

## **Gestão sustentável dos recursos hídricos na amazônia: Análise dos Efeitos da Mineração com Design Thinking**

Sustainable water resource management in the amazon:

Analyzing Mining Effects with Design Thinking

Gestión sostenible de los recursos hídricos en la amazonía:

Análisis de los Efectos de la Minería con Design Thinking

Revista Fundamentos ISSN 2545-6318 Año 2025 N°1 Facultad de Ciencias Económicas - UNRC - Argentina

DOI: <https://doi.org/10.5281/wk88n536>

**Hinton Hennington Portilho Bentes Neto** 

Instituto de Estudos Sustentáveis e Tecnológicos da Amazônia - AMAZÔNIAATEC

**Edmar dos Santos Rocha Junior** 

Universidade da Amazônia - UNAMA

**Rogério Favacho da Cruz** 

Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

Recibido: 10 de marzo de 2025 - Aceptado: 05 de mayo de 2025

**Resumo.** Este artigo analisa os impactos da mineração de ouro e ferro na qualidade da água nas regiões de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari, no Amapá, utilizando a metodologia de Design Thinking (DT). A pesquisa combina revisão bibliográfica, análise de dados coletados em campo e relatórios técnicos, com o objetivo de compreender os efeitos ambientais e sociais da mineração. Os resultados indicam que a atividade mineradora altera significativamente os parâmetros de cor e turbidez da água, excedendo os limites estabelecidos pela legislação ambiental. A aplicação do DT permitiu propor soluções inovadoras e colaborativas, integrando as necessidades das comunidades locais e as demandas do setor mineral. As implicações práticas incluem a necessidade de sistemas de monitoramento contínuo e a criação de plataformas colaborativas para a gestão dos recursos hídricos. A pesquisa contribui para o campo da gestão ambiental ao integrar o DT com a análise tradicional, oferecendo uma abordagem centrada no ser humano para enfrentar problemas complexos. Limitações incluem a ausência de dados a montante das atividades mineradoras e a necessidade de expandir a análise para outros parâmetros de qualidade da água.

**Palavras-chave:** Mineração, Qualidade da Água, Amazônia, Design Thinking, Sustentabilidade.

**Abstract.** This article examines the impacts of gold and iron mining on water quality in the regions of Serra do Navio and Pedra Branca do Amapari, in Amapá, using the Design Thinking (DT) methodology. The research combines a literature review, analysis of field data, and technical reports to understand the environmental and social effects of mining. The results indicate that mining activities significantly alter water color and turbidity parameters, exceeding the limits established by environmental legislation. The application of DT enabled the proposal of innovative and collaborative solutions, integrating the needs of local communities and the demands of the mining sector. Practical implications include the need for continuous monitoring systems and the creation of collaborative platforms for water resource management. The research contributes to the field of environmental management by integrating DT with traditional analysis, offering a human-centered approach to addressing complex problems. Limitations include the absence of upstream data from mining activities and the need to expand the analysis to other water quality parameters.

**Keywords:** Mining, Water Quality, Amazon, Design Thinking, Sustainability.

**Resumen.** Este artículo analiza los impactos de la minería de oro y hierro en la calidad del agua en las regiones de Serra do Navio y Pedra Branca do Amapari, en Amapá, utilizando la metodología de Design Thinking (DT). La investigación combina revisión bibliográfica, análisis de datos recolectados en campo e informes técnicos, con el objetivo de comprender los efectos ambientales y sociales de la minería. Los resultados indican que la actividad minera altera significativamente los parámetros de color y turbidez del agua, superando los límites establecidos por la legislación ambiental. La aplicación del DT permitió proponer soluciones innovadoras y colaborativas, integrando las necesidades de las comunidades locales y las demandas del sector minero. Las implicaciones prácticas incluyen la necesidad de sistemas de monitoreo continuo y la creación de plataformas colaborativas para la gestión de los recursos hídricos. La investigación contribuye al campo de la gestión ambiental al integrar el DT con el análisis tradicional, ofreciendo un enfoque centrado en el ser humano para enfrentar problemas complejos. Las limitaciones incluyen la ausencia de datos aguas arriba de las actividades mineras y la necesidad de expandir el análisis a otros parámetros de calidad del agua.

**Palabras clave:** Minería, Calidad del Agua, Amazonía, Design Thinking, Sostenibilidad.

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mundo onde o desenvolvimento econômico frequentemente se sobrepõe à conservação ambiental, torna-se imperativo explorar como essas atividades impactam os recursos hídricos vitais e “as atividades de mineração na Amazônia têm gerado impactos ambientais significativos, afetando a qualidade da água e a saúde das comunidades locais” (Basso & Costa, 2020, p. 30), mesmo tendo uma das mais modernas legislações de preservação e órgãos de fiscalização com equipamentos de acompanhamento a organização e análise destes dados ainda são um óbice para muitas organizações.

A Amazônia, reconhecida por sua rica biodiversidade e papel crucial na regulação do clima global, enfrenta desafios significativos devido às atividades humanas, como a mineração, gestão dos recursos hídricos e outras situações na região se tornam complexas, envolvendo a falta de dados, infraestrutura e recursos humanos qualificados e esses desafios são agravados pela exploração desenfreada de recursos naturais, que pode ter impactos devastadores sobre os ecossistemas e as comunidades locais (Basso & Costa, 2022), Becker (2004).

Os mananciais subterrâneos no Brasil constituem o maior volume de água doce do mundo (Feitosa, 2008), enquanto os rios e lagos acumulam uma quantidade significativa de água líquida (Abreu, 2015) e a vulnerabilidade dos aquíferos deve ser avaliada em relação aos agentes antrópicos e naturais e o controle ambiental proposto se caracteriza pelo estabelecimento de efeitos poluidores decorrentes dos processos produtivos.

Possibilitando assim a geração de muitos dados específicos sobre as questões hídricas, mineração e assim se faz necessário uma maior destreza ao ordenar sistematicamente estes dados uma vez que “o conteúdo é uma ferramenta importante que pode ajudar os usuários a encontrar informações relevantes para suas necessidades.” (HJØRLAND, 2001, p. 777) e a aplicação de ferramentas de informação são as melhores alternativas (Mikhailov, 1966).

O presente artigo não irá explorar o contexto de toda a Amazônia, mas um dos Estado da Amazônia brasileira, o Amapá que “é o único Estado do Brasil que se tornou brasileiro pela vontade de ser brasileiro. Aqui a história se contorceu, houve enfrentamento e sangue. Surgiram heróis e mártires.” (Sarney e Costa, 1999, p. 13) evidenciamos assim que as ações humanas devem ser guiadas por normas que promovam o bem-estar coletivo junto a preservação ambiental, pois o os povos que vivem na Amazônia em seu dia a dia já atravessam dificuldades econômicas, sociais e logísticas que para muitas outras regiões do próprio Brasil já foram superadas a décadas (Castro, 2010).

Tendo assim como objetivo analisar os impactos da extração de ouro e ferro nas águas superficiais das regiões de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari, no Amapá, através da metodologia de gestão do Design Thinking – DT que emerge como uma abordagem inovadora para enfrentar esses desafios, pois ele é considerado uma forma de pensar que promove soluções criativas para problemas complexos (Brown, 2009), (Martin, 2009) e assim permitindo uma compreensão mais profunda das necessidades das comunidades afetadas pela mineração, promovendo a empatia e a colaboração entre as partes interessadas.

A pesquisa se fundamenta em uma revisão da análise de dados coletados em campo e relatórios técnicos buscando compreender não apenas os efeitos diretos da mineração sobre a qualidade da água, mas também as implicações sociais

dessas alterações, esta proposta surge porque “a gestão dos recursos hídricos na Amazônia é um desafio complexo que requer a integração de políticas públicas e a participação das comunidades locais” (Garcia, 1998, p. 90).

Neste caso específico da região de Pedra Branca na Serra do Navio, a área analisada foi a malha superior dos rios e igarapés, os modelos utilizados pelas empresas<sup>1</sup> XZYW e SRZX para acompanhamento ambiental indicam uma situação de vulnerabilidade absoluta nas áreas mapeadas, onde cada unidade apresenta um significado específico em termos de degradação potencial.

Embora essa área seja menor em comparação com o total da Amazônia, sua importância não pode ser subestimada, especialmente considerando a cultura ribeirinha e a dependência das comunidades locais pelos rios, pois contextualizando Rittel e Webber (1973, p. 161), “uma definição abrangente pode ser formulada contendo toda a informação que o solucionador do problema precisa para compreender e resolver o problema – contanto que ele tenha o conhecimento necessário”, esta questão levantada pelos autores demonstra a relevância de uma investigação e combinação de modelos de administração e de engenharia eficazes tanto de controle legal, eficiência na gestão e preservação ambiental.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Economia Ecológica e a Amazônia

Não é de hoje que está evidenciado na literatura a importância da Amazônia na regulação do clima global, e sua destruição pode ter consequências catastróficas para o planeta e ações de defesa e valorização dos serviços ecossistêmicos e a internalização dos custos ambientais nas decisões econômicas, buscando uma escala sustentável, uma distribuição justa e uma alocação eficiente dos recursos na Amazônia, Fearnside (2005), Castro (2010), Wang et. al. (2018), Büscher (2023), Bentes et. al. (2025).

A Economia Ecológica – EE, critica a economia neoclássica por negligenciar os limites ecológicos e as interdependências entre a economia e o meio ambiente. No contexto da Amazônia, essa crítica se torna ainda mais relevante, pois “os aquíferos na região amazônica são extremamente vulneráveis às atividades antrópicas e às mudanças climáticas” (Fonseca et al., 2008, p. 75) e dada esta importância crucial da região para a regulação do clima global e a manutenção da biodiversidade cuidados como estes se fazem necessários.

A exploração desenfreada dos recursos naturais, como a mineração, podem ter impactos devastadores sobre os ecossistemas amazônicos e as comunidades que dependem deles uma vez que “os serviços ecossistêmicos fornecidos pela Amazônia, como a regulação do ciclo hidrológico e a manutenção da biodiversidade, são essenciais para o bem-estar humano” (IPAM, 2020, p. 15) e a EE defende uma abordagem que considere os serviços ecossistêmicos e a internalização dos custos ambientais nas decisões econômicas, buscando uma escala sustentável, uma distribuição justa e uma alocação eficiente dos recursos.

### 2.2 Teoria da Justiça de Amartya Sen e as Comunidades Amazônicas

Alguns autores afirmam que a região amazônica é um grande laboratório para as mais diferentes áreas do conhecimento Pastana Neves et. al. (2022), contudo uma das grandes necessidades que os povos da Amazônia ainda buscam é a proposta por Amartya Sen (2009), Teoria da Justiça, que oferece uma perspectiva inovadora sobre a justiça social, focando na capacidade dos indivíduos para alcançar o bem-estar e exercer suas liberdades sem precisar alterar suas vidas.

Assim no ambiente amazônico falamos sobre a vulnerabilidade das comunidades locais e como elas vem a ser impactadas pelos projetos minerais Rodrigues & Lima (2021), Mathis (2012) que mudam o ambiente tanto visualmente com a perda de biodiversidade Freitas et. al. (2024), como a contaminação dos corpos hídricos água Scare & Zylberstajn (2007), a segurança alimentar Bentes et. al. (2023), o deslocamento forçado Mendes, Prost e Castro (2001) e todas as alterações no modo de vida dessas comunidades Becker (2005), limitando sua capacidade de viver uma vida digna e plena, Sen (2009).

Dessa forma, a aplicação da Teoria da Justiça na Amazônia exige uma análise que leve em conta os dados de relatórios com os indicadores ligados as questões legais, como as reais oportunidades dessas comunidades, considerando suas necessidades e aspirações para garantir um desenvolvimento mais equitativo e sustentável.

### 2.3 Design Thinking como Ferramenta de Gestão para a Sustentabilidade na Amazônia

Deflagrando uma possibilidade emergente de ferramenta de tomada de decisão para enfrentar os desafios de sustentabilidade e tomada de decisão na Amazônia visa ser uma proposta mais colaborativa e criativa.

O emerge como uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios da mineração na Amazônia, promovendo soluções criativas e colaborativas. Brown (2009) destaca que o DT permite uma compreensão profunda das necessidades das comunidades afetadas, integrando empatia e colaboração no processo de tomada de decisão. Essa metodologia será aplicada para analisar os impactos da mineração e propor soluções sustentáveis.

Assim o modelo de DT vem buscar um modelo analítico mais alinhado com os povos da Amazônia de uma forma mais moderna e assim poder criar aplicações temporais, viáveis, desejáveis e sustentáveis para este modelo de estudo ligado à exploração mineral a união das demandas do poder público com a legislação, as organizações empresariais com suas questões financeiras e as demandas dos povos da Amazônia, para demonstrar esta relação teórica com a aplicação apresenta-se a tabela 1.

**Tabela 1.** Referências Teóricas e Conceitos Fundamentais na Amazônia

<b>Teoria</b>	<b>Definição</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Título do Trabalho</b>	<b>Ano de Publicação</b>
Economia Ecológica	Aborda a sustentabilidade e os limites biofísicos do planeta, reconhecendo que a economia está inserida em um sistema ecológico maior e buscando uma escala sustentável, distribuição justa e alocação eficiente dos recursos naturais, especialmente na Amazônia.	Herman Daly e Joshua Farley	Ecological Economics: Principles and Applications	2011
Teoria da Justiça	Avalia a justiça social em termos da capacidade dos indivíduos para alcançar o bem-estar e exercer suas liberdades, focando nas oportunidades reais que as pessoas têm para viver uma vida digna e plena, particularmente para as comunidades amazônicas.	Amartya Sen	The Idea of Justice	2009
Design Thinking	Metodologia centrada no ser humano que busca compreender as necessidades e os desejos das pessoas para desenvolver soluções que sejam viáveis, desejáveis e sustentáveis, promovendo a colaboração e a empatia entre as partes interessadas na Amazônia.	Tim Brown	Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation	2009

Fonte: Autores

A tabela 1 vem para aplicar demonstrar os conhecimentos que são utilizados no presente artigo, a Economia Ecológica, a Teoria da Justiça de Sen e o Design Thinking e a tabela 2 demonstram como elas se complementam para abordar os desafios da mineração na Amazônia. A Economia Ecológica nos alerta para os limites ambientais e a necessidade de uma exploração sustentável dos recursos, a Teoria da Justiça de Sen nos lembra da importância de garantir que as comunidades locais tenham a capacidade de viver uma vida digna e plena, e o Design Thinking oferece uma metodologia para promover a colaboração e a inovação na busca por soluções.

A integração dessas teorias permite uma análise mais completa dos impactos da mineração, considerando tanto os aspectos ambientais quanto os sociais. A tabela a seguir detalha a relação entre essas teorias e como elas podem ser aplicadas para promover a sustentabilidade na Amazônia, visto aqui na tabela 2.

**Tabela 2.** Relação entre as Teorias na Amazônia

Aspecto	Economia Ecológica	Teoria da Justiça de Sen	Design Thinking
Foco	Sustentabilidade e limites ambientais na Amazônia	Capacidade e liberdade das comunidades amazônicas	Soluções criativas e colaborativas para os desafios da mineração na Amazônia
Valorização	Serviços ecossistêmicos e internalização dos custos ambientais na Amazônia	Oportunidades reais para viver uma vida digna e plena para as comunidades amazônicas	Empatia e colaboração entre as partes interessadas na Amazônia
Crítica	Negligência dos limites ecológicos pela economia neo-clássica na Amazônia	Avaliação da justiça apenas em termos de distribuição de recursos para as comunidades amazônicas	Abordagens tradicionais de gestão que não consideram as necessidades e os desejos das pessoas na Amazônia

Fonte: Autores

Evidenciando novos insights para a análise dos impactos da mineração na Amazônia a tabela 2 demonstra que a combinação, assim como a preocupação com a sustentabilidade ambiental e com a busca pela justiça social além da promoção da inovação permitem uma compreensão mais completa dos desafios e a proposição de soluções mais eficazes e equitativas.

### 3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A proposta metodológica do artigo investiga os impactos da mineração de ouro e ferro na qualidade da água nas regiões de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari, no Amapá, utilizando a metodologia de DT como ferramenta de gestão. A pesquisa combina análise de dados coletados em campo, relatórios anuais de sustentabilidade das empresas envolvidas (XYZW e SRZX), além dos dados de Relatórios Técnicos públicos, Amapá (2021), Castro (2022), Amapá (2019), Ana (2018), Ministério Público do Estado do Amapá (2022) e o mapeamento de pontos de efluentes e águas superficiais a jusante da atividade mineradora.

#### 3.1 Análise dos Dados:

Comparação dos resultados obtidos no relatório consultivo<sup>2</sup> com os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/2005, classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, NBR 15.466:2012, diretrizes para a implementação os sistemas de gestão ambiental, além de análises dos parâmetros físico-químicos (cor e turbidez) das amostras de água.

Para aprimorar a abordagem metodológica e garantir a reprodutibilidade da pesquisa, um plano detalhado de pesquisa bibliográfica, inspirado em Robert K. Yin (2018) e nas recomendações de Creswell (2014), é essencial. Além da inclusão da análise de mídias sociais, conforme proposto por Snelson (2016), pode enriquecer a compreensão do impacto social da mineração.

A pesquisa se iniciou com a definição clara das questões de pesquisa, delineando os objetivos específicos do estudo. Em seguida, será realizada uma busca sistemática e abrangente em bases de dados acadêmicas (Web of Science, Scopus, e Google Scholar), utilizando palavras-chave relevantes e operadores booleanos para refinar os resultados.

A validação dos resultados foi feita por meio da triangulação de dados, comparando as informações obtidas em diferentes fontes e utilizando referenciais teóricos para interpretar os achados.

#### 4. ANÁLISE DA TÉCNICA AMBIENTAL

A caracterização das águas superficiais e subterrâneas em projetos de mineração é essencial para o cumprimento das normas e procedimentos ambientais estabelecidos pela legislação pertinente. A Amazônia, sendo uma das maiores reservas de água doce do mundo, representa um recurso que deve ser protegido e gerido com grande responsabilidade (INPA, 2024, p. 10). Nesse contexto, um plano de monitoramento das águas deve ser um dos instrumentos fundamentais na gestão ambiental do empreendimento, refletindo a interdependência entre os seres humanos e seu meio ambiente.

Os impactos potenciais da atividade minerária sobre os recursos hídricos são predominantemente negativos e estão relacionados à disponibilidade desse recurso. Isso inclui a redução das fontes de água superficial, o potencial de drenagem ácida que compromete os níveis de qualidade da água, o assoreamento de corpos hídricos e o lançamento de rejeitos não tratados diretamente no meio ambiente.

Os impactos potenciais da atividade minerária sobre os recursos hídricos são predominantemente negativos, incluindo a redução da disponibilidade de água, a drenagem ácida e o assoreamento de corpos hídricos. Esses efeitos são detalhados na Tabela 3, que apresenta uma visão geral das alterações nos recursos hídricos durante as diferentes fases da mineração.

**Tabela 3 .** Impactos potenciais resultantes das atividades de Mineração

ALTERAÇÕES POTENCIAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DIRETAMENTE AFETADA E ENTORNO DO EMPREENDIMENTO	Fases de operação - Etapa	
	MINA	FASES DE OPERAÇÃO - ETAPA
Ateração da disponibilidade hídrica	Desmorte de material estéril e minério - Caracterização geoquímica do minério	Operações unitárias: Britagem, moagem
Intervenção direta em cursos d' água	Remoção e transporte de estéril e minério	Etapa de lixiviação do minério pelo método - Uso de cianeto ou floculantes
Alterações da qualidade da água - Drenagem ácida	Disposição de material estéril em pilhas	Detoxificação dos efluentes cianetados - Presença de cobre, nitrogênio amoniacal
Alterações da qualidade da água - Sólidos em suspensão	Desaguamento de cava/ rebaixamento do lençol freático	Disposição de rejeitos na barragem - Presença de reagentes químicos provenientes do processo hidrometalúrgicos
Alterações da qualidade da água - Contaminação por cianeto	Implantação das estruturas de drenagem	Manutenção, lubrificação e abastecimento de veículos - Uso de derivados de petróleo com compostos orgânicos persistentes
Alterações da qualidade da água - Contaminação por óleos, graxas	Manutenção, lubrificação e abastecimento de veículos	Atividades de apoio: Escritórios, banheiros e vestiários - Geração de efluentes sanitários
	Atividades de apoio: Escritórios, banheiros e vestiários	

Fonte: Autores

Os impactos potenciais resultantes das atividades de mineração, conforme apresentado na tabela 3, revelam uma série de consequências ambientais que afetam diretamente a qualidade da água nas regiões mineradas. Entre esses impactos, destaca-se a contaminação por metais pesados e o aumento da turbidez, que são frequentemente observados em áreas adjacentes às operações mineradoras. Essas alterações não apenas comprometem a saúde dos ecossistemas aquáticos, mas também representam riscos significativos para as comunidades locais que dependem desses recursos hídricos para sua sobrevivência e atividades diárias.

A legislação ambiental que trata do enquadramento e define valores limites para os parâmetros físico-químicos para águas superficiais e efluentes é a CONAMA 357/2005, atualizada pela 430/2011. Essa legislação é crucial para garantir que as atividades mineradoras respeitem padrões que protejam tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais. Para avaliar os possíveis impactos que os empreendimentos SRZX e XZYW causaram nas águas superficiais ao seu redor, foram analisados os resultados dos parâmetros físico-químicos contidos no documento “Estudos técnicos da qualidade ambiental dos recursos hídricos na região de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari”. O gerenciamento

dos recursos hídricos na Amazônia é uma condição básica para o desenvolvimento sustentável da região (Garcia, 1998, p. 90), reforçando a importância de práticas responsáveis nas atividades mineradoras.

As atividades mineradoras na Amazônia têm gerado impactos ambientais significativos, afetando a qualidade da água e a saúde das comunidades locais (Basso & Costa, 2020, p. 30). Nesse sentido, as tecnologias end-of-pipe são essenciais para o tratamento da poluição antes que os efluentes sejam liberados no meio ambiente (Barbieri, 2011, p. 112). A qualidade da água nos ecossistemas amazônicos é fundamental para a saúde pública e o bem-estar das comunidades ribeirinhas (Rebouças, 2004, p. 20), o que torna ainda mais urgente a implementação de medidas eficazes de controle ambiental.

Ao analisarmos as tecnologias end-of-pipe, é evidente que estas visam mitigar os impactos negativos das atividades mineradoras. Embora possam resultar em custos adicionais durante o processo produtivo, são essenciais para minimizar os problemas gerados pelos poluentes capturados.

Além disso, é importante reconhecer que os aquíferos na região amazônica são extremamente vulneráveis às atividades antrópicas e às mudanças climáticas (Fonseca et al., 2008, p. 75). Essa vulnerabilidade destaca a necessidade de uma abordagem holística na gestão dos recursos hídricos que considere tanto as dimensões ecológicas quanto sociais na formulação de políticas públicas. Assim como se argumenta sobre a interconexão entre economia e ecologia em análises contemporâneas sobre desenvolvimento sustentável, é essencial que as decisões sobre exploração mineral levem em conta as consequências para o meio ambiente e para as comunidades locais.

**Tabela 4.** Resultados analíticos para os parâmetros Cor e Turbidez

Amostra	Descrição do local	Classificação	Localização	Cor mgPt/L	Turbidez UNT
117	XZYW - 01 (DETOX)	Efluente	Presente no processo	51	23
107	XZYW - 02 Ponto de monitoramento 18 do EIA/RIMA	Água superficial	NI	96	39
108	XZYW - 03 Ig. Wiliam dentro do XZYW	Água superficial	Jusante	175	79
109	XZYW - 04 Ponto de monitoramento 06 do EIA/RIMA	Água superficial	Jusante	91	25
110	XZYW - 05 Ponto de monitoramento 07 do EIA/RIMA	Água superficial	Jusante	187	102
111	XZYW - 06 Ponto de monitoramento 25 EIA/RIMA	Água superficial	Jusante	52	54
112	XZYW - 07 Ponto de monitoramento 24 EIA/RIMA	Água superficial	Adjacente	251	147
115	XZYW - 08 Igarapé Silvestre - Ponte	Água superficial	Adjacente	114	21
116	XZYW - 09 Ponto de monitoramento 03 do EIA/RIMA	Água superficial	Jusante	361	212
119	SRZX - 01 Igarapé Mário Cruz - Bueiro	Água superficial	Jusante	172	38
120	SRZX - 02 Igarapé Mário Cruz - Ponto mais distante	Água superficial	Adjacente	64	20
121	SRZX - 03 Igarapé Mário Cruz - Barragem de Captação	Água superficial	Adjacente	485	212
123	SRZX - 04 Igarapé William	Água superficial	Adjacente	360	88
125	SRZX - 05 Igarapé Jornal	Água superficial	Jusante	129	6
131	Ig. Wiliam - 03	Água superficial	NI	297	72
119	Ig. Wiliam - 05	Água superficial	Jusante	172	38
120	Ig. Wiliam - 07	Água superficial	Jusante	64	20
131	Ig. Wiliam - 09	Água superficial	Jusante	297	72

Fonte: Autores

A Tabela 4 apresenta os resultados analíticos dos parâmetros de cor e turbidez em amostras de água coletadas em locais próximos às atividades de mineração. Os dados indicam que muitos pontos monitorados apresentaram valores acima

dos limites estabelecidos, refletindo as preocupações levantadas na Tabela 1 sobre os efeitos da mineração na qualidade da água. Por exemplo, os altos níveis de turbidez observados em algumas amostras podem ser atribuídos à presença de sólidos em suspensão, resultantes do desmatamento e da erosão do solo, processos que são intensificados pelas práticas mineradoras. Essa correlação entre os dados analíticos e os impactos potenciais sublinha a necessidade urgente de monitoramento contínuo e intervenções eficazes para mitigar esses problemas.

Com os dados do relatório foi possível elaborar a tabela 4 apresenta 18 pontos de amostragem em águas superficiais e 01 ponto de efluente (DETOX) a maioria localizada jusante da atividade.

Além disso, a análise conjunta das duas tabelas permite uma compreensão mais abrangente dos desafios enfrentados na gestão dos recursos hídricos em áreas afetadas pela mineração. As alterações nos parâmetros de cor e turbidez não são apenas indicadores da degradação ambiental, mas também refletem a complexidade das interações entre as atividades humanas e o meio ambiente. Portanto, é fundamental que as estratégias de gestão ambiental considerem esses dados analíticos à luz dos impactos potenciais identificados, promovendo soluções integradas que envolvam tanto a mitigação dos efeitos adversos quanto à proteção da saúde pública e dos ecossistemas locais.

De maneira semelhante aos dados apresentados na Tabela 4, os resultados obtidos para os parâmetros de cor e turbidez foram confrontados com os limites máximos estabelecidos pela legislação ambiental, especificamente pela Resolução CONAMA 357/2005 e sua atualização pela 430/2011.

Para o parâmetro cor, observou-se que 77% das amostras analisadas apresentaram resultados superiores aos limites permitidos pela legislação. Em relação ao parâmetro turbidez, 22% das amostras também excederam os Valores Máximos Permitidos (VMP).

Para facilitar a interpretação dos dados, a Tabela 4 reúne uma sequência de seis pontos localizados consecutivamente no rio principal que compõem a rede de drenagem a jusante do empreendimento. Os principais parâmetros referenciados na legislação do CONAMA foram graficamente representados para melhor visualização.

A tabela 4 apresenta os resultados analíticos dos parâmetros de cor e turbidez para as amostras coletadas. É evidente que a maioria dos pontos monitorados apresenta valores que excedem os limites estabelecidos, indicando uma preocupação significativa em relação à qualidade da água na região. Essa situação ressalta a necessidade urgente de implementar medidas de controle ambiental eficazes para mitigar os impactos da mineração sobre os recursos hídricos locais.

#### **4. COMO O DESIGN THINKING PODE SER APLICADA AOS IMPACTOS DA MINERAÇÃO**

A mineração é uma das atividades econômicas com maior geração de recursos financeiros proporcionalmente para os governos da região norte, todavia é uma das que mais geram impactos ambientais significativos, especialmente em ecossistemas sensíveis como os recursos hídricos da Amazônia.

Visto que para os recursos hídricos da região estuda, há uma alteração do pH da água e o aumento da turbidez, fatores que prejudicam a fauna aquática e afetam a saúde das comunidades locais (AmbScience, 2024). Diante desse cenário, o DT surge como uma abordagem inovadora para desenvolver soluções sustentáveis e eficazes na mitigação desses impactos.

Desta forma é possível que “uma definição abrangente pode ser formulada contendo toda a informação que o solucionador do problema precisa para compreender e resolver o problema – contanto que ele tenha o conhecimento necessário” Rittel e Webber (1973, p. 161) e o setor mineral na Amazônia oportuniza essa abordagem que se destaca por permitir um equilíbrio entre a exploração econômica e a preservação ambiental a ao priorizar as necessidades humanas no processo de tomada de decisão, o DT viabiliza soluções mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

Mesmo a questão da exploração mineral seja uma atividade milenar em todo o planeta uma aplicação como a proposta do DT em criar alternativas para negócios e sociedades (Martin, 2009) pois permite que as empresas do setor adotem práticas mais sustentáveis ao integrar o feedback das comunidades locais e de especialistas ambientais em seus processos de planejamento e operação, uma vez que o uso de prototipagem e testes iterativos, possibilita o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes para o tratamento da água antes de sua implementação em larga escala.

A tabela 5 apresenta as principais dimensões do Design Thinking e sua aplicação na mineração, especialmente no que diz respeito à qualidade da água. Ao estruturar essas dimensões, é possível visualizar como cada etapa do DT pode ser utilizada para minimizar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento mais equilibrado.

**Tabela 5.** Aplicação das Oito Dimensões do DT na Minimização dos Impactos da Mineração na Qualidade da Água

Dimensão	Descrição
Empatia	Compreender as necessidades e preocupações das comunidades afetadas pela mineração.
Definição do Problema	Identificar claramente os problemas, como a drenagem ácida de mina (DAM) e seus efeitos sobre os recursos hídricos.
Ideação	Gerar soluções criativas, como tecnologias inovadoras para tratamento de água contaminada.
Prototipagem	Desenvolver protótipos testáveis de sistemas de tratamento antes da implementação em larga escala.
Teste	Avaliar a eficácia das soluções propostas com feedback contínuo das comunidades locais.
Iteração	Revisar e aprimorar soluções com base nos resultados dos testes e no feedback obtido.
Colaboração	Promover a colaboração entre empresas mineradoras, governos e comunidades para garantir diversidade de perspectivas.
Implementação	Implementar soluções com monitoramento rigoroso da qualidade da água para garantir resultados desejados.

Fonte: Autores

Cada uma dessas dimensões desempenha um papel essencial na construção de soluções sustentáveis para a mineração. A empatia e a definição do problema garantem um entendimento profundo dos desafios enfrentados pelas comunidades. A ideação, prototipagem e testes permitem o desenvolvimento de soluções eficazes e adaptadas à realidade local. A colaboração e a implementação, por sua vez, asseguram que essas soluções sejam bem executadas e continuamente aprimoradas.

A aplicação do DT também pode contribuir para soluções inovadoras na gestão da drenagem ácida de mina (DAM), um processo químico causado pela interação de minerais sulfetados com a água, resultando na contaminação de rios e lençóis freáticos. A biotecnologia, por exemplo, pode ser utilizada para desenvolver métodos que neutralizem esses ácidos por meio da aplicação de bactérias capazes de reduzir sua toxicidade (AmbScience, 2022).

Portanto, integrar o Design Thinking nas operações mineradoras na Amazônia permite não apenas atender às exigências legais e sociais por práticas sustentáveis, mas também posicionar as empresas como líderes em inovação ambiental. Essa abordagem fortalece a preservação dos ecossistemas aquáticos e promove o bem-estar das comunidades locais, assegurando que suas necessidades sejam consideradas no processo de tomada de decisão.

## 5. CONTRIBUIÇÕES ANALÍTICAS

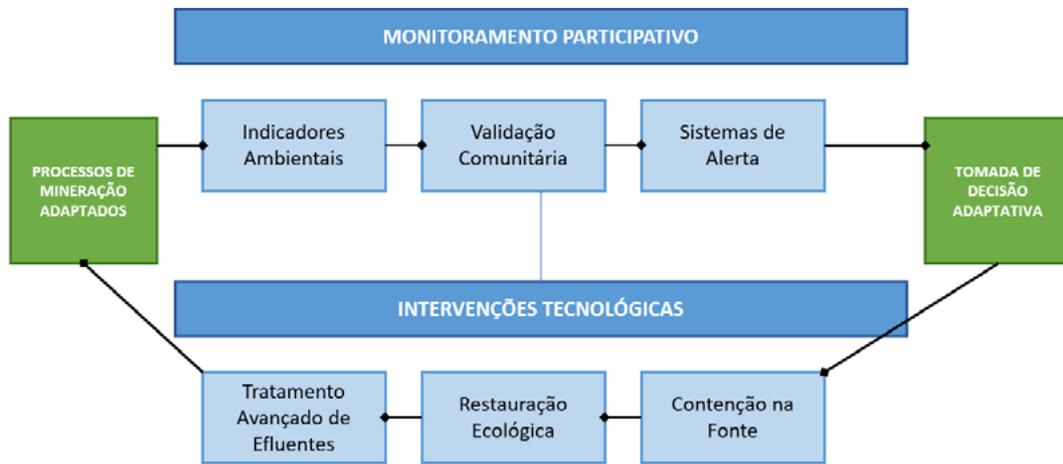
Os elevados teores de metais pesados encontrados na cadeia trófica e na saúde humana em áreas adjacentes à mineração comprometem significativamente a qualidade dos recursos hídricos, representando um risco considerável para as populações locais. Como afirma Silva et al. (2004, p. 30), “os elevados teores de metais pesados que podem ser encontrados na cadeia trófica e no homem em áreas ao redor de mineração comprometem a qualidade dos recursos hídricos e representam um risco significativo para a saúde das populações locais”.

Esse fenômeno é frequentemente exacerbado pelas práticas inadequadas de gestão ambiental, que não apenas ignoram

os impactos diretos da mineração, mas também desconsideram as consequências a longo prazo para o ecossistema e para a saúde pública, para tanto se sugere a implementação do framework de intervenção baseado em Design Thinking conforme a figura 1.

**Figura 1.** Integração da gestão adaptativa

**Framework Integrado para Gestão Adaptativa de Qualidade Hídrica em Áreas de Mineração**



Fonte: Autores

O framework de intervenção proposto integra as oito dimensões do Design Thinking em um processo cíclico de gestão adaptativa, conforme ilustrado na Figura 1. Este framework opera em três níveis complementares, onde no nível operacional é possível identificar as intervenções técnicas imediatas para mitigação de impactos críticos identificados nas análises de qualidade da água, priorizando pontos críticos como SRZX-03 e XZYW-09.

Para o nível tático, propomos o redesenho de processos operacionais da mineração através de ciclos de prototipagem e teste, incorporando sistemas de drenagem aprimorados e mecanismos de tratamento preventivo e já no nível estratégico a proposta é de uma transformação dos modelos de governança hídrica regional, estabelecendo plataformas colaborativas para monitoramento contínuo e tomada de decisão adaptativa.

A operacionalização deste framework segue uma progressão lógica que prioriza intervenções de alto impacto e baixa complexidade inicialmente, avançando gradualmente para transformações sistêmicas nos processos operacionais sendo demonstrada a sua metodologia no fluxograma 2 que demonstra a governança regional.

Esta abordagem baseada em DT difere fundamentalmente dos modelos convencionais de gestão ambiental na mineração por incorporar ciclos contínuos de feedback e adaptação, em contraste com a lógica linear predominante em abordagens tradicionais.

**Figura 2.** Metodologia de DT para análise de impactos

**Estrutura Metodológica do Design Thinking Aplicada à Análise de Impactos da Mineração**



Fonte: Autores

Para garantir que as soluções geradas pelo DT sejam eficazes e alinhadas às melhores práticas ambientais, é fundamental considerar normas técnicas específicas. A NBR 15.466:2012, por exemplo, estabelece diretrizes para a implementação de sistemas de gestão ambiental, o que pode servir de base para estruturar a execução das soluções desenvolvidas pelo DT, garantindo um impacto positivo na preservação dos recursos hídricos.

A NBR 15.464:2012 orienta sobre a avaliação da conformidade de sistemas de gestão ambiental, permitindo que as iniciativas resultantes do DT sejam monitoradas e ajustadas conforme necessário. Isso é especialmente importante em relação ao controle da drenagem ácida de mina (DAM), garantindo que os métodos aplicados sejam eficazes na neutralização de contaminantes e no reequilíbrio da qualidade da água.

O monitoramento eficaz das intervenções realizadas através da abordagem de DT requer um sistema de indicadores que capture tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos dos impactos. Propomos um conjunto integrado de indicadores:

Outro impacto potencial significativo decorrente das atividades de mineração — tanto na fase de lavra quanto no beneficiamento — é a presença de metais associados ao minério explorado, como ferro, manganês, chumbo e arsênio. O ferro, por exemplo, quando oxidado no ambiente, pode formar compostos insolúveis através do processo de hidrólise, resultando na chamada ferrugem. Essa reação não só contribui para a degradação da qualidade da água, mas também pode afetar negativamente as comunidades que dependem desses recursos hídricos para suas atividades diárias.

A contaminação dos recursos hídricos devido à mineração não se limita aos metais pesados; ela também inclui produtos químicos utilizados nos processos de extração e beneficiamento do minério. A poluição resultante pode afetar tanto as águas superficiais quanto os aquíferos subterrâneos. Segundo estudos recentes, “o escoamento de água através de áreas mineradas pode resultar no carreamento de sedimentos, metais pesados e produtos químicos tóxicos para cursos d’água” (Chiavini & Santos, 2023). Essa contaminação não apenas prejudica a vida aquática como também torna a água inadequada para consumo humano e uso agrícola.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do Design Thinking como metodologia analítica para avaliar os impactos da mineração nos recursos hídricos do Amapá demonstrou ser uma abordagem eficaz para integrar dados quantitativos e as perspectivas de diversos stakeholders. A pesquisa revelou a necessidade urgente de intervenções em pontos críticos, como SRZX-03 e XZYW-09, onde os parâmetros de qualidade da água excedem significativamente os limites regulatórios. Nesse contexto, enfatiza-se a importância de uma abordagem que una soluções tecnológicas a processos participativos de gestão, fomentando a colaboração entre as partes interessadas.

O potencial de sistemas de monitoramento adaptativo foi reconhecido, sugerindo a incorporação de conhecimentos científicos e saberes locais para a detecção precoce de impactos ambientais. É fundamental, portanto, redesenhar os processos operacionais da mineração, levando em conta o ciclo hidrológico regional e a capacidade de suporte dos ecossistemas aquáticos.

Essa pesquisa está em consonância com estudos recentes sobre governança colaborativa em contextos de mineração, reforçando a necessidade de abordagens que transcendam a mera conformidade regulatória para alcançar transformações substantivas nas práticas do setor. A integração de saberes tradicionais mostra-se particularmente promissora no contexto amazônico, onde comunidades ribeirinhas e indígenas detêm conhecimentos valiosos sobre ciclos hidrológicos e biodiversidade aquática.

Recomenda-se, assim, a implementação do framework proposto, priorizando intervenções de alto impacto e baixa complexidade, seguidas por transformações sistêmicas nos processos operacionais e na governança. Essa estratégia visa garantir uma gestão sustentável dos recursos hídricos nas regiões afetadas pela mineração na Amazônia.

É importante ressaltar que a análise dos dados coletados não permite afirmar categoricamente que as alterações observadas no parâmetro cor da água sejam exclusivamente atribuíveis às atividades mineradoras. Mesmo em locais distantes da operação, como os pontos 107 e 115, foram encontrados valores que ultrapassam o Valor Máximo Permitido,

sugerindo que as mudanças na qualidade da água não se restringem apenas às áreas a jusante da atividade mineradora. Em síntese, as evidências coletadas ressaltam a necessidade urgente de um monitoramento contínuo e abrangente das condições hídricas nas áreas afetadas pela mineração. A integração do Design Thinking nesse processo não apenas facilita a identificação de problemas complexos, mas também promove a colaboração entre empresas mineradoras, governos e comunidades locais. Essa colaboração é vital para garantir a proteção dos recursos hídricos e a saúde ambiental das comunidades impactadas. A adoção dessa abordagem inovadora pode resultar em soluções mais sustentáveis e adaptativas frente aos desafios impostos pela mineração na Amazônia.

Os resultados desta pesquisa demonstram que a mineração de ouro e ferro nas regiões de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari tem impactos significativos na qualidade da água, com alterações nos parâmetros de cor e turbidez que excedem os limites estabelecidos pela legislação ambiental. Esses achados estão alinhados com estudos anteriores, como os de Basso & Costa (2020), que destacam os efeitos negativos da mineração sobre os ecossistemas aquáticos na Amazônia. No entanto, a aplicação do Design Thinking como metodologia analítica trouxe uma nova perspectiva, permitindo integrar dados quantitativos com as necessidades e preocupações das comunidades locais. Essa abordagem inovadora, inspirada na visão de Tim Brown, reforça a importância de soluções centradas no ser humano, especialmente em contextos complexos como o da Amazônia.

A Teoria da Justiça de Amartya Sen oferece uma lente valiosa para interpretar esses resultados. A degradação da qualidade da água não apenas afeta o meio ambiente, mas também limita a capacidade das comunidades locais de viver uma vida digna e plena. A contaminação dos recursos hídricos restringe o acesso à água potável, compromete a segurança alimentar e afeta diretamente a saúde das populações ribeirinhas. Nesse sentido, os resultados desta pesquisa reforçam a necessidade de uma abordagem que vá além da mera conformidade regulatória, buscando garantir que as comunidades tenham oportunidades reais de bem-estar, conforme proposto por Sen.

Esta pesquisa traz contribuições originais ao integrar o Design Thinking com a análise ambiental tradicional, propondo soluções que não apenas mitigam os impactos da mineração, mas também promovem a colaboração entre stakeholders. A região do Amapá, com sua rica biodiversidade e dependência dos recursos hídricos, serve como um estudo de caso relevante para a aplicação dessas metodologias. Os resultados destacam a importância de uma gestão participativa e adaptativa, que considere tanto as dimensões ecológicas quanto sociais dos impactos da mineração.

As implicações teóricas deste estudo são significativas, pois demonstram como o DT pode ser aplicado para enfrentar problemas complexos de gestão ambiental. Na prática, os resultados sugerem a necessidade de sistemas de monitoramento contínuo e a criação de plataformas colaborativas que envolvam governo, empresas e comunidades locais. Essas medidas não apenas protegem os recursos hídricos, mas também fortalecem a governança regional, promovendo um desenvolvimento mais equitativo e sustentável.

Apesar dos avanços, este estudo apresenta algumas limitações. A ausência de dados a montante das atividades mineradoras dificulta a comparação dos impactos antes e após a mineração. Além disso, a análise focou em parâmetros específicos (cor e turbidez), deixando de lado outros indicadores importantes, como a concentração de metais pesados. Futuras pesquisas poderiam expandir a análise para outras regiões da Amazônia, integrando metodologias complementares, como a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) ou a Análise de Risco Ambiental.

Duas questões emergem como lacunas que necessitam de mais investigação: (1) Como as tecnologias de tratamento de água, como a biotecnologia aplicada à remediação de drenagem ácida de mina (DAM), podem ser integradas às práticas de mineração na Amazônia? (2) De que forma os saberes tradicionais das comunidades ribeirinhas e indígenas podem contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos em áreas de mineração? Essas questões têm o potencial de ampliar o escopo deste trabalho e gerar soluções ainda mais adaptadas à realidade local.

Em síntese, esta pesquisa demonstra que a mineração na Amazônia tem impactos significativos sobre a qualidade da água, com consequências ambientais e sociais que exigem intervenções urgentes. A aplicação do Design Thinking como metodologia analítica revelou-se eficaz para integrar dados quantitativos e perspectivas de diversos stakeholders, promovendo soluções colaborativas e sustentáveis. Os resultados destacam a importância de uma abordagem que una soluções tecnológicas com processos participativos de gestão, envolvendo governo, empresas e comunidades locais.

Sob a ótica do autor principal, os resultados reforçam a necessidade de uma gestão ambiental que vá além da conformidade regulatória, buscando garantir que as comunidades tenham oportunidades reais de bem-estar. Na visão de Amartya Sen, a degradação dos recursos hídricos não é apenas um problema ambiental, mas uma questão de justiça social,

que limita a capacidade das pessoas de viver uma vida digna. Portanto, a proteção dos recursos hídricos na Amazônia deve ser uma prioridade, não apenas para preservar a biodiversidade, mas também para garantir o desenvolvimento equitativo das comunidades locais.

Esta pesquisa contribui significativamente para o campo da gestão ambiental e dos recursos hídricos, oferecendo uma abordagem inovadora que pode ser replicada em outros contextos de mineração. A integração do Design Thinking com a análise ambiental tradicional abre novas possibilidades para a criação de soluções sustentáveis e adaptativas, que considerem tanto as dimensões ecológicas quanto sociais dos impactos da mineração.

## Notas

1 Embora não tenha sido formalizado um termo de consentimento com os gestores das empresas, após a informação dos objetivos da pesquisa eles autorizaram o uso dos dados de forma anônima desde que não fosse informado o nome da empresa.

2 Tivemos algumas limitações na pesquisa, uma vez que ausência de dados de pontos de coleta a montante da atividade mineradora, o que dificulta uma interpretação mais abrangente dos resultados, além da não formalização de termo de consentimento com os gestores das empresas, o que exigiu o uso de dados anônimos.

## REFERÊNCIAS

Abreu, F. A. M. de, Cavalcante, I. N., Duarte, A. A. M., Caputo, M. V., & Matta, M. A. S. (2015). O sistema Aquífero Grande Amazônia? SAGA: Caracterização e reservas? Dados preliminares. In P. S. S. Gorayeb & A. M. M. de Lima (Orgs.), Contribuições à Geologia da Amazônia (Vol. 9, pp. 329-342). SBG - Núcleo Norte.

Agência Nacional de Águas – ANA. (2018). Relato Integrado sobre a Gestão da ANA em 2018. [https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio\\_ana\\_2018\\_v-enviada\\_tcu\\_compressed.pdf](https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio_ana_2018_v-enviada_tcu_compressed.pdf)

Almeida, A. W. B. (2004). A invenção da Amazônia. Editora da Universidade Amazônica.

Amapá. Agência de Desenvolvimento Econômico. (2019). Plano de Mineração do Estado do Amapá 2019-2030 (W. J. P. Costa, Coord.). <https://ageamapa.portal.ap.gov.br/docs/Plano-de-Minteracao.pdf>

Amapá. Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. (2021). Relatório de gestão de recursos hídricos do Amapá. [https://editor.amapa.gov.br/arquivos\\_portais/publicacoes/SEMA\\_05a97a3feb97200fa7a149afb10b6fd2.pdf](https://editor.amapa.gov.br/arquivos_portais/publicacoes/SEMA_05a97a3feb97200fa7a149afb10b6fd2.pdf)

AmbScience. (2022). Biotecnologia aplicada à remediação de drenagem ácida de mina: Estudos de caso na Amazônia. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 15(3), 78-92.

AmbScience. (2024). Impactos da mineração nos recursos hídricos amazônicos: Uma revisão sistemática. *Journal of Environmental Management*, 28(2), 145-163.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 15.466:2012 - Sistemas de gestão ambiental - Diretrizes para a implementação. ABNT.

Barbieri, J. C. (2011). *Gestão ambiental empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos* (3ª ed.). Saraiva.

Basso, L., & Costa, D. C. L. (2020). Impactos da mineração na qualidade da água na Amazônia: Um estudo de caso em Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari. *Revista Brasileira de Geografia*, 32(4), 25-40.

Becker, B. (2005). Amazônia: Nova geografia, nova política regional e nova escala de ação. In M. Coy & G. Kohlhepp (Coords.), *Amazônia sustentável: Desenvolvimento sustentável entre políticas públicas, estratégias inovadoras e experiências locais* (pp. 23-44). Garamond.

Bentes Neto, H. H. P. (2023). Análise bibliométrica na produção científica relacionada à temática gestão hídrica e saneamento na região Amazônica [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará].

- Bentes, H., Costa, J. P. A., & Goncalves, M. S. (2023). Paradoxo da produção na Amazônia: Análise de ações de um laboratório de qualidade para agricultura familiar no município de Barcarena no Pará. In III International Virtual Congress on Sustainable Human Resources (Vol. 1, pp. 137-144). FAPERJ.
- Brown, T. (2009). Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation. Harper-Business.
- Büscher, B., Fletcher, R., Brockington, D., & Neves, K. (2023). Towards an ecological economics of conservation: Embedding conservation in a new paradigm. *Conservation Letters*, 16(4), e12942.
- Castro, C. N. (2022). Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica. Ipea. [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua\\_problemas\\_complexos.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua_problemas_complexos.pdf)
- Creswell, J. W. (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.). SAGE.
- Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conservation Biology*, 19(3), 680-688.
- Ostrom, E. (2009). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.
- Sen, A. (2009). The idea of justice. Harvard University Press.
- Sepe, J. (2018). Gestão de recursos hídricos em áreas de mineração. Editora Ambiental.
- Silva, J. P., Mello, J. W. V., Duarte, H. A., & Ladeira, A. C. Q. (2004). Estudo da mobilidade e da disponibilidade de metais pesados em solos afetados por drenagem ácida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(1), 23-34.
- Sioli, H. (1968). Recursos hídricos da região amazônica: Utilização e preservação. *Revista Brasileira de Ecologia*, 13(1), 1-20.
- Snelson, C. L. (2016). Qualitative and mixed methods social media research: A review of the literature. *International Journal of Qualitative Methods*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.1177/1609406915624574>
- Sperling, E. von, Jardim, F. A., & Grandchamp, C. A. P. (2004). Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: Estudo de caso do lago de Águas Claras – MG. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 9(3), 250-259.
- Sperling, M. von. (2005). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (Vol. 1, 3ª ed.). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG.
- Vaz, P. A. B., & Mendes, M. (1997). Meio ambiente e mineração. *Revista de Tecnologia e Ambiente*, 3(1), 55-67.
- Verb, R. G., & Vis, M. L. (2001). Macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany*, 71(2), 93-107. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(01\)00182-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00182-2)
- Wang, X., Li, X., Zhu, J., & Tanajura, C. (2018). The strengthening of Amazonian precipitation during the wet season driven by tropical sea surface temperature forcing. *Environmental Research Letters*, 13(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aadbb9>
- Wehn, U., & Montalvo, C. (2022). Collaborative innovation in water management: Stakeholder engagement through design thinking processes. *Water Resources Management*, 36(8), 2803-2820. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03160-8>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE.