou-se um ponto turístico regional, atraindo visitantes interessados em lazer e em suas características cênicas singulares. Contudo, sua origem ligada à mineração reforça a necessidade de monitoramento constante da qualidade da água e dos sedimentos, uma vez que os passivos ambientais da atividade extrativa podem influenciar a composição físico-química local e afetar o equilíbrio ecológico.

Do ponto de vista geográfico e social, Serra do Navio apresenta um caso emblemático de transformação urbana e territorial impulsionada pela mineração. A instalação de infraestrutura, serviços, estradas, centros de operação e o desenvolvimento populacional ocorreram em função das demandas produtivas do manganês, e hoje grande parte dessa estrutura permanece como legado histórico e cultural. Esse cenário evidencia como atividades extrativas em larga escala alteram não apenas o ambiente físico, mas também a organização socioeconômica e a ocupação humana, deixando marcas que perduram mesmo após o encerramento das operações.

3.4 Arsênio

O arsênio (As) é um metaloide amplamente distribuído na crosta terrestre. É de caráter sólido, cristalino e acinzentado, sendo encontrado na natureza associado a sulfeto em uma grande variedade de minerais (Andrade, 2015).

Ele ocorre como subproduto de minerais de Prata, Cobalto, Níquel, Chumbo, Cobre e Ouro. O arsênio elementar não é tóxico, mas é rapidamente convertido em produtos tóxicos pelo organismo humano. O arsênio é considerado um contaminante ambiental, com problemas de saúde que dependem da quantidade ingerida, dose, frequência e tempo de absorção.

O arsênio é um elemento químico cujas fontes de contaminação abrangem minerais, rochas, solos, sedimentos, água e alimentos. A introdução do arsênio no meio ambiente pode ser de origem natural (como fenômenos geotérmicos e vulcânicos) ou antropogênica. As fontes antropogênicas incluem atividades de mineração e refino de metais, uso na agricultura (pesticidas, herbicidas), preservação de madeira e até mesmo em medicações alopáticas ou homeopáticas antigas. Historicamente, tem sido usado como artifício e em indústrias de eletrônicos e fogos de artifício. O principal meio de contaminação para o ser humano é a ingestão de água contaminada, especialmente de poços não vistoriados, mas a absorção também pode ocorrer por via oral através de alimentos (carnes vermelhas, peixes, crustáceos) e pelas vias respiratórias.

> A toxicidade do arsênio e seu grau de intoxicação estão relacionados à sua forma química e ao estado de oxidação. Praticamente todos os compostos de arsênio são tóxicos para o organismo humano. A toxicidade decresce na ordem: compostos de As(3+) inorgânicos (os mais tóxicos, cerca de 60 vezes mais que o As(5+) inorgânico), seguidos pelos compostos As(5+) inorgânicos, compostos As(3+) orgânicos e compostos As(5+) orgânicos. Após a ingestão, inalação ou absorção, o arsênio é rapidamente convertido a espécies altamente tóxicas, como o trióxido de arsênio. O arsênio age no organismo como um inibidor da respiração celular, acumulando-se nas mitocôndrias das células e comprometendo funções da síntese proteica. Ele prejudica o organismo ao substituir o fósforo de forma ineficiente em processos vitais, como a glicólise, o que causa a perda de energia que seria transferida ao ATP (Andrade; Rocha, 2015, p. 2).

O arsênio é um veneno protoplasmático que exerce sua toxicidade através da inativação de cerca de 200 enzimas, e seu consumo é extremamente prejudicial à saúde humana. Ele é um metaloide de caráter bioacumulativo, o que significa que se acumula em órgãos internos, pele, unhas e cabelos. A exposição aguda provoca ação principalmente sobre o tubo digestivo, e secundariamente sobre o fígado, rins e músculos cardíacos, apresentando sintomas iniciais como vômito, dor abdominal e diarreia. Já a exposição crônica atua

principalmente sobre o tegumento e nervos periféricos, podendo causar hiperpigmentação da pele, gangrena, neuropatia periférica e é um fator de risco para o desenvolvimento de cânceres (pele, bexiga e pulmão).

A concentração do arsênio, tanto em exposição aguda quanto crônica, é frequentemente monitorada pela determinação de arsênio total na urina, sangue e cabelos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define que a água potável não deve conter mais de 10 partes por bilhão (ppb) em arsênio, embora em várias regiões este valor referenciado seja muito superior. Não existe uma dose segura para a exposição crônica, visto que a substância é cancerígena. Embora o tratamento eficiente para a intoxicação crônica não exista, a inativação de fontes poluidoras da água, alimentos e da atmosfera é a única alternativa eficaz. Técnicas de remediação incluem o uso de microrganismos (como ferrobactérias) capazes de oxidar o elemento ou a assimilação de arsênio por algas.

3.5 pH

O pH é definido como a concentração de íons hidrogênio presentes em uma solução e representa uma das medidas fundamentais para avaliação da qualidade da água. Quando o pH apresenta valor equivalente ao logaritmo negativo de 10^{-7}, ele é considerado neutro, caracterizando uma condição em que os íons hidrogênio são neutralizados pelos íons hidroxila (Avelar, 2010). A Figura 6 apresenta uma escala de pH, ilustrando a faixa que varia entre soluções ácidas, neutras e básicas, permitindo uma visualização clara da posição de cada tipo de água dentro dessa classificação.

Figura 6 - A escala de pH.



Fonte: Autoria Própria.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), as águas destinadas à preservação da vida aquática, enquadradas nas Classes Especial, I e II, devem apresentar valores de pH situados na faixa de 6,0 a 9,0. Essa regulamentação estabelece

limites necessários para manter condições adequadas à manutenção da fauna, flora e ao equilíbrio ecológico dos ambientes aquáticos, assegurando que o meio não apresente características agressivas ou tóxicas às espécies presentes.

A determinação do pH é uma etapa essencial nas análises de balneabilidade, uma vez que valores muito acima ou abaixo da faixa recomendada podem causar estresse biológico, mortalidade de organismos aquáticos e até acelerar processos de corrosão ou solubilização de metais pesados presentes no sedimento. Dessa forma, a interpretação desse parâmetro permite compreender a dinâmica química do corpo hídrico e identificar possíveis fontes de contaminação.

Além disso, a avaliação do pH é importante para determinar o grau de interferência das atividades humanas na qualidade da água. Alterações significativas podem estar associadas ao lançamento de esgoto, efluentes industriais, resíduos minerais ou ao escoamento superficial de áreas degradadas. Portanto, a análise contínua desse indicador é indispensável para subsidiar ações de gestão, monitoramento e recuperação ambiental, especialmente em ecossistemas sensíveis ou sujeitos à pressão antrópica.

O método potenciométrico também é utilizado em medidores de oxigênio dissolvido (OD). Nesse sistema, a sonda do eletrodo possui uma membrana seletiva que absorve o oxigênio de acordo com seu raio de difusão molecular. O equipamento contém dois eletrodos metálicos imersos em um eletrólito envolto por essa membrana, que impede a passagem de água e de sólidos dissolvidos, permitindo apenas a difusão do oxigênio e de outros gases.

Quando há uma diferença de potencial entre os eletrodos e presença de oxigênio no eletrólito, ocorre uma reação eletroquímica. A corrente elétrica gerada é proporcional à concentração de oxigênio dentro da membrana e, consequentemente, ao teor de oxigênio dissolvido (OD) na amostra em que o sensor está inserido (Piveli; Kato, 2005).Para calibrar o aparelho, utiliza-se uma solução de sulfito de sódio para ajustar o OD zero. Já a calibração do valor de saturação deve ser realizada com água previamente aerada e refrigerada.

3.6 Determinação de dureza total

A dureza da água pode ter origem natural, resultante do contato do recurso hídrico com o solo e formações geológicas. A presença de dióxido de carbono dissolvido facilita a dissolução de sais pouco solúveis presentes em rochas e sedimentos. Em depósitos subterrâneos, a água pode entrar em contato com materiais como o calcário ($CaCO_3$) ou a dolomita ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), incorporando à sua composição quantidades elevadas de íons

cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Esses íons podem estar associados a bicarbonatos (HCO_3^-), nitratos (NO_3^-), cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}), tornando a água dura e, em alguns casos, imprópria para o consumo humano quando em concentrações excessivas.

Tabela 2 - Padrões da dureza da água.

DUREZA	**CONCENTRAÇÃO DE CaCO3 (mg L -1)**
Branda	até 50
Pouco dura	entre 50 e 100
Dura	entre 100 e 200
Muito dura	acima de 200

Fonte: CUSTÓDIA & LLAMAS, 1983.

Segundo a Portaria 518, de 25 de março de 2004 – ANVISA/MS (Brasil, 2004), o limite máximo de dureza total em água potável é de 500 mg/L. Atribui-se um efeito laxativo e sabor desagradável à água de elevada dureza (Von Sperling, 1996).

Por sua vez, quando enquadrada na classe de água dura, esta apresenta restrições de uso industrial (abastecimento de geradores de vapor, por exemplo), sendo então necessário o seu tratamento para a retirada de Ca^{2+} e Mg^{2+}, técnica esta conhecida por abrandamento, o qual pode ser realizado de duas maneiras: abrandamento por precipitação química e abrandamento por troca iônica (Silva; Carvalho, 2007).

Embora a dureza possa causar inconvenientes tecnológicos — como incrustações em tubulações e equipamentos — a presença de cálcio e magnésio não representa risco à saúde. Pelo contrário, esses elementos são essenciais ao organismo humano, contribuindo para o desenvolvimento ósseo e dentário, além de possuírem efeitos protetores contra determinadas doenças. Assim, a preocupação com a dureza está mais relacionada ao uso doméstico e industrial da água do que aos impactos à saúde humana.

A dureza da água está diretamente relacionada à presença de sais de metais alcalino-terrosos, predominantemente cálcio e magnésio, embora outros cátions como bário, ferro, manganês, zinco e estrôncio também possam contribuir, frequentemente associados a estruturas químicas complexas. A concentração desses elementos depende, principalmente, da natureza geológica da área e do tempo de contato da água com os minerais presentes.

Além disso, o monitoramento da dureza é um parâmetro importante na avaliação da qualidade da água destinada a abastecimento público. Em sistemas de tratamento, níveis

elevados exigem estratégias de correção, como abrandamento químico ou troca iônica, para evitar danos à infraestrutura, reduzir consumo energético e proteger equipamentos industriais e domésticos.

Do ponto de vista ambiental, a análise da dureza também permite compreender a interação entre águas subterrâneas e minerais locais, auxiliando na identificação do tipo de aquífero e das características geológicas predominantes. Em regiões influenciadas por atividades minerárias, como Serra do Navio, esse parâmetro pode ainda servir de indicador complementar para detectar alterações químicas decorrentes da atuação antrópica no solo e nos recursos hídricos.

3.7 Turbidez

A turbidez corresponde à presença de partículas suspensas na água, ou seja, materiais que não se dissolvem completamente no meio líquido. Essas partículas podem ser de origem mineral, orgânica ou biológica, incluindo sedimentos, fragmentos de rochas, matéria vegetal ou microrganismos. Processos como erosão, lançamento de esgoto e outras formas de poluição podem elevar a turbidez dos corpos hídricos, interferindo em sua transparência e modificando suas características naturais.

A turbidez representa uma medida da limpidez da água, conforme ilustrado na Figura 7. Esse parâmetro indica a quantidade de partículas suspensas presentes na coluna d'água, podendo incluir barro, microrganismos, algas, matéria orgânica e diversos outros materiais. A aferição é realizada em Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) e constitui um dos principais indicadores utilizados na avaliação da qualidade da água (Splabor, 2023).

Figura 7 - Exemplo de turbidez de água.



Fonte: Aquablog.

Quando a água apresenta valores elevados de turbidez, ela adquire aspecto turvo ou opaco. Essa condição pode ser um indicativo de poluição ou de atividades que promovem a suspensão de sedimentos no leito de rios e lagos, como obras de construção civil, atividades agrícolas ou operações de mineração. Em ambientes aquáticos, o aumento da turbidez reduz a

penetração da luz solar, interferindo diretamente na fotossíntese e, consequentemente, afetando organismos produtores e toda a cadeia alimentar.

No tratamento de água para consumo humano, a redução da turbidez é um processo essencial, uma vez que partículas suspensas podem abrigar microrganismos patogênicos, protegendo-os da ação de agentes desinfetantes, como o cloro, e reduzindo a eficiência da etapa de desinfecção (Splabor, 2023). Assim, o controle da turbidez é etapa obrigatória em sistemas de tratamento convencionais, garantindo potabilidade e segurança ao consumidor.

Além disso, o monitoramento contínuo da turbidez permite avaliar variações ambientais ao longo do tempo, auxiliando na identificação de eventos de poluição e contribuindo para o controle de impactos decorrentes da ocupação humana. Em áreas sujeitas a intensas atividades antrópicas, como regiões mineradas, a turbidez torna-se um indicador importante para compreender possíveis alterações físico-químicas provocadas no ambiente aquático e para orientar ações de recuperação, manejo e preservação ambiental.

O método para determinar a turbidez da água baseia-se no uso de um turbidímetro, equipamento equipado com uma fonte de luz (filamento de tungstênio) que incide sobre a amostra e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz dispersa em um ângulo de 90° em relação ao feixe incidente. A intensidade dessa luz dispersa ao atravessar a água permite expressar o resultado em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

Antes da utilização, o turbidímetro deve ser calibrado com suspensões padrão de 0, 10 e 500 NTU. A amostra destinada à análise deve ser mantida protegida da luz e sob refrigeração até o momento da medição. Para garantir maior precisão, é necessário que a amostra esteja em temperatura ambiente e seja agitada vigorosamente antes de ser transferida para a cubeta de leitura.

3.8 Cloreto

Os cloretos são definidos como íons cloreto (Cl^-) e constituem um dos parâmetros químicos mais utilizados na análise de qualidade da água. A determinação de sua concentração possui grande relevância ambiental e sanitária, pois esse parâmetro é considerado tanto no padrão de potabilidade para abastecimento público quanto na classificação de corpos d’água. A presença de cloretos pode indicar características naturais da água ou influências decorrentes de atividades humanas.

A concentração de cloretos na água pode ter duas origens principais. A origem natural está associada à dissolução de minerais presentes no solo e nas rochas, como o cloreto

de sódio (NaCl), além da intrusão de águas salinas em regiões costeiras. Em nascentes isoladas de interferência humana, o teor de cloretos está relacionado ao intemperismo de minerais e ao carregamento de sais dissolvidos naturalmente. Já a origem antropogênica decorre de atividades humanas, incluindo lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais e águas residuais provenientes de irrigação. Em muitos casos, o incremento de cloretos nos corpos d'água tem sido relacionado ao volume de despejos urbanos.

No que diz respeito à saúde e à qualidade da água, os cloretos podem conferir sabor salgado, especialmente em concentrações elevadas. Embora não representem toxicidade significativa, teores excessivos podem tornar a água imprópria para consumo devido ao sabor desagradável e ao possível efeito laxativo. Para fins de potabilidade, o Valor Máximo Permitido (VMP) é de 250 mg/L. Em ambientes salobros, especialmente próximos ao mar, concentrações superiores a esse limite confirmam a tendência de salinidade e caracterizam a influência de águas marinhas ou salinizadas.

A determinação laboratorial de cloretos é realizada, tradicionalmente, pela técnica de volumetria de precipitação, um método clássico de titulação que se baseia na formação de compostos insolúveis que precipitam durante a reação. Esse procedimento é amplamente consolidado, apresentando boa precisão e aplicabilidade em análises rotineiras de monitoramento da água.

Entretanto, os processos convencionais de tratamento de água — como coagulação, filtração e desinfecção — não são capazes de remover íons cloreto de forma eficiente. Para isso, são necessárias tecnologias avançadas, como dessalinização por osmose reversa e eletrodiálise por troca iônica, técnicas que permitem remover sais dissolvidos em solução. Tais métodos, contudo, apresentam custos elevados e exigem infraestrutura específica, o que pode limitar sua aplicação em sistemas públicos de tratamento.

Além do aspecto sanitário, a análise da concentração de cloretos também auxilia no diagnóstico ambiental, permitindo identificar mudanças na origem da água, processos de salinização e potenciais contaminações por efluentes. Em regiões sujeitas à exploração mineral ou à expansão urbana, o monitoramento contínuo dos cloretos torna-se indispensável para avaliar a integridade ecológica e assegurar a manutenção da qualidade dos recursos hídricos.

Quando, em uma reação química, o volume do reagente é acompanhado, o procedimento analítico recebe o nome de titulação volumétrica ou volumetria. Nesse método, a quantidade desconhecida de um composto (analito) é determinada por meio de sua reação com um reagente padrão, chamado titulante. O processo consiste na adição gradual de uma

solução de concentração conhecida a outra cuja concentração se deseja descobrir, até alcançar o ponto final ou de equivalência — momento em que há uma evidência física de que a reação foi concluída. Esse ponto pode ser identificado pela mudança de cor de um indicador ou pela resposta de um instrumento Skoog et al., (2006). Os métodos volumétricos são amplamente aplicados em análises de água. Para a determinação dos parâmetros citados, utilizam-se diferentes tipos de volumetria:

a) Volumetria de óxido-redução: baseia-se na transferência de elétrons decorrente de uma reação química. É empregada na determinação do oxigênio dissolvido (OD), em que o Mn(II) é oxidado pelo oxigênio presente, formando um precipitado de óxido de Mn(IV). Esse precipitado é posteriormente dissolvido e reduzido pelo iodeto em meio ácido, gerando iodo, que é quantificado com tiossulfato de sódio (método de Winkler). Também pode ser aplicada na determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO), considerando o teor de substâncias oxidáveis pelo ácido permangânico, o que indica o consumo de oxigênio necessário para oxidá-las.

b) Volumetria de neutralização: fundamenta-se na reação entre um ácido e uma base, resultando na formação de sal e água. No ponto de equivalência, a solução torna-se neutra e ocorre uma inflexão na curva de titulação. Esse ponto pode ser identificado com o uso de um eletrodo ou de um indicador ácido-base. O método permite determinar a alcalinidade total da água por meio da titulação da amostra com ácido clorídrico, obtendo-se a concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos dissolvidos.

c) Volumetria de complexação: nesse tipo de titulação, um íon metálico reage com um ligante apropriado para formar um complexo. Geralmente, o ligante atua como titulante e o íon metálico como analito. As titulações complexométricas são utilizadas para determinar cálcio e magnésio na água, tendo o EDTA como titulante.

Os equipamentos mais comuns para a realização das titulações incluem bureta de vidro, bureta digital e titulado automático — neste último, o ponto final é indicado por um eletrodo de pH ou por um eletrodo íon-seletivo.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

> O método constitui um instrumento fundamental do conhecimento, fornecendo ao pesquisador, independentemente de sua área de formação, uma orientação geral que possibilita planejar a pesquisa, formular hipóteses, coordenar etapas investigativas, realizar experimentações e interpretar adequadamente os resultados obtidos. De forma mais ampla, o método em pesquisas, seja qual for sua natureza, refere-se à seleção de procedimentos sistemáticos que permitem descrever e explicar o objeto de estudo, garantindo coerência lógica e rigor científico (Fachin, 2005).

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como um estudo de campo, com abordagem quantitativa, de natureza experimental e descritiva. O trabalho teve como propósito analisar os parâmetros físico-químicos da água da Lagoa Azul, situada no município de Serra do Navio – AP, buscando avaliar sua qualidade ambiental e verificar possíveis influências decorrentes de passivos ambientais relacionados à antiga atividade de mineração de manganês que marcou a região.

A escolha por uma abordagem quantitativa justifica-se pela necessidade de mensurar parâmetros físico-químicos com base em métodos laboratoriais padronizados, garantindo precisão, reprodutibilidade e confiabilidade aos resultados. Assim, a investigação oferece dados objetivos que podem subsidiar comparações futuras, apoiar a tomada de decisões ambientais e contribuir para o monitoramento contínuo da qualidade da água na região.

4.1 Materiais e Métodos

No dia 2 de julho de 2024, foi realizada a primeira coleta de água destinada às análises de arsênio e manganês. Foram coletados 2 litros de água, devidamente armazenados e encaminhados para um laboratório especializado no município de Santana – AP, responsável pela execução dos ensaios químicos correspondentes.

Em continuidade às investigações, em 30 de maio de 2025 foram realizadas novas coletas em diferentes pontos da Lagoa Azul, com o intuito de obter uma amostragem representativa do corpo hídrico. Nessa etapa, coletaram-se seis frascos de 1 litro previamente higienizados e rotulados com identificação contendo data, horário e valores de pH, o que garantiu rastreabilidade e padronização do processo, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Material Coletado e Identificado.



Fonte: Autoria Própria.

Para assegurar a integridade das amostras e evitar alterações em suas características físico-químicas, todas foram acondicionadas em caixa térmica com gelo, mantendo temperatura aproximada de 4 °C durante o transporte até o Laboratório de Química do Instituto Federal do Amapá (IFAP). Após o recebimento, as amostras foram mantidas sob refrigeração até o momento das análises.

Posteriormente, foram realizados os ensaios laboratoriais para determinação dos parâmetros físico-químicos estabelecidos para o estudo, incluindo pH, dureza total, turbidez e cloretos, seguindo os procedimentos e metodologias previstas nas normas técnicas de referência.

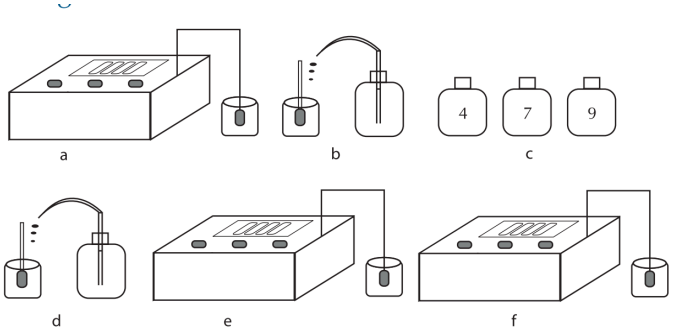
4.1.1 Ph

Uma escala numérica adicional utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. Estipula-se que para o padrão deste experimento o pH seja entre 6,0 e 9,0, segundo a resolução CONAMA 357° de 2005. Os materiais necessários para este teste foram: potenciômetros, cubetas, frascos lavadores, papéis absorventes e soluções tampão de pH. Para obter os resultados da amostra, será necessário seguir o seguinte procedimento:

- Procedimento para Medição de pH
- Ligamos o pHmetro e aguardar estabilização;
- Lavamos e secamos os eletrodos com papel;
- Calibramos com soluções padrão (pH 4, 7 ou 9);
- Lavamos e secamos novamente os eletrodos;

- Introduzimos os eletrodos na amostra e realizamos a leitura;
- Lavamos e armazenamos os eletrodos em água destilada;
- Desligamos o pHmetro.
-

Figura 9 - Fluxograma do teste.



Fonte: Funasa.

4.1.2 Dureza Total

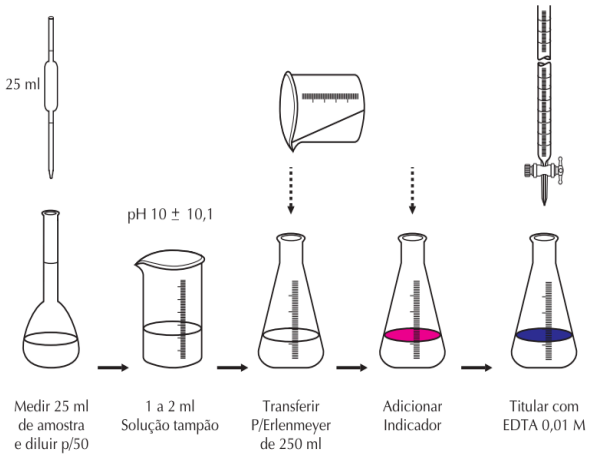
A dureza total é calculada como sendo a soma das concentrações de íons cálcio e magnésio na água, expressos como carbonato de cálcio. Segundo a Organização Mundial de Saúde, uma água é designada por água muito dura quando apresenta uma concentração em carbonato de cálcio superior a 180 mg/L; dura com concentração entre 120 e 180 mg/L, moderadamente dura entre 60-120 mg/L e macia quando os teores em carbonato de cálcio são <60 mg/L. Os materiais necessários para este teste foram: bureta (50mL), pipeta volumétrica (25 ml), balão volumétrico (50 ml), Becker (100 ml), frasco Erlenmeyer (250 ml), solução padrão de EDTA

(0,01 M), solução tampão, indicador eriochrome Black T, inibidor I - cianeto de sódio P.A em pó, inibidor II - sulfeto de sódio. Para obter os resultados da amostra, foi necessário seguir o seguinte procedimento:

Procedimento para Medição de Dureza Total: - Ajeitar para entender mais

- Adicionamos 25 ml da amostra de água para 50 ml em balão volumétrico;
- Ajustamos o pH para 10 com solução tampão;
- Transferimos para um Erlenmeyer e adicionar Eriochrome Black T;
- Titulamos com EDTA 0,01 M até a viragem de cor para azul;
- Anotamos o volume de EDTA gasto;
- Realizamos um branco com água destilada;
- Calculamos o volume efetivo de EDTA gasto na amostra.

Figura 10: Fluxograma do teste



Fonte: Funasa.

Equação 1- Base do Cálculo para Dureza Total

$$CaCO_3 = \frac{ml\ de\ EDTA \times 1000}{ml\ amostra}$$

4.1.3 Turbidez

A turbidez da água é causada por partículas sólidas em suspensão. Essas partículas podem ser de origem natural (erosão do solo, algas) ou artificial (despejos domésticos e industriais). A presença dessas partículas reduz a transparência da água e pode indicar problemas de qualidade, como contaminação por metais (zinco, ferro, manganês). Os materiais necessários para este teste são: turbidímetro com nefelômetro, células de amostras de vidro incolor (quartzo), balão volumétrico (100 ml), pipeta volumétrica (5 ml).

Para obter os resultados da amostra, será necessário seguir o seguinte procedimento:

Procedimento para Medição de Turbidez

- Calibração do Turbidímetro:
- Seguir as instruções do fabricante para calibrar o equipamento utilizando os padrões de turbidez preparados.
- Medida de Turbidez:
- Amostras com turbidez menor que 40 UTN:
- Agitamos suavemente a amostra e eliminamos as bolhas de ar.
- Colocamos a amostra na célula do turbidímetro.
- Realizamos a leitura diretamente no equipamento.

Equação 2 - Base do Cálculo para UNT

$$UTN = \frac{A \times (B+C)}{C}$$

4.1.4 Cloreto

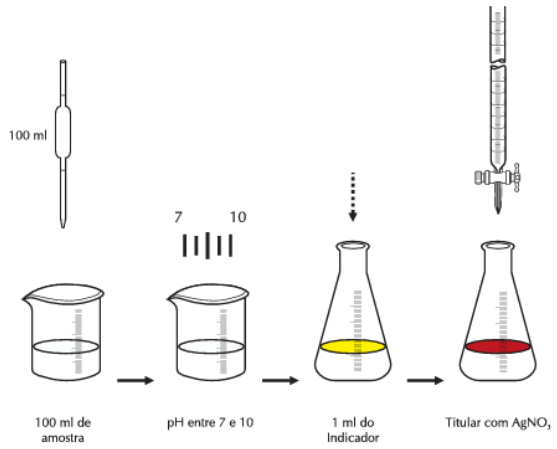
Geralmente os cloretos estão presentes em águas brutas e são tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/l. Os materiais necessários para este teste são: bureta (50 ml), Becker (250 ml) c) frasco Erlenmeyer (250 ml), medidor de pH, proveta (100mL), solução Padrão de Nitrato de Prata (0,0141 N), solução Indicadora de Cromato de Potássio (K2CrO4), hidróxido de Sódio (1N), ácido Sulfúrico, cloreto de Sódio (0,0141 N)

Para obter os resultados da amostra, foi necessário seguir o seguinte procedimento:

Procedimento para Medição de Cloreto

- Transferimos 100 ml da amostra de água para um Erlenmeyer;
- Ajustamos o pH para 7− 10 com NaOH ou H_2SO_4;
- Adicionamos 1 ml de cromato de potássio (K_2CrO_4);
- Titulamos com nitrato de prata 0,0141 N até a viragem para amarelo avermelhado;
- Realizamos um branco para comparação.

Figura 11 - Fluxograma do teste



Fonte: Funasa.

4.1.5 Determinação de Manganês e Arsênio

As análises de manganês (Mn) e arsênio (As) foram conduzidas no Laboratório Anaquim, em Santana – AP.

O manganês foi determinado segundo o método colorimétrico do persulfato (3500-Mn B), conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2014). O método consiste na oxidação de compostos manganosos em permanganato pela ação do persulfato de amônio $(NH_4)_2S_2O_8$ na presença de nitrato de prata ($AgNO_3$), sendo o resultado quantificado por espectrofotometria a 525 nm.

O arsênio foi analisado de acordo com o método 3500-As B (redução e detecção colorimétrica), também seguindo as normas do Standard Methods (2014), garantindo precisão e comparabilidade entre os parâmetros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas de água foram realizadas no período da tarde do dia 30 de maio de 2025, na Lagoa Azul, localizada no município de Serra do Navio, estado do Amapá. Ao todo, foram coletados 6 litros de água provenientes de diferentes pontos da lagoa, com o objetivo de obter uma amostragem representativa das condições gerais do corpo hídrico. As atividades de coleta tiveram início às 17h00 e ocorreram com intervalos de 20 minutos entre cada amostragem, sendo concluídas às 19h00.

Figura 12 – Equipe realizando a coleta de amostras de água na Lagoa Azul, Serra do Navio–AP, em 30 de maio de 2025.



Fonte**:** Acervo dos autores (2025).

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em uma caixa térmica contendo gelo, a fim de preservar suas propriedades físico-químicas. No dia seguinte, 31 de maio, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Instituto Federal do Amapá – Câmpus Macapá, onde foram realizadas as análises laboratoriais.

5.1 Determinação de pH e Turbidez

As análises de pH e turbidez foram realizadas no dia 2 de junho de 2025, após estabilização da temperatura das amostras em ambiente controlado. O pH foi determinado

com o uso de potenciômetro devidamente calibrado com soluções tampão padrão, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Equipamento medidor de Ph.



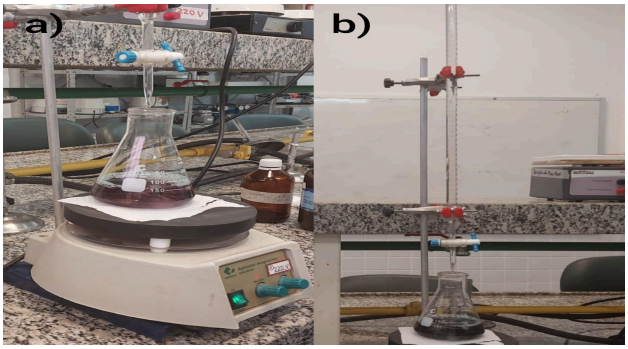
Autores: Elaboradas pelos autores.

O valor médio obtido para o pH foi de 4,29, indicando caráter ácido. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece a faixa de 6,0 a 9,0 para águas doces de Classe II, o resultado está fora dos padrões ideais. Esse valor evidencia a acidificação do meio aquático, possivelmente associada à presença de minerais remanescentes da antiga atividade mineradora, especialmente óxidos e sulfetos de manganês. Tal acidez pode afetar negativamente a biota aquática e reduzir a disponibilidade de oxigênio dissolvido, interferindo no equilíbrio ecológico local.

5.2 Determinação de Dureza Total

As análises de dureza total foram realizadas por titulação complexométrica, utilizando solução de EDTA (ácido etileno diamino tetra-acético) como agente titular. O procedimento envolveu ajuste do pH para 10, adição do indicador Eriochrome Black T e observação da mudança de coloração de roxo para azul, indicando o ponto final da titulação (Figura 14).

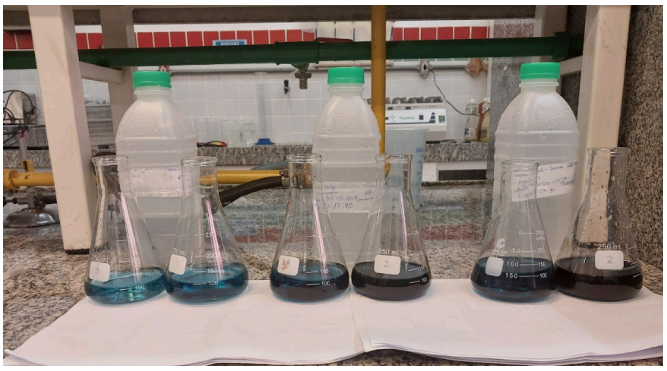
Figura 14 - Mudança de coloração na titulação de dureza total: (a) antes da titulação; (b) após a titulação com EDTA.



Fonte: Autoria Própria.

Devido à perda de parte das amostras durante o transporte, apenas três delas foram analisadas em duplicata. A Figura 15 ilustra a coloração resultante após o processo de titulação com EDTA.

Figura 15 - Amostras de dureza.



Fonte: Autoria Própria.

O valor médio obtido foi de 116 mg/L de $CaCO_3$, classificando a água como dura, segundo os critérios da Organização Mundial da Saúde (OMS). Essa condição é característica de águas com altas concentrações de íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), geralmente provenientes de intemperismo de rochas carbonáticas ou influência de minerais presentes no solo. Embora não apresente risco direto à saúde, a dureza elevada pode causar incrustações em tubulações e alterações sensoriais na água, além de interferir em processos biológicos de organismos aquáticos.

5.3 Determinação de Cloretos e Metais Pesados

Os teores de cloreto foram determinados por titulação com nitrato de prata, utilizando cromato de potássio como indicador (figura 16). A concentração média obtida foi de 4,3 mg/L, valor muito inferior ao limite máximo de 250 mg/L estipulado pela OMS e pela Resolução CONAMA nº 357/2005, indicando ausência de contaminação salina.

Figura 16 - Amostra após mudança de coloração.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

As análises de manganês (Mn) e arsênio (As) foram realizadas no Laboratório Anaquim, empregando os métodos analíticos SM 3500-Mn B e SM 3500-As B, respectivamente. Os resultados obtidos foram de 4,02 mg/L para manganês e 0,298 mg/L para arsênio. Ambos os valores excedem os limites legais para águas de Classe II (0,1 mg/L para Mn e 0,014 mg/L para As), conforme o CONAMA nº 357/2005.

Essas concentrações elevadas são indicativos de influência direta da mineração histórica da ICOMI na região, especialmente devido à liberação de metais pesados contidos nos rejeitos e sedimentos do entorno da lagoa. A presença de arsênio, ainda que em níveis moderados, representa risco potencial à saúde humana e à biota aquática, visto seu caráter tóxico e bioacumulativo.

5.4 Avaliação Integrada da Qualidade da Água

Tabela 3 - Resultados médios obtidos nas análises físico-químicas da água da Lagoa Azul.

Parâmetro	Resultado	Padrão CONAMA 357/2005	Interpretação
pH	4,29	6,0 – 9,0	Fora do padrão (ácido)
Cloreto (mg/L)	4,3	≤ 250	Dentro do padrão
Turbidez (NTU)	1,84	≤ 5	Dentro do padrão
Dureza (mg/L $CaCO_3$)	116	≤ 120 (OMS)	Água dura
Manganês (mg/L)	4,02	≤ 0,1	Acima do limite
Arsênio (mg/L)	0,298	≤ 0,014	Acima do limite

Fonte: Autoria Própria.

A análise conjunta dos parâmetros demonstra que, embora a Lagoa Azul apresenta boa transparência e baixo teor de cloretos, há acidificação significativa e contaminação por metais pesados, especialmente manganês e arsênio. Esses resultados reforçam que a água não é adequada para fins recreativos prolongados, conforme os critérios de balneabilidade do CONAMA nº 274/2000.

Os dados sugerem que a Lagoa Azul ainda sofre efeitos residuais da antiga exploração mineral, exigindo monitoramento contínuo e, possivelmente, ações de remediação ambiental para reduzir a concentração de metais e estabilizar o pH. A compreensão desses resultados é fundamental para orientar políticas de gestão ambiental e turismo sustentável na Serra do Navio.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise físico-química da água da Lagoa Azul, em Serra do Navio – AP, permitiu avaliar sua qualidade ambiental e a influência de antigas atividades de mineração sobre este importante patrimônio natural.

Os resultados evidenciaram que o pH apresentou valor médio de 4,29, caracterizando a água como ácida e fora dos padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005, que recomenda valores entre 6,0 e 9,0 para águas de Classe II. Essa acidez indica possível influência de rejeitos minerais e da oxidação de metais ainda presentes no entorno da lagoa.

Em contrapartida, a turbidez (1,84 NTU) e o cloreto (4,3 mg/L) mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis para águas doces, demonstrando baixa carga de partículas em suspensão e ausência de contaminação salina. No entanto, a dureza total (116 mg/L $CaCO_3$) classificou a água como dura, resultado compatível com íons cálcio e magnésio derivados do intemperismo natural das rochas locais.

Os teores de manganês (4,02 mg/L) e arsênio (0,298 mg/L) ultrapassaram os limites máximos permitidos pela legislação vigente (0,1 mg/L e 0,014 mg/L, respectivamente), configurando contaminação por metais pesados. Esses resultados reforçam o impacto persistente da mineração de manganês da antiga ICOMI, cujos passivos ambientais ainda influenciam a qualidade das águas superficiais da região.

De modo geral, a Lagoa Azul não atende aos padrões de balneabilidade da Resolução CONAMA nº 274/2000, sendo inadequada para recreação de contato primário (como banho prolongado). Além disso, os metais tóxicos representam potencial risco à biota aquática e à saúde humana, especialmente em casos de exposição crônica.

Diante disso, recomenda-se o monitoramento ambiental periódico da lagoa, abrangendo parâmetros físico-químicos e biológicos, além da avaliação dos sedimentos e do solo adjacente. Sugerem-se ainda planos de remediação ambiental e ações educativas que conscientizem moradores e visitantes sobre a conservação e o uso sustentável deste ambiente.

Conclui-se que, embora a Lagoa Azul representa um símbolo turístico e cultural para Serra do Navio, ela também expressa a herança ambiental da mineração amazônica, destacando a necessidade de um equilíbrio entre exploração econômica, preservação ecológica e valorização do patrimônio natural.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, M. A. ARAÚJO, R. P. A. Métodos de ensaios de toxicidade com organismos aquáticos. *In*: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (org.). **Ecotoxicologia aquática**: métodos e aplicações. São Carlos: Rima, 2006. p. 117-152.

BRASIL. [**Constituição (1988)].** Constituição da República Federativa do Brasil. 33. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

CÂMARA MUNICIPAL DE SERPA. **O que é a dureza da água**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: livrozilla.com Acesso em: 3 ago. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 274, de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 29 nov. 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 17 mar. 2005.

DAMASCENO, Deangelis. **Controle de qualidade de águas potáveis utilizando análise multivariada de imagens.** 2015. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

DRUMMOND, J. A. **Environment, society and development: an assessment of the natural resource economy of the state of Amapá (Brazil).** 1999. Tese (Doutorado) - University of Wisconsin, Madison, 1999.

DRUMMOND, J. A. **Investimentos privados, impactos ambientais e qualidade de vida num empreendimento mineral amazônico: o caso da mina de manganês da Serra do Navio (Amapá)**. História, Ciências, Saúde - Manguinhos, Rio de Janeiro, v. 6, p. 753-792, 2000.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

HAROLD, A.; TAYLOR JR., H. A. Manganese minerals. In: CARR, D. D. (org.). **Industrial minerals and rocks.** 6. ed. Littleton, Colorado: Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, 1994. p. 655-660.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ (IEPA). **Regulamento Geral das Instalações de Comércio e Serviços no Estado do Amapá**. [*S. l.*: *s. n.*], [s. d.]. Disponível em: https:/iepa.ap.gov.br Acesso em: 28 jul. 2024.

LIMA, E. Q. de; LIMA, C. V. de; AVELAR, V. G. de. A rota do manganês: proposta de roteiro geoturístico para Serra do Navio (AP), Região Amazônica Brasileira. **Revista da Casa da Geografia de Sobral,** Sobral, v. 26, n. 2, p. 1-33, 2024. DOI: 10.35701/rcgs.v26.961. Disponível em: rcgs.uvanet.br Acesso em: 21 nov. 2024.

LIVINGSTONE, D. R. Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarkers in the aquatic environment. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 57, n. 3, p. 195-211, 1993.

LIVINGSTONE, D. R. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish. **Comparative**

Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, New York, v. 120, n. 1, p. 43-49, 1998.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro.** 12. ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

MONTEIRO, C. et al. Potencial hidrogeniônico de soluções de antibióticos submetidas a condições ambientais: ensaio preliminar. **Revista da Escola de Enfermagem da USP, São Paulo**, v. 46, n. 2, p. 311-319, 2012. DOI: 10.1590/S0080-62342012000200007.

MONTEIRO, Maurílio de Abreu. A ICOMI no Amapá: meio século de exploração mineral. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 6, n. 2, p. 113-168, dez. 2008. DOI: 10.5801/ncn.v6i2.90. Disponível em: periodicos.ufpa.br Acesso em: 24 set. 2024.

PATACA, Luiz Carlos M.; BORTOLETO, Gisele G.; BUENO, Maria Izabel. Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescência de raios X por energia dispersiva. **Química Nova,** São Paulo, v. 28, p. 579-582, 2005.

PEREIRA, S. F. P. *et al*. Caracterização de arsênio em amostras de solo da cidade de Santana-Amapá. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 41., 2001, Porto Alegre. **Anais** ... Porto Alegre: [*s. n.*], 2001a.

PEREIRA, S. F. P. *et al*. Contaminação por arsênio em pessoas residentes às margens do rio Amazonas (Vila do Elesbão - Santana - Amapá). *In*: ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 11., 2001, Campinas. **Anais** ... Campinas: [*s. n.*], 2001b.

PRIETO, G. Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulfide minerals in the Marmato District (Colombia). **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 64, p. 215-222, 1998.

SALOMONS, Willem. Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. **Journal of Geochemical Exploration,** Amsterdam, v. 52, p. 5-23, 1995.

SAMPAIO, J. et al. **Água no processamento mineral**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: files.cercomp.ufg.br

SERRA DO NAVIO. **Secretaria Municipal de Turismo. Plano Municipal de Turismo de Serra do Navio/AP 2019/2013**. Serra do Navio: Secretaria Municipal de Turismo, [2019?]. Disponível em: serradonavio.ap.gov.br Acesso em: 9 jul. 2026.

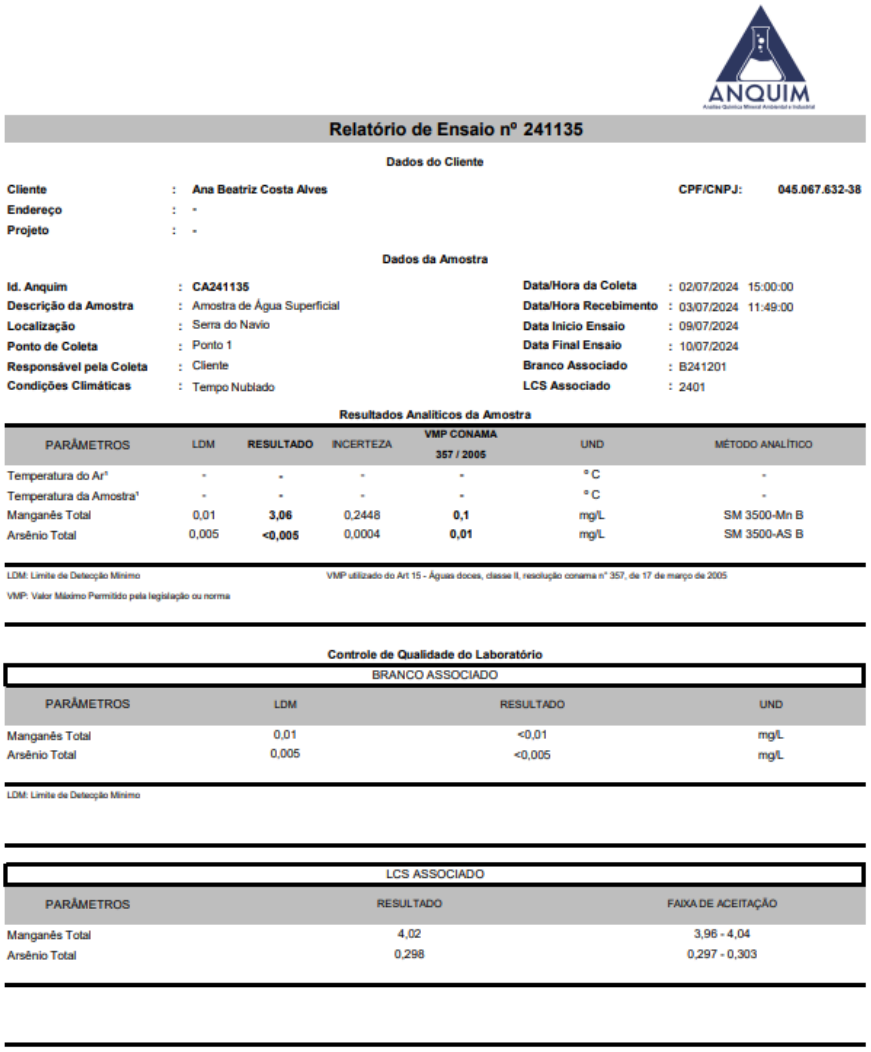
TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentar a escassez.** São Carlos: Rima, 2003.

UNIVATES. **Água: fonte de vida.** [S. l.]: Univates, [s. d.]. Disponível em: univates.br Acesso em: 16 out. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Chloride in drinking water: background document for development.** [S. l.]: World Health Organization, [s. d.]. Acesso em: 20 set. 2024.

ANEXO A

Figura 16 - Relatório de Ensaio Anquim.



ANQUIM

Relatório de Ensaio nº 241135

Dados do Cliente

Cliente : **Ana Beatriz Costa Alves** **CPF/CNPJ:** **045.067.632-38**
Endereço : -
Projeto : -

Dados da Amostra

Id. Anquim : **CA241135**
Descrição da Amostra : Amostra de Água Superficial
Localização : Serra do Navio
Ponto de Coleta : Ponto 1
Responsável pela Coleta : Cliente
Condições Climáticas : Tempo Nublado

Data/Hora da Coleta : 02/07/2024 15:00:00
Data/Hora Recebimento : 03/07/2024 11:49:00
Data Início Ensaio : 09/07/2024
Data Final Ensaio : 10/07/2024
Branco Associado : B241201
LCS Associado : 2401

Resultados Analíticos da Amostra

PARÂMETROS	LDM	RESULTADO	INCERTEZA	VMP CONAMA 357 / 2005	UND	MÉTODO ANALÍTICO
Temperatura do Ar*	-	-	-	-	°C	-
Temperatura da Amostra*	-	-	-	-	°C	-
Manganês Total	0,01	**3,06**	0,2448	**0,1**	mg/L	SM 3500-Mn B
Arsênio Total	0,005	**<0,005**	0,0004	**0,01**	mg/L	SM 3500-AS B

LDM: Limite de Detecção Mínimo
VMP: Valor Máximo Permitido pela legislação ou norma
VMP utilizado do Art 15 - Águas doces, classe II, resolução conama nº 357, de 17 de março de 2005

Controle de Qualidade do Laboratório

BRANCO ASSOCIADO

PARÂMETROS	LDM	RESULTADO	UND
Manganês Total	0,01	<0,01	mg/L
Arsênio Total	0,005	<0,005	mg/L

LDM: Limite de Detecção Mínimo

LCS ASSOCIADO

PARÂMETROS	RESULTADO	FAIXA DE ACEITAÇÃO
Manganês Total	4,02	3,96 - 4,04
Arsênio Total	0,298	0,297 - 0,303

Fonte: Anquim.