

GRAU DE SUSCETIBILIDADE E POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS ADJACENTES A ÁREAS MINERADAS NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS NO PARÁ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.XI-015>

Maria Eduarda de Castro Cosendey Alves (*), Isabella Mendanha Ferreira, Rodrigo Weber Felix, Reinaldo Luiz Bozelli.

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM), Programa de Pós-graduação de Ciências Ambientais e Conservação, mariaeduardacosendey@gmail.com.

RESUMO

Atividades de mineração envolvem supressão vegetal, construção de estruturas como barragens, pilhas de estéril (PDEs), cavas, edificações, entre outras estruturas que podem interferir na integridade dos igarapés adjacentes aos empreendimentos. Definir o grau de suscetibilidade aos impactos de mineração e o potencial de recuperação de igarapés em cenários hipotéticos de assoreamento pode contribuir para a gestão de recursos hídricos. Portanto, o objetivo deste trabalho é estimar o grau de suscetibilidade aos impactos ambientais e o potencial de recuperação em casos potenciais de assoreamento provocado pela mineração de ferro em igarapés de cabeceira na FLONA de Carajás. Assim, métricas quantitativas como o número e tipo de estruturas de mineração, a distância do ponto de monitoramento a áreas já exploradas e aquelas que têm potencial de serem exploradas, são utilizadas para estimar o grau de suscetibilidade. O potencial de recuperação vem sendo definido pela geomorfologia, variáveis físico-químicas da água e sedimento e métricas ecológicas, que ainda estão sob análise. A geomorfologia foi analisada utilizando a metodologia dos estilos fluviais, que considera o ajuste e comportamento para descrever um conjunto de procedimentos que auxiliam na capacidade de interpretar caráter, condição e potencial de recuperação de rios. Dos oito trechos avaliados, três foram considerados pouco suscetíveis, dois apresentaram grau de suscetibilidade médio e três alto grau de suscetibilidade aos impactos. Quanto aos estilos fluviais, os trechos foram diferentes em relação ao número, largura e profundidade dos canais, estabilidade das margens, material e unidades geomorfológicas presentes no leito. Na escala de vale, os pontos apresentam diferenças na declividade, hidrologia e altimetria. Assim, os pontos mais suscetíveis são aqueles que estão mais próximos às estruturas de mineração possuem menor declividade e menores ordens, possuindo piores condições de escoamento de sedimento em face de um assoreamento de larga escala provocado por acidentes ambientais. Ainda em relação à geomorfologia, quanto maior o número de áreas propensas à inundação, menor é o potencial de recuperação, pois o sedimento fino tende a acumular-se.

PALAVRAS-CHAVE: estilos fluviais, métricas ecológicas, geomorfologia fluvial, gestão de rios, mineração de ferro.

INTRODUÇÃO

Atividades relacionadas à extração de minérios, como a construção de estradas e barragens, desmatamento e revolvimento do solo, podem comprometer a integridade dos ambientes do entorno destas áreas. Um dos principais problemas da mineração são os resíduos provenientes dessa atividade (LEMOS E PIMENTEL, 2021). Um estudo realizado pela organização MapBiomos mostra que as áreas de mineração no Brasil cresceram mais de seis vezes, passando de 31 mil hectares em 1985 para 206 mil hectares em 2020. O crescimento da mineração no Brasil requer uma gestão adequada de recursos hídricos para prevenir impactos, e auxiliar no manejo de ambientes em casos de acidentes ambientais.

Casos de acidentes na mineração brasileira ficaram conhecidos mundialmente, como por exemplo nas cidades de Mariana e Brumadinho, no estado de Minas Gerais, Brasil. O rompimento da barragem em Mariana ocasionou o extravasamento de milhões de m³ de rejeitos de minério, vítimas fatais, o desalojamento de muitas famílias, além dos danos ambientais como a degradação de Mata Atlântica e toneladas de peixes mortos ao longo dos rios Carmo e Doce (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, MPF, 2016). Já em Brumadinho, o impacto foi maior no âmbito social, com centenas de vítimas fatais e pessoas desabrigadas, além do impacto ambiental (ROCHA, 2021). Com o intuito de amenizar os impactos causados por esse tipo de acidente, o estudo da geomorfologia fluvial pode auxiliar na gestão de recursos hídricos, antecipando os riscos, além de ajudar no manejo de áreas degradadas. Sousa (2018) afirma que fatos recentes contribuíram para a valorização da geomorfologia no planejamento ambiental, dentre eles: a percepção da importância dos componentes da natureza serem integrados, facilitando a compreensão de toda a paisagem, e a utilização dos recursos naturais, como os recursos hídricos por exemplo. Assim como a geomorfologia, a ecologia também tem muita importância para a gestão fluvial, promovendo o entendimento do funcionamento do ecossistema local e fornecendo informações de serviços ecossistêmicos. Questões ecológicas como o modo que os ecossistemas se

organizam e funcionam, contribuem para melhor compreensão da eficácia das ações de restauração ecológica (GANN et al., 2019).

Para compreender o funcionamento de ambientes aquáticos que sofrem influência direta ou indireta da mineração, parâmetros limnológicos (tais como parâmetros físicos, químicos e bióticos de corpos d'água continentais) e geomorfológicos podem ser utilizados. Segundo Oliveira e Silva (2014), um dos principais instrumentos para gestão de recursos hídricos é o monitoramento da qualidade da água, pois ela serve como um sensor que permite acompanhar as suas características, viabilizando ou não, seu consumo e demais usos. Dependendo do tipo de impacto, parâmetros como turbidez, condutividade elétrica, entre outros fatores mostram como a coluna da água responde às mudanças no ambiente e de que forma a água pode variar, dependendo do local que é analisada. Um histórico de características da água também permite entender a sensibilidade do ambiente em que ela é coletada. Em relação ao sedimento, parâmetros como teor de matéria orgânica e granulometria, são muito importantes para entender como o sedimento dos corpos hídricos respondem às alterações causadas pelos impactos de mineração. As características da água atreladas a outros parâmetros como as comunidades biológicas, sedimento e geomorfologia, trazem o diagnóstico ambiental da área de estudo, possibilitando estimar o grau de degradação do ambiente.

Alguns grupos de organismos podem ser considerados bioindicadores (grupos taxonômicos que podem ser utilizados para avaliação da qualidade ambiental). Ruaro et al. (2016) afirmam que a escolha de grupos taxonômicos é muito importante, devendo ser baseada nos métodos de amostragem, análises que serão utilizadas, custos e sobretudo nas respostas que os organismos terão diante do impacto ambiental que se deseja avaliar. Segundo Callisto et al. (2001) quanto maior a intensidade dos impactos, mais pronunciadas são as respostas ecológicas de organismos bioindicadores. No ambiente aquático, organismos das comunidades nectônicas, planctônicas e bentônicas podem ser considerados adequados bioindicadores (MUKTADIR, 2009; VIANA e LUCENA, 2014; FERDOUS e YANG et al, 2014).

Os macroinvertebrados bentônicos são organismos que vivem sob ou sobre o sedimento do fundo de ambientes aquáticos. É um grupo muito diverso, possui hábitos alimentares e modos de vida que variam de acordo com os grupos que pertencem, exercendo um importante papel no fluxo de energia e dinâmica de nutrientes desses ambientes (ESTEVES, 2011). O plâncton representa um grupo amplo de organismos animais e vegetais que vive na coluna d'água, com pouca capacidade de locomoção, sendo transportado pela correnteza, apresentando diferentes formas de vida (ESTEVES, 2011). Já o nécton é formado por um conjunto de organismos que vivem na coluna d'água sendo capazes de nadar ativamente, e assim sua locomoção não depende das correntes (ESTEVES, 2011). Os peixes são organismos nectônicos com elevada diversidade taxonômica e morfológica, sendo bastante utilizados como bioindicadores. Diante de um impacto, como o assoreamento do corpo hídrico causado por rejeito de mineração por exemplo, a riqueza e diversidade das comunidades nectônicas, planctônicas e bentônicas são alteradas (CALLISTO, 2011; VIANA e LUCENA, 2014; ZARONI, 2020).

Segundo Nayyeri et al. (2018), parâmetros físicos e químicos utilizados para medir a qualidade da água tendem a variar de acordo com a classificação e tipologia dos trechos de um rio, visto que o potencial de autopurificação (que é a capacidade que um rio tem de diluir, diminuir ou eliminar os efeitos indesejáveis dos poluentes introduzidos) varia de acordo com o estilo fluvial (proposta de classificação de rios segundo sua geomorfologia). Essa variação de aspectos físicos e químicos da água influencia na fauna aquática presente, principalmente quando essa variação é grande a ponto de alterar drasticamente a qualidade da água de um local. Heep et al. (2013) afirmam que a distribuição de insetos aquáticos é afetada por alterações físicas e químicas causadas por atividades humanas. Já Bevilacqua et al. (2020) afirmam que características como profundidade da água e largura do canal, além das variáveis físicas e químicas controlam a distribuição de oligoquetos aquáticos em riachos amazônicos. Nesse contexto, esse estudo utilizará a ferramenta de Estilos Fluviais (EF) (do inglês "River Styles"), proposta por Fryirs & Brierley (2005), que é usada para determinar o caráter, comportamento e o potencial de recuperação de rios. Ela, é aplicada através de uma estrutura hierárquica, visando construir uma análise geomórfica do rio, e seus resultados geram informações estratégicas em diferentes escalas, auxiliando o manejo de sistemas fluviais (BRIERLEY & FRYIRS, 2004).

O presente trabalho é realizado na Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), onde há mineração, principalmente, de manganês e ferro. Desde que a empresa Vale iniciou a exploração no local ela, juntamente com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), buscam proteger a biodiversidade da área. Para avaliar e acompanhar a integridade ambiental de algumas áreas de mineração na Flona de Carajás, a Vale tem, desde o ano 2014, um acordo de cooperação técnica com o Laboratório de Limnologia da UFRJ, que estuda e faz o monitoramento limnológico em Igarapés (riachos amazônicos) que sofrem influência direta, ou indireta da mineração no local.

Nesse sentido, é importante o uso de dados históricos das características hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas e de uma ferramenta geográfica nas áreas que sofrem influência da mineração, visando compreender as possíveis alterações que nelas acontecem. Além de entender a interrelação de fatores biológicos, físicos, químicos e geomorfológicos para subsidiar a gestão dos recursos hídricos.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como o objetivo geral: estimar o grau de suscetibilidade aos impactos ambientais e o potencial de recuperação em casos hipotéticos de assoreamento provocado pela mineração de ferro em áreas adjacentes a igarapés de cabeceira de drenagem na FLONA de Carajás. Sendo os objetivos específicos:

- Identificar estruturas, mensurar distâncias e áreas das atividades de mineração;
- Mapear os estilos fluviais dos igarapés

METODOLOGIA

O trabalho está sendo realizado na Flona de Carajás, que compreende uma área com 391.263,04 ha (GOVERNO FEDERAL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). A Flona de Carajás está localizada no estado do Pará, nos municípios de Parauapebas, Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás, no bioma amazônico. A maior mina de minério de ferro a céu aberto do planeta está localizada na Flona de Carajás, produzindo mais de 150 milhões de toneladas de ferro por ano (VALE, 2018). A malha amostral contempla trechos de igarapés de cabeceira de drenagem monitorados pelo Laboratório de Limnologia da UFRJ durante nove anos (2015 – 2023) e que estão na área de influência das minas de ferro. As coletas são realizadas duas vezes por ano (período chuvoso e estiagem). Os pontos amostrais são denominados: P26, P33, P35, P36, P37, SW25, SW31 e SCW02, todos os pontos fazem parte da sub-bacia do Rio Parauapebas, estando inseridos nas microbacias dos igarapés Taboca e Jacaré. (figura 1).

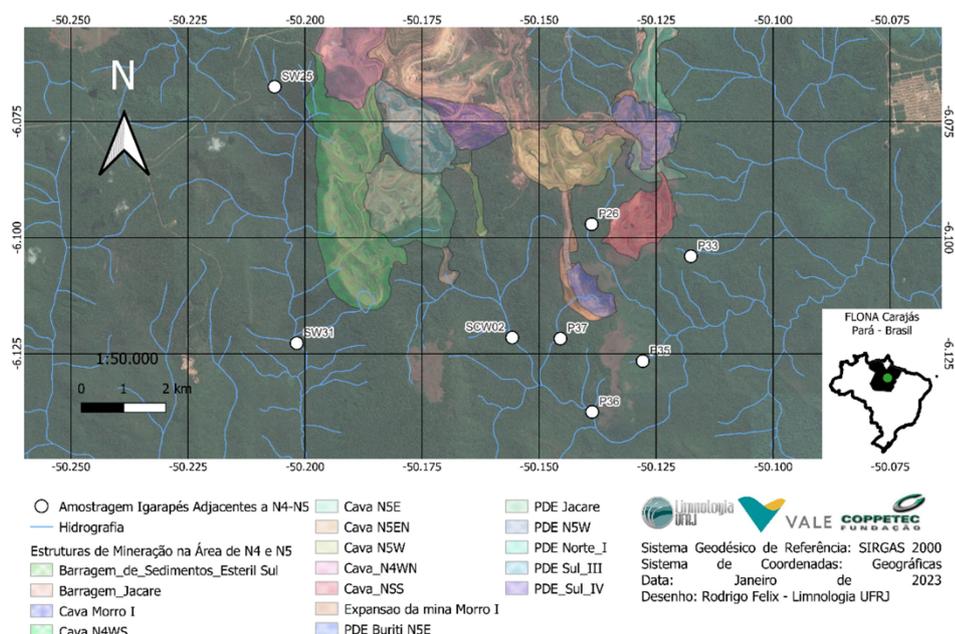


Figura 1: Imagem da área de estudo e monitoramento limnológico dos igarapés em área de influência das minas de ferro, na Flona de Carajás. Fonte: Bozelli et al., 2022.

O esquema abaixo resume as categorias de dados que estão sendo utilizados para estimar o grau de suscetibilidade e o potencial de recuperação dos igarapés:

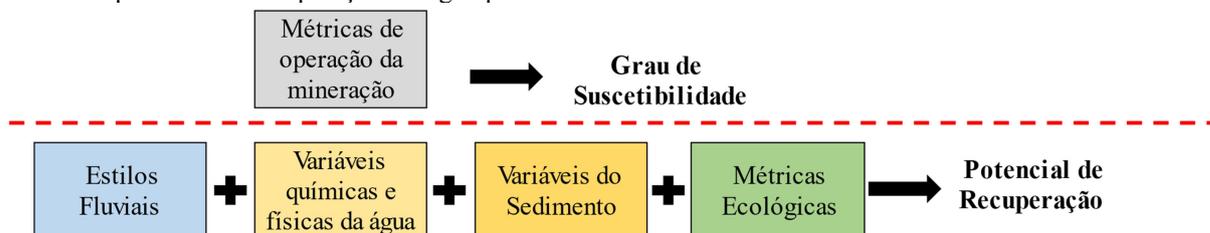


Figura 2: Esquema que mostra os dados que serão utilizados para estimar o grau de suscetibilidade e o potencial de recuperação das áreas estudadas. Fonte: Elaborado pelos autores.

O grau de suscetibilidade é estimado calculando uma média ponderada para avaliar as métricas de operação de mineração (tabela 1) utilizando ferramentas como QGIS, Google Earth (para verificar a proximidade em km). Para os igarapés a jusante das estruturas de mineração, quanto mais próximos a essas estruturas (considerando o caminho da drenagem), maiores as minas, maior o número de estruturas, mais intensa a atividade e maiores as áreas de expansão da operação, maior será o grau de suscetibilidade aos impactos, pois maior é o risco de assoreamento dos igarapés em

casos de acidentes. Foram consideradas muito suscetíveis as áreas a jusante das minas de ferro, que estão localizadas num raio de 2 km a jusante das estruturas das minas, e pouco suscetíveis os trechos a uma distância a partir de 2 km das minas (Felix, 2020). Para barragens, será utilizada a metodologia simplificada de geração de manchas para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado (ANA, 2017)

Para calcular o **Potencial de Recuperação**, primeiramente, os igarapés da região vêm sendo classificados utilizando a metodologia de Estilos Fluviais (EF) (do inglês “River Styles”), proposta por Brierley & Fryirs (2005). Essa é uma ferramenta que classifica trechos de rios, levando em conta sua geomorfologia e comportamento. A metodologia descreve um conjunto de procedimentos com ferramentas que auxiliam na capacidade de interpretar o caráter, a condição e o potencial de recuperação de rios. Os aspectos geomorfológicos são abordados de forma hierárquica, sendo os fenômenos de escala local (exemplo: unidades geomórficas) subordinados aos de escala regional (exemplo: relevo). Dessa forma, serão utilizados parâmetros chave para os controles da forma e comportamento do rio, sendo eles: **compartimentalização geomorfológica, características do vale, forma em planta do canal, geometria do canal, unidades geomórficas, composição e estabilidade do leito, regime de sedimentos, carregamento de matéria orgânica, morfologia das margens e a presença de planícies de inundação.**

A **compartimentalização geomorfológica** será feita com base na identificação de feições morfológicas, sendo utilizados modelos digitais de elevação e o software QGIS para trabalhar com sistema de informação geográfica livre e aberto, e que permite a análise de dados georreferenciados. Já as **características do vale** serão definidas em três classes, com base no grau de confinamento, proposto por Brierley & Fryirs (2005) onde: a classe *Confinado*, é caracterizada por apresentar mais de 90% do comprimento do rio confinado por substrato rochoso, de maneira que o traçado do rio acompanha o alinhamento do vale. Já na classe *Parcialmente Confinado*, o rio apresenta grande variação na sua morfologia e dinâmica, tendo formação de planícies sinuosas e irregulares. Nesta classe, de 10 a 90% de sua extensão se encontra sobre rochas ou material firme. Por último, na classe *não confinado* há ausência de controle litológico, apresentando então maior capacidade de ajuste do canal e instabilidade das margens. Estes trechos contam com a presença de barras ou ilhas arenosas, onde menos de 10% do trecho do rio está apoiado em substrato rochoso.

A **forma em planta do canal** será interpretada considerando o número de canais; sinuosidade (grau e tipos); estabilidade lateral do canal (estabilidade das margens e se são controladas por algo como a vegetação por exemplo). Além disso, serão avaliadas a **geometria do canal** (exemplo: meandrante, retilíneo etc.); as **unidades geomórficas** (ilhas, cascatas, poços etc.); **composição e estabilidade do leito**; **regime de sedimentos** (se é uma zona de produção ou carregamento de sedimento); **carregamento de matéria orgânica** (que tipo de matéria orgânica é carregada, exemplos: galhos, folhas, troncos, matéria orgânica fina etc.); **morfologia das margens** (barrancos, morrotes etc.) e a **presença de planícies de inundação.**

Posteriormente, para cada trecho os dados dos EF serão unidos às variáveis físicas e químicas da água, a granulometria do sedimento e as métricas ecológicas, avaliadas durante o monitoramento limnológico realizado na região entre 2015 e 2023. A tabela 2 mostra as categorias de dados que serão utilizadas, seus respectivos parâmetros, os métodos de cálculo de cada um dos parâmetros, e o peso de cada categoria.

Tabela 1: Métricas da mineração que serão consideradas para estimar o grau de susceptibilidade nos pontos amostrais, o método para cada métrica e a pontuação (peso) que cada métrica receberá. Fonte: tabela produzida pelos autores.

Métricas da mineração	Método	Peso
Proximidade das áreas de mineração	Considerar muito suscetíveis pontos localizados até 2km das estruturas de mineração	2
Tipo de estrutura de mineração	Verificar qual é o tipo de estrutura: mina, PDE (Pilha de Estéril), barragem ou estradas	2
Nº de estruturas de mineração	Quantidade de estruturas de mineração	3
Distância da área que tem potencial de ser explorada	Considerar muito suscetíveis pontos localizados até 2 km das áreas que tem potencial de ser explorada	1

Tabela 2: Categorias de dados que serão utilizados na pesquisa para estimar o potencial de recuperação nos pontos amostrais, seus parâmetros, métodos e a pontuação (pesos) que cada categoria receberá. Fonte: tabela produzida pelos autores.

Categorias	Parâmetros	Método	Peso
Classificação Geomorfológica	Configuração de vale	Brierley & Fryirs (2005)	3
	Canal em forma plana (sinuosidade, nº de canais, estabilidade lateral)		
	Unidades geomórficas		
	Textura do material do leito		
	Comportamento		

	Geometria do canal		
	Associação de vegetação (dentro do canal e unidade geomorfológica de planície de inundação)		
	Estabilidade do leito		
	Regime de sedimentos		
	Carregamento de matéria orgânica		
	Planície de inundação		
	Comportamento do rio		
Métricas Ecológicas: Comunidade Bentônica	Diversidade	Índice de diversidade de Shannon	1
Zooplâncton	Diversidade	Índice de diversidade de Shannon	1
Ictiofauna	Diversidade	Índice de diversidade de Shannon	1
Variáveis químicas e físicas da água	- Condutividade elétrica - Turbidez (STS – Sólidos totais em suspensão)	Sonda multiparâmetro Horiba (U50)	2
Variáveis do Sedimento	Granulometria	Análise de granulometria de volume dos minerais e da matéria orgânica do sedimento, obtidas pelo peneiramento diferencial.	2

Para cada trecho serão preenchidas duas tabelas (ex. Tabela 1 e 2), avaliando as métricas de operação de mineração, para estimar grau de susceptibilidade, e características dos parâmetros de cada categoria para estimar o potencial de recuperação. Após isso, serão aplicadas notas de 0 a 10 para cada métrica e categoria, elas terão pesos diferentes entre si, que no caso das categorias foram baseados na pirâmide proposta por Harman et al. (2012) que propõe uma hierarquia entre as categorias presentes em ecossistemas lóticos, que foi adaptada para o presente projeto (Figura 3). Para o potencial de recuperação a pontuação máxima possível de ser atingida por um trecho é 10 pontos. Assim, a nota de cada categoria será multiplicada pelo peso da mesma, e a somatória da nota das categorias sobre o valor máximo de pontos dará a nota final do trecho. O mesmo procedimento será feito com relação as métricas de operação de mineração, sendo que cada trecho poderá ter a nota máxima de 10 pontos para grau de susceptibilidade.

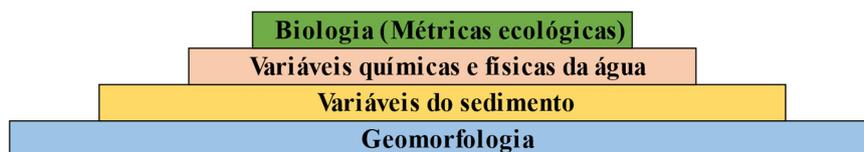


Figura 3: Pirâmide que mostra a hierarquia de categorias presentes em ecossistemas lóticos. Fonte: Adaptada de Harman et al. (2012).

Os pontos amostrais serão classificados em: muito suscetíveis (com pontuação entre 10 e 7 pontos), média suscetibilidade (com pontuação entre 4 e 7 pontos) e pouco suscetíveis (com pontuação entre 0 e 4 pontos), em seguida serão inseridos em classes baseadas no potencial de recuperação (baixo, moderado e alto potencial de recuperação), de acordo com a pontuação que cada trecho recebeu. Assim, as classes propostas para o potencial de recuperação são: 1- Potencial de recuperação baixo, 2- Potencial de recuperação moderado e 3- Potencial de recuperação alto.

RESULTADOS

Quanto ao **grau de susceptibilidade**, dos oito pontos de coleta, três foram considerados pouco suscetíveis, dois apresentaram médio grau de susceptibilidade e outros três obtiveram alto grau de susceptibilidade a sofrerem impactos de mineração em cenários hipotéticos de acidentes. Entretanto, estes resultados ainda estão sob análise, visto que ainda serão estudadas e aplicadas novas metodologias, para diferenciar a distância em km dos pontos amostrais a estruturas como barragens e PDEs.

Para o **potencial de recuperação**, no contexto da *microescala*, os pontos amostrais são consideravelmente diferentes entre si, principalmente em relação ao número de canais, estabilidade das margens, largura e profundidade do canal, material do leito e unidades geomorfológicas presentes no canal. Alguns pontos apresentaram áreas de inundação bem evidentes, como o ponto P37 por exemplo. Já outros, como o P36, não identificamos áreas de inundação, sendo

suas margens justas ao canal. Foram produzidos esquemas das formas em planta, que evidenciam as diferenças existentes entre as unidades geomorfológicas presentes, principalmente os diferentes tipos de corredeiras nos trechos estudados:

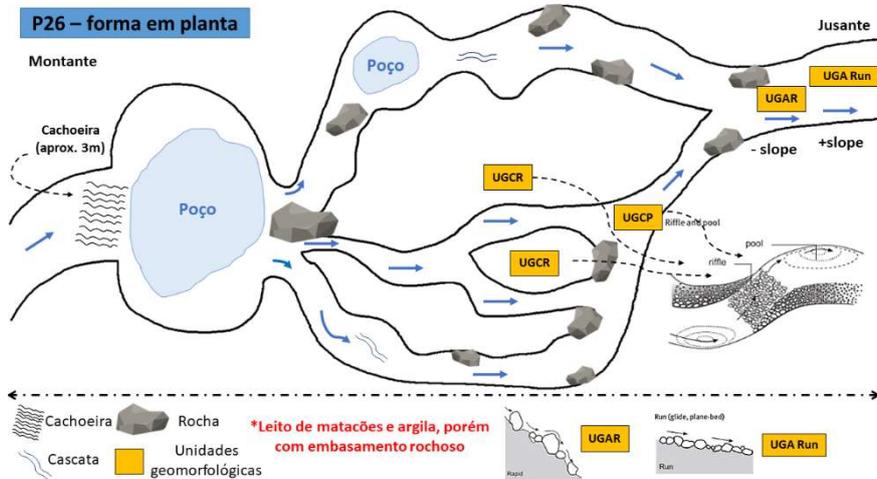


Figura 4: Forma em planta do trecho P26. Sendo: UGAR: “rapid”, UGARUN: “run”, UGCR: “riffle”, UGCP: “pool”. Fonte: Elaborado pela autora.

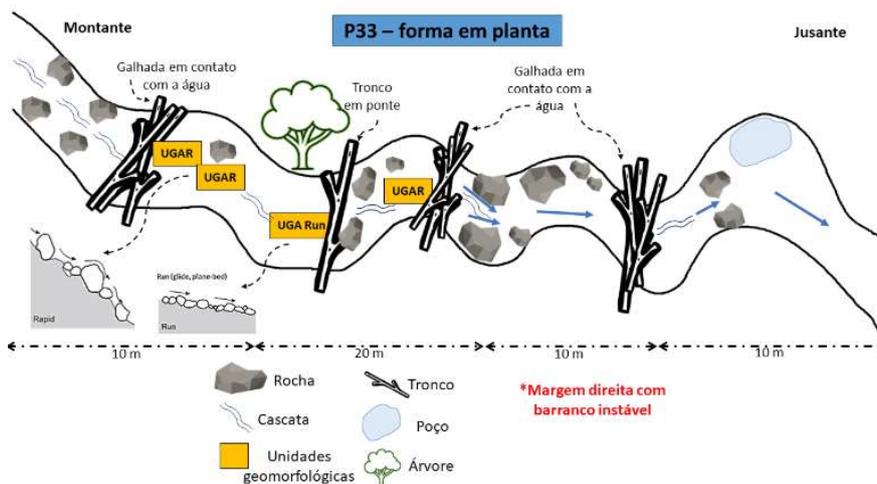


Figura 5: Forma em planta do trecho P33. Sendo: UGAR: “rapid” e UGARUN: “run”. Fonte: Elaborado pela autora.

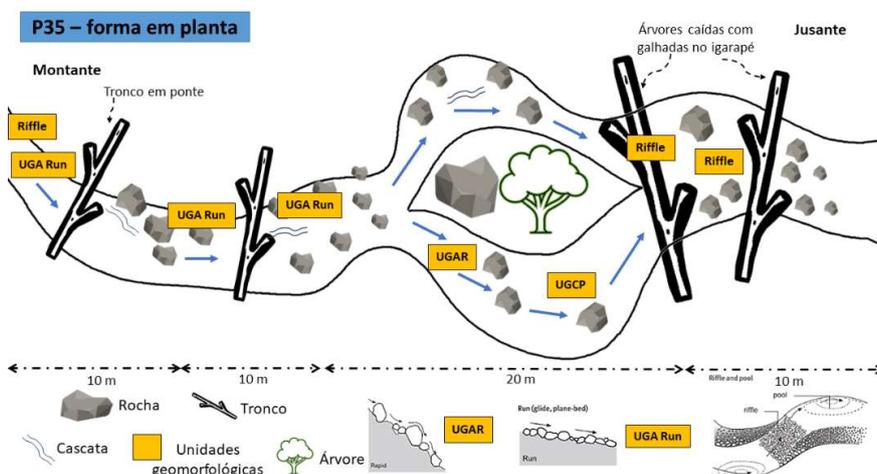


Figura 6: Forma em planta do trecho P35. Sendo: UGAR: “rapid”, UGARUN: “run”, UGCR: “riffle”, UGCP: “pool”. Fonte: Elaborado pela autora.

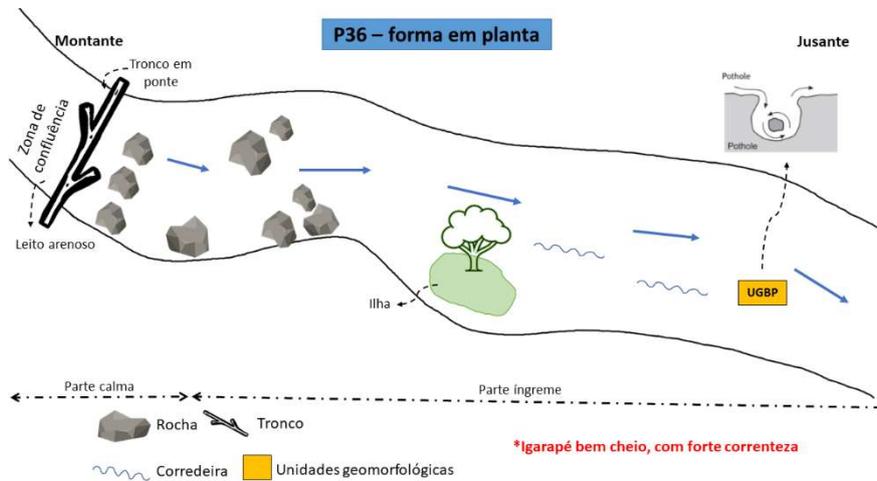


Figura 7: Forma em planta do trecho P36. Sendo: UGBP: “pothole”. Fonte: Elaborado pela autora.

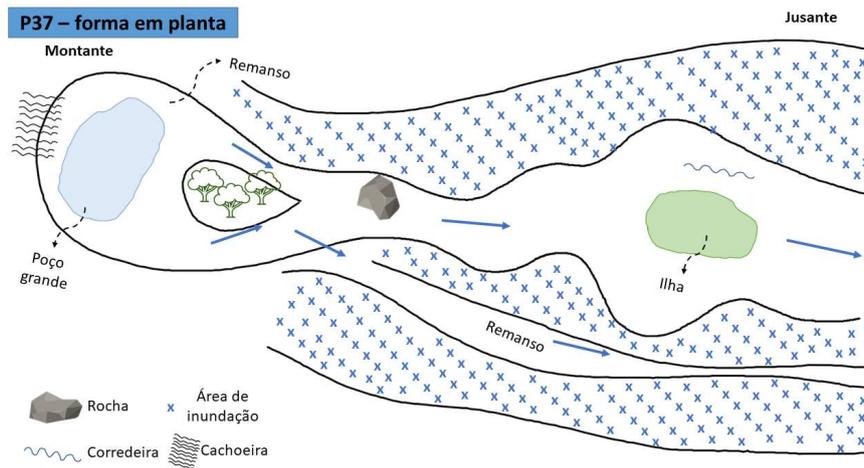


Figura 8: Forma em planta do trecho P37. Fonte: Elaborado pela autora.

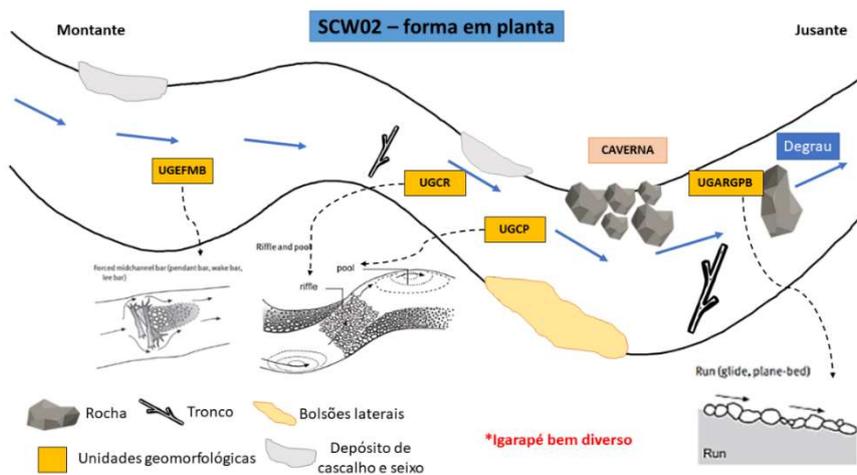


Figura 9: Forma em planta do trecho SCW02. Sendo: UGEFMB: “forced midchannel bar”, UGARGPB: “run (glide, plane-bed”, UGCR: “rifle”, UGCP: “pool”. Fonte: Elaborado pela autora.

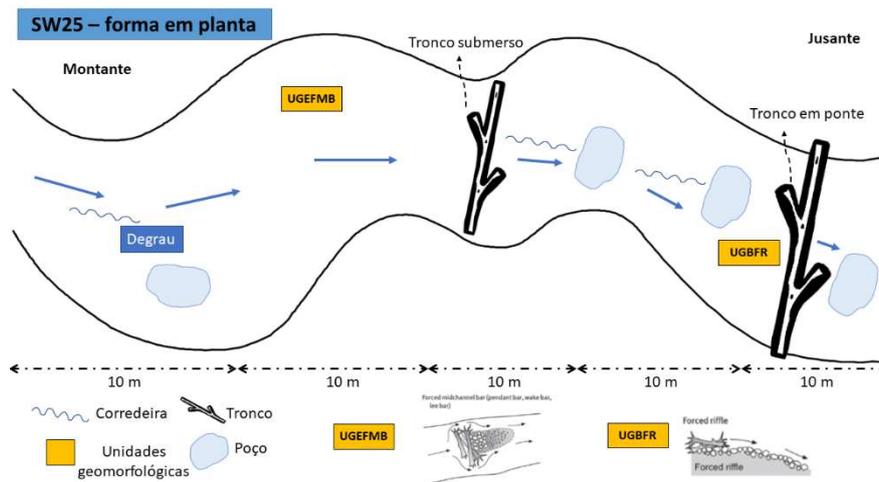


Figura 10: Forma em planta do trecho SW25. Sendo: UGEFMB: “forced midchannel bar” e UGBFR: “forced riffle” Fonte: Elaborado pela autora.

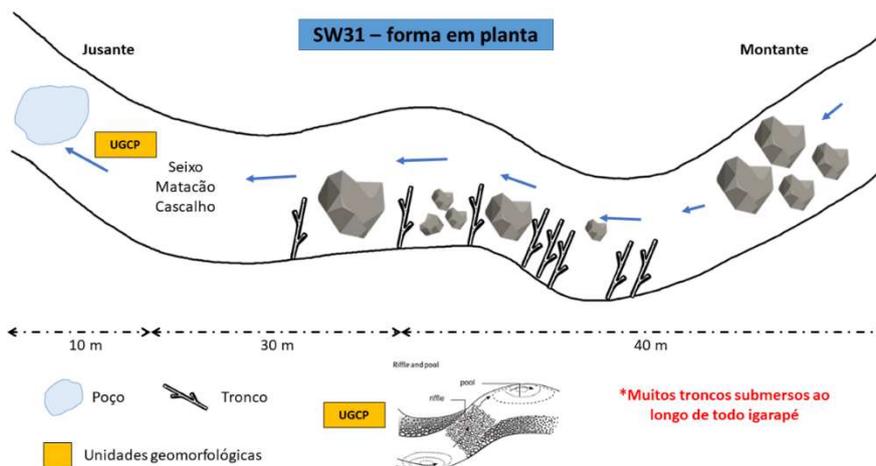


Figura 11: Forma em planta do trecho SW31. Sendo: UGCP: “pool”. Fonte: Elaborado pela autora.

As formas em planta evidenciam as diferenças existentes entre as unidades geomorfológicas presentes, principalmente os diferentes tipos de corredeiras nos trechos estudados, sendo as unidades geomorfológicas: UGAR: “rapid”, UGARUN: “run”, UGCR: “riffle”, UGCP: “pool”, UGBP: “pothole”, UGEFMB: “forced midchannel bar”, UGARGPB: “run (glide, plane-bed)”, UGBFR: “forced riffle”. Todas as siglas representam diferentes tipos de corredeiras, e suas formas estão demonstradas nos esquemas.

No que se refere a *macroescala*, a altimetria da região foi obtida através do MDE (modelo digital de elevação) de imageamento do satélite ALOS-PALSAR, mostrando que a área de estudo tem altimetria mínima de 117m e máxima de 790m, com um valor médio de 429,5 m. A maior parte dos trechos avaliados estão numa região de escarpas íngremes, em cotas de 300 a 600m de altitude. Em relação a declividade, o presente trabalho foi feito baseado na metodologia da EMBRAPA (2009), adaptando sua classificação para compreender as classes: 0 a 20%, 20 a 40% e >40%. Tais classes foram denominadas: plana, ondulada e montanhosa, respectivamente. Os pontos P26 e SW31 estão inseridos na classe plana, enquanto P33, P35, P36, P37, SW25 e SCW02 encontra-se na classe ondulada. Já a classe montanhosa ocorre sendo pouca expressiva próximo aos pontos SW31 e SCW02. A hidrografia da região exhibe regime predominantemente dendrítico, com influência estrutural e alta integração entre os cursos d’água, com fluxos em múltiplas direções e canais com baixa sinuosidade. Na rede de drenagem, é possível observar vários canais

intermitentes, apresentando fluxos de água em períodos de chuva e se mantendo secos na estiagem, sobretudo os canais de primeira ordem possuem essa característica.

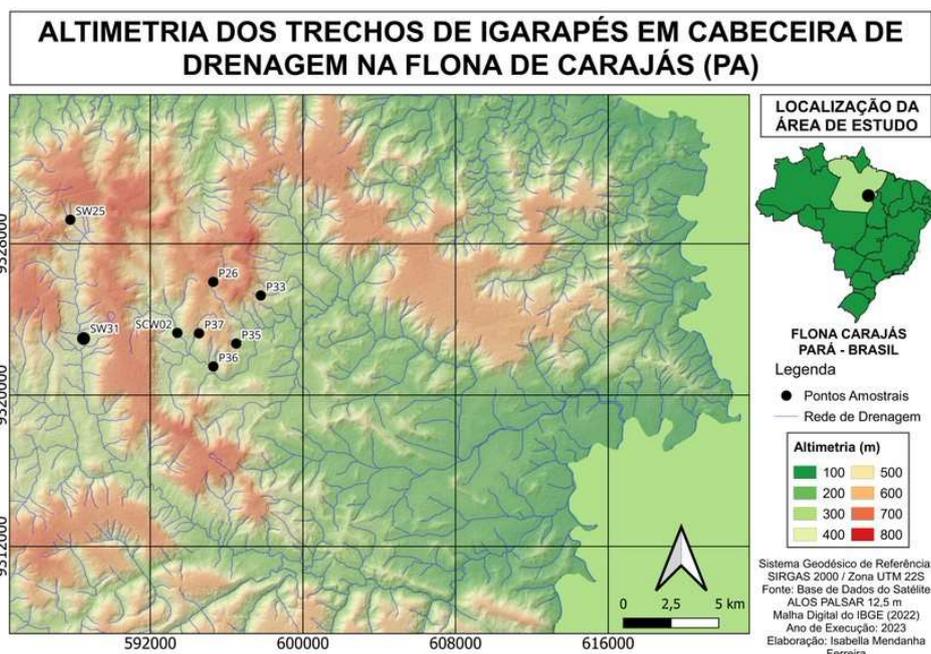


Figura 12: Altimetria da malha amostral nos trechos de igarapés em cabeceira de drenagem na FLONA de Carajás. Fonte: Elaborado pelos autores.

Como próximos passos do trabalho, iremos avaliar a variação espacial e temporal (2015 – 2023) dos parâmetros físicos e químicos da água (turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão), da granulometria e o teor de matéria orgânica no sedimento. Além de analisar a diversidade das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, zooplâncton e ictiofauna presente dos igarapés. Também serão produzidos mapas do grau de suscetibilidade e do potencial de recuperação

CONCLUSÕES

Assim, os pontos mais suscetíveis são aqueles que estão mais próximos às estruturas de mineração, possuem menor declividade e menores ordens, tendo piores condições de escoamento de sedimento em caso hipotético de um assoreamento de larga escala provocado por acidentes ambientais. Ainda em relação à geomorfologia, quanto maior o número de áreas propensas à inundação, menor é o potencial de recuperação, pois o sedimento fino tende a acumular-se.

REFERÊNCIAS

- ÁREA OCUPADA PELA MINERAÇÃO NO BRASIL CRESCE MAIS DE 6 VEZES ENTRE 1985 E 2020. MapBiomas (Brasil), 2020. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/area-ocupada-pela-mineracao-no-brasil-cresce-mais-de-6-vezes-entre-1985-e-2020>. Acesso em: 04/11/2022
- BEVILACQUA, M.S., MARCHESI, M.R., FELIX, R.W., LEAL, J.J.F., BARROS, M.P.F., BOZELLI, R.L., ESTEVES F.A. 2019 Aquatic Oligochaete Communities in Amazonian Streams, Saracá-Taquera National Forest, Pará, Brazil. *Biota Neotropica*. 20(1): e20180654. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0654>
- BOMFIM, M. 2017. Geração de manchas para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado.
- BOZELLI, R. L., CARAMASCHI, E., FELIX, R. W., MARQUES, R. O., OLIVEIRA, C. M., ALVES, M. E. C. C., FERREIRA, I. M. 2022. Programa de Estudos limnológicos na FLONA de Carajás
- BRIERLEY, G. J.; FRYTS, K.A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, 2005.398p.
- BRIERLEY, G. J., AND FRYIRS, K.A.. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. 1st ed. edited by G. J. Brierley and K. A. Fryirs. Malden, MA, USA: Blackwell Publishing, 2004.
- CALLISTO, M. et al. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para avaliar a Saúde de Riachos. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. n. 1, p 71 – 82, 2001.
- CASO SAMARCO. Ministério Público Federal, 2016. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/o-desastre>. Acesso em: 04/11/2022

VALE. Conheça mais sobre a história de Carajás, a maior mina de minério de ferro do mundo. Vale, 2018. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/conheca-mais-sobre-historia-carajas-maior-mina-minerio-ferro-mundo.aspx>. Acesso em: 06/11/2022

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 3.ed. 2011.

FELIX, R. W. ESTRATÉGIAS PARA REABILITAÇÃO DE UM RIACHO AMAZÔNICO EM CABECEIRA DE DRENAGEM ASSOREADO POR ATIVIDADES DE MINERAÇÃO UTILIZANDO CONCEITOS E PRÁTICAS DA LIMNOLOGIA, HIDROGEOMORFOLOGIA E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA. Tese, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Macaé, 178p., 2020.

HARMAN, W., R. STARR, M. CARTER, K. TWEEDY, M. CLEMMONS, K. SUGGS, C. MILLER. 2012. A Function-Based Framework for Stream Assessment and Restoration Projects. US Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, DC EPA 843-K-12-006.

FERDOUS, Z, MUKTADIR, A. K. M. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator. American Journal of Applied Sciences, v. 6, p.1815 – 1819, 2009.

FLONA DE CARAJÁS. Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em:< <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/flona-de-carajas>>.

Acesso em: 07/11/2022

GANN, G. D. et al. PRINCÍPIOS E PADRÕES INTERNACIONAIS PARA A PRÁTICA DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA. Society for ecological restoration (SER). Segunda edição: Novembro de 2019.

HEEP, L.U. et al. Distribution of aquatic insects in urban headwater streams. Acta Limnologica Brasiliensia, v.25, n. 1, p 1-9, 2013.

LEMONS, M. A. Q, PIMENTEL, M. A. S. MINERAÇÃO E DESASTRES AMBIENTAIS COM REJEITOS DE BAUXITA E CAULIM NO MUNICÍPIO DE BARCARENA-PARÁ-BRASIL-AMAZÔNIA. Revista Territorium, N° 28, p.137 – 156, 2021.

NAYYERI, H; ZANDI, S. Evaluation of the effect of river style framework on water quality: application of geomorphological factors. Environmental Earth Sciences, 2018.

OLIVEIRA, L.N; SILVA, C. E. Qualidade da água no rio poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina-PI. Revista Equador (UFPI), v. 3, p. 128 – 147, 2014.

ROCHA, C. L. As Tragédias de Mariana e Brumadinho: É Prejuízo? Para Quem? Caderno de Geografia, v3, número especial 1, p. 184 – 195, 2021. DOI 10.5752/p.2318-2962.2021v31nesp1p184

RUARO, R.; GUBIANI, É. A.; CUNICO, A. M.; MORETTO, Y.; PIANA, P. A. Comparison of fish and macroinvertebrates as bioindicators of Neotropical streams. Environmental Monitoring and Assessment, v.188, n.1, p.45, 2016.

SOUSA, M. J. N. GEOMORFOLOGIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. Revista de Geografia (Recife), v. 35, n° 4, p.380 – 393, 2018

VIANA, A. P., LUCENA, F. F. Ichthyofauna as bioindicator of environmental quality in an industrial district in the amazon estuary, Brazil. Braz. J. Biol., 2014, vol. 74, no. 2, p. 315-324, 2014.

YOUNG, S. S, YANG, H.N, HUANG, D. J, LIU, S. M, HUANG, Y. H, CHIANG, C. T, LIU, J. W. Using Benthic Macroinvertebrate and Fish Communities as Bioindicators of the Tanshui River Basin Around the Greater Taipei Area — Multivariate Analysis of Spatial Variation Related to Levels of Water Pollution. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 11, p. 7116 – 7143, 2014. doi:10.3390/ijerph110707116

ZARONI, M. ZOOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE AMBIENTAL EM DOIS ESTUÁRIOS BRASILEIROS: UM LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO. Dissertação, Mestrado em Ecologia e Ambiente, 2020, 57p., 2020.