



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PECCA  
MBA EM PROJETOS SUSTENTÁVEIS E INOVAÇÕES AMBIENTAIS

FABIOLA ESQUERDO DE SOUZA

**A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA CONSERVAÇÃO  
E SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA: O CASO DE DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL CAUSADA PELO GARIMPO ILEGAL NOS RIOS JUAMI E  
PURUE**

CURITIBA - PR  
2025

FABIOLA ESQUERDO DE SOUZA

**A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA CONSERVAÇÃO  
E SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA: O CASO DE DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL CAUSADA PELO GARIMPO ILEGAL NOS RIOS JUAMI E  
PURUE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de MBA em Projetos Sustentáveis e Inovações Ambientais, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientadora Profa: Dra. Solange dos S. Costa

CURITIBA - PR  
2025

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte infinita de sabedoria e força, que me guiou em cada etapa desta jornada, concedendo-me discernimento e perseverança para concluir este trabalho.

Aos professores e a equipe do MBA em Projetos Sustentáveis e Inovações Ambientais, por compartilharem conhecimento com dedicação e por despertarem em mim a busca contínua pelo aprendizado e pela excelência. A cada um de vocês, minha sincera gratidão pelo incentivo e pelas valiosas contribuições ao longo do curso.

Aos meus colegas de turma, pela troca de experiências, pelo apoio mútuo e pela caminhada compartilhada, que tornou essa jornada mais leve e enriquecedora. Aos amigos próximos, por estarem ao meu lado nos momentos desafiadores, oferecendo palavras de encorajamento e suporte incondicional.

À minha querida orientadora, cuja paciência, dedicação e orientação foram fundamentais para a realização deste trabalho. Seu compromisso e apoio foram essenciais para que eu pudesse desenvolver esta pesquisa com segurança e qualidade.

E, principalmente, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor, compreensão e incentivo inabaláveis. Sem vocês, nada disso seria possível. Obrigado por acreditarem em mim e por serem meu porto seguro em todos os momentos.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná pelo curso e estrutura no momento presencial.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista, minha eterna gratidão!

**A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA CONSERVAÇÃO  
E SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA: O CASO DE DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL CAUSADA PELO GARIMPO ILEGAL NOS RIOS JUAMI E  
PURUE**

**THE IMPORTANCE OF REMOTE SENSING FOR THE CONSERVATION  
AND SUSTAINABILITY OF THE AMAZON: THE CASE OF  
ENVIRONMENTAL DEGRADATION CAUSED BY ILLEGAL MINING IN THE  
JUAMI AND PURUE RIVERS**

**LA IMPORTANCIA DEL MONITOREO REMOTO PARA LA CONSERVACIÓN  
Y SOSTENIBILIDAD DE LA AMAZONÍA: EL CASO DE LA DEGRADACIÓN  
AMBIENTAL CAUSADA POR LA MINERÍA ILEGAL EN LOS RÍOS JUAMI Y  
PURUE**

**RESUMO/Abstract/Resumen:** Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os impactos ambientais da mineração ilegal de ouro nos rios Juami e Purue, na Amazônia, entre 2019 e 2023, destacando suas consequências sobre a biodiversidade, os ecossistemas aquáticos e os recursos hídricos da região. Além disso, buscou-se identificar como o sensoriamento remoto pode contribuir para o monitoramento dessa atividade e subsidiar políticas públicas mais eficazes. A análise foi conduzida por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens de satélite para mapear a evolução da mineração ilegal e seus efeitos sobre a cobertura do solo e os corpos hídricos. Foram quantificadas as mudanças nas áreas florestais, alagáveis e mineradas ao longo do período estudado, correlacionando esses dados com possíveis impactos ambientais. Os resultados revelaram um aumento expressivo da mineração ilegal nos dois rios a partir de 2021, com uma expansão de 793,44 hectares no rio Juami e 512,55 hectares no rio Purue. Em 2022, a degradação se intensificou, atingindo 2.493,91 hectares no rio Juami e 2.684,33 hectares no rio Purue, evidenciando impactos como desmatamento, assoreamento e contaminação da água por metais pesados. Em 2023, a mineração ilegal consolidou-se como a principal ameaça ambiental na área, resultando na perda de ecossistemas alagáveis e no aumento da turbidez e da erosão nos cursos d'água. A pesquisa demonstra que a mineração ilegal é um fator crítico de degradação ambiental na Amazônia, exigindo ações urgentes de monitoramento e fiscalização. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência geoespacial pode fortalecer a detecção precoce dessas atividades, permitindo respostas mais rápidas das autoridades ambientais. Além disso, políticas públicas mais rigorosas e alternativas econômicas sustentáveis são essenciais para reduzir a dependência das

comunidades ribeirinhas da mineração ilegal, garantindo a conservação dos ecossistemas amazônicos.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, Mineração ilegal, Degradação ambiental, Recursos hídricos, Políticas públicas ambientais.

**ABSTRACT:** *This research aimed to assess the environmental impacts of illegal gold mining in the Juami and Purue rivers in the Amazon between 2019 and 2023, highlighting its consequences on biodiversity, aquatic ecosystems, and the region's water resources. Additionally, it sought to identify how remote sensing can contribute to monitoring this activity and support more effective public policies. The analysis was conducted using remote sensing and geoprocessing techniques, employing satellite images to map the evolution of illegal mining and its effects on land cover and water bodies. Changes in forested, flooded, and mined areas were quantified throughout the study period, correlating these data with potential environmental impacts. The results revealed a significant increase in illegal mining in both rivers starting in 2021, with an expansion of 793.44 hectares in the Juami River and 512.55 hectares in the Purue River. In 2022, degradation intensified, reaching 2,493.91 hectares in the Juami River and 2,684.33 hectares in the Purue River, highlighting impacts such as deforestation, siltation, and water contamination by heavy metals. By 2023, illegal mining had become the primary environmental threat in the area, leading to the loss of flooded ecosystems and increased turbidity and erosion in watercourses. The research demonstrates that illegal mining is a critical driver of environmental degradation in the Amazon, requiring urgent monitoring and enforcement actions. The use of remote sensing technologies and geospatial intelligence can enhance early detection of these activities, enabling faster responses from environmental authorities. Additionally, stricter public policies and sustainable economic alternatives are essential to reduce the dependence of riverside communities on illegal mining, ensuring the conservation of Amazonian ecosystems.*

**RESUMEN:** *Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los impactos ambientales de la minería ilegal de oro en los ríos Juami y Purue, en la Amazonía, entre 2019 y 2023, destacando sus consecuencias sobre la biodiversidad, los ecosistemas acuáticos y los recursos hídricos de la región. Además, se buscó identificar cómo el monitoreo remoto puede contribuir a la vigilancia de esta actividad y respaldar políticas públicas más eficaces. El análisis se llevó a cabo mediante técnicas de monitoreo remoto y geoprocésamiento, utilizando imágenes satelitales para mapear la evolución de la minería ilegal y sus efectos sobre la cobertura del suelo y los cuerpos de agua. Se cuantificaron los cambios en las áreas boscosas, inundables y mineras a lo largo del período de estudio, correlacionando estos datos con posibles impactos ambientales. Los resultados revelaron un aumento significativo de la minería ilegal en ambos ríos a partir de 2021, con una expansión de 793,44 hectáreas en el río Juami y 512,55 hectáreas en el río*

*Purue. En 2022, la degradación se intensificó, alcanzando 2.493,91 hectáreas en el río Juami y 2.684,33 hectáreas en el río Purue, evidenciando impactos como la deforestación, el asolvamiento y la contaminación del agua por metales pesados. Para 2023, la minería ilegal se consolidó como la principal amenaza ambiental en la zona, provocando la pérdida de ecosistemas inundables y el aumento de la turbidez y la erosión en los cursos de agua. La investigación demuestra que la minería ilegal es un factor crítico de degradación ambiental en la Amazonía, lo que requiere acciones urgentes de monitoreo y fiscalización. El uso de tecnologías de monitoreo remoto e inteligencia geoespacial puede fortalecer la detección temprana de estas actividades, permitiendo respuestas más rápidas por parte de las autoridades ambientales. Además, políticas públicas más rigurosas y alternativas económicas sostenibles son esenciales para reducir la dependencia de las comunidades ribereñas de la minería ilegal, garantizando la conservación de los ecosistemas amazónicos.*

**Keywords:** *Remote sensing, Illegal mining, Environmental degradation, Water resources, Environmental public policies.*

**Palabras clave:** *Monitoreo remoto, Minería ilegal, Degradación ambiental, Recursos hídricos, Políticas públicas ambientales.*

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	3
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
RESUMEN.....	5
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Área de Estudo .....	15
3.2. Material e Métodos .....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
5. CONCLUSÃO .....	37
6. REFERÊNCIAS.....	39

## 1. INTRODUÇÃO

A região da Amazônia é uma área extensa e rodeada de recursos hídricos, ou seja, água doce no qual abriga uma vasta diversidade de fauna e flora aquática. Por sua extensão, é difícil monitorar e realizar a gestão de suas águas e de seu território. A Amazônia é imensa e para atuar em todas as áreas precisa-se de uso de tecnologias. E um dos estados que compõem a Amazônia, o estado do Amazonas possui abundância em recursos hídricos, e é um vasto território, isso pode ser um fator contribuinte para a prática de garimpo ilegal em rios no estado. A mineração em terra vem sendo monitorada por uso de tecnologias, porém para realizar o monitoramento de balsas nos rios que fazem garimpo ilegal precisam ser desenvolvidas técnicas e inovações tecnológicas.

A prática de garimpo ilegal é uma atividade dinâmicas, o qual aparece, muda e desaparece devido as fiscalizações dos órgãos competentes. Nos últimos anos está pratica vem se avançando nos rios da Amazônia, visto que houve pouca fiscalização por parte dos órgãos e proteção na Amazônia para combater a atividade de garimpo ilegal. Na Amazônia a atividade de mineração ilegal em rios, vem sendo utilizados balsas, dragas e mergulhadores. A atividade de garimpo ilegal, vem sendo realizando com garimpo em aluviões (que são depósito de sedimentos, matérias orgânicas e inorgânicas), na margem dos rios com escavadeiras. Tais atividades causam impactos ambientais, sociais e à saúde, impactos esses que a maioria são irreversíveis. Esses fragmentos são depositados por meio de rios, no leito ou nas margens das drenagens. No entanto, essa atividade mexe no fundo dos rios, no primeiro momento causa impacto para a fauna, em especial para os peixes que se alimentam da matéria orgânica que está localizado no ambiente aquático. No segundo momento, nesta atividade não há nenhum tipo de tratamento de rejeitos do mercúrio utilizado para realizar a separação do ouro, rejeitos este que acaba retornando para o rio. Logo, é um impacto significativo de poluição em áreas onde há ocorrência de garimpo ilegal, portanto, o rio tem vida e ele não é estático, pois o rio flui e o impacto acontece em todo ambiente que está sob ele.

Além dos impactos ambientais e saúde causado pela prática do garimpo ilegal também são preocupantes visto que a Amazônia é uma região significativa para o país e para o mundo. Os desvios do curso de rios causados pelo garimpo

ilegal na Amazônia são a principal causa de contaminação dos rios, e solos que estão as margens dos rios, através dos altos níveis de metais pesados que são consequências dessa prática que ameaçam a fauna e flora que estão em sua volta. Os danos ambientais vêm prejudicando a saúde pública da população abastecida pelo rio, entre elas, as comunidades ribeirinhas, tradicionais e povos indígenas que vivem na região onde a mineração ilegal vem acontecendo. Vale ressaltar que as áreas próximas a essa atividade estão localizadas em Áreas Protegidas, visto que as pessoas que residem a estas áreas estão sendo expostas à contaminação por mercúrio por conta do consumo de peixes, além dos danos ambientais, desmatamento e desorganização social.

A pesquisa busca desenvolver novos estudos ambientais que irão avaliar o impacto ambiental, bem como o monitoramento de rios de pequeno porte que estão sendo utilizados na mineração ilegal na região e a preservação da Amazônia. Por meio deste projeto é possível verificar a qualidade da água de rios utilizados com mineração ilegal, que tem influência de doenças de vinculação hídrica que impacta na saúde da população ribeirinha que residem nestas áreas, e os danos causados nos leitos dos rios. Vale ressaltar que o monitoramento de garimpo ilegal exige conhecimentos da área dos rios em períodos de cheias e secas da região, visto que em período de seca a navegabilidade destes rios ficam de difíceis acessos. Em virtude disto, verifica-se a importância destes conhecimentos técnicos para realizarem estudos e pesquisas nesta área que ajudarão na preservação e sustentabilidade da Amazônia.

A aplicação do sensoriamento remoto na Amazônia como estratégia para promover a sustentabilidade ambiental é uma resposta direta aos desafios ambientais críticos enfrentados pela região. Problemas como o garimpo ilegal, o desmatamento, as queimadas e as secas severas são intensificados tanto pela ação antrópica quanto pelas mudanças climáticas globais. Nessa perspectiva, a necessidade de monitoramento contínuo e de grande escala emerge como uma medida essencial para preservar o bioma amazônico e mitigar os impactos negativos desses fenômenos (INPE, 2020; Souza et al., 2021).

O garimpo ilegal na Amazônia tem experimentado uma escalada preocupante, particularmente em áreas remotas. Essa atividade resulta na degradação ambiental, como a poluição de rios por mercúrio e a destruição da

vegetação nativa para extração mineral. O sensoriamento remoto permite a identificação precisa da abertura de áreas de garimpo, mesmo em regiões de difícil acesso, como terras indígenas e unidades de conservação (Ferreira et al., 2019). Imagens de satélite de alta resolução facilitam a detecção de mudanças no uso do solo causadas pela mineração ilegal, possibilitando que as autoridades atuem de maneira mais eficaz no combate a essas práticas (Pereira & Santos, 2020). O impacto ambiental dessa atividade se reflete na emissão de gases de efeito estufa e na contaminação de recursos hídricos, agravando as dificuldades de adaptação da biodiversidade e das comunidades locais às mudanças climáticas (Laurance et al., 2018).

O desmatamento é um dos principais fatores de emissão de gases de efeito estufa na Amazônia, uma vez que a floresta desempenha um papel crucial como sumidouro de carbono (Fearnside, 2020). A remoção da cobertura florestal para fins agropecuários e de exploração madeireira provoca a liberação de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera, exacerbando o aquecimento global. Tecnologias de sensoriamento remoto, como os sistemas PRODES e DETER, desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), permitem o monitoramento em tempo real do desmatamento (INPE, 2020). Esses sistemas possibilitam a detecção de atividades ilegais e a intervenção oportuna das autoridades. A redução da cobertura vegetal compromete a capacidade da floresta de sequestrar carbono, além de alterar o ciclo hidrológico regional, o que intensifica a vulnerabilidade da Amazônia a eventos extremos, como secas prolongadas (Nobre et al., 2016).

As queimadas, frequentemente utilizadas como técnica para limpar áreas de cultivo ou pastagem, são um fenômeno recorrente na Amazônia (Aragão et al., 2018). No entanto, durante a estação seca, essas queimadas podem se descontrolar e se transformar em incêndios florestais de grandes proporções. O sensoriamento remoto desempenha um papel crucial na detecção em tempo real dos focos de incêndio. Satélites com sensores térmicos, como o MODIS e o VIIRS, são capazes de identificar aumentos de temperatura e a presença de fumaça, permitindo que ações de combate ao fogo sejam mobilizadas com rapidez (Anderson et al., 2019). As queimadas contribuem significativamente para a liberação de gases de efeito estufa, agravando o aquecimento global e comprometendo o ciclo de umidade da

floresta, o que, por sua vez, aumenta o risco de novas queimadas (Silva et al., 2020).

A Amazônia, tradicionalmente conhecida por seu clima úmido, tem enfrentado secas cada vez mais intensas e prolongadas nos últimos anos. Esses eventos climáticos afetam gravemente os ecossistemas florestais, a agricultura e as populações que dependem dos recursos hídricos (Marengo et al., 2018). O sensoriamento remoto possibilita o monitoramento de padrões de precipitação e umidade do solo, oferecendo dados fundamentais para prever e mitigar os impactos das secas severas (Brito et al., 2021). A capacidade de monitorar o nível de rios e lagos também é crucial para o planejamento do uso sustentável dos recursos hídricos (Espinoza et al., 2020). As secas exacerbam a degradação da floresta, transformando-a de sumidouro em fonte líquida de carbono, uma vez que a mortalidade das árvores e sua subsequente decomposição liberam grandes quantidades de CO<sub>2</sub> (Davidson et al., 2012).

A interação entre desmatamento, queimadas e secas cria um ciclo vicioso que agrava a vulnerabilidade da Amazônia (Nobre et al., 2016). A remoção da cobertura florestal e a ocorrência de incêndios alteram o ciclo hidrológico, contribuindo para secas mais frequentes e severas. Por sua vez, essas condições aumentam o risco de novas queimadas e dificultam a regeneração da floresta. As mudanças climáticas intensificam esse ciclo, gerando um cenário de crescente degradação ambiental. O sensoriamento remoto, ao oferecer uma visão integrada dessas dinâmicas, possibilita que governos e organizações coordenem esforços para mitigar os impactos ambientais e proteger a floresta de maneira mais eficaz (Bursztyn et al., 2019).

As comunidades indígenas e ribeirinhas, que dependem diretamente dos recursos naturais da floresta, sofrem os impactos das atividades destrutivas, como o garimpo ilegal, o desmatamento e as queimadas. A biodiversidade da região também é severamente afetada, com a perda de habitats e a degradação dos ecossistemas colocando inúmeras espécies em risco de extinção. O uso do sensoriamento remoto para monitorar a saúde dos ecossistemas e identificar áreas vulneráveis é fundamental para a formulação de políticas de adaptação e gestão

sustentável que beneficiem tanto as comunidades locais quanto a preservação da biodiversidade.

O sensoriamento remoto emerge como uma ferramenta essencial para a sustentabilidade ambiental da Amazônia, oferecendo soluções para o monitoramento eficiente dos principais problemas ambientais, como o garimpo ilegal, o desmatamento, as queimadas e as secas severas. No entanto, sua eficácia depende do apoio de políticas públicas robustas, de uma ação governamental coordenada e do envolvimento ativo das comunidades locais. Somente por meio de uma abordagem integrada será possível enfrentar os desafios ambientais da região e promover a conservação do bioma amazônico em face das mudanças climáticas.

Diante do exposto, essa pesquisa objetiva responder a seguinte pergunta “De que forma o sensoriamento remoto pode auxiliar na identificação e o monitoramento contínuo de garimpo ilegal, desmatamento, queimadas e secas severas na Amazônia, e como a integração desses dados pode auxiliar na formulação de políticas públicas mais eficazes de conservação ambiental?”

Esta pesquisa é relevante para uma ampla gama de atores, desde governos até comunidades locais, todos os quais têm um papel importante na proteção da Amazônia. O uso do sensoriamento remoto é uma ferramenta-chave para promover a sustentabilidade, mitigar mudança climática e garantir que políticas públicas eficazes sejam implementadas para preservar a integridade ambiental dessa região crucial.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi analisar como o sensoriamento remoto pode identificar o garimpo ilegal e degradação no uso da terra na Amazônia, avaliando a eficiência dessas tecnologias e a forma como seus dados podem subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficazes de conservação ambiental e na sustentabilidade da Amazônia.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A Amazônia é um dos biomas mais diversos do mundo, atualmente ameaçado pelo desenvolvimento econômico e industrial e pelas mudanças climáticas (QUINTERO et al, 2022). Também a Amazônia possui serviços ecossistêmicos essenciais que contribuem para o bem-estar humano em todo o

planeta (EDWARDS et al., 2019). Além da Amazônia abrigar a maior abundância e diversidade mineral do mundo (MURGUÍA et al., 2016). A atividade mineral possui uma importante relevância econômica, porém traz diversos impactos ambientais negativos, como a supressão total da vegetação nativa e conseqüente redução da fauna (MACDONALD et al., 2015).

Uma das classificações da mineração é a lavra extrativa, esse tipo de mineração é realizada de modo rudimentar, com o uso de máquinas simples e portáteis para a extração de minérios (MARTINS et al, 2022; QUINTERO et al, 2022). Essa prática também é utilizada na mineração de ouro, em que utiliza rústicas técnicas para pesquisa, extração e processamento dos minérios de ouro em diversos países que estão em desenvolvimento (MARSHALL et al, 2020; TEIXEIRA, 2021). A maioria da atividade de mineração extrativista acontece em ecossistemas florestais às margens dos rios, sem monitoramento pelos órgãos competentes, causando impactos ambientais, sociais e culturais (MARTINS et al, 2022).

Os impactos ambientais resultantes da mineração extrativa tem se propagado bem mais como o não cumprimento das exigências legais de minimizar os impactos ocasionados por esta atividade (MARTINS et al, 2022). Conforme o tipo de minério que é extraído, existe uma frequente contaminação de rios e seus afluentes, por causa do lançamento de metais pesados como o que ocorre com a extração de ouro, o qual lança alto nível de mercúrio e assim ocorre a contaminação, além dos danos ocasionados pelas perdas florestais e perda de solo com processo de erosão, altas e crescentes taxas de desmatamento por causa da extração de mineração ilegal (MARTINS et al, 2022; QUINTERO et al, 2022). Os animais são altamente suscetíveis às atividades humanas, como desmatamento, degradação e fragmentação do habitat, exploração direta e perseguição (BOGONI et al., 2020; QUINTERO et al, 2022).

Geralmente, na Amazônia essa prática acontece de modo clandestino e essa atividade de garimpo ilegal, no entanto, vem acontecendo sem o cuidado com o meio ambiente e deste modo trazendo conseqüências ambientais como supressão da vegetação, destruição do solo, instabilidade hidrológica e deslocamento da fauna, tornando um desafio a restauração de ecossistemas degradados. Além do mais, coloca em risco de contaminação a população e o meio ambiente, abrangendo atividades de lançamentos de rejeitos nas águas dos rios (MACDONALD et al.,

2015; MARSHALL et al, 2020, PEREIRA et al, 2020; SOUZA NETO et al, 2020; TEIXEIRA, 2021).

Devido ao nível elevado mercúrio, sua toxicidade e à capacidade de acumulação na cadeia alimentar, é considerado uma substância tóxica estável e podendo colocar em risco a saúde da população, fauna e flora (PINTO et al, 2019). A informação sobre riscos da liberação do mercúrio no meio ambiente em várias maneiras de mineração, é importante para conhecer e auxiliar na tomada de decisão e no direcionamento de políticas públicas pelos órgãos competentes, os quais possam colaborar para minimizar os impactos ambientais relacionados a essa prática (TEIXEIRA, 2021; MARTINS et al, 2022). No entanto, relevante analisar a contaminação por mercúrio resultante de várias maneiras de mineração na Amazônia brasileira, assim como os riscos relacionados ao mercúrio para o meio ambiente e para a saúde da população (TEIXEIRA, 2021).

Os recursos hídricos são cada vez mais uma questão prioritária a nível internacional, com ameaça constante de mudança climática e atividades antrópicas. No entanto, a gestão sustentável dos recursos hídricos precisa ser mais pesquisada, especialmente nos recursos de água doce (ENGSTROM et al., 2020; FOROUMANDI et al, 2023). O aumento do escoamento superficial decorrente do desmatamento modifica a qualidade da água, a hidrodinâmica e morfologia dos rios, além do crescente risco de erosão. No entanto, essas mudanças causam danos aos recursos hídricos de água doce e ecossistema (CASTELO e MACEDO, 2016; ARMIJOS et al, 2020; GILBERTO e WILCOX, 2020; CALVALCANTE et al, 2022). A morfologia dos rios representa uma forma e uma estrutura, apesar da definição de hidromorfologia para ambientes aquáticos, é a harmonia que agrupa um conjunto de parâmetros hidrológicos e morfológicos com interações complexas (ARGILLIER et al, 2023). Esses parâmetros constituem o ambiente de vida dos organismos e, portanto, condicionam a distribuição da biodiversidade e funcionamento do ecossistema. Ser capaz de descrever a hidromorfologia por meio de seus componentes ou processos ecossistêmicos associados, bem como sua alteração é, portanto, um pré-requisito essencial para a conservação e restauração do ecossistema (ARGILLIER et al, 2023).

Nos últimos anos, os avanços no sensoriamento remoto mostraram aplicações práticas em estudos hidrológicos e estudos ambientais (FOROUMANDI

et al, 2023). As técnicas de monitoramento por satélite, por outro lado, são de baixo custo, fornecendo condições de qualidade ambiental em escalas espaciais e temporais extensas. (LIU et al., 2020). A combinação de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para medir a qualidade da água permite aos pesquisadores monitorar as mudanças em vários parâmetros de qualidade ambiental em escalas temporais e espaciais que nem sempre são facilmente aparentes em medições in situ (CARSTENS e AMER, 2019). Além de estudos relacionando uso e ocupação do solo e parâmetros limnológicos (GU et al., 2019). O ordenamento do uso e ocupação da terra objetiva garantir a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, consistindo em um planejamento e gestão de bacia hidrográfica, além de proteger o meio ambiente (SILVA, 2016). E utilização de técnicas de avaliação de risco e avaliação de impacto ambiental que pode ser usada para identificar os riscos e medir os danos ambientais causadas pelo garimpo ilegal em rios da Amazônia.

Na Amazônia a coleta de dados sobre todos os aspectos, não é uma atividade simples de realizar. Por ser uma extensa área territorial possui informações insuficientes, e as que se encontram a disposição, ficam dispersas entre os diversos institutos criadores destas informações. Todavia, as informações disponíveis são os fatores com grande relevância para tomadas de decisão dos gestores (SANTIAGO et al., 2019). Diante do exposto, o objetivo geral da presente pesquisa é avaliar os impactos ambientais gerados pela atividade de garimpo ilegal em rios da Amazônia. Visto que identificar e quantificar esses danos são de grande importância para tomar medidas de ação para minimizar os impactos causados por essa prática em rios que em alguns casos estão em áreas de proteção ambiental e no território da Amazônia brasileira. É importante frisar que a Amazônia é rica em fauna, flora e recursos hídricos, além de fazer um papel importante para o meio ambiente do Brasil e do mundo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de Estudo**

A área de estudo fica localizado nos rios Juami e Purue (Figura 1), os dois situam no estado do Amazonas, e é um afluente do rio Japurá. Para a extração dos

rios Juami e Purue, foi realizado download MDE Copernicus de 30m da ferramenta Open Topography inserida no software QGIS, e em seguida foi realizada o processamento para a extrair o formato Shapefiles, da hidrografia, foi realizado um buffer de 12 km para analisar o impacto ao entrono dos rios em estudo.

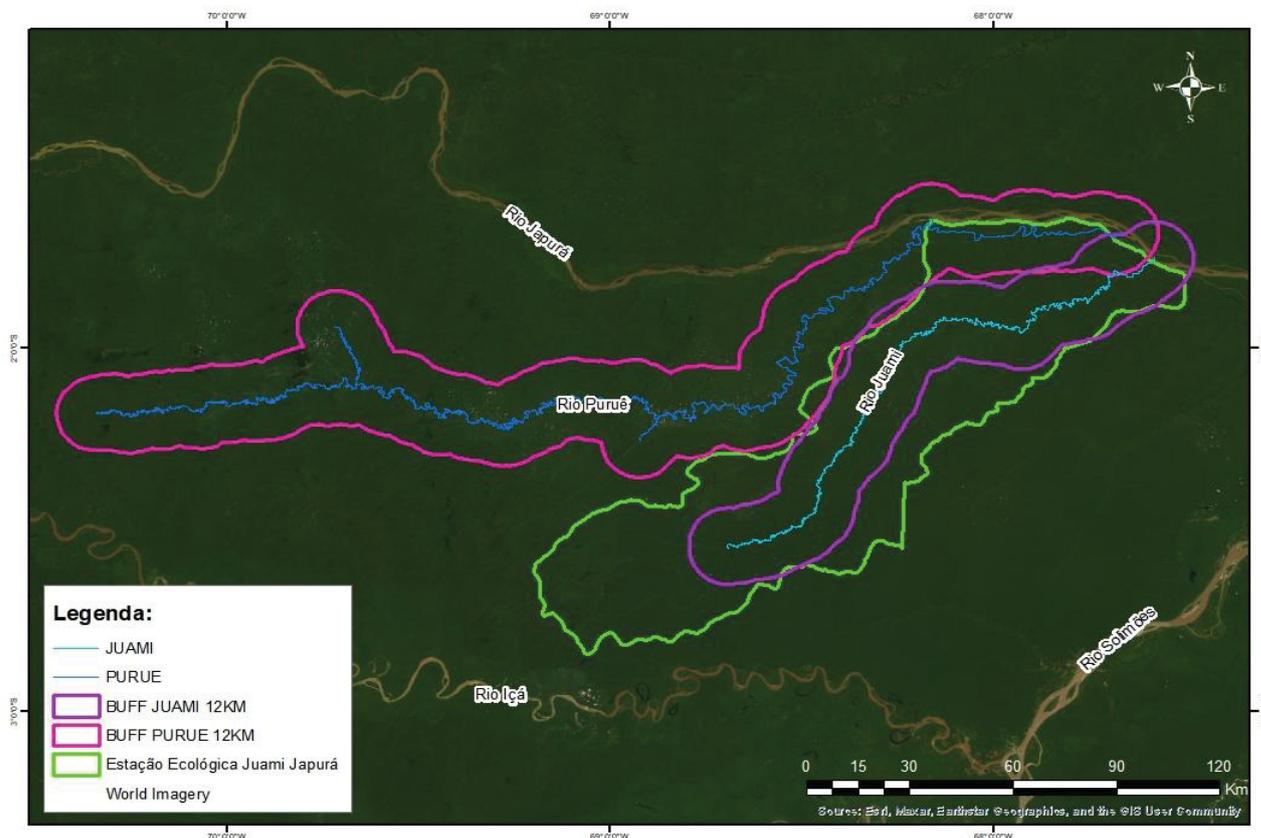


Figura 1: Localização da Área de Estudo – Rios Juami e Purue.  
Fonte: Autoras (2024).

### 3.2. Material e Métodos

As imagens classificadas do uso e cobertura da terra de entorno dos rios Juami e Purue, foram realizadas, de forma a se localizar as maiores classes com grande capacidade de ações antrópicas. Os dados processados do MapBiomas estão hospedado no Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>). Foram utilizadas imagens do Landsat 5 TM e Landsat 8/9 OLI com resolução de 30 metros ambas as imagens, dos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023. Em seguida foi realizada correção geométrica e atmosférica no sistema de projeção cartográfica UTM/WGS84 (VERMOTE et al., 2016), e também foi realizado o cálculo de área do buffer de 12 km dos rios Juami e Purue, após esse procedimento, foi realizado o recorte da área de estudo. Este processo foi aplicado nos softwares QGIS e ArcGIS, utilizado por Vasconcellos et al (2013) e Junior (2015) em seus estudos.

A Figura 2 apresenta as etapas metodológicas dos procedimentos adotados na análise temporal do uso e ocupação da terra do entorno dos rios Juami e Purue de um buffer 12 km, destacando as fases de pré-processamento (correção geométrica, projeção), processamento (as imagens foram adquiridas classificadas, em seguida foi realizada recorte de imagens e cálculo de área), pós-processamento (elaboração dos mapas e tabulação dos dados) e análise quantitativa e dos mapas.

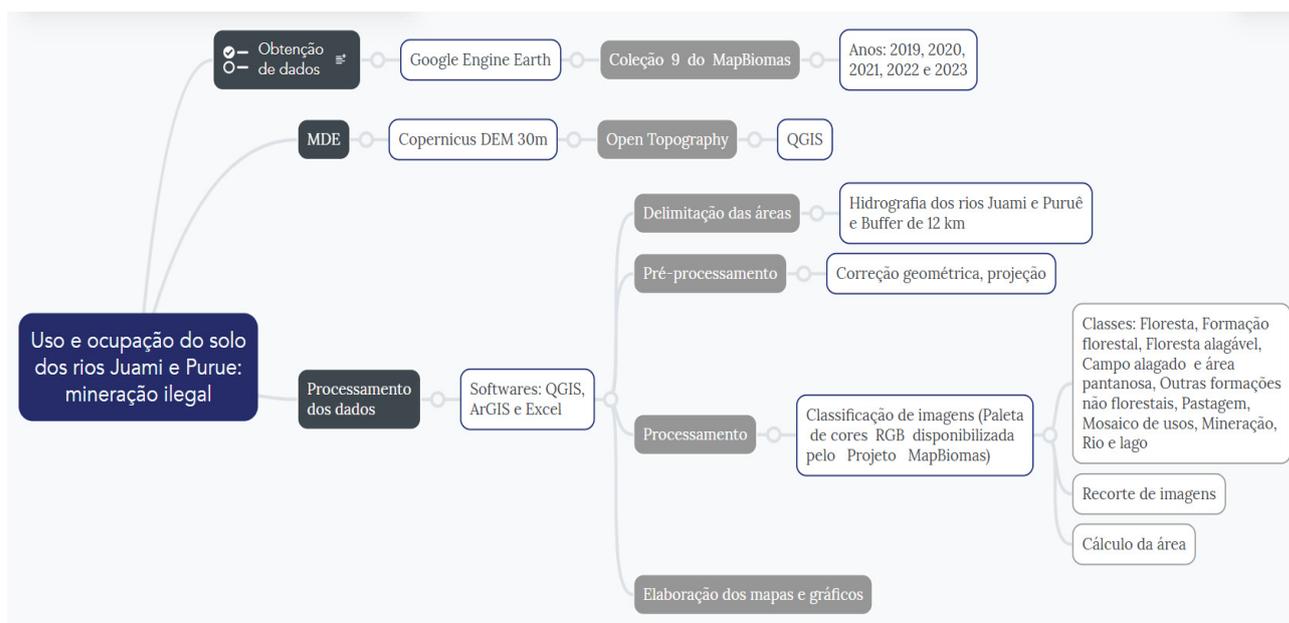


Figura 2: Procedimentos da pesquisa de análise espaço-temporal dos Rios Juami e Purue.

Fonte: Autoras (2025).

Este estudo propõe o uso de técnicas avançadas de sensoriamento remoto para abordar os desafios ambientais críticos da Amazônia, com ênfase em atividades ilegais, como o garimpo (Figura 3 e 4) e na promoção da sustentabilidade. A pesquisa será orientada por quatro objetivos principais:

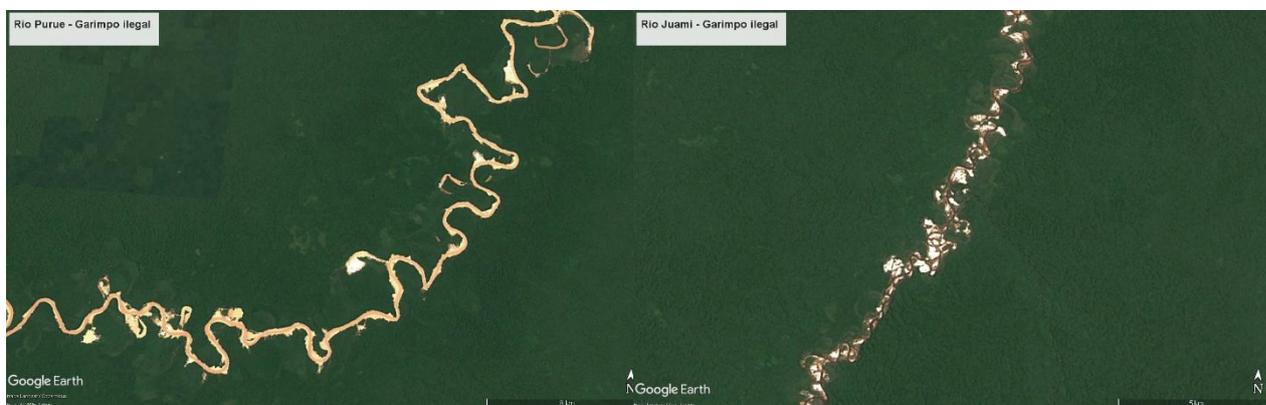


Figura 3: Exemplo de degradação causada por garimpo/mineração ilegal no Rio Purue.  
Fonte: Google Earth (2021).

Figura 4: Exemplo de degradação causada por garimpo/mineração ilegal no Rio Juami.  
Fonte: Google Earth (2021).

**Detecção de Atividades Ilegais e Eventos Ambientais Críticos:** Essa pesquisa visa empregar tecnologias de sensoriamento remoto para identificar atividades ilegais, como garimpo e desmatamento. A identificação precoce e precisa dessas atividades é crucial para permitir respostas mais ágeis e eficazes por parte das autoridades competentes.

**Mapeamento das Áreas Mais Vulneráveis:** O estudo consiste no mapeamento das áreas da Amazônia mais vulneráveis ao garimpo ilegal e desmatamento, utilizando dados de sensoriamento remoto do Mapbiomas. A pesquisa se dedicou na identificação de padrões geográficos e temporais dessas atividades. Ao fornecer uma compreensão mais abrangente das dinâmicas que afetam a floresta, o estudo possibilitou a criação de estratégias mais eficazes de conservação e gestão ambiental.

**Impacto nas Políticas Públicas Ambientais:** O intuito do estudo também foi avaliar como os dados gerados por tecnologias de sensoriamento remoto estão sendo integrados na formulação e implementação de políticas públicas ambientais. A pesquisa analisou a eficácia com que órgãos governamentais utilizam esses dados para criar e aplicar medidas de conservação, bem como para reforçar a fiscalização de práticas ilegais, como o desmatamento. Essa análise contribuirá para o entendimento de como a ciência e a tecnologia podem subsidiar a tomada de decisões mais informadas e baseadas em evidências científicas.

**Promoção da Sustentabilidade na Amazônia:** Esse trabalho teve como intuito explorar o potencial do sensoriamento remoto para fomentar práticas sustentáveis na Amazônia. O estudo investigou como essas tecnologias podem apoiar o manejo florestal sustentável, a proteção de áreas indígenas e a conservação de recursos hídricos, especialmente no contexto das mudanças climáticas. O sensoriamento remoto foi analisado como uma ferramenta estratégica para garantir o desenvolvimento sustentável da região, promovendo a preservação dos ecossistemas amazônicos e o bem-estar das populações que dependem deles.

Em conjunto, essas informações proporcionam uma abordagem integrada que alia os avanços tecnológicos ao combate à degradação ambiental e à promoção da sustentabilidade na Amazônia. O estudo contribuirá diretamente para a formulação de políticas públicas mais eficazes e fundamentadas em dados

científicos, oferecendo subsídios para a tomada de decisão governamental e o fortalecimento da governança ambiental na região.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o uso da terra no rio Juami em 2019 (Gráfico 1), indica uma paisagem predominantemente natural, com a formação florestal cobrindo 364.959,52 hectares, representando a maior parte da área estudada. A floresta alagável também ocupa uma extensão significativa, totalizando 59.141,20 hectares, desempenhando um papel essencial na biodiversidade e no equilíbrio hidrológico da região. Os rios e lagos cobrem 9.626,63 hectares, mantendo-se como elementos fundamentais no sistema ambiental local. As áreas de campo alagado e pantanoso aparecem em menor escala, com 431,85 hectares, enquanto as pastagens (4,85 hectares) e a formação campestre (1,07 hectares) representam parcelas insignificantes da ocupação do solo. Vale destacar que não há registros de mineração nesta análise, o que sugere que, até esse período, a atividade mineradora ainda não havia se expandido na região ou era mínima o suficiente para não ser detectada. Esses resultados refletem um ambiente relativamente preservado em 2019, mas ressaltam a necessidade de monitoramento contínuo, pois mudanças futuras podem impactar a integridade ecológica do rio Juami e seus ecossistemas associados.

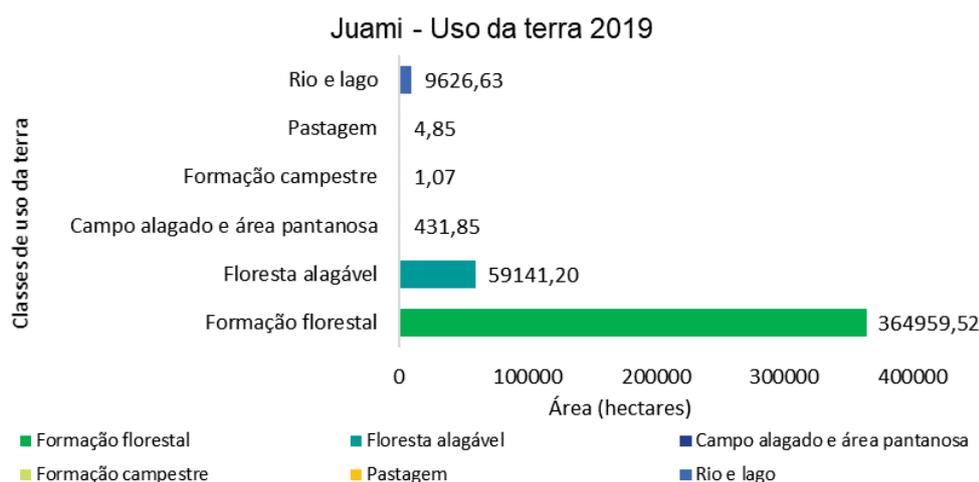


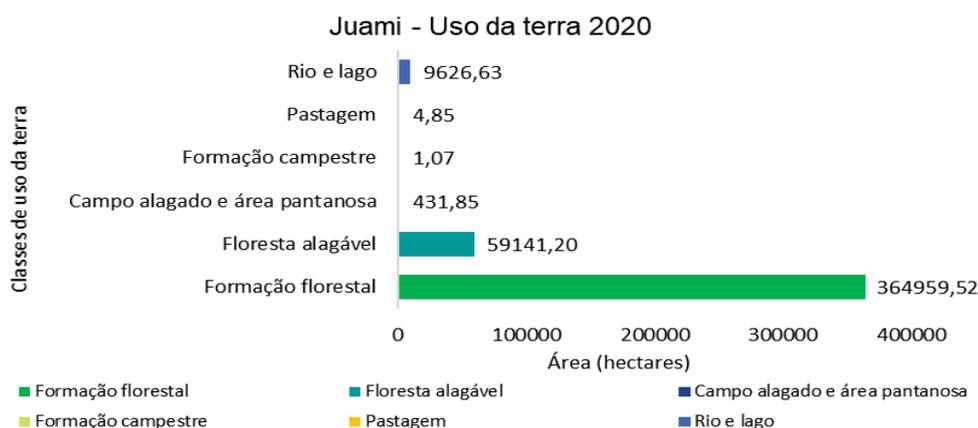
Gráfico 1: Análise espaço temporal do Rio Juami - 2019.

Fonte: Autoras (2025).

A pesquisa sobre o uso da terra no rio Juami em 2020 (Gráfico 2), mostra um cenário praticamente inalterado em relação a 2019, com a formação florestal

permanecendo dominante, ocupando 364.959,52 hectares. A floresta alagável também manteve sua extensão em 59.141,20 hectares, reforçando a estabilidade dos ecossistemas aquáticos e úmidos da região. As áreas de rios e lagos permaneceram constantes, cobrindo 9.626,63 hectares, enquanto as zonas de campo alagado e pantanoso continuaram ocupando 431,85 hectares. Pequenos usos do solo, como pastagem (4,85 hectares) e formação campestre (1,07 hectares), mantiveram sua participação irrelevante na paisagem. Não houve registro de mineração, sugerindo que até esse período a atividade garimpeira ainda não havia se expandido na região. A ausência de mudanças significativas reforça a ideia de que o ambiente se manteve relativamente preservado até 2020, mas ressalta a necessidade de monitoramento contínuo, pois os anos seguintes demonstraram um aumento expressivo na atividade mineradora e seus impactos sobre a biodiversidade e os recursos hídricos do rio Juami.

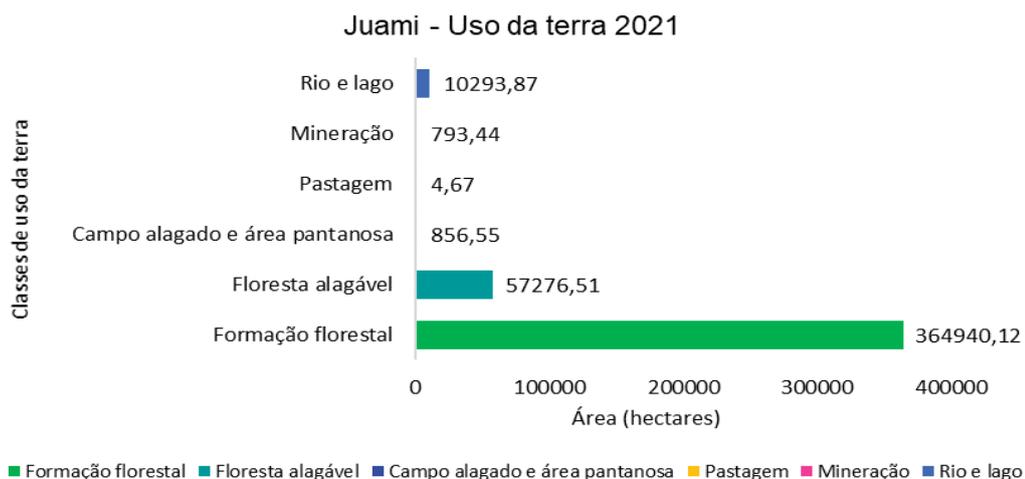
A estabilidade ambiental observada no rio Juami até 2020 contrasta fortemente com os impactos registrados a partir de 2021, quando a expansão do garimpo ilegal resultou na degradação dos ecossistemas aquáticos e na contaminação dos recursos hídricos. Segundo Freita e Bühring (2022), a poluição dos rios associada à atividade garimpeira contribuiu para o aumento de doenças e da subnutrição entre as comunidades locais, agravando a crise socioambiental. Além disso, o desmatamento e a exposição ao mercúrio intensificaram os danos ambientais, indicando que a mineração ilegal não apenas compromete a biodiversidade, mas também representa uma ameaça direta à saúde e ao bem-estar das populações ribeirinhas. Assim, a necessidade de monitoramento contínuo apontada na pesquisa sobre o rio Juami torna-se ainda mais urgente diante dos impactos negativos identificados nos anos subsequentes.



**Gráfico 2: Análise espaço temporal do Rio Juami - 2020.**

Fonte: Autoras (2025).

Para a análise no rio Juami em 2021 (Gráfico 3), evidencia as primeiras mudanças significativas na paisagem, especialmente com o surgimento da mineração, que passou a ocupar 793,44 hectares, uma área inexistente nos levantamentos anteriores. Esse crescimento da atividade mineradora representa um alerta para potenciais impactos ambientais, como desmatamento, assoreamento dos rios e contaminação da água por resíduos da extração mineral. A formação florestal, embora ainda predominante, sofreu uma leve redução, ficando em 364.940,12 hectares, enquanto a floresta alagável também diminuiu para 57.276,51 hectares, indicando possíveis interferências na dinâmica hídrica e ecológica da região. O aumento na área de rios e lagos, que passou para 10.293,87 hectares, pode estar associado a processos de erosão e sedimentação causados pela exploração do solo. Já as áreas de campo alagado e pantanoso apresentaram um crescimento, atingindo 856,55 hectares, possivelmente refletindo alterações na drenagem e no regime hídrico. Apesar dessas mudanças, os outros usos da terra, como pastagem (4,67 hectares), continuam sendo pouco expressivos. Esses dados demonstram que 2021 marcou o início da degradação ambiental impulsionada pela mineração no rio Juami, ressaltando a necessidade urgente de monitoramento ambiental contínuo para evitar a expansão descontrolada da atividade e seus impactos sobre a biodiversidade e os recursos hídricos da região.



**Gráfico 3: Análise espaço temporal do Rio Juami - 2021.**

Fonte: Autoras (2025).

Os impactos observados no rio Juami em 2021 seguem um padrão recorrente de degradação ambiental associado à mineração de ouro na Amazônia. Estudos apontam que essa atividade, tanto legal quanto ilegal, tem historicamente causado desmatamento, contaminação dos recursos hídricos e alterações na paisagem (Sonter et al., 2017; Malm, 1998; Asner et al., 2013; Kahhat et al., 2019). A correlação entre a expansão do garimpo e a redução da cobertura florestal no rio Juami reforça a previsibilidade desses danos e a necessidade de estratégias eficazes de mitigação. Sem fiscalização rigorosa e políticas de conservação, a mineração continuará comprometendo a biodiversidade e os recursos hídricos da região. Diante disso, ações preventivas e programas de recuperação ambiental são fundamentais para conter a degradação e preservar a sustentabilidade amazônica.

Na análise do rio Juami em 2022 (Gráfico 4) revela uma expansão acelerada da mineração, que aumentou de 793,44 hectares em 2021 para 2.493,91 hectares, um crescimento de mais de 200%. Esse avanço da atividade mineradora representa uma grave ameaça ambiental, com possíveis impactos no desmatamento, assoreamento dos rios e contaminação da água por rejeitos da extração mineral. A formação florestal, que continua sendo a cobertura predominante, sofreu uma leve redução, passando para 364.918,23 hectares, enquanto a floresta alagável teve uma nova diminuição, totalizando 56.092,11 hectares, o que pode indicar alterações na dinâmica hídrica devido à degradação ambiental. Além disso, as áreas de campo alagado e pantanoso sofreram uma forte redução, passando de 856,55 hectares em

2021 para apenas 200,23 hectares, evidenciando a possível influência da mineração na perda de ecossistemas úmidos. Já a área de rios e lagos aumentou para 10.446,15 hectares, possivelmente em decorrência de erosão e assoreamento dos cursos d'água. Esses resultados demonstram que 2022 foi um ano crítico para a intensificação da degradação ambiental na região do rio Juami, ressaltando a necessidade urgente de monitoramento, fiscalização rigorosa e políticas de conservação ambiental para conter os impactos negativos dessa expansão descontrolada da mineração.

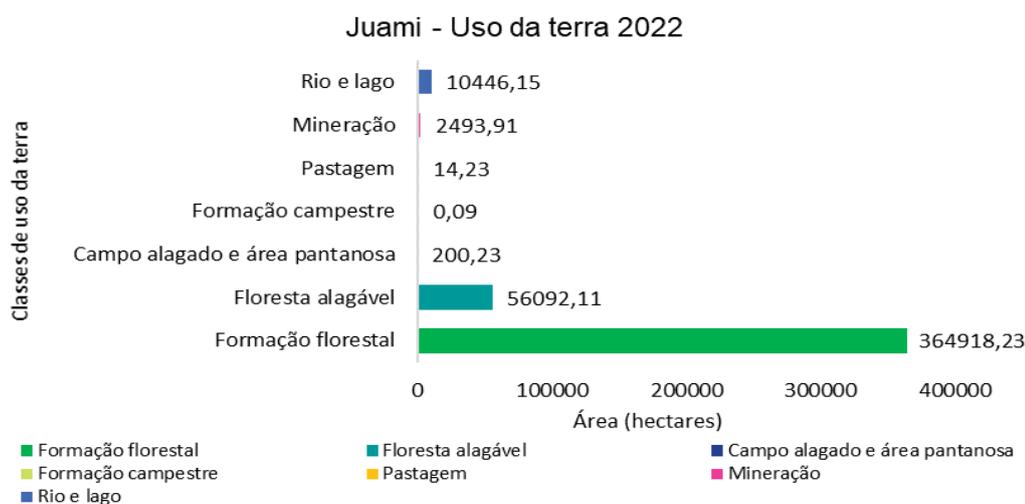


Gráfico 4: Análise espaço temporal do Rio Juami - 2022.

Fonte: Autoras (2025).

O rio Juami em 2022, evidenciada pelo aumento de mais de 200% da área minerada, está diretamente ligada ao crescimento da demanda internacional por ouro, que tem impulsionado a exploração de novas áreas, incluindo territórios sensíveis na Amazônia. Conforme apontado por Alvarez-Berrios e Aide (2015), a pressão do mercado global tem levado à intensificação da atividade mineradora em áreas pouco estudadas, muitas delas sobrepostas a territórios indígenas e unidades de conservação no Brasil. O fato de o país figurar entre os dez maiores produtores de ouro do mundo (Reuters, 2020; World Gold Council, 2020) reforça essa relação, pois o incentivo econômico, aliado à alta valorização do metal, impulsiona a extração, frequentemente sem o devido controle ambiental. A degradação ambiental observada no rio Juami, com a perda de ecossistemas úmidos, assoreamento de rios e contaminação da água, insere-se nesse contexto global de expansão do setor minerário, onde a demanda externa estimula atividades locais com impactos

ecológicos severos. Esse confronto evidencia que a destruição ambiental na Amazônia não ocorre de maneira isolada, mas está profundamente conectada a dinâmicas econômicas globais, ressaltando a necessidade de políticas de fiscalização eficazes e estratégias de conservação para conter os danos.

A pesquisa sobre o uso da terra no rio Juami em 2023 (Gráfico 5) evidencia a continuidade da degradação ambiental, especialmente devido ao avanço da mineração, que atingiu 2.495,46 hectares, mantendo-se próxima ao valor de 2022 (2.493,91 hectares). Esse dado reforça a consolidação da atividade mineradora na região, com potenciais impactos negativos sobre os recursos hídricos e a biodiversidade local. A formação florestal continua predominando, ocupando 364.914,82 hectares, com uma variação mínima em relação ao ano anterior. Entretanto, a floresta alagável sofreu nova redução, passando para 55.268,61 hectares, indicando possíveis alterações no ciclo hídrico da região. As áreas de campo alagado e pantanoso continuaram em declínio, totalizando 142,28 hectares, o que pode estar associado à drenagem e modificações no regime hidrológico causadas pela mineração. Já a área de rios e lagos aumentou para 11.262,88 hectares, o que pode ser um reflexo do assoreamento e erosão intensificados pela atividade mineradora. Esses resultados reforçam a necessidade de ações urgentes de monitoramento ambiental e políticas de conservação mais rigorosas, a fim de conter a degradação e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas do rio Juami.

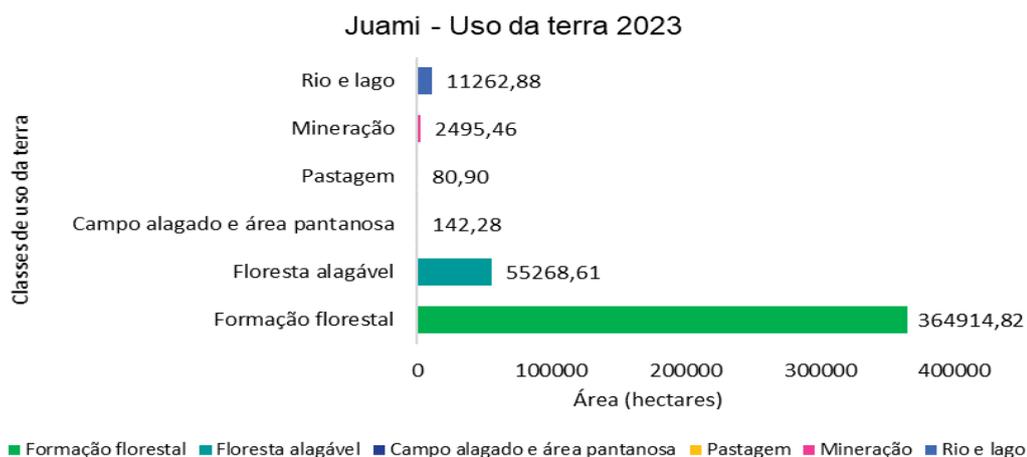


Gráfico 5: Análise espaço temporal do Rio Juami - 2023.

Fonte: Autoras (2025).

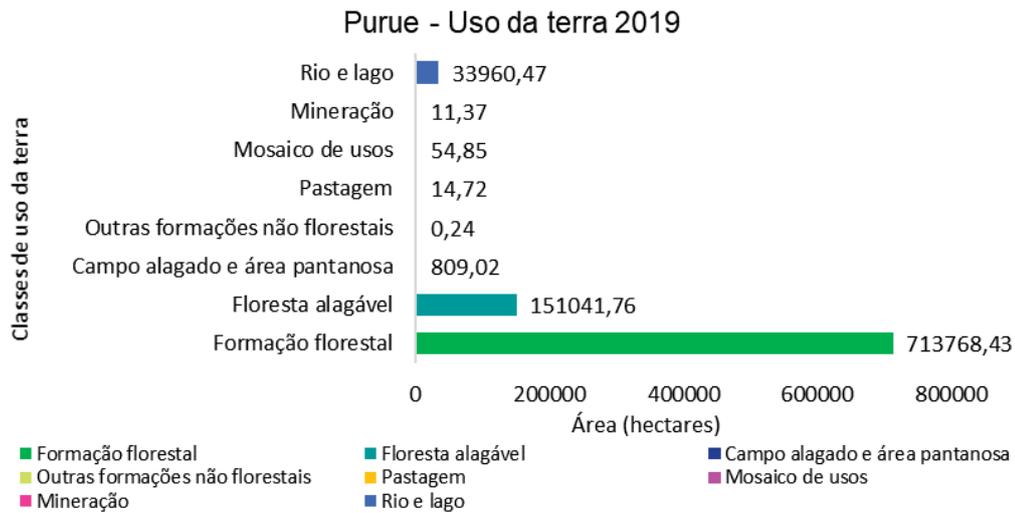
A degradação ambiental no rio Juami em 2023, impulsionada pelo avanço da mineração, está diretamente ligada à vulnerabilidade socioeconômica das

comunidades ribeirinhas, que veem no garimpo uma alternativa de subsistência diante da falta de oportunidades (Pestana et al., 2022). A valorização do ouro após a pandemia tornou a mineração ainda mais atrativa (Pontes, 2021), agravando o fluxo migratório de garimpeiros e acelerando a conversão de ecossistemas florestais e alagáveis em áreas degradadas (Pestana et al., 2022). A redução da floresta alagável e o aumento da área de rios e lagos indicam a intensificação de processos erosivos e do assoreamento, reforçando a necessidade de políticas públicas que conciliem conservação ambiental e alternativas econômicas sustentáveis. Sem estratégias eficazes, a tendência é que a mineração continue comprometendo a biodiversidade e os recursos hídricos da Amazônia.

A análise no rio Juami entre os anos de 2019 e 2023 revela uma transformação progressiva da paisagem, marcada especialmente pelo avanço da mineração e a degradação de ecossistemas alagáveis. Nos anos de 2019 e 2020, a região se manteve relativamente preservada, com a formação florestal predominando em 364.959,52 hectares, a floresta alagável em torno de 59.141,20 hectares e nenhuma atividade mineradora registrada. No entanto, a partir de 2021, houve o surgimento da mineração, ocupando 793,44 hectares, e uma leve redução da floresta alagável para 57.276,51 hectares, além do aumento de áreas alagadas e pantanosas para 856,55 hectares, sugerindo impactos iniciais da degradação ambiental. O ano de 2022 marcou uma expansão drástica da mineração, que saltou para 2.493,91 hectares, acompanhada de um declínio das áreas de floresta alagável (56.092,11 hectares) e de campo alagado (200,23 hectares), além do aumento da área de rios e lagos (10.446,15 hectares), possivelmente causado por processos de erosão e assoreamento. Em 2023, a mineração manteve-se elevada, atingindo 2.495,46 hectares, enquanto a floresta alagável seguiu em declínio, chegando a 55.268,61 hectares, e as áreas de campo alagado diminuíram ainda mais para 142,28 hectares, reforçando a tendência de degradação progressiva da região. O crescimento da área de rios e lagos para 11.262,88 hectares sugere a intensificação de processos erosivos relacionados à extração mineral. Esses resultados demonstram que, entre 2019 e 2023, a mineração ilegal se consolidou como um dos principais vetores de degradação ambiental no rio Juami, impactando ecossistemas frágeis e exigindo medidas urgentes de monitoramento, fiscalização e conservação ambiental para conter os danos e preservar a biodiversidade local.

A transformação progressiva da paisagem no rio Juami entre 2019 e 2023, impulsionada pela expansão da mineração ilegal, reflete um padrão observado na produção de ouro no Brasil, onde grande parte da extração ocorre sem rastreabilidade (Manzolli et al., 2021). Entre 2019 e 2020, estima-se que 66% da produção de ouro no país tenha sido de origem desconhecida ou ilegal, resultando na liberação de até 195 toneladas de mercúrio no meio ambiente, com cerca de 90 toneladas despejadas diretamente nos rios (Pestana et al., 2022). Esse cenário sugere que a degradação dos ecossistemas alagáveis no rio Juami pode estar associada não apenas à conversão da paisagem, mas também à contaminação dos recursos hídricos por metais pesados. Assim, a relação entre a expansão da mineração e os impactos ambientais reforça a necessidade de monitoramento rigoroso e estratégias eficazes de fiscalização para conter os danos e preservar a biodiversidade local.

A pesquisa no rio Purue em 2019 (Gráfico 6) revela uma paisagem amplamente preservada, com a formação florestal dominando a região e ocupando 713.768,43 hectares, seguida pela floresta alagável, que cobre 151.041,76 hectares, desempenhando um papel essencial na manutenção da biodiversidade e do equilíbrio hidrológico. Os rios e lagos representam 33.960,47 hectares, sendo fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos locais. Áreas de campo alagado e pantanoso cobrem 809,02 hectares, contribuindo para a estabilidade hídrica da região. Outras formas de uso da terra, como mosaico de usos (54,85 hectares), pastagem (14,72 hectares) e formações não florestais (0,24 hectares), apresentam valores pouco expressivos, indicando baixa intervenção humana. A mineração, com apenas 11,37 hectares, aparece em escala insignificante, sugerindo que, até esse período, a atividade extrativa ainda não representava uma ameaça significativa para a região. Esses resultados demonstram que, em 2019, o rio Purue ainda mantinha um ambiente predominantemente natural, ressaltando a necessidade de monitoramento contínuo, especialmente devido ao crescimento acelerado da mineração observado nos anos subsequentes.

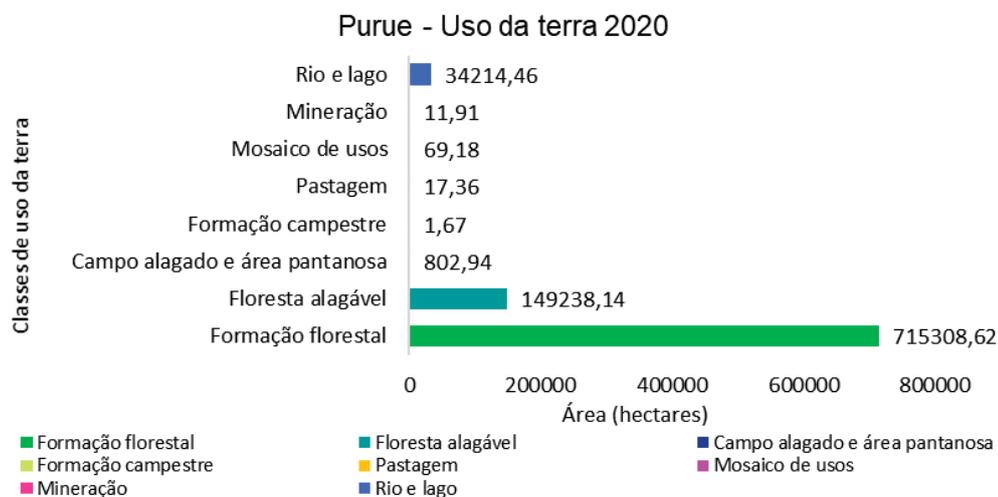


**Gráfico 6: Análise espaço temporal do Rio Purue - 2019.**  
 Fonte: Autoras (2025).

Os resultados da pesquisa sobre o rio Purue em 2019 indicam que a região ainda mantinha um ambiente relativamente preservado, mas alertavam para a necessidade de monitoramento contínuo diante do crescimento acelerado da mineração nos anos seguintes. Esse cenário reforça a importância de estratégias eficazes de mitigação e compensação dos impactos ambientais e sociais da mineração, como destacado por Nico et al. (2024), que apontam a necessidade de regulamentações governamentais e adesão voluntária a diretrizes ambientais para minimizar os danos causados pela atividade minerária. No entanto, a expansão desenfreada da mineração observada no rio Purue nos anos subsequentes sugere que tais medidas ainda são insuficientes ou não têm sido devidamente aplicadas, evidenciando a urgência de ações mais rigorosas para garantir a sustentabilidade ambiental e social da região.

Para a análise no rio Purue em 2020 (Gráfico 7) indica que a região ainda permanecia predominantemente preservada, com a formação florestal cobrindo 715.308,62 hectares, apresentando um leve aumento em relação a 2019. A floresta alagável, essencial para a biodiversidade e a regulação hídrica, sofreu uma pequena redução, ocupando 149.238,14 hectares. As áreas de rios e lagos aumentaram para 34.214,46 hectares, sugerindo estabilidade na dinâmica hídrica. O campo alagado e áreas pantanosas, com 802,94 hectares, apresentou leve redução em relação ao ano anterior, enquanto categorias menores, como mosaico de usos (69,18 hectares),

pastagem (17,36 hectares) e formações campestres (1,67 hectares), permaneceram com pouca representatividade na paisagem. A mineração, com apenas 11,91 hectares, continuou sendo insignificante, sem apresentar expansão significativa que representasse riscos ambientais imediatos. Esses dados indicam que, até 2020, o rio Purue ainda mantinha um ecossistema relativamente estável e bem conservado, porém a leve redução de áreas alagáveis poderia ser um indicativo de futuras transformações, tornando-se essencial o monitoramento contínuo para detectar possíveis mudanças nos anos seguintes.



**Gráfico 7: Análise espaço temporal do Rio Purue - 2020.**  
Fonte: Autoras (2025).

A pesquisa no rio Purue em 2021 (Gráfico 8) revela um aumento significativo da mineração, que passou de 11,91 hectares em 2020 para 512,55 hectares, indicando uma expansão expressiva da atividade extrativa, que pode trazer impactos ambientais como assoreamento dos rios, desmatamento e contaminação da água. Apesar disso, a formação florestal continua sendo a classe predominante, cobrindo 714.234,35 hectares, com uma leve redução em relação ao ano anterior. A floresta alagável, essencial para a biodiversidade e o equilíbrio hidrológico, manteve-se relativamente estável, ocupando 149.616,49 hectares. A área de rios e lagos aumentou levemente para 34.296,58 hectares, enquanto as zonas de campo alagado e áreas pantanosas cresceram para 910,40 hectares, possivelmente refletindo mudanças no regime hidrológico. Outras categorias, como mosaico de usos (58,31 hectares), pastagem (35,69 hectares) e formações não florestais, continuam com pouca representatividade. Esses resultados demonstram que, a

partir de 2021, a mineração começou a se expandir no rio Purue, representando uma potencial ameaça ambiental, tornando fundamental o monitoramento contínuo e a implementação de estratégias de conservação para evitar danos irreversíveis aos ecossistemas da região.

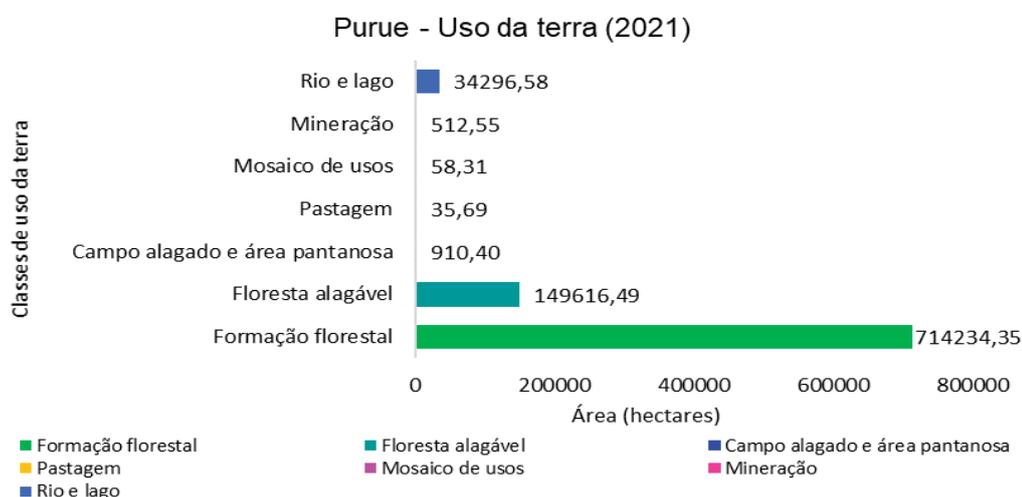


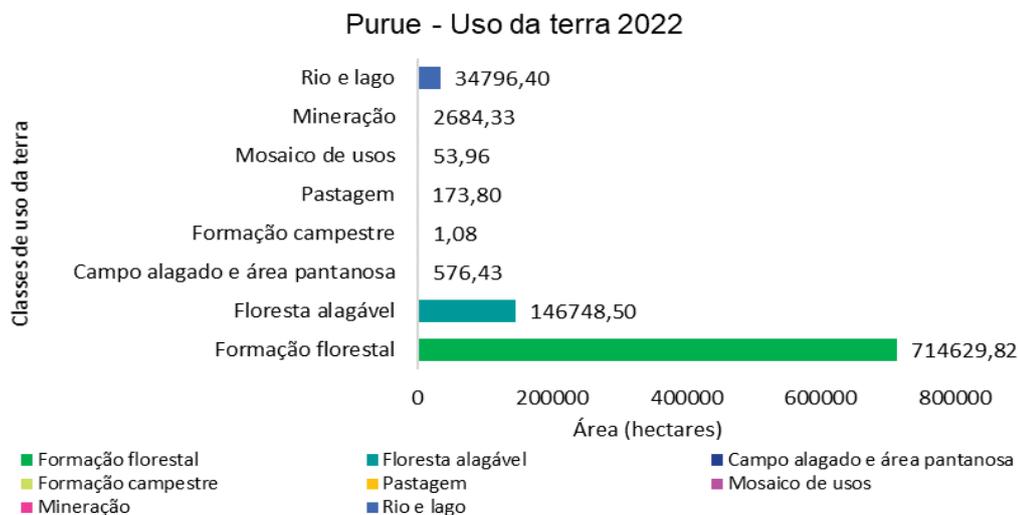
Gráfico 8: Análise espaço temporal do Rio Purue - 2021.

Fonte: Autoras (2025).

O aumento expressivo da mineração no rio Purue em 2021, passando de 11,91 para 512,55 hectares, reforça a preocupação com os impactos ambientais e sociais já observados em outros rios amazônicos afetados pelo garimpo ilegal. A expansão dessa atividade compromete a estabilidade dos ecossistemas aquáticos, intensificando o assoreamento dos rios, a degradação da biodiversidade e a contaminação dos peixes, o que afeta diretamente as comunidades ribeirinhas que dependem do pescado como principal fonte de proteína (Guimarães, 2000; Mol e Ouboter, 2004). Esses impactos já foram evidenciados em casos como o do rio Tapajós, onde a Polícia Federal desmantelou um garimpo ilegal que estava poluindo praias turísticas e comprometendo a qualidade da água (Serapião e Ladeira, 2022). Diante disso, a rápida expansão da mineração no rio Purue destaca a necessidade urgente de monitoramento ambiental e fiscalização para evitar que o curso do rio siga o mesmo padrão de degradação já documentado em outras áreas da Amazônia.

A análise no rio Purue em 2022 (Gráfico 9) revela um crescimento alarmante da mineração, que saltou de 512,55 hectares em 2021 para 2.684,33 hectares, um aumento de mais de 400%, indicando um avanço descontrolado da atividade

extrativa. Esse crescimento representa uma grave ameaça ambiental, podendo provocar assoreamento dos rios, contaminação da água por metais pesados e degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres. A formação florestal continua predominando, ocupando 714.629,82 hectares, com uma leve redução em relação ao ano anterior. No entanto, a floresta alagável sofreu uma nova diminuição, passando para 146.748,50 hectares, o que pode indicar impactos no regime hidrológico devido ao desmatamento e mudanças na drenagem. A área de campo alagado e pantanoso também reduziu significativamente, totalizando 576,43 hectares, reforçando os sinais de degradação ambiental. Por outro lado, a área de rios e lagos aumentou para 34.796,40 hectares, sugerindo processos erosivos e de sedimentação associados à extração mineral. Esses dados mostram que 2022 foi um ano crítico para o avanço da mineração no rio Purue, evidenciando a necessidade urgente de fiscalização rigorosa e de ações de conservação ambiental para conter os impactos negativos e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e ecossistemas da região.



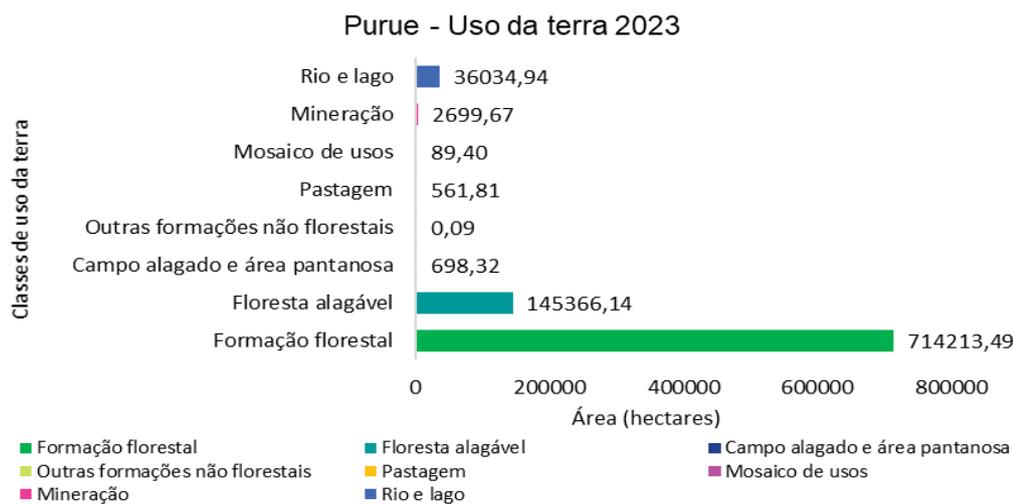
**Gráfico 9: Análise espaço temporal do Rio Purue - 2022.**

Fonte: Autoras (2025).

O crescimento alarmante da mineração no rio Purue em 2022, com um aumento de mais de 400% na área ocupada pela atividade extrativa, evidencia um avanço descontrolado do garimpo ilegal e seus impactos ambientais severos, como assoreamento dos rios, contaminação da água por metais pesados e degradação de ecossistemas. Esse cenário reforça a necessidade de ações rigorosas de fiscalização, como as operações realizadas em outros rios amazônicos, como o rio

Madeira, onde a Polícia Federal, o IBAMA e o Exército destruíram balsas e dragas utilizadas na extração ilegal de ouro (Pontes, 2021; Gonçalves, 2021). No entanto, a repressão direta ao garimpo, sem medidas complementares para a substituição econômica das comunidades envolvidas, pode gerar retaliações violentas, como ocorreu na “Operação Ouro Fino” em 2017, quando garimpeiros incendiaram prédios de órgãos ambientais em resposta às apreensões realizadas (G1 Amazonas, 2017). Dessa forma, a expansão da mineração no rio Purue e as reações observadas em outros territórios demonstram que a fiscalização, embora essencial, precisa ser acompanhada por políticas de desenvolvimento sustentável que ofereçam alternativas econômicas viáveis, mitigando conflitos sociais e reduzindo a pressão sobre os recursos naturais.

No rio Purue em 2023 (Gráfico 10) revela a continuidade do avanço da mineração, que passou de 2.684,33 hectares em 2022 para 2.699,67 hectares, consolidando-se como uma atividade de alto impacto ambiental na região. Essa expansão, embora menos acentuada que no ano anterior, reforça a necessidade de monitoramento e controle rigorosos, dado que a extração mineral pode provocar assoreamento dos rios, desmatamento e contaminação dos recursos hídricos. A formação florestal, ainda predominante, manteve-se estável em 714.213,49 hectares, enquanto a floresta alagável sofreu nova redução, totalizando 145.366,14 hectares, sugerindo alterações na dinâmica hídrica devido ao avanço da degradação ambiental. A área de campo alagado e pantanoso apresentou uma leve recuperação, atingindo 698,32 hectares, o que pode refletir oscilações na drenagem natural da região. Além disso, a área de rios e lagos aumentou para 36.034,94 hectares, possivelmente devido a processos erosivos e ao assoreamento dos corpos d'água relacionados à mineração. Esses dados indicam que, em 2023, o rio Purue continuou sofrendo os impactos do crescimento da mineração, reforçando a necessidade de políticas públicas eficazes, fiscalização ambiental mais intensa e estratégias de conservação para mitigar os danos e preservar a biodiversidade da região.



**Gráfico 10: Análise espaço temporal do Rio Purue - 2023.**  
 Fonte: Autoras (2025).

A persistência da mineração no rio Purue em 2023, consolidando-se como uma atividade de alto impacto ambiental, está em consonância com os efeitos já documentados da mineração de ouro em pequena escala na Amazônia. Conforme Alvarez-Berríos e Aide (2015), essa atividade provoca poluição dos rios, desmatamento e contaminação da fauna e das populações humanas por mercúrio e outros produtos químicos. Os dados da pesquisa demonstram que a expansão da mineração no rio Purue tem contribuído para a degradação ambiental progressiva, afetando diretamente a dinâmica hídrica e a biodiversidade local. A redução da floresta alagável e o aumento da área de rios e lagos sugerem um agravamento dos processos erosivos e do assoreamento, fenômenos frequentemente associados à atividade mineradora.

A análise no rio Purue entre 2019 e 2023 evidencia uma expansão alarmante da mineração e seus impactos ambientais. Em 2019 e 2020, a região permanecia relativamente estável, com a formação florestal dominando a paisagem, cobrindo 713.768,43 hectares em 2019 e 715.308,62 hectares em 2020, e a floresta alagável mantendo valores elevados, com 151.041,76 hectares em 2019 e 149.238,14 hectares em 2020. A mineração, nesse período, era praticamente insignificante, ocupando apenas 11,37 hectares em 2019 e 11,91 hectares em 2020. No entanto, em 2021, houve uma explosão da atividade mineradora, que saltou para 512,55 hectares, e essa tendência se intensificou drasticamente em 2022, atingindo 2.684,33 hectares, um crescimento de mais de 400%, consolidando a mineração

como um dos principais vetores de degradação na região. Esse avanço coincidiu com a redução da floresta alagável, que caiu para 146.748,50 hectares, e a diminuição das áreas de campo alagado e pantanoso, que passaram de 910,40 hectares em 2021 para 576,43 hectares em 2022, sugerindo impactos no regime hidrológico e na estabilidade dos ecossistemas aquáticos. Em 2023, a mineração continuou avançando, atingindo 2.699,67 hectares, enquanto a floresta alagável seguiu em declínio, chegando a 145.366,14 hectares, e a área de rios e lagos aumentou para 36.034,94 hectares, indicando possíveis processos de erosão e assoreamento associados à mineração. Esse comparativo demonstra que, entre 2019 e 2023, a mineração ilegal se tornou a maior ameaça ambiental ao rio Purue, comprometendo sua biodiversidade e qualidade hídrica, tornando urgente a necessidade de fiscalização rigorosa, políticas ambientais eficazes e estratégias de mitigação para conter os danos e garantir a sustentabilidade da região.

A pesquisa sobre a degradação ambiental causada pela mineração ilegal de ouro nos rios Juami e Purue entre 2019 e 2023 (Gráfico 11) evidencia um crescimento alarmante e descontrolado da atividade garimpeira, com impactos severos nos ecossistemas hídricos e florestais da região. Nos anos de 2019 e 2020, a mineração era praticamente inexistente, com valores insignificantes no rio Purue (11,37 hectares em 2019 e 11,91 hectares em 2020) e ausente no rio Juami. No entanto, a partir de 2021, a atividade mineradora começou a se expandir rapidamente, atingindo 512,55 hectares no rio Purue e 793,44 hectares no rio Juami, um indicativo do avanço da degradação ambiental. Esse crescimento se tornou ainda mais crítico em 2022, quando a mineração saltou para 2.684,32 hectares no rio Purue e 2.495,90 hectares no rio Juami, um aumento de mais de 400% em apenas um ano, comprometendo a qualidade da água, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos dessas áreas. Em 2023, a degradação continuou avançando, com a mineração atingindo 2.699,67 hectares no rio Purue e 2.495,46 hectares no rio Juami, consolidando a extração ilegal de ouro como uma das principais ameaças ambientais na região.

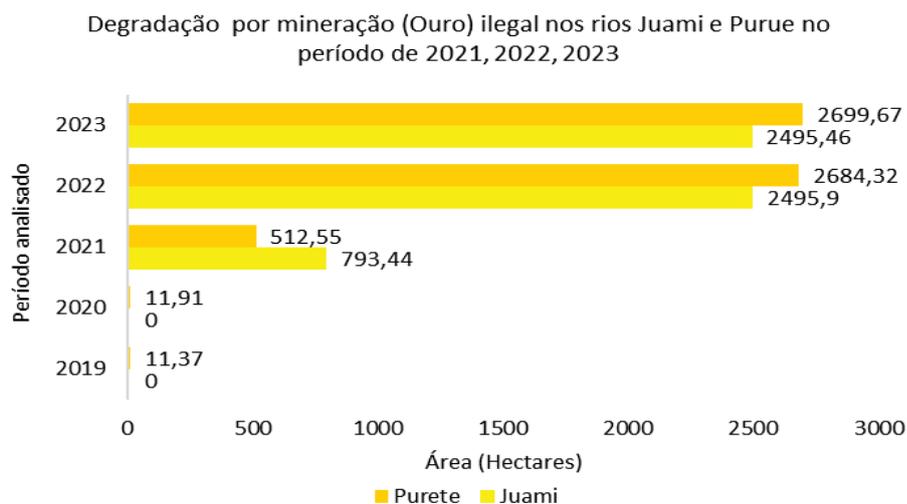


Gráfico 11: Degradação ambiental causada pelo garimpo ilegal nos Rios Juami e Purue.

Fonte: Autoras (2025).

A degradação ambiental observada nos rios Juami e Purue entre 2019 e 2023, impulsionada pelo crescimento descontrolado da mineração ilegal de ouro, reflete um padrão recorrente de impactos negativos sobre os ecossistemas amazônicos, conforme apontado por Freita e Bühring (2022). Além de comprometer a qualidade da água e os serviços ecossistêmicos, a atividade garimpeira tem sido um vetor de desmatamento, erosão e assoreamento dos rios, prejudicando diretamente a biodiversidade da região. A contaminação dos corpos d'água por substâncias tóxicas, incluindo o mercúrio, ameaça tanto a fauna e a flora quanto as comunidades tradicionais, como os Yanomami, que dependem desses recursos naturais para sua subsistência. Assim, a expansão alarmante do garimpo ilegal nos rios Juami e Purue reforça a necessidade de políticas urgentes de controle ambiental e proteção das populações vulneráveis afetadas por essa atividade predatória.

Os impactos dessa expansão da mineração ilegal de ouro nos rios Juami e Purue são preocupantes. A remoção da cobertura vegetal, o assoreamento dos rios e a contaminação da água por mercúrio e outros sedimentos tóxicos afetam diretamente os ecossistemas aquáticos e terrestres, além de comprometer a qualidade da água utilizada pelas comunidades locais. A degradação progressiva dessas áreas também pode levar a alterações hidrológicas irreversíveis, resultando em perda de biodiversidade e maior vulnerabilidade a eventos climáticos extremos.

Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de ações rigorosas de monitoramento e controle ambiental, além da fiscalização efetiva contra a mineração ilegal. O avanço dessa atividade coloca em risco não apenas a integridade ecológica dos rios Juami e Purue, mas também a segurança das comunidades ribeirinhas e a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais para a região, além de danos irreversíveis à biodiversidade e aos recursos hídricos da Amazônia. A adoção de estratégias de governança ambiental e sustentabilidade é fundamental para conter a degradação e promover o uso responsável dos recursos naturais.

O uso de técnicas avançadas de sensoriamento remoto pode desempenhar um papel crucial no monitoramento e combate às atividades ilegais, como o garimpo e o desmatamento, além de auxiliar na promoção da sustentabilidade na Amazônia. A pesquisa sobre o uso da terra nos rios Juami e Purue entre 2019 e 2023 demonstra um avanço alarmante da mineração ilegal de ouro, que passou de valores insignificantes em 2019 e 2020 para uma expansão acelerada a partir de 2021, atingindo 2.495,46 hectares no Juami e 2.699,67 hectares no Purue em 2023. Esse crescimento descontrolado tem causado desmatamento, assoreamento dos rios e contaminação dos recursos hídricos, tornando urgente a adoção de tecnologias que permitam detectar, monitorar e mitigar esses impactos ambientais.

A aplicação de imagens de satélite de alta resolução e técnicas de aprendizado de máquina pode permitir a identificação em tempo real do avanço do garimpo e do desmatamento. Sensores como os dos satélites Sentinel-2, Landsat-8 e PlanetScope são capazes de detectar alterações na cobertura do solo, permitindo a diferenciação entre vegetação nativa, áreas degradadas e atividades mineradoras. Além disso, a detecção espectral de metais pesados, como o mercúrio utilizado na mineração ilegal, pode ser empregada para avaliar a contaminação dos corpos hídricos. Com esses dados, é possível emitir alertas precoces para órgãos de fiscalização e monitorar a efetividade das ações de controle ambiental.

A análise temporal dos dados obtidos pelo sensoriamento remoto possibilita a identificação das regiões mais vulneráveis ao garimpo e ao desmatamento, permitindo a priorização de ações de conservação e fiscalização. Os resultados da pesquisa indicam que, entre 2019 e 2023, houve uma redução contínua da floresta alagável e das áreas de campo alagado e pantanoso, sugerindo que esses

ecossistemas estão entre os mais afetados. O uso de modelagem preditiva com base em dados históricos e inteligência artificial pode ajudar a identificar áreas em risco de degradação futura, permitindo que políticas preventivas sejam implementadas antes que os danos ambientais se tornem irreversíveis.

A geração de dados de alta precisão por meio do sensoriamento remoto pode fortalecer a formulação e a implementação de políticas públicas ambientais mais eficazes. O crescimento da mineração ilegal evidenciado nos rios Juami e Purue demonstra que a fiscalização tradicional tem sido ineficiente para conter o avanço dessa atividade. O uso de sistemas de monitoramento em tempo real, integrados a plataformas de inteligência geoespacial, pode fornecer subsídios técnicos para órgãos ambientais, permitindo a aplicação de penalidades mais rigorosas e o reforço das operações de fiscalização. Além disso, esses dados podem ser utilizados para apoio a ações judiciais e investigações sobre crimes ambientais, garantindo que os responsáveis pela degradação sejam identificados e responsabilizados.

Além do combate às atividades ilegais, as tecnologias de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para impulsionar iniciativas sustentáveis na Amazônia. O monitoramento detalhado da cobertura florestal permite avaliar a eficácia de programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Além disso, a integração dessas tecnologias com comunidades locais e povos indígenas pode fomentar práticas de manejo sustentável da floresta, garantindo que a preservação ambiental seja aliada ao desenvolvimento econômico da região. O uso de drones e sensores remotos também pode contribuir para a identificação de áreas propícias para sistemas agroflorestais, iniciativas de bioeconomia e turismo ecológico, promovendo alternativas econômicas que reduzam a dependência de atividades predatórias.

## 5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar os impactos ambientais gerados pela atividade de garimpo ilegal em rios da Amazônia, utilizando como estudo de caso os rios Juami e Purue no período de 2019 a 2023. Os resultados evidenciaram uma transformação progressiva da paisagem, inicialmente caracterizada por um ambiente preservado e, posteriormente, marcada pela expansão acelerada da mineração ilegal, com impactos significativos sobre os ecossistemas fluviais e terrestres.

Em 2019 e 2020, os dados indicavam um cenário estável, com a formação florestal predominando e a ausência de mineração registrada. No entanto, a partir de 2021, a atividade garimpeira começou a se expandir rapidamente, ocupando 793,44 hectares no rio Juami e 512,55 hectares no rio Purue, gerando os primeiros indícios de degradação ambiental. Esse avanço tornou-se alarmante em 2022, quando a mineração atingiu 2.493,91 hectares no rio Juami e 2.684,33 hectares no rio Purue, causando desmatamento, assoreamento dos rios e perda de ecossistemas alagáveis. Em 2023, a degradação se consolidou, com a mineração ilegal ocupando 2.495,46 hectares no rio Juami e 2.699,67 hectares no rio Purue, reforçando a necessidade urgente de monitoramento e fiscalização ambiental.

Os impactos observados comprometem diretamente a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos, afetando a dinâmica hidrológica e a integridade dos ecossistemas aquáticos. O aumento da área de rios e lagos registrado na pesquisa não indica uma melhoria ambiental, mas sim um reflexo dos processos erosivos e de assoreamento resultantes da mineração ilegal, que agravam a turbidez da água e alteram seu fluxo natural. Além disso, o uso de mercúrio no processo de extração representa um sério risco de contaminação dos cursos d'água e das populações que dependem desses rios para sua subsistência.

Com esse cenário, a pesquisa reforça a necessidade de estratégias eficazes de monitoramento e fiscalização. O uso de tecnologias como sensoriamento remoto, aprendizado de máquina e inteligência geoespacial pode fortalecer a detecção precoce da mineração ilegal, permitindo uma atuação mais rápida dos órgãos ambientais. Além disso, é fundamental implementar políticas públicas mais

rigorosas, garantindo que a legislação ambiental seja aplicada de maneira eficiente para conter a degradação.

A promoção da sustentabilidade na região amazônica deve ser priorizada, buscando alternativas econômicas para as comunidades locais que reduzam a dependência da mineração ilegal. Ações como programas de reflorestamento, manejo sustentável da floresta e incentivo a práticas de bioeconomia podem contribuir para a recuperação das áreas degradadas e a conservação dos ecossistemas. Os resultados desta pesquisa não apenas documentam a intensificação da degradação ambiental causada pelo garimpo ilegal, mas também servem como base científica para subsidiar políticas públicas e estratégias de mitigação. A preservação dos rios Juami e Purue, bem como de toda a Amazônia, depende da adoção de medidas eficazes para combater essa atividade ilegal e garantir a sustentabilidade ambiental da região.

Os achados desta pesquisa demonstram que os impactos ambientais gerados pelo garimpo ilegal nos rios Juami e Purue são significativos e demandam respostas urgentes. A degradação progressiva desses ecossistemas ressalta a necessidade de ações efetivas de fiscalização e conservação, a fim de mitigar os danos ambientais e assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos da Amazônia. Além disso, a análise da expansão da mineração, da degradação dos ecossistemas alagáveis e da contaminação hídrica fornece uma base científica robusta para a tomada de decisões ambientais, auxiliando na implementação de políticas públicas, fiscalização e estratégias de mitigação.

Diante do avanço alarmante do garimpo ilegal nos rios Juami e Purue, torna-se imprescindível adotar medidas rigorosas para conter a degradação ambiental e promover a sustentabilidade da região. O monitoramento contínuo, a aplicação de novas tecnologias e o fortalecimento da governança ambiental são ações essenciais para evitar que a mineração ilegal comprometa irreversivelmente a integridade dos ecossistemas amazônicos.

## 6. REFERÊNCIAS

Alvarez-Berríos, N.L.; Aide, T.M. Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environ. Res. Lett.*, 10 (1) (2015), Article 014006, 10.1088/1748-9326/10/1/014006.

Argilliera, Christine; Carrierea, Alexandra; Wynne, Caroline; Hellstend, Seppo; Vartia, Katarina; Poikane, Sandra. Lake hydromorphology assessment in Europe: Where are we 20 years after the adoption of the Water Framework Directive? . *Science of the Total Environment* 855 (2023) 158781. [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158781>.

Anderson, L. O., et al. (2019). "The role of satellite-based remote sensing in fire monitoring." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(11), 5946-5955.

Aragão, L. E. O. C., et al. (2018). "21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions." *Nature Communications*, 9(1), 536.

Armijos, E., Crave, A., Espinoza, J.C., Filizola, N., Espinoza-Villar, R., Ayes, I., Fonseca, P., Fraizy, P., Gutierrez- Cori, P., Vauchel, P., Camenen, B., Martinez, J.M., dos Santos, A., Santini, W., Cochonneau, G., Guyot, J.L., 2020. Rainfall control on Amazon sediment flux: synthesis from 20 years of monitoring. *Environ. Res. Commun.* 2 <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab9003>

BOGONI, J.A.; PERES, C.A.; FERRAZ, K.M.P.M.B. Extent, intensity and drivers of mammal defaunation: a continental-scale analysis across the Neotropics. *Sci. Rep.*, 10 (2020), pp. 1-16, 10.1038/s41598-020-72010-w.

Brito, J., et al. (2021). "Droughts, floods and their impacts on Amazon forest mortality." *Environmental Research Letters*, 16(2), 024020.

Bursztyn, M., et al. (2019). "The role of environmental governance in deforestation reduction: Lessons from Brazil." *Forest Policy and Economics*, 108, 101933.

CARDELLA, Benedito. Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, prevenção ambiental e desenvolvimento de pessoas. 2ª edição São Paulo: Atlas, 2016.

CARSTENS, DANA; AMER, REDA. Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. *Research papers. Department of Earth and Environmental Sciences, Tulane University, New Orleans, LA 70118, United States. ScienceDirect. Journal of Hydrology.* 2019. Contents lists available at ScienceDirect. *Journal of Hydrology* 569 (2019) 720–734. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol).

Castello, L., Macedo, M.N., 2016. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biol.* 22 (3), 990–1007. <https://doi.org/10.1111/gcb.13173>.

CAVALCANTE, Rosane Barbosa Lopes; NUNES, Samia; VIADEMONTTE, Sergio; RODRIGUES, Caio Marcos Flexa; GOMES, Walisson Cardoso; FERREIRA JR, Jair

da Silva; PONTES, Paulo Rogenes Monteiro; GIANNINI, Tereza Cristina; AWADE, Marcelo; MIRANDA, Leonardo de S.; NASCIMENTI JR, Wilson R. Multicriteria approach to prioritize forest restoration areas for biodiversity conservation in the eastern Amazon. *Journal of Environmental Management* 318 (2022) 115590. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115590>.

Davidson, E. A., et al. (2012). "The Amazon basin in transition." *Nature*, 481(7381), 321-328.

Edwards, D.P., Socolar, J.B., Mills, S.C., Burivalova, Z., Koh, L.P., Wilcove, D.S., 2019. Conservation of tropical forests in the anthropocene. *Curr. Biol.* 29, 1008–1020. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.026>.

Engstrom, J., Jafarzadegan, K., Moradkhani, H., 2020. Drought vulnerability in the United States: An integrated assessment. *Water* 12 (7), 2033. <https://doi.org/10.3390/w12072033>

Espinoza, J. C., et al. (2020). "Climate variability and flood risk in the Amazon." *Geophysical Research Letters*, 47(17), e2020GL088897.

Fearnside, P. M. (2020). "Deforestation and climate change in Amazonia." *Environmental Research Letters*, 15(4), 044036.

Ferreira, J. et al. (2019). "Gold mining threatens indigenous lands in the Brazilian Amazon." *Science Advances*, 5(8), eaax122.

FOROUMANDI, Ehsan; NOURANI, Vahid; HUANG, Jinhui Jeanne; MORADKHANI, Hamid. Drought monitoring by downscaling GRACE-derived terrestrial water storage anomalies: A deep learning approach. *Journal of Hydrology* 616 (2023) 128838. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128838>.

Freitas, Victória Moura e Cunha de; Bühring, Marcia Andrea. *Mineração Predatória e a Proteção dos Direitos Constitucionais dos Povos Indígenas: uma Análise do Garimpo Ilegal e os Danos Socioambientais Nas Terras Indígenas Yanomami*. 2023. Disponível em: <https://ajuris.org.br/wp-content/uploads/2023/11/UMA-ANALISE-DO-GARIMPO-ILEGAL-E-OS-DANOS-SOCIOAMBIENTAIS-NAS-TERRAS-INDIGENAS-YANOMAMI.pdf>

Gilbert, J.T., Wilcox, A.C., 2020. Sediment routing and floodplain exchange (SeRFE): a spatially explicit model of sediment balance and connectivity through river networks. *J. Adv. Model. Earth Syst.* 12, e2020MS002048 <https://doi.org/10.1029/2020MS002048>.

Guimarães, J.R.D. Mercury in the Amazon: problem or opportunity? A commentary on 30 years of research on the subject. *Elementa: Sci. Anthropocene*, 8 (1) (2020), p. 032, [10.1525/elementa.032](https://doi.org/10.1525/elementa.032)

GU, Q., HU, H., MA, L., SHENG, L., YANG, S., ZHANG, X., ... CHEN, L. (2019). Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface

water quality using selforganizing map approach. *Ecological Indicators*, 102(February), 633–643. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.017>

G1 Amazonas. 2017. Prédios do Ibama e ICMBio em Humaitá são incendiados após operação no AM. <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/predios-publicos-em-humaita-sao-incendiados-apos-operacao-do-ibama-no-am.ghtml>

Gonçalves, E. 2021. Nas garras dos dragões do garimpo: o dia a dia do esquema de extração ilegal do ouro no Rio Madeira. *O Globo*. <https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/nas-garras-dos-dragoes-do-garimpo-dia-dia-do-esquema-de-extracao-ilegal-do-ouro-no-rio-madeira-25306464>

INPE (2020). "Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - Projeto PRODES." Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Kahhat, R.; Parodi, E.; Larrea-Gallegos, G.; Mesta, C.; Vázquez-Rowe, I. Environmental impacts of the life cycle of alluvial gold mining in the Peruvian Amazon rainforest. *Sci. Total Environ.*, 662 (2019), pp. 940-951, 10.1016/j.scitotenv.2019.01.246

Laurance, W. F., et al. (2018). "The fate of the Amazonian biodiversity under climate change." *Nature Climate Change*, 8(5), 406-412.

LIU, HAI; ZHENG, LIANG; JIANG, LIANG; LIAO, MINGWEI. Mudanças no corpo de água de quarenta anos no Lago Poyang e os impactos ecológicos com base nas observações Landsat e HJ-1 A / B. *Journal of Hydrology* 589 (2020) 125161. ScienceDirect. *Journal of Hydrology*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol).

Macdonald, S.E., Landhausser, S.M., Skousen, J., Franklin, J., Frouz, J., Hall, S., Jacobs, D.F., Quideau, S., 2015. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New For.* 46, 703–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>.

Marengo, J. A., et al. (2018). "Changes in rainfall and extremes in the Amazon basin." *Climate Change*, 150(2), 255-270.

Marshall, B.G., Veiga, M.M., da Silva, H.A.M., Guimarães, J.R.D., 2020. Cyanide contamination of the puyango-tumbes river caused by artisanal gold mining in portovelo-zaruma, Ecuador. *Curr. Environ. Heal. Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00276-3>.

Martins, Walmer Bruno Rocha; Rodrigues, Julia Isabella de Matos; Oliveira, Victor Pereira de; Ribeiro, Sabrina Santos; Barros, Welton dos Santos; Schwartz, Gustavo. Mining in the Amazon: Importance, impacts, and challenges to restore degraded ecosystems. Are we on the right way?. *Ecological Engineering* Volume 174, January 2022, 106468. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecoleng](http://www.elsevier.com/locate/ecoleng). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106468>.

Manzolini, B., Rajão, R., Bragança, A.C.H., Oliveira, P.T.M., Alcântara, G.K., Nunes, F., Filho, B.S. 2021. Legalidade da produção de ouro no Brasil. Editora IGC/UFMG. 43pp. <http://www.lagesa.org/wp->

content/uploads/documents/Manzolli\_Rajao\_21\_Illegalidade%20cadeia%20do%20Ouro.pdf.

Mol, J.H.; Ouboter, P.E. Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream. *Conservation Biol.*, 18 (1) (2004), pp. 201-214. <http://www.jstor.org.ez2.periodicos.capes.gov.br/stable/3589131>

Murguía, D.I., Bringezu, S., Schaldach, R., 2016. Global direct pressures on biodiversity by large-scale metal mining: Spatial distribution and implications for conservation, p. 180. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.040>.

Nico, Oswaldo Menta Simonsen; Araujo, Carlos Henrique Xavier; Goldemberg, Deborah; Tomi, Giorgio. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining. *World Development Perspectives*. Volume 33, March 2024, 100561. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2023.100561>

Nobre, C. A., et al. (2016). "Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10759-10768.p. 5.

Pereira, H. & Santos, J. (2020). "Remote sensing technologies in combating illegal mining in the Amazon." *Remote Sensing Applications*, 12, 101184.

Pereira, W.V.S., Teixeira, R.A., Souza, E.S. de, Moraes, A.L.F. de, Campos, W.E.O., Amarante, C.B. do, Martins, G.C., Fernandes, A.R., 2020. Chemical fractionation and bioaccessibility of potentially toxic elements in area of artisanal gold mining in the Amazon. *J. Environ. Manag.* 267, 110644. <https://doi.org/10.1016/j>

Pestana, Inácio Abreu; Rezende, Carlos Eduardo de Rezende; Almeida, Ronaldo; Lacerda, Luiz Drude de; Bastos, Wanderley Rodrigues. Let's talk about mercury contamination in the Amazon (again): The case of the floating gold miners' village on the Madeira River. *The Extractive Industries and Society*. Volume 11, September 2022, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101122>.

Pinto, L. de C.M., Dorea, J.G., Bernardi, J.V.E., Gomes, L.F., 2019. Mapping the evolution of mercury (Hg) research in the amazon (1991–2017): a scientometric analysis. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071111>.

Pontes, F. 2021. Ribeirinhos convertem-se ao ouro e desafiam contaminação por mercúrio no rio Madeira. *((o))eco*. <https://oeco.org.br/reportagens/ribeirinhos-convertem-se-ao-ouro-e-desafiam-contaminacao-por-mercurio-no-rio-madeira/>

Quintero, Simón; Abrahams, Mark I.; Beirne, Christopher; Blake, John; Carvalho Jr, Elildo; Costa, Hugo C.M.; Paula, Milton José de; Endo, Whaldener; Haugaasen, Torbjørn; Lima, Marcela Guimarães Moreira; Michalski, Fernand; Mosquera, Diego; Norris, Darren; Oliveira, Tadeu; Paemelaereo, Evi; Peres, Carlos A.; Pezzutig, Juarez; Romero, Sheila; Santos, Fernanda; Sillero-Zubiria, Claudio; Tan, Cedric Kai Wei. Effects of human-induced habitat changes on site-use patterns in large Amazonian Forest mammals. *Biological Conservation*. Volume 279, March 2023,

109904. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/biocon](http://www.elsevier.com/locate/biocon). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109904>.

ROHDE, Geraldo Mario. Estudos Geomorfológicos, Estudos Hidrológicos e Estudos Geoquímicos. Geoquímica Ambiental e estudos de impacto, Capítulo 3. Diagnóstico do Ambiente Físico. Capítulo 4. Determinação dos impactos no geossistema. Pág. 9-15, 10-15. Disponível em: <https://ebooks.ofitexto.com.br/epubreader/geoquimica-ambiental-e-estudos-de-impacto-4-ed>. Acessado em 02/01/2023.

Reuters (2020) Corrida do ouro na Amazônia: garimpo ilegal ameaça povo ianomâmi. UOL, 26 June 2020. Available from: <https://bityl.co/4WRz>.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

Santiago, Erimar Pontes; Cartaxo, Elizabeth Ferreira; Rabelo Filho, José Geraldo Fernandes; Nogueira, Levi D'araújo; Souza, Paulo Rodrigues. Geographic database development prioritizing the use of free softwares for the management of hydroelectric reservoirs in the Amazon. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 7, 2019. p.8511. ISSN 2525-8761.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi. Sensoriamento remoto para desastres, 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 288 p.

Silva, C. V. J., et al. (2020). "Amazon wildfires: Annual burn areas and temperature anomalies." *Forest Ecology and Management*, 456, 117683.

SILVA, EDSON J.; COELHO, FERNANDO; SILVA, WESLEY PINTO DA. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. *Cadernos UniFOA*, Volta Redonda, n. 33, p. 121-130, abr. 2017. [www.unifoa.edu.br/revistas](http://www.unifoa.edu.br/revistas).

SILVA, F. R. Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no rio Uberabinha. Universidade Federal de Uberlândia Instituto de Ciências Agrárias. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental. Uberlândia. 2016.

Souza Neto, H.F. de, Pereira, W.V.S., Dias, Y.N., Souza, E.S. de, Teixeira, R.A., Lima, M. W. de, Ramos, S.J., Amarante, C.B. do, Fernandes, A.R., 2020. Environmental and human health risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon. *Environ. Pollut.* 265, 114969. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114969>.

Souza, C. M., et al. (2021). "Satellite monitoring of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon." *Remote Sensing of Environment*, 253, 112168.

Sonter, L.J.; Herrera, D.; Barrett, D.J.; Galford, G.L.; Moran, C.J.; Soares-Filho, B.S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nat. Commun.*, 8 (1) (2017), p. 1013, [10.1038/s41467-017-00557-w](https://doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w).

TEIXEIRA, Renato Alves Teixeira; PEREIRA, Wendel Valter da Silveira; SOUZA, Edna Santos de; RAMOS, Silvio Junio; DIAS, Yan Nunes; LIMA, Mauricio Willians de; SOUZA NETO, Hamilton Ferreira de; OLIVEIRA, Eder Silva de; FERNANDES,

Antonio Rodrigues. Artisanal gold mining in the eastern Amazon: Environmental and human health risks of mercury from different mining methods. *Chemosphere* 284 (2021) 131220. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/chemosphere](http://www.elsevier.com/locate/chemosphere). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131220>.

World Gold Council (2020) Gold mine production. 30 June 2020. Available from: <https://bit.ly/4WTa>