

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação

AGRUPAMENTOS DE MADEIRAS: UMA ALTERNATIVA PARA A  
REABILITAÇÃO DE RIACHO ASSOREADO POR SEDIMENTO FINO

Kayza de Freitas Pereira

MACAÉ

2021

Kayza de Freitas Pereira

AGRUPAMENTOS DE MADEIRAS: UMA ALTERNATIVA PARA A  
REABILITAÇÃO DE RIACHO ASSOREADO POR SEDIMENTO FINO

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade - NUPEM/UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre.

Orientador: Marcos Paulo Figueiredo Barros  
Coorientador: Rodrigo Weber Felix

Macaé

2021

CIP - Catalogação

P436a      Pereira, Kayza de Freitas  
              Agrupamentos de madeira: Uma alternativa para a  
              reabilitação de riacho assoreado por sedimento fino.  
              / Kayza de Freitas Pereira. -- Rio de Janeiro, 2021.  
              85 f.

              Orientador: Marcos Paulo Figueiredo-Barros.  
              Coorientador: Rodrigo Weber Felix.  
              Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Biodiversidade e  
Sustentabilidade, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Conservação, 2021.

              1. Restauração ecológica. 2. Limnologia. 3.  
Geomorfologia fluvial. 4. Amazônia. I. Figueiredo  
Barros, Marcos Paulo, orient. II. Felix, Rodrigo  
Weber, coorient. III. Título.

Kayza de Freitas Pereira

AGRUPAMENTOS DE MADEIRAS: UMA ALTERNATIVA PARA A  
REABILITAÇÃO DE RIACHO ASSOREADO POR SEDIMENTO FINO

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade - NUPEM/UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre.

Orientador: Marcos Paulo Figueiredo Barros  
Coorientador: Rodrigo Weber Felix

Aprovada em 09 de Dezembro de 2021

---

Presidente, Prof. Dr. Marcos Paulo Figueiredo Barros (UFRJ)

---

Prof. Dr. Vinicius Fortes Farjalla

---

Prof. Dr. Nathan Barros

## **AGRADECIMENTOS**

O caminho percorrido para se alcançar uma formação nunca é feito sozinho, ele sempre está acompanhado de inúmeras pessoas e crenças que nos dão força, incentivo, coragem e ensinamentos para tornar nossos trabalhos possíveis.

Primeiramente, agradeço a Deus que é minha força, proteção e aquele ao qual eu intercedo a todos os momentos de dificuldades e felicidade. Agradeço e dedico minha dissertação aqueles que me deram força e incentivo desde cedo, mas que não estão na vida terrena para acompanhar minha formação, pessoas estas que sempre me incentivaram e demonstraram o orgulho e carinho que tinham por mim, Vó Natalina e Tia Tuca, saibam de onde estiverem que muitas vezes vocês foram minha força, superação e dedicação.

Agradeço a minha família, por compreenderem a minha ausência, por me apoiarem e por serem estarem dispostos a me ajudar. Agradeço principalmente aos meus pais e ao meu irmão que nunca mediram esforços para tornar possível a minha formação. Agradeço por cada ladeira que subimos, por cada mudança que fizemos, por cada noite trabalhada para sustentar meus sonhos. Agradeço pela nossa união, que por diversas vezes me deu força e vontade de continuar.

Agradeço ao agora meu marido, por desde nossa adolescência ter me incentivado a não desistir do meu sonho, por ter passado comigo todos os perrengues do cursinho pré vestibular ao mestrado. Te agradeço Gustavo, por cada momento de apoio, por cada dificuldade que passou do meu lado e pela compreensão com as viagens e ausência para que fosse possível minha formação. Te agradeço por confiar e acreditar em mim, por sempre está me lembrando o que eu sou e o que eu posso ter.

Agradeço a minha família da UFRJ, aos meus amigos de graduação e laboratório. Amigos esses que me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente. Amigos esses que me seguraram em muitos momentos difíceis e que também estiveram ao meu lado em momentos felizes e inesquecíveis.

Deixo aqui também registrada minha gratidão aos membros do Laboratório de Ecologia Aquática do NUPEM, agradeço a cada um que possuiu pelo laboratório durante a minha formação, pois cada um de vocês teve uma importância fundamental na minha formação. Agradeço especialmente ao Prof. Marcos Paulo por ter aberto as portas do laboratório para mim e por ter me proporcionado diversas oportunidades incríveis. Ao Rodrigo Felix por ter sido mais que amigo universitário e coorientador, onde muitas vezes virou meu irmão mais velho, obrigada por cada ensinamento acadêmico e de vida. Aos

membros do Grupo de Estudos de Áreas Degradadas (GERARD), por terem contribuído em todos os processos da minha formação e execução deste trabalho. Agradeço especialmente também ao Prof. Reinaldo, por ter acreditado em nosso grupo para execução deste trabalho e de diversos outros.

Agradeço a VALE pelo financiamento desta pesquisa e por toda a equipe que trabalhou na execução deste projeto. Agradeço também a Guarda Florestal e ao ICMBio de Carajás por todo o apoio técnico e logístico durante a realização do trabalho.

Agradeço a todos os membros do NUPEM, a cada funcionário que muitas vezes foram mãe, pai, orientador, professor, amigo, tudo em uma pessoa só e que com isso tornou todo o processo muito mais leve e prazeroso. OBRIGADA NUPEM, OBRIGADA UFRJ.

## RESUMO

PEREIRA, Kayza Freitas. **Agrupamentos de madeira: Uma alternativa para a reabilitação de riacho assoreado por sedimento fino.** Macaé, 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação). Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2021.

Atividades de mineração provocam impactos diretos e indiretos aos cursos hídricos devido a movimentação de terras e construção de infraestruturas. Com o intuito de prevenir e mitigar esses impactos são realizados programas de monitoramento e restauração ambiental das áreas sob influência da mineração. Soluções baseadas na natureza, como o uso de agrupamentos de madeira (adição de troncos e galhos) nos cursos hídricos, vem sendo utilizadas no processo de restauração de riachos devido a formação de zonas de retenção de substratos orgânicos e inorgânicos e pelo fornecimento dos troncos e galhos ocorrerem naturalmente pela mata ciliar. Além disso, a formação dos agrupamentos contribui com a manutenção dos processos ecológicos e geomorfológicos dos riachos, através do aumento da retenção de substratos, aumentando a disponibilidade de microhabitats, através da formação de zonas de corredeiras e remansos, favorecendo a heterogeneidade estrutural do leito. Porém, as contribuições dos agrupamentos de madeira podem sofrer alterações de acordo com as condições ambientais do riacho, como vazão, composição vegetal da mata ciliar e sedimentar do leito. Assim, tornam-se necessários estudos com agrupamentos de madeira em riachos com diferentes características, pois riachos de cabeceira assoreados com regimes de chuvas específicos podem apresentar diferentes respostas ecológicas e geomorfológicas à presença de agrupamentos de madeira. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as métricas dos agrupamentos de madeira e do riacho associadas à diversidade de táxons e funções dos macroinvertebrados bentônicos, para gerar um referencial para aplicação de soluções baseadas na natureza na restauração de processos em trechos de um riacho amazônico assoreado por sedimento fino. As amostragens foram realizadas em trechos de riachos situados na FLONA de Carajás, no estado do Pará, sendo dois trechos assoreados situados dentro de uma área de mineração (DEG-A e DEG-B) e um trecho situado fora da área de mineração avaliado como ambiente de referência (NAT). Foi realizada a caracterização ambiental desses trechos através da avaliação de variáveis limnológicas (vazão, STS, turbidez), características visuais do leito e da mata ciliar (dossel, solo adjacente, forma do canal, entre outras). Além disso, 11 agrupamentos de

madeiras foram avaliados em cada trecho em relação ao seu comprimento, posição e função desenvolvida dentro do riacho, dados de largura do riacho, biomassa e matéria orgânica particulada retidas também foram avaliados em cada agrupamento. Nas diferentes áreas de retenção formadas pelos agrupamentos foram avaliadas a abundância, riqueza e diversidade funcional e taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Dentre os trechos estudados, DEG-A apresentou área ciliar degradada, formação de zonas de deposição de sedimentos, menores comprimentos de madeiras, vazão, abundância e diversidade da comunidade bentônica. DEG-B e NAT apresentaram área ciliar preservadas, maior vazão, comprimento de madeira, retenção de biomassa, abundância, diversidade e riqueza) da comunidade bentônica. Estes resultados demonstraram que as condições ambientais do trecho DEG-A interferem negativamente na formação de grandes agrupamentos de madeira ( $C_{mad}:L_{riacho} \geq 1$ ) e na abundância, diversidade e riqueza da comunidade bentônica, sendo necessárias intervenções em sua área marginal e no leito do canal. Diante disso, a reabilitação ciliar junto com a adição de agrupamentos de madeiras maiores em posição de ponte em contato com a coluna d'água podem auxiliar na formação de habitats em suspensão, disponibilizando uma maior variedade de habitats favorecendo um aumento da diversidade da comunidade de macroinvertebrados.

**Palavras-chave:** Dispositivo de retenção; Geomorfologia fluvial; Ecologia Fluvial; solo estéril; grandes madeiras



## ABSTRACT

PEREIRA, Kayza Freitas. **Wood clusters: An alternative for stream rehabilitation silted by fine sediment.** Macaé, 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação). Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2021.

Mining activities cause direct and indirect impacts to watercourses due to earth movement and infrastructure construction. In order to prevent and mitigate these impacts, environmental monitoring and restoration programs are carried out in areas under the influence of mining. Nature-based solutions, such as the use of wood clusters (adding trunks and branches) in watercourses, have been used in the stream restoration process due to the formation of retention zones for organic and inorganic substrates and the supply of trunks and branches occur naturally through the riparian forest. In addition, the formation of clusters contributes to the maintenance of ecological and geomorphological processes in streams, by increasing the retention of substrates, increasing the availability of microhabitats, through the formation of rapids and backwaters, favoring the structural heterogeneity of the river bed. However, the contributions of the wood clusters can change according to the environmental conditions of the stream, such as flow, vegetation composition of the riparian forest river bed sedimentation. Thus, studies with wood clusters in streams with different characteristics become necessary, as headwater streams silted up with specific rainfall regimes may present different ecological and geomorphological responses to the presence of wood clusters. In this context, the objective of this research was to evaluate the metrics of wood and stream clusters associated with the diversity of taxa and functions of benthic macroinvertebrates, to generate a framework for the application of nature-based solutions in the restoration of processes in stretches of an Amazonian stream silted with fine sediment. The samplings were carried out in stretches of streams located in FLONA de Carajás, in the state of Pará, with two silted up stretches located within a mining area (DEG-A and DEG-B) and a stretch located outside the mining area evaluated as environment reference (NAT). The environmental characterization of these stretches were carried out through the evaluation of limnological variables (flow, STS, turbidity), visual characteristics of the bed and riparian forest (canopy, adjacent soil, canal shape, among others). In addition, 11 wood clusters were evaluated in each stretch in relation to their length, position and developed function within the stream, stream width data, retained biomass and particulate organic

matter were also evaluated in each cluster. In the different retention areas formed by the clusters, the abundance, richness and, functional and taxonomic diversity of the benthic macroinvertebrate community, were evaluated. Among the stretches studied, DEG-A showed degraded riparian area, formation of sediment deposition zones, shorter wood lengths, flow, abundance and diversity of the benthic community. DEG-B and NAT showed preserved riparian area, greater flow, wood length, biomass retention, abundance, diversity and richness) of the benthic community. These results showed that the environmental conditions of the DEG-A stretch negatively interfere in the formation of large wood clusters ( $C_{wood}:L_{river} \geq 1$ ) and in the abundance, diversity and richness of the benthic community, requiring interventions in its marginal area and in the bed of the canal. Therefore, riparian rehabilitation along with the addition of larger wood clusters in bridge position in contact with the water column can help in the formation of suspended habitats, providing a greater variety of habitats, favoring an increase in the diversity of the community of macro invertebrates.

**Keywords:** Retention device; River geomorphology; River ecology; Sterile soil; Large woods.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Desenho esquemático do processo de disposição de solo estéril em pilhas, representando a deposição do sedimento e as estruturas obrigatórias para estabilização das pilhas, como tapete de drenagem e enrocamento (Adaptado de Freitas, 2004). ..... 19
- Figura 2.** Localização geográfica da Floresta Nacional de Carajás (FLONACA), situada no estado do Pará – Brasil. (Fonte: Centro de Educação Ambiental de Parauapebas – PA). ..... 23
- Figura 3.** Localização e descrição da área de estudo situada na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina de Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. Os pontos grifados de verde, vermelho e laranja são os trechos trabalhados nessa pesquisa, sendo respectivamente NAT, DEG-A e DEG-B (Fonte: Google Earth, 2021)..... 24
- Figura 4.** Imagens do trecho de estudo DEG-A, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito neste trecho. Mata ciliar fragmentada, solo marginal e leito do riacho assoreados pelo aporte de sedimento fino (Fonte: Rodrigo Felix). ..... 25
- Figura 5.** Imagens do trecho de estudo DEG-B, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito neste trecho. Mata ciliar preservada com deposição de sedimento fino estéril no leito do riacho (Fonte: Rodrigo Felix). ..... 26
- Figura 6.** Imagens do trecho de estudo NAT, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito deste trecho. Riacho natural sem aporte de sedimento fino estéril nas margens e no leito do riacho (Fonte: Rodrigo Felix). ..... 26
- Figura 7.** Esquema da aplicação do protocolo ambiental realizado em um ponto a montante, um central e um a jusante, em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT), realizado em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. .... 27
- Figura 8.** Esquema das posições utilizadas para classificação dos agrupamentos de madeira e dos tipos de agrupamentos avaliados nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT, em abril/maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA (Fonte: Elaboração própria). ..... 28
- Figura 9.** Medição dos agrupamentos de madeira em campo realizado em abril e maio de 2019 no trecho DEG-B na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. (A)

ilustra um agrupamento de madeira composto formado por 3 fragmentos de madeira, destacados pelas linhas coloridas; (B) ilustra um agrupamento de madeira simples, formado apenas por um fragmento de madeira. ....	30
<b>Figura 10.</b> Locais de retenção de material formados pelos agrupamentos de madeira onde foram realizadas as coletas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. Em vermelho material retido em suspensão coletado através do uso da rede D, em laranja material retido no fundo coletado com a rede surber e em amarelo área de remanso próxima ao agrupamento onde ocorreu a fixação de litterbags. ....	31
<b>Figura 11.</b> Seção transversal dos trechos de 100 metros estudados (DEG-A, DEG-B e NAT), nos pontos a montante, central e jusante. Medições realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	36
<b>Figura 12.</b> Dados de vazão, turbidez e STS coletados ao longo dos meses de abril e maio de 2019 nos três trechos de estudo, onde DEG-A apresentou n=7 para vazão e n=8 para turbidez e STS, DEG-B apresentou n=6 para todas as variáveis e NAT apresentou n=5 para vazão e n=6 para turbidez e STS. No box-plot a linha central horizontal representa a mediana e o limite superior e inferior dos polígonos representa o intervalo interquartil (25-75% dos dados) e a barra de erros representa os valores máximos e mínimos. ....	38
<b>Figura 13.</b> Porcentagem dos agrupamentos de madeira em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) em relação ao seu nível de deterioração e composição. As barras representam as porcentagens de agrupamento não deteriorado (verde), pouco deteriorado (amarelo) e muito deteriorado (vermelho). As linhas representam a porcentagem dos agrupamentos com composição simples (preta) e composta (cinza). ....	39
<b>Figura 14.</b> Porcentagem dos agrupamentos de madeiras avaliados em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) que apresentaram as funções de formação de corredeira, formação de remanso, retentor de madeira, retentor de sedimento e substrato de aderência. ....	40
<b>Figura 15.</b> Porcentagem dos agrupamentos de madeiras avaliados nas posições paralelo a margem, perpendicular a margem, ponte na coluna d'água, ponte no fundo e rampa nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT. ....	40
<b>Figura 16.</b> Scatter plots da análise de componentes principais (PCA) demonstrando a ordenação dos trechos de estudo (DEG-A=vermelho, DEG-B=laranja e NAT=verde) e das variáveis (vetores) avaliadas nos agrupamentos de madeira. ....	44

<b>Figura 17.</b> Box-plot do comprimento da madeira (m) entre os trechos NAT, DEG-A e DEG-B ( $H=10.46$ e $p\leq 0,05$ ) avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	45
<b>Figura 18.</b> Box-plot da razão $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$ (comprimento da madeira/largura do canal do ponto) nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	45
<b>Figura 19.</b> Gráficos box-plots sobre a relação da biomassa ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) ( $H=7.36$ e $p\leq 0,05$ ) e matéria orgânica ( $H=7.68$ e $p\leq 0,05$ ) acumuladas nas áreas de retenção de material formadas pelos agrupamentos de madeiras nos três trechos de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	46
<b>Figura 20.</b> Dados de abundância absoluta, riqueza taxonômica e diversidade de Shannon da comunidade bentônica coletada nos três trechos de estudo, através da metodologia da rede surber e rede D coletados em Abril/Maio de 2019. A mediana está representada pela linha interquartil e o intervalo corresponde a 25-75% dos dados com a barra de erros sendo representada pelos valores máximos e mínimos. ....	50
<b>Figura 21.</b> Dados de abundância absoluta, riqueza taxonômica e diversidade de Shannon da comunidade bentônica aderida aos litterbags adicionados nas áreas de remanso e corredeira coletados em Abril/Maio de 2019. A mediana está representada pela linha interquartil e o intervalo corresponde a 25-75% dos dados com a barra de erros sendo representada pelos valores máximos e mínimos. ....	51
<b>Figura 22.</b> Análise de similaridade baseada no índice de Bray Curtis para os grupos taxonômicos de macroinvertebrados bentônicos no leito e em suspensão nos trechos de estudo ( $R^2=0,95$ ). Os pontos representados pela cor vermelha representam o trecho DEG-A, em laranja o trecho DEG-B e em verde o trecho NAT. Amostras coletadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	55
<b>Figura 23.</b> Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos taxonômicos coletados nos trechos DEG-A (vermelho) e DEG-B (laranja) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar) selecionados através da realização da PCA. Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	57
<b>Figura 24.</b> Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos taxonômicos coletados no trecho NAT (verde) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos	

agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar) selecionados através da realização da PCA. Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	58
<b>Figura 25.</b> Porcentagem dos grupos funcionais encontrados em cada trecho de estudo através das diferentes metodologias de coleta. ....	60
<b>Figura 26.</b> Análise de similaridade baseada no índice de Bray Curtis para os grupos funcionais de macroinvertebrados bentônicos no leito e em suspensão nos trechos de estudo ( $R^2=0,92$ ). Os pontos representados pela cor vermelha representam o trecho DEG-A, em laranja o trecho DEG-B e em verde o trecho NAT. Amostras coletadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.....	62
<b>Figura 27.</b> Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos funcionais coletados nos trechos DEG-A (vermelho) e DEG-B (laranja) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar). Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	63
<b>Figura 28.</b> Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos funcionais coletados no trecho NAT (verde) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar). Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	64

## ÍNDICE DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Descrição das categorias utilizadas para avaliação das funções, taxa de decomposição e posições apresentadas pelos agrupamentos de madeira em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT), avaliados em abril/maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. (Fonte: Adaptado de BURROWS, 2012) .....	29
<b>Tabela 2.</b> Número de amostras referentes as coletas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos realizada nos agrupamentos de madeira através do uso da rede surber, rede D e instalação de litterbags, nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT. Coletas realizada em abril e maio de 2019. ....	32
<b>Tabela 3.</b> Características visuais referentes ao leito e a área marginal do riacho, avaliados através da aplicação do protocolo ambiental nos pontos a montante, jusante e central dos trechos de 100m (DEG-A, DEG-B e NAT) em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. ....	35
<b>Tabela 4.</b> Médias das variáveis ambientais nos trechos de estudo DEG-A, DEG-B e NAT avaliadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. As médias referentes as variáveis de cobertura de dossel, largura do canal e profundidade foram realizadas através dos valores a montante, central e jusante de cada trecho de 100m. *Variáveis com alto desvio padrão referentes aos eventos de chuva. .	37
<b>Tabela 5.</b> Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho NAT em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade $p \leq 0,05$ . ....	42
<b>Tabela 6.</b> Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho DEG-A em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade $p \leq 0,05$ . ....	42
<b>Tabela 7.</b> Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho DEG-B em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade $p \leq 0,05$ . ....	43
<b>Tabela 8.</b> Métricas ecológicas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos coletados nas áreas de retenção, remanso e corredeiras formadas pelos grupamentos de madeira no período de abril/maio de 2019. ....	48

**Tabela 9.** Abundância absoluta (Ab.) e abundância taxonômica (AT) identificados em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) em relação ao tipo de coleta realizada em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA..... 52

**Tabela 10.** Abundância relativa da família Chironomidae coletada através da rede surber, rede D e a abundância relativa total ao se considerar os dois tipos de amostragem realizada em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA..... 54



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- Anexo 1.** Protocolo ambiental aplicado nos pontos a montante, no centro e a jusante dos trechos de 100m estudados para caracterização de DEG-A, DEG-B e NAT..... 78
- Anexo 2.** Classificação dos agrupamentos de madeira em cada ponto avaliado nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT de acordo com sua posição e função. Em negrito estão representados os pontos que apresentaram retenção de material retido em suspensão nos agrupamentos..... 79
- Anexo 3.** Lista de ocorrência de táxons, abundância absoluta e grupos funcionais coletados nos trechos de estudo DEG-A, DEG-B e NAT através do uso da rede Surber, rede D, Litterbags instalados em remanso (rem.) e Litterbags instalados em corredeiras (cor.), no período de Abril/Maio de 2019. \*\*Táxons EPT..... 80

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.2 Justificativa.....	21
2. OBJETIVO .....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Área de estudo .....	22
3.2 Caracterização do trecho de estudo .....	26
3.3 Avaliação dos agrupamentos de madeira .....	28
3.4 Avaliação da comunidade bentônica .....	30
3.5 Análises de dados.....	33
4. RESULTADOS .....	33
4.1 Caracterização dos trechos de estudo .....	33
4.2 Avaliação dos agrupamentos de madeira .....	39
4.3 Avaliação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em diferentes microhabitats formados pelos agrupamentos de madeira.....	46
4.3.1 Composição taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos .....	46
4.3.1.1 Ordenação e similaridade taxonômica da comunidade bentônica retida no leito e em suspensão .....	53
4.3.2 Composição do grupo funcional alimentar da comunidade de macroinvertebrados bentônicos .....	59
4.3.2.1 Ordenação e similaridade do grupo funcional alimentar da comunidade bentônica retida no leito e em suspensão.....	61
5. DISCUSSÃO.....	65
6. CONCLUSÃO.....	71
7. REFERÊNCIAS .....	73
8. ANEXOS .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

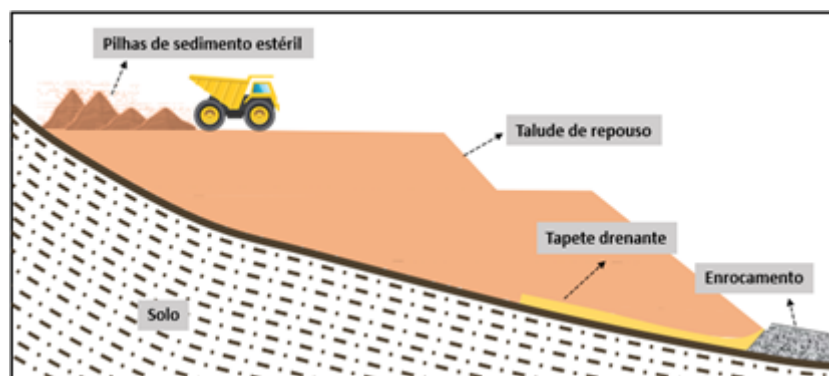
Os ecossistemas aquáticos lóticos que possuem baixa vazão, são classificados como riachos e tendem a apresentar densa mata ciliar que desempenha o papel de principal fornecedor de energia para o corpo aquático, através do fornecimento de galhos, folhas e frutos (ESTEVES; GONÇALVES, 2011). Na Amazônia Brasileira, esses riachos são regionalmente conhecidos como igarapé, que significa caminho de canoa, e possuem grande importância para a manutenção da biodiversidade e para as comunidades ribeirinhas que habitam suas margens.

O desenvolvimento das atividades econômicas próximas a esses riachos, em meio a densa floresta, pode causar uma série de impactos ambientais que são considerados alterações físicas, químicas e/ou biológicas causadas ao meio ambiente (CONAMA, 1986). Um exemplo de atividade econômica que ocorre na Amazônia Brasileira é a extração de minérios, que podem alterar e degradar os ecossistemas através da construção de barragens de sedimentos, desvio do curso natural do corpo hídrico, retirada de vegetação e construção de infraestruturas.

Com o intuito de preservar os ecossistemas que sofrem essas alterações causadas por atividades econômicas e garantir seu uso de forma sustentável por todos, foram criadas as Unidades de Conservação para regularizar o uso e a condição ambiental dos recursos naturais (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000). Além disso, há o Código de Mineração de 1967 que estabelece as condições para obtenção de licença para a realização da extração de minério. Este Código, vem sendo atualizado através de novos decretos e normas ambientais como a norma ABNT NBR 13029 que trata sobre a disposição de *rejeitos* e *solo estéril* produzidos durante o processo de beneficiamento do minério.

A disposição desses subprodutos gerados a partir da extração de minério é realizada através da formação de barragens de rejeitos e pilhas de *solo estéril*. São considerados como *rejeitos* os materiais resultantes do processo de beneficiamento do minério e como *solo estéril* o solo natural superficial não aproveitado economicamente, mas que precisa ser retirado para possibilitar a extração do minério (ARAGÃO, 2008). Diferente da disposição dada ao rejeito que são destinados a barragens, os solos estéreis são dispostos em pilhas de acordo com a norma ABNT NBR 13029, que determina os critérios para construção (ABNT, 2006) (

Figura 1). Dentre os critérios avaliados para garantir a estabilidade dessas pilhas de estéril estão diversos fatores como altura da pilha, comprimento e limpeza do talude, desvio dos corpos hídricos a montante e formação do tapete de drenagem. Porém, mesmo adotando esses critérios pode haver erosão dessas pilhas, principalmente em períodos de alta pluviosidade, onde os solos das áreas mineradas e os solos contidos nas pilhas ficam suscetíveis a processos de erosão, podendo ser carregados para os corpos hídricos e suas margens causando sérios impactos sobre eles (MECHI; SANCHES, 2010).



**Figura 1.** Desenho esquemático do processo de disposição de solo estéril em pilhas, representando a deposição do sedimento e as estruturas obrigatórias para estabilização das pilhas, como tapete de drenagem e enrocamento (Adaptado de Freitas, 2004).

Particularmente nos ecossistemas lóticos e suas margens, a entrada de sedimento fino, como os contidos nas pilhas de estéril, causa assoreamento e soterramento dos elementos naturais como cascalhos, troncos, serapilheira e matéria orgânica particulada, alterando a estrutura física, química e biótica do riacho e do solo adjacente. O assoreamento do leito dos riachos e o soterramento dos elementos naturais tornam os riachos mais homogêneos, removendo suas zonas de corredeiras, indisponibilizando os recursos naturais para a biota aquática e interrompendo as funções ecológicas locais, ocasionando uma modificação em toda a teia trófica que é essencial para o funcionamento do ecossistema lótico (RONI; BEECHIE, 2013; THOMPSON, 1995).

Com o intuito de mitigar esses impactos ambientais ocasionados pelo carreamento de sedimentos finos para os ecossistemas aquáticos, diversos trabalhos visando a restauração de áreas degradadas (RAD) são realizados com diferentes abordagens, principalmente as que utilizam Soluções Baseadas na Natureza (SBNs). Uma dessas abordagens é a bioengenharia, que utiliza elementos naturais como troncos, galhos e cascalhos para conter os efeitos do impacto buscando, por exemplo, diminuir a erosão das margens e do leito. Ao utilizar esses elementos naturais no processo de reabilitação do riacho também é possível aproveitar suas características para aumentar o fornecimento de

recursos energéticos e a heterogeneidade de habitats nos riachos, através da retenção de substratos orgânicos e inorgânicos (DURLO; SUTILI, 2012; JORGENSEN, 2009; TURUNEN et al., 2017).

Neste contexto, desde meados da década de 1970, ecólogos e geomorfólogos começaram a estudar a dinâmica das grandes madeiras (troncos e galhos) em riachos e a contribuição da mata ciliar no fornecimento dessas madeiras, que caracteriza uma importante relação entre os ecossistemas, permitindo um fluxo de nutrientes e energia entre eles (CHEN et al., 2008; RICHARDSON; DANEHY, 2007; GREGORY et al., 2017). Além disso, a entrada de grandes madeiras nos riachos contribui para a formação de agrupamentos que funcionam como Dispositivos Vegetais de Retenção (DVRs), onde as características dessas madeiras, como comprimento, posição e formação de áreas de retenção, combinadas com as características do riacho, como a largura do canal, podem ser capazes de alterar a velocidade da água, gerando zonas de remansos e corredeiras (GREGORY et al., 2017; JONES; DANIELS, 2008; WOLH; CADOL, 2011). Junto a essas alterações, as madeiras fornecidas pelas zonas marginais e retidas no riacho podem alterar outras características do ecossistema aquático, como o aumento das áreas de retenção de sedimentos, matéria orgânica grossa e particulada. Além, de contribuir com a biota aquática criando micro e meso-habitats para as diversas comunidades, servindo como áreas de refúgio, alimentação e reprodução, além de servirem de substrato de fixação para microrganismos e algas podendo compor parte da dieta da biota aquática (BISSON et al., 1987; HAUER et al., 1999; RINELLA et al., 2009; WILKINS; PETERSON, 2000).

Porém, as alterações ambientais ocasionadas pelos agrupamentos de madeira nos riachos podem variar localmente de acordo com fatores estruturais e ambientais dos riachos e da mata ciliar (BURROWS, 2012; COLLINS et al., 2012). Onde as características dos agrupamentos como volume, comprimento e posição dentro do riacho são inicialmente influenciados pelas características da mata ciliar, que é a principal fonte de madeira para riachos de altitude, e essas características são importantes para a compreensão do potencial de fixação das madeiras no leito e de retenção de diferentes substratos (cascalhos, biomassa e matéria orgânica particulada). Juntamente com as características da madeira, as características do riacho como a composição da mata ciliar, largura e profundidade do canal, também são importantes para determinação das funções desenvolvidas pela madeira naquele trecho, podendo contribuir para sua função de retenção de substratos e para sua fixação e/ou transporte (CORDOVA, 2007; RYAN;

BISHOP; DANIELS, 2014). Por isso, torna-se necessário avaliar as grandes madeiras juntamente com as características do riacho, para compreender a potencial contribuição dos agrupamentos de madeira para a qualidade do riacho e como estes agrupamentos podem auxiliar a restauração natural do riacho (MARTIN, 2001).

## 1.2 Justificativa

A Companhia Vale, localizada na Serra dos Carajás, no estado do Pará, realiza extração de diferentes tipos de minério, entre eles o manganês, na Mina do Manganês do Azul. Essa atividade causa modificações aos ecossistemas, devido à supressão de florestas, movimentação de solos e geração de solo estéril que são destinados a pilhas de estéril. Neste contexto, o laboratório de Limnologia/UFRJ e o Laboratório de Ecologia de Peixes/UFRJ participam do Programa de Estudos Limnológicos em diferentes locais na Serra de Carajás, com o intuito de monitorar as condições ambientais dos riachos sob influência das atividades de mineração. Através desses monitoramentos, em 2010, foram observadas alterações no Igarapé Kalunga causadas pelo aporte de solo estéril comprometendo a qualidade da água, e alterando a estrutura física e biótica deste riacho.

Com o intuito de avaliar o impacto e possíveis soluções de reabilitação do riacho, as equipes vêm realizando amostragens e pesquisas de restauração ambiental em diferentes trechos do Igarapé Kalunga. Dentre as pesquisas já realizadas foram avaliados os dispositivos minerais de retenção, sendo observada uma perda desses elementos no trecho mais impactado do riacho, assim como também a presença dos agrupamentos de madeira. Essa observação em relação aos agrupamentos de madeira levantou diversos questionamentos sobre a contribuição desses elementos para o riacho, tornando necessário:

- I. Avaliar a ocorrência dos agrupamentos de madeira e sua função na área de estudo;
- II. Compreender como as características da mata ciliar e do riacho podem contribuir para a formação e fixação desses agrupamentos;
- III. Entender como esses agrupamentos de madeira podem alterar a retenção de substratos e a formação de microhabitats para a biota aquática.

Neste contexto, essa avaliação dos agrupamentos de madeira foi realizada no âmbito do Programa de Estudos Limnológicos da Floresta Nacional de Carajás, que tem parte de suas atividades voltadas para a mitigar os impactos da atividade de mineração na

biodiversidade, através do Licenciamento Ambiental Federal conduzido pelo IBAMA-MMA no Complexo Minerador de Carajás, Vale SA.

## **2. OBJETIVO**

Avaliar métricas ecológicas e geomorfológicas do riacho, dos agrupamentos de madeira e da estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, para a aplicação de soluções baseadas na natureza (SBNs) na restauração de processos e estabelecimento de comunidades biológicas em trechos de um riacho amazônico assoreado por sedimento fino.

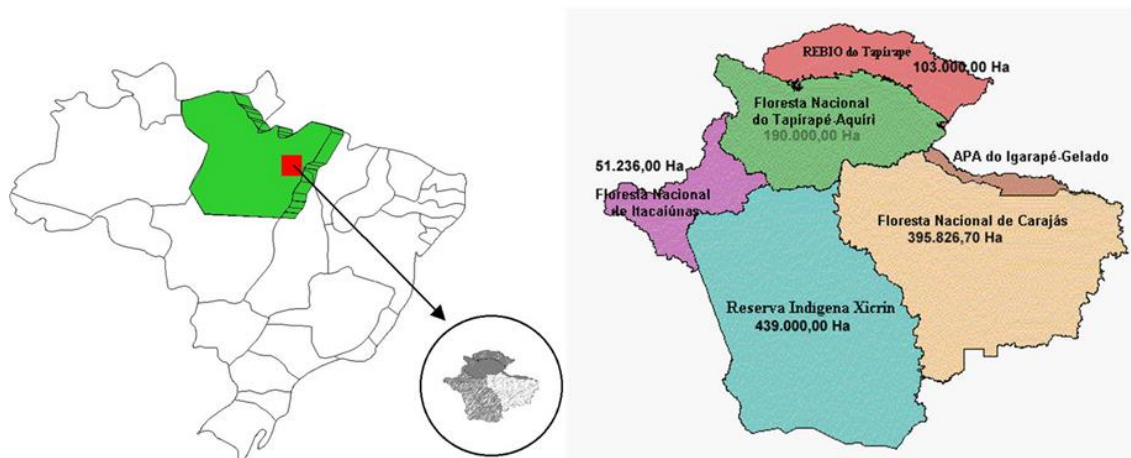
- Caracterizar os trechos de estudo quanto a sua composição e estruturação do riacho e da margem, levando em consideração características como vazão, largura, profundidade, composição do leito, do solo e da mata ciliar.
- Caracterizar os agrupamentos de madeira quanto as suas dimensões, composição, decomposição, funções exercidas e posição dentro do riacho;
- Quantificar a biomassa e matéria orgânica particulada retida nas áreas de retenção formadas a montante dos agrupamentos de madeira;
- Avaliar as métricas ecológicas funcionais e taxonômicas da comunidade bentônica (diversidade, abundância e riqueza) associada aos agrupamentos de madeira e avaliar quais variáveis das madeiras (comprimento, posição, função, composição e decomposição) contribuem para o enriquecimento da biodiversidade (mais diversa e melhor distribuída).
- Identificar agrupamentos de madeira para aplicação eficiente de SBNs em relação a facilidade de manuseio, capacidade de fixação no leito, capacidade de retenção de matéria orgânica particulada e biomassa, geração de diversidade de habitat para macroinvertebrados.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Área de estudo**

A área de estudo está localizada na Mina do Manganês do Azul, situada na Floresta Nacional de Carajás (FLONACA), no sudeste do estado do Pará, onde há

extração e beneficiamento de minérios a céu aberto. Trata-se de uma unidade de conservação gerida pelo ICMBio e a exploração de minério ocorre sob responsabilidade da empresa Vale (Figura 2).



**Figura 2.** Localização geográfica da Floresta Nacional de Carajás (FLONACA), situada no estado do Pará – Brasil. (Fonte: Centro de Educação Ambiental de Parauapebas – PA).

Geologicamente, a área da FLONACA está inserida na Plataforma Amazônica, onde se destaca um conjunto de rochas pré-cambrianas dobradas e falhadas, denominada Serra dos Carajás, cuja altitude média é de cerca de 700 metros, sendo os topos residuais aplainados e o relevo intensamente dissecado por vales encaixados (SILVA; JESUS; RIBEIRO, 1977).

A região está inserida na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas, apresenta clima tropical chuvoso com precipitação média anual de 2.000 mm, período de estiagem entre os meses de maio a outubro e temperatura média anual de 21,5 °C (ICMBIO, 2016). Em relação à fitofisionomia, cerca de 90% da área da FLONACA é coberta pela Floresta Ombrófila Aberta e 10% pela Floresta Ombrófila Densa, incluindo as áreas aluviais associadas aos cursos d'água onde encontram-se pequenos riachos, lagoas, regiões alagadas e grandes rios (MARTINS et al., 2012).

As coletas para realização do estudo foram executadas nos meses de abril e maio de 2019, no fim do período chuvoso da região, e teve como ambiente alvo o riacho Kalunga, situado na sub bacia do Igarapé Azul. Neste riacho, foram selecionados dois trechos degradados para estudo, sendo eles DEG-A a montante e DEG-B a jusante. Além desses dois trechos, um trecho de riacho preservado (NAT), situado na sub bacia do Igarapé Águas Claras, foi avaliado como local controle (Figura 3).





**Figura 3.** Localização e descrição da área de estudo situada na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina de Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. Os pontos grifados de verde, vermelho e laranja são os trechos trabalhados nessa pesquisa, sendo respectivamente NAT, DEG-A e DEG-B (Fonte: Google Earth, 2021)

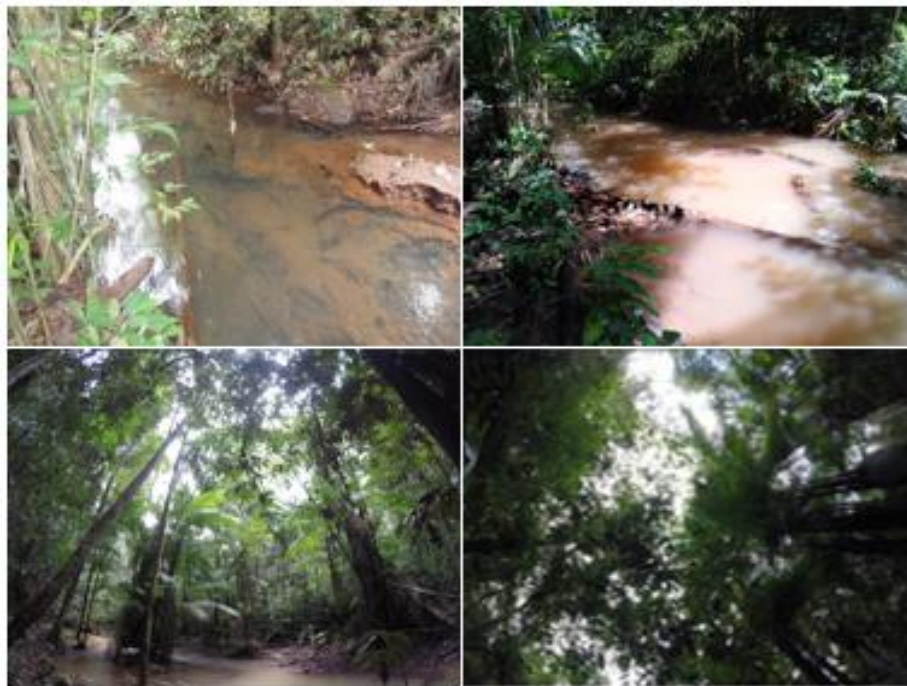
Próximo ao trecho DEG-A, uma pilha de solo fino estéril foi erodida ocasionando uma lixiviação direta desse material para as margens e leito do riacho Kalunga. Isso gerou alterações físicas e biológicas como diminuição da diversidade da fauna aquática, assoreamento da área marginal e do corpo hídrico em diferentes graus, considerando o trecho de 5km avaliado pela equipe de Limnologia entre os anos de 2014-2020 (Figura 4). O trecho DEG-A é caracterizado como vale parcialmente confinado marcado pela presença de planícies de inundação descontínuas e retenção de sedimento fino estéril, apresenta fragmentação da mata ciliar, leito e margem do riacho assoreada e ausência de

elementos minerais maiores no canal do riacho, como rochas, matacões e cascalhos (FELIX, 2020)(Figura 4).



**Figura 4.** Imagens do trecho de estudo DEG-A, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito neste trecho. Mata ciliar fragmentada, solo marginal e leito do riacho assoreados pelo aporte de sedimento fino (Fonte: Rodrigo Felix).

O trecho DEG-B apresenta menor retenção de sedimento fino estéril, apresentando deposição de sedimento mais restrito ao canal do riacho (Figura 5). É caracterizado como confinado com alta declividade longitudinal, apresenta mata ciliar preservada, menor deposição de sedimento fino nas margens e no centro do canal com presença de elementos minerais de maiores granulometrias (FELIX, 2020). O riacho preservado (NAT), utilizado como ambiente controle, apresenta alto grau de drenagem, mata ciliar preservada e leito cascalhoso contribuindo para uma maior rugosidade do leito (Figura 6).



**Figura 5.** Imagens do trecho de estudo DEG-B, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito neste trecho. Mata ciliar preservada com deposição de sedimento fino estéril no leito do riacho (Fonte: Rodrigo Felix).



**Figura 6.** Imagens do trecho de estudo NAT, situado na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA, representando as características marginais e do leito deste trecho. Riacho natural sem aporte de sedimento fino estéril nas margens e no leito do riacho (Fonte: Rodrigo Felix).

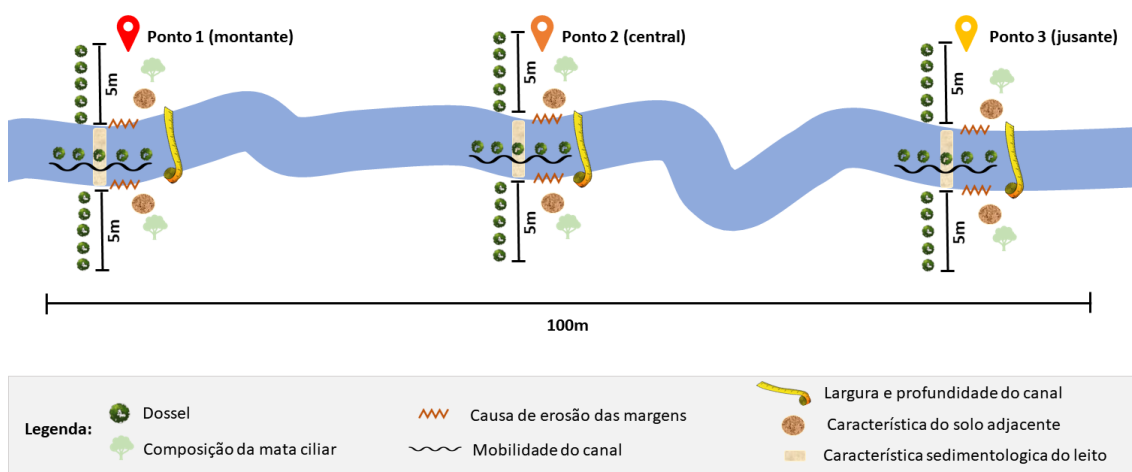
### 3.2 Caracterização do trecho de estudo

Para a realização do estudo foi determinada de modo aleatório, uma parcela de 100 metros de comprimento em cada trecho de riacho, considerando sua sinuosidade (CORDOVA et al., 2017). Com base nos estudos de NESSIMIAN et al., (2008), PETERSEN, (1992) e USEPA, (2013), foi elaborado pelo Grupo de Estudos em Restauração de Áreas Degradadas (Gerard) do Lab. Integrado de Ecologia Aquática, um protocolo de avaliação ambiental contendo parâmetros do riacho e da mata ciliar que

auxiliasse na caracterização de cada trecho de estudo DEG-A, DEG-B e NAT, levando em consideração as peculiaridades locais ocasionadas pela deposição de sedimento fino estéril.

O protocolo foi aplicado em três pontos ao longo de cada trecho de 100m, sendo um no extremo a montante, um central e um no extremo a jusante. Consistiu na compilação de metodologias para avaliação de característica sedimentar do leito e do solo adjacente, causa de erosão das margens, mobilidade do canal, tipo da mata ciliar, cobertura de dossel, turbidez, sólidos totais em suspensão (STS), vazão, largura e profundidade do canal (Anexo 1; Figura 7). Porém, para melhor determinação dos valores médios de vazão, turbidez e STS foram realizadas aferições dos mesmos em campo ao longo dos meses de abril e maio de 2019, com o intuito de verificar a variação desses parâmetros durante parte do período chuvoso em que a pesquisa foi realizada.

#### Caracterização do trecho de estudo



**Figura 7.** Esquema da aplicação do protocolo ambiental realizado em um ponto a montante, um central e um a jusante, em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT), realizado em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

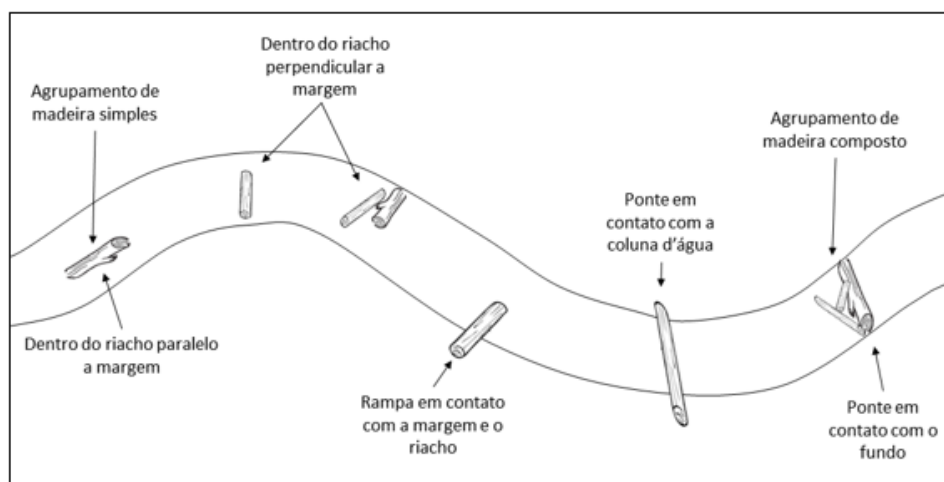
A avaliação do percentual de cobertura do dossel foi realizada por um método de avaliação visual através do uso de uma quadrícula (quadrado de 50 cm segmentado em 25 partes iguais), sendo o método aplicado no centro do canal, e nas margens direita e esquerda (Figura 7). Foram realizadas cinco aferições em cada local, sendo cinco longitudinalmente no centro do canal e cinco em cada margem em direção a vegetação.

Os dados de turbidez, STS e vazão foram aferidos ao longo dos meses de abril e maio de 2019 para obtenção dos valores médios considerando eventos de chuva, sendo realizadas oito amostragens no trecho DEG-A e seis amostragens nos trechos DEG-B e NAT. Os dados de turbidez foram medidos em campo através de um sensor

multiparâmetro portátil Horiba U-52G. Para a determinação de STS foi realizado em laboratório o processo de filtração da água coletada nos trechos de estudo através do uso de filtros Whatman GF/F de  $0,7\mu\text{m}$ , previamente secos em estufas e pesados. Após o processo de filtração, os filtros foram novamente secos em estufa para a realização da diferença gravimétrica da massa antes e depois do processo de filtração, para obter o valor de sólidos totais em suspensão (APHA, 2017). A vazão dos trechos estudados foi determinada através do método do flutuador, que considera a área da seção transversal e velocidade da correnteza do riacho (PALHARES et al., 2007).

### 3.3 Avaliação dos agrupamentos de madeira

Inicialmente foram demarcados todos os agrupamentos de madeira, identificados visualmente, em cada trecho de 100m estudado (DEG-A, DEG-B e NAT). Posteriormente, 11 desses agrupamentos foram selecionados em cada trecho para serem avaliados de acordo com a sua função, posição, composição e taxa de deterioração (BURROWS, 2012) (Tabela 1; Figura 8).

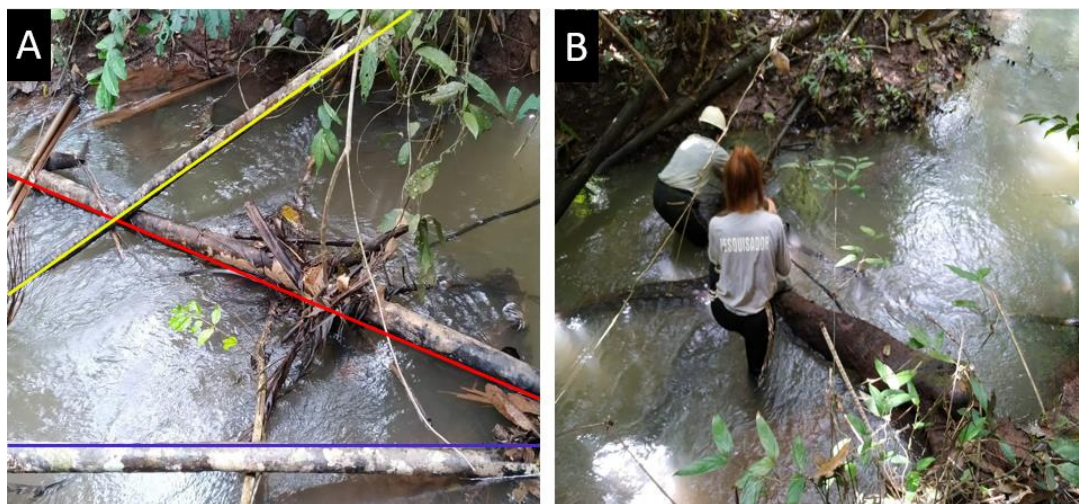


**Figura 8.** Esquema das posições utilizadas para classificação dos agrupamentos de madeira e dos tipos de agrupamentos avaliados nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT, em abril/maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA (Fonte: Elaboração própria).

**Tabela 1.** Descrição das categorias utilizadas para avaliação das funções, taxa de decomposição e posições apresentadas pelos agrupamentos de madeira em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT), avaliados em abril/maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. (Fonte: Adaptado de BURROWS, 2012)

Variável	Descrição
<b>Composição</b>	
Simple	Formado por um único fragmento de madeira
Composto	Formado por dois ou mais fragmentos de madeira
<b>Função</b>	
Substrato de aderência	A madeira forma locais de fixação para crescimento de organismos
Formação de corredeira	A madeira causou formação de cascatas
Formação de remanso	A madeira causou formação de zona de remanso acima do local de retenção
Retentor de madeira	A madeira retém outras madeiras
Retentor de sedimento	A madeira retém sedimentos
<b>Taxa de deterioração</b>	
1	Madeira praticamente intacta com casca ou galhos aderidos;
2	Madeira ainda dura, porém, pouco deteriorada com ausência de ramos, casca e descoloração
3	Madeira com decaimento claro, macia ou oca em algumas partes; presença de musgos e fungos
4	Madeira não suporta seu próprio peso devido a estar oca; presença de musgos, fungos e raízes invasoras
5	Madeira não apresenta a forma original, estando em grande parte desintegrada
<b>Posição</b>	
Acima do riacho	Não há contato da madeira com o riacho ou com a coluna d'água
Dentro do riacho paralelo a margem	Madeira dentro do riacho em posição paralela a margem e ao fluxo de água, sem contato com a margem
Dentro do riacho perpendicular a margem	Madeira dentro do riacho em posição perpendicular a margem e ao fluxo de água, sem contato com a margem
Rampa em contato com a margem	Madeira em contato com o riacho, mas com grande parte depositada sobre a margem
Ponte em contato com o fundo	Madeira liga as margens acima da lâmina d'água havendo contato com coluna d'água
Ponte em contato com a coluna d'água	Madeira liga as margens em contato com o leito

Características referentes ao tamanho dos agrupamentos foram avaliadas com o auxílio de paquímetro e fita métrica, sendo medido seu comprimento e diâmetro. Para realizar as medições foram considerados os fragmentos vegetais com diâmetro  $\geq 5$  cm e comprimento  $\geq 30$  cm (Figura 9) (COMITI, 2006). Em cada agrupamento, além das características da madeira também foi determinada a largura do riacho, para posteriormente gerar a razão comprimento da madeira pela largura do riacho ( $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$ ).



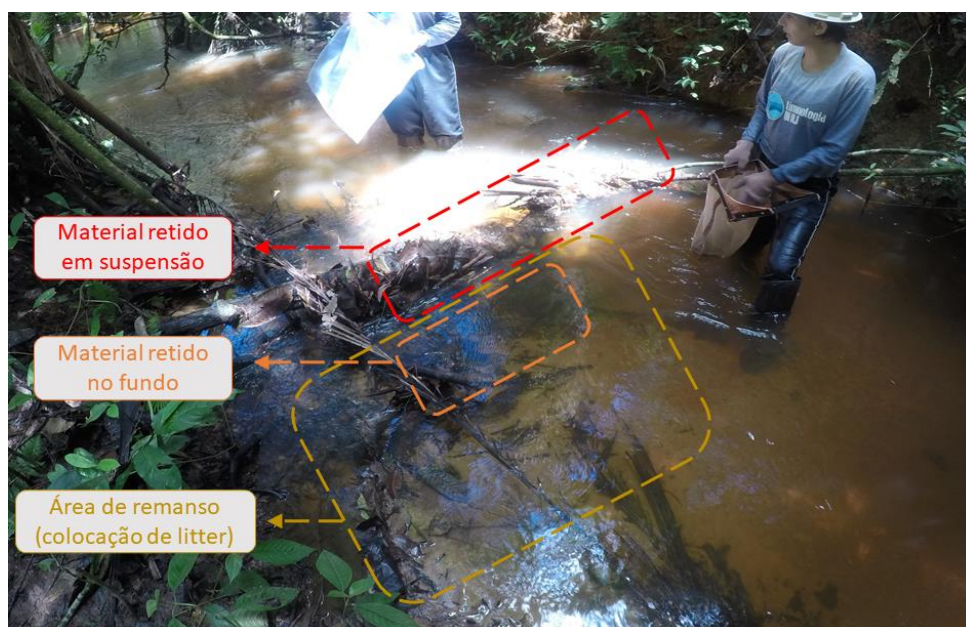
**Figura 9.** Medição dos agrupamentos de madeira em campo realizado em abril e maio de 2019 no trecho DEG-B na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. (A) ilustra um agrupamento de madeira composto formado por 3 fragmentos de madeira, destacados pelas linhas coloridas; (B) ilustra um agrupamento de madeira simples, formado apenas por um fragmento de madeira.

Nas áreas de retenção formadas a montante dos agrupamentos de madeira foi mensurada, com o auxílio de fita métrica, a área ocupada por biomassa retida (detritos vegetais). Além disso, foi utilizada uma rede coletora do tipo Surber com área de 20 x 20 cm para coleta da biomassa retida. Em laboratório a biomassa coletada foi seca por 3 dias em estufa a 60°C para determinação da massa seca. Nestas áreas de retenção, também foram coletadas amostras de sedimento retido pelos agrupamentos para determinação do teor de matéria orgânica particulada fina. Para realização da análise, o sedimento coletado foi seco em estufa a 60°C e posteriormente o teor de matéria orgânica foi estimado por combustão a 550°C por 4 horas, seguido da análise de diferença gravimétrica obtida antes e depois da combustão do sedimento (GOLDIN, 1987).

### 3.4 Avaliação da comunidade bentônica

Para avaliar a presença de comunidades bióticas nos agrupamentos de madeira, foram utilizados os macroinvertebrados bentônicos que habitam diferentes microhabitats disponíveis no riacho. Essa comunidade foi selecionada por ser utilizada um bioindicador, pois reage ao estresse causado aos ecossistemas podendo ser sensível ou tolerante a determinadas condições, apresentando alterações nas taxas de abundância, diversidade e/ou em seu comportamento (BARBOUR et al., 1999).

Foram empregadas três metodologias, com o intuito de explorar diferentes tipos de microhabitats, nos locais de retenção formados pelos agrupamentos de madeira (Figura 10). Uma das metodologias utilizadas foi a rede Surber (250 µm de malha) para coleta do material retido no leito do riacho a montante dos agrupamentos de madeira e foi empregada nos 11 agrupamentos avaliados. Nos agrupamentos de madeira que apresentavam material retido em suspensão foi utilizada a rede D (250 µm de malha), que permitia a coleta do material suspenso através da raspagem da área da madeira com retenção de material. Além disso, foi avaliada colonização da comunidade bentônica nas áreas de remanso e corredeira, através da fixação de litterbags (0,5mm de malha) com folhas senescentes da espécie *Caraipa densifolia* nesses microhabitats próximos aos agrupamentos (Tabela 2). A escolha das folhas de *Caraipa densifolia* ocorreu devido à maior quantidade de folhas dessa espécie coletadas nas margens dos riachos estudados, através da colocação de redes em suspensão na mata ciliar.



**Figura 10.** Locais de retenção de material formados pelos agrupamentos de madeira onde foram realizadas as coletas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. Em vermelho material retido em suspensão coletado através do uso da rede D, em laranja material retido no fundo coletado com a rede surber e em amarelo área de remanso próxima ao agrupamento onde ocorreu a fixação de litterbags.



**Tabela 2.** Número de amostras referentes as coletas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos realizada nos agrupamentos de madeira através do uso da rede surber, rede D e instalação de litterbags, nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT. Coletas realizada em abril e maio de 2019.

		DEG-A	DEG-B	NAT
<b>Rede Surber</b>		11	11	11
<b>Rede D</b>		4	8	2
<b>Litterbags</b>	<b>Remanso</b>	10	6	7
	<b>Corredeira</b>	0	5	4

Para a coleta com a rede Surber foi determinada primeiramente a área de retenção a montante dos agrupamentos de madeira. A coleta foi realizada próxima a madeira através do posicionamento da rede no fundo do riacho a favor da correnteza, delimitando uma área de 20x20 cm que foi suspensa em direção a rede. Em seguida, o material carregado para a rede foi transferido para sacos plásticos com identificação para posterior análise em laboratório.

Nos agrupamentos de madeira que continham material retido também em suspensão, foi realizada a amostragem com a rede D. Para essa coleta foi realizada primeiramente a medição da área da madeira que continha material retido, em seguida a rede D foi posicionada abaixo do agrupamento a favor da correnteza para que o material fosse delicadamente “raspado” para dentro da rede. O material carregado para a rede foi transferido para sacos plásticos com identificação para posterior análise em laboratório.

Os litterbags com folhas senescentes fixados nas áreas de corredeiras e remanso próximas aos agrupamentos de madeira foram retirados após um período de 20 dias para avaliação dos organismos bentônicos aderidos. Em laboratório as amostras coletadas através dos três métodos foram lavadas em peneiras de 0,5 a 1,0 mm, triadas a olho nu e os organismos encontrados foram fixados em álcool 80% para posterior identificação com base em bibliografia especializada (HAMADA et al., 2014; HEDGPETH; MUGNAI, 1972; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010).

Além das métricas de riqueza taxonômica, dominância, diversidade, equitabilidade e abundância absoluta da comunidade de macroinvertebrados, também foi calculado a abundância absoluta, riqueza taxonômica e abundância relativa do grupo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera). Devido a este grupo ser considerado sensível a perturbações nos corpos hídricos e suas margens, como a sedimentação do leito dos riachos e fragmentação da mata ciliar, devido à redução da qualidade e disponibilidade de habitats e recursos alimentares (OLIVEIRA et al., 2008; POND et al., 2013).

### **3.5 Análises de dados**

Com o intuito de identificar a relação entre as variáveis obtidas na avaliação da madeira em cada trecho de estudo e reduzir os resíduos na análise de ordenação, foram realizadas análises de correlação de Spearman ( $p \leq 0,05$ ). Com o intuito de diminuir a dimensionalidade dos dados e realizar uma ordenação das variáveis respostas, as variáveis que não apresentaram correlações significativas foram submetidas a uma Análise de Componentes Principais (PCA). Após a PCA foi realizado uma análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ) com as variáveis que apresentaram maior relevância, com o intuito de avaliar as diferenças das variáveis em relação aos trechos de estudo.

Para avaliação da comunidade bentônica foi realizado o cálculo das métricas ecológicas de abundância e riqueza taxonômica e funcional, diversidade de Shannon e equitabilidade para os organismos coletados em cada trecho. Os grupos taxonômicos foram classificados em grupos funcionais alimentares, em seguida foi realizada uma análise de similaridade (ANOSIM) baseada no índice de Bray-curtis com os grupos taxonômicos e funcionais entre os trechos de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT). Para identificar quais táxons e grupos funcionais contribuíram para a diferenciação dos trechos, foi realizada uma Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER). Em seguida, foi realizada uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) com o intuito de comparar e avaliar a composição da comunidade bentônica entre os trechos de estudo e as variáveis dos agrupamentos de madeira. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software Past v.3.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Caracterização dos trechos de estudo**

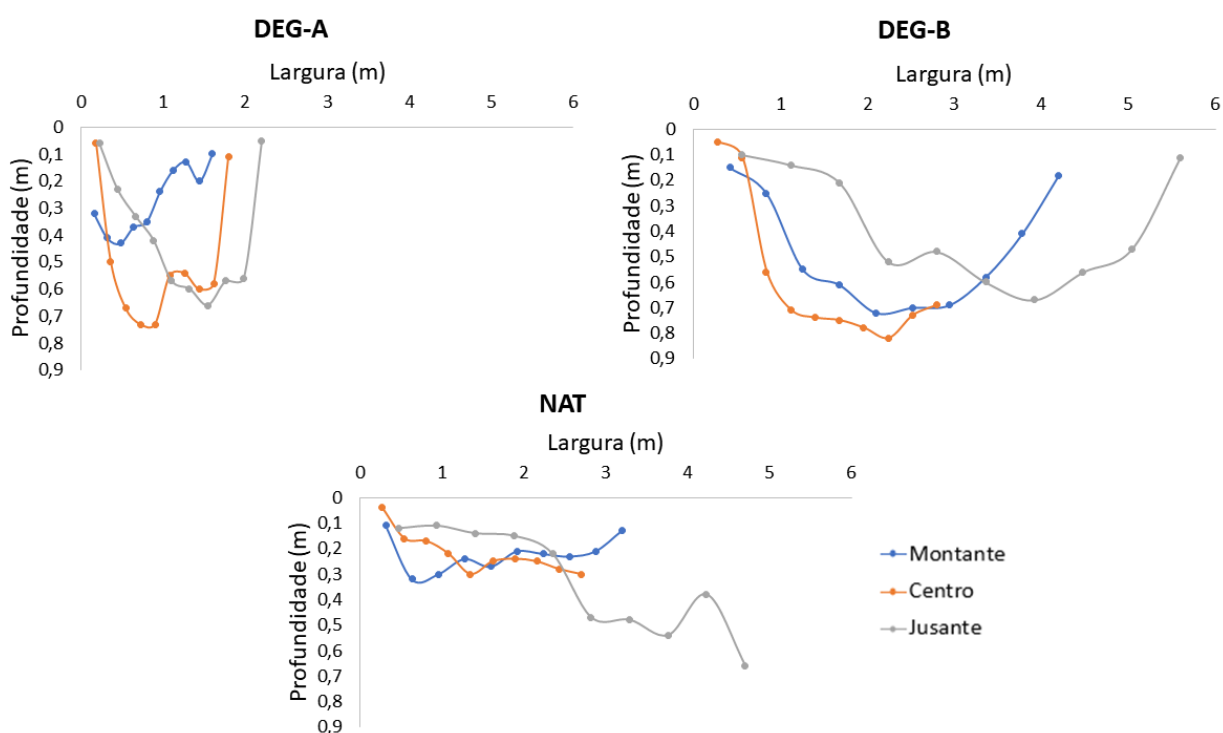
Em relação as características dos trechos, DEG-B apresentou meandros, com leito do canal composto por cascalhos, rochas e sedimento fino, sendo este sedimento depositado principalmente nas laterais do canal. Além disso, de acordo com o inventário de espécies vegetais (dados não publicados) a mata ciliar é composta por diferentes espécies arbóreas e o solo marginal contém camadas de serapilheira, semelhante ao

observado no trecho NAT, apesar do solo marginal da área degradada ainda apresentar deposição de sedimento fino estéril (Tabela 3).

**Tabela 3.** Características visuais referentes ao leito e a área marginal do riacho, avaliados através da aplicação do protocolo ambiental nos pontos a montante, jusante e central dos trechos de 100m (DEG-A, DEG-B e NAT) em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

Trecho	Ponto	Característica sedimentológica do leito	Mobilidade do canal	Causa de erosão das margens	Característica visual do solo adjacente	Composição da mata ciliar
DEG-A	Montante	Argiloso com areia	Realocado artificialmente	Presença de diques; Vegetação ciliar pobre	Argiloso	Gramíneas e pequenos arbustos
DEG-A	Centro	Argiloso	Zonas de deposição	Escoamento não natural; vegetação ciliar pobre	Argiloso	Predominância de palmeiras ( <i>Euterpe oleracea</i> )
DEG-A	Jusante	Argiloso	Zonas de deposição	Escoamento não natural; vegetação ciliar pobre	Argiloso	Predominância de palmeiras ( <i>Euterpe oleracea</i> )
DEG-B	Montante	Arenoso	Meandramento	Vazão	Camada de serapilheira sobre solo argiloso	Árvores diversas
DEG-B	Centro	Margem argilosa com centro composto por areia e rochas	Meandramento	Vazão; vegetação ciliar pobre	Camada de serapilheira sobre solo argiloso	Árvores diversas
DEG-B	Jusante	Argiloso com cascalho e rochas	Meandramento	Vazão	Camada de serapilheira sobre solo argiloso	Árvores diversas
NAT	Montante	Cascalhoso	Meandramento	Vazão	Orgânico	Árvores diversas
NAT	Centro	Cascalhoso	Meandramento	Vazão; Exposição de solo marginal	Orgânico	Árvores diversas
NAT	Jusante	Cascalhoso	Meandramento	Vazão	Orgânico	Árvores diversas

Em relação a profundidade e largura média do riacho, foi observado que os trechos DEG-B e NAT apresentam maiores valores médios de largura do canal (4,20m e 3,53m, respectivamente), sendo DEG-B o trecho de maior profundidade média (0,49m). O trecho DEG-A possui canal mais estreito com pouca variação de profundidade no centro e maior profundidade próximo as margens, em formato de degrau (Figura 11). Além disso, DEG-A apresenta menor cobertura de dossel e maior desvio padrão, principalmente no centro do canal e nos pontos a montante devido a maior degradação marginal nestes pontos, onde a vegetação é composta principalmente por gramíneas, desta forma não havendo cobertura de dossel (Tabela 4).

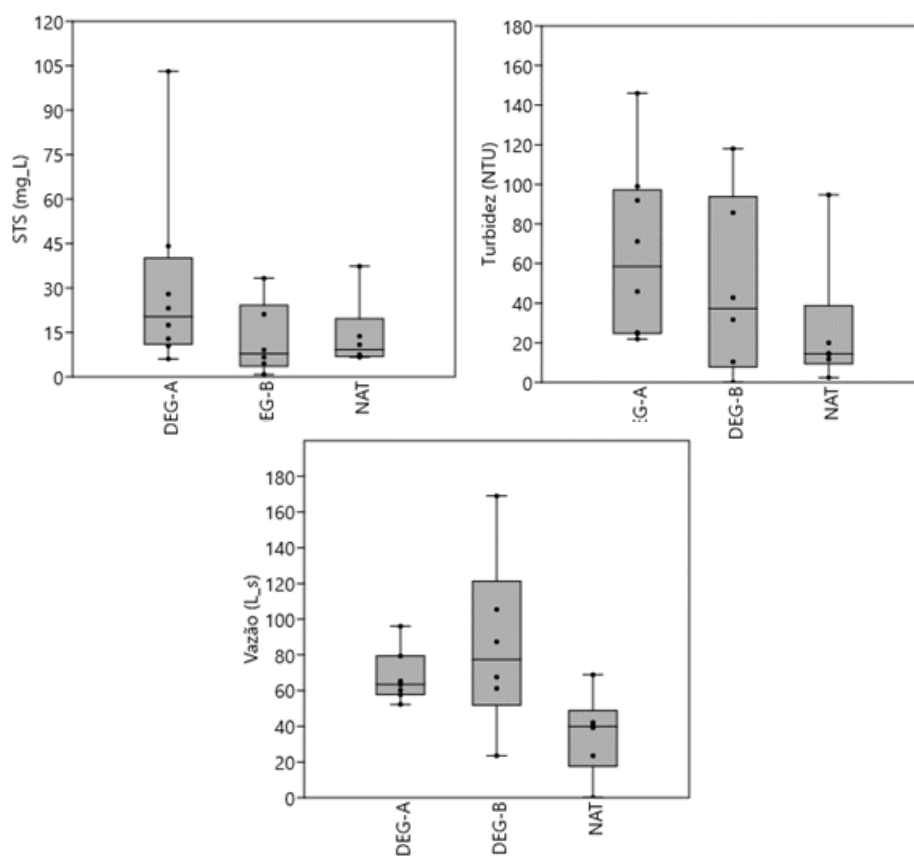


**Figura 11.** Seção transversal dos trechos de 100 metros estudados (DEG-A, DEG-B e NAT), nos pontos a montante, central e jusante. Medições realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

Ao analisar os dados de vazão, o trecho DEG-B apresentou maiores variações e valores médios em relação aos demais, sendo DEG-A o trecho com menor variação de valores e o NAT o trecho com menor valor médio de vazão (Tabela 4). Além disso, alterações nas concentrações de STS e turbidez foram observadas nos dias que houve aumento da vazão, provavelmente ocasionada por eventos de chuvas, sendo registrados maiores valores médios dessas variáveis principalmente no trecho DEG-A (Figura 13).

**Tabela 4.** Médias das variáveis ambientais nos trechos de estudo DEG-A, DEG-B e NAT avaliadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA. As médias referentes as variáveis de cobertura de dossel, largura do canal e profundidade foram realizadas através dos valores a montante, central e jusante de cada trecho de 100m. \*Variáveis com alto desvio padrão referentes aos eventos de chuva.

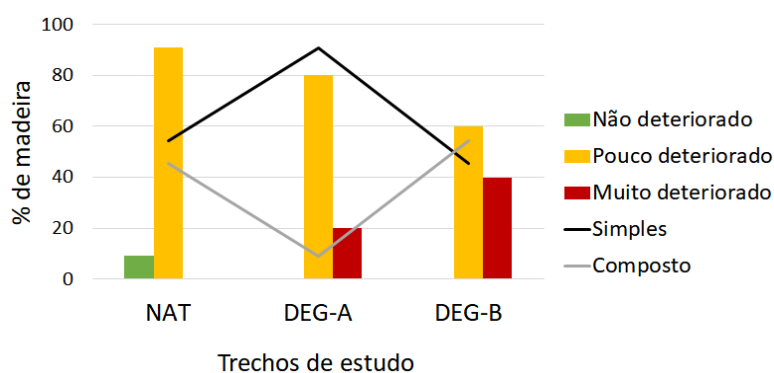
		DEG-A	DEG-B	NAT
Dossel centro do canal (%)	Média	57,60	87,47	76,53
	Desvio padrão	49,91	9,38	24,49
Dossel margem direita (%)	Média	76,80	92,53	90,67
	Desvio padrão	4,87	1,67	5,14
Dossel margem esquerda (%)	Média	73,33	88	94,40
	Desvio padrão	12,93	7,63	3,67
Largura do canal (m)	Média	1,84	4,20	3,53
	Desvio padrão	0,28	1,40	1,03
Profundidade do canal (m)	Média	0,39	0,49	0,26
	Desvio padrão	0,11	0,10	0,06
Vazão (L/s)	Média	67,79	85,68*	42,83
	Desvio padrão	15,04	49,25	16,35
Turbidez (NTU)	Média	65,71	48,10	26,27
	Desvio padrão	44,58*	45,46*	34,02*
STS (mg/L)	Média	30,66	12,58	13,84
	Desvio padrão	31,62*	12,26*	11,84*



**Figura 12.** Dados de vazão, turbidez e STS coletados ao longo dos meses de abril e maio de 2019 nos três trechos de estudo, onde DEG-A apresentou n=7 para vazão e n=8 para turbidez e STS, DEG-B apresentou n=6 para todas as variáveis e NAT apresentou n=5 para vazão e n=6 para turbidez e STS. No box-plot a linha central horizontal representa a mediana e o limite superior e inferior dos polígonos representa o intervalo interquartil (25-75% dos dados) e a barra de erros representa os valores máximos e mínimos.

## 4.2 Avaliação dos agrupamentos de madeira

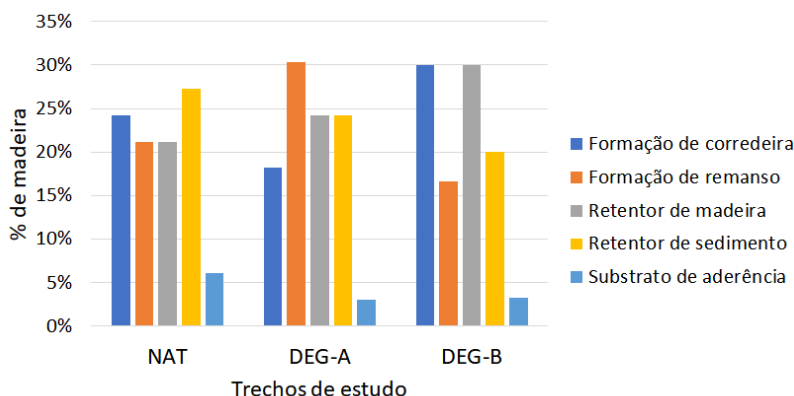
Quanto a avaliação dos agrupamentos de madeira, o trecho DEG-A apresentou 90% de seus agrupamentos com composição simples, DEG-B e NAT apresentaram formação de agrupamentos simples e compostos de forma homogênea, onde DEG-B apresentou 45,45% e NAT 54,55% de agrupamentos de composição simples (Figura 13). Ao avaliar o nível de deterioração das madeiras foi observado que o trecho NAT apresentou duas categorias de deterioração, sendo a maioria dos seus agrupamentos pouco deteriorado e o único trecho que apresentou agrupamento não deteriorado. Os trechos degradados (DEG-A e DEG-B) também apresentaram a maioria de seus agrupamentos pouco deteriorados, porém, ao contrário do observado em NAT, estes trechos apresentaram agrupamentos de madeira muito deteriorado (Figura 13).



**Figura 13.** Porcentagem dos agrupamentos de madeira em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) em relação ao seu nível de deterioração e composição. As barras representam as porcentagens de agrupamento não deteriorado (verde), pouco deteriorado (amarelo) e muito deteriorado (vermelho). As linhas representam a porcentagem dos agrupamentos com composição simples (preta) e composta (cinza).

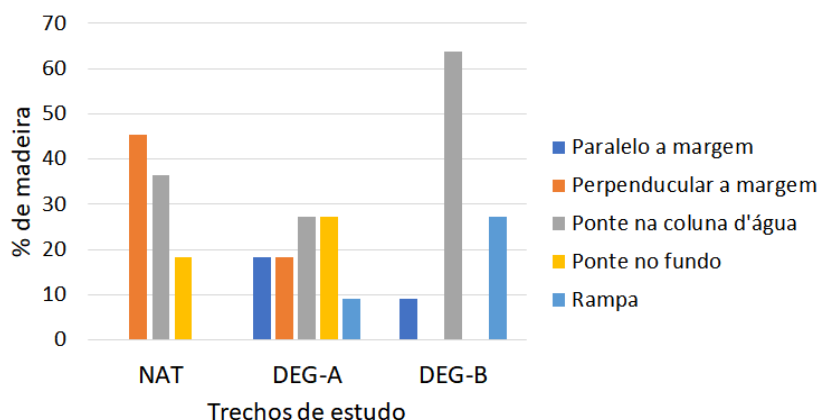
Quanto à função desempenhada pelos agrupamentos de madeira no riacho, a categoria substrato de aderência foi a menos encontrada em todos os trechos de estudo. O trecho NAT apresentou as demais categorias de forma mais similar (entre 21% e 27%), DEG-A apresentou a maioria de seus agrupamentos desenvolvendo a função de formação de remanso (30%), enquanto o trecho DEG-B desenvolveu principalmente as funções de formação de corredeira (30%) e retentor de madeira (30%) (Figura 14).





**Figura 14.** Porcentagem dos agrupamentos de madeiras avaliados em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) que apresentaram as funções de formação de corredeira, formação de remanso, retentor de madeira, retentor de sedimento e substrato de aderência.

Quanto a posição da madeira dentro do riacho, o trecho NAT apresentou 45% dos agrupamentos de madeira posicionados dentro do riacho de forma perpendicular à margem e 36% dos agrupamentos posicionados como ponte em contato com a coluna d'água. O trecho DEG-A apresentou a mesma porcentagem (27%) de agrupamentos em posição de ponte em contato com a coluna d'água e em contato com o fundo, enquanto DEG-B apresentou 63% de seus agrupamentos de madeira em posição de ponte em contato com a coluna d'água (Figura 15).



**Figura 15.** Porcentagem dos agrupamentos de madeiras avaliados nas posições paralelo a margem, perpendicular a margem, ponte na coluna d'água, ponte no fundo e rampa nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT.

A análise da correlação de Spearman ( $p \leq 0,05$ ) realizada entre as características dos agrupamentos de madeira e a largura do ponto demonstrou correlação diretamente proporcional no trecho NAT entre i) comprimento da madeira e largura do ponto; ii) comprimento da madeira e biomassa retida; iii) biomassa e matéria orgânica particulada retida (Tabela 5). No trecho DEG-A foi observada correlação positiva entre i) biomassa

retida e diâmetro da madeira; ii) deterioração da madeira e exposição ao ar (ponte em contato com a coluna d'água e rampa em contato a margem e o riacho) (Tabela 6). A correlação positiva em DEG-B foi observada entre i) comprimento da madeira e biomassa retida; ii) comprimento da madeira e matéria orgânica particulada retida; iii) diversidade de funções e biomassa retida (Tabela 7).

**Tabela 5.** Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho NAT em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade  $p \leq 0,05$ .

Variáveis	Deterioração da madeira	Diversidade de funções	Perpendicularidade	Exposição ao ar	Comprimento do DVR (m)	Diâmetro do DVR (m)	Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	MO do sítio (%)	Largura do sítio
Deterioração da madeira		0,314	0,000	0.186	0.343	0.424	0.752	0.206	0.114
Diversidade de funções	<i>158,00</i>		0,000	0.482	0.123	0.654	0.093	0.344	0.051
Perpendicularidade	<i>27,500</i>	<i>97,500</i>		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Exposição ao ar	<i>143,00</i>	<i>136,000</i>	<i>77.000</i>		0.705	0.633	0.850	0.850	0.705
Comprimento do DVR (m)	<i>170,500</i>	<i>106,500</i>	<i>110.00</i>	<i>165.000</i>		0.076	<b>0.004</b>	0.196	<b>0.008</b>
Diâmetro do DVR (m)	<i>162,500</i>	<i>176,000</i>	<i>107.500</i>	<i>212.000</i>	<i>95.500</i>		0.282	0.375	0.167
Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	<i>148,500</i>	<i>97,500</i>	<i>110.00</i>	<i>198.000</i>	<i>22.000</i>	<i>143.500</i>		0.186	<b>0.010</b>
MO do sítio (%)	<i>181,500</i>	<i>145,500</i>	<i>110.000</i>	<i>198.000</i>	<i>130.000</i>	<i>156.500</i>	<i>128.000</i>		<b>0.051</b>
Largura do sítio	<i>192,500</i>	<i>79,500</i>	<i>110.000</i>	<i>165.000</i>	<i>34.000</i>	<i>122.500</i>	<i>40.000</i>	<i>84.000</i>	

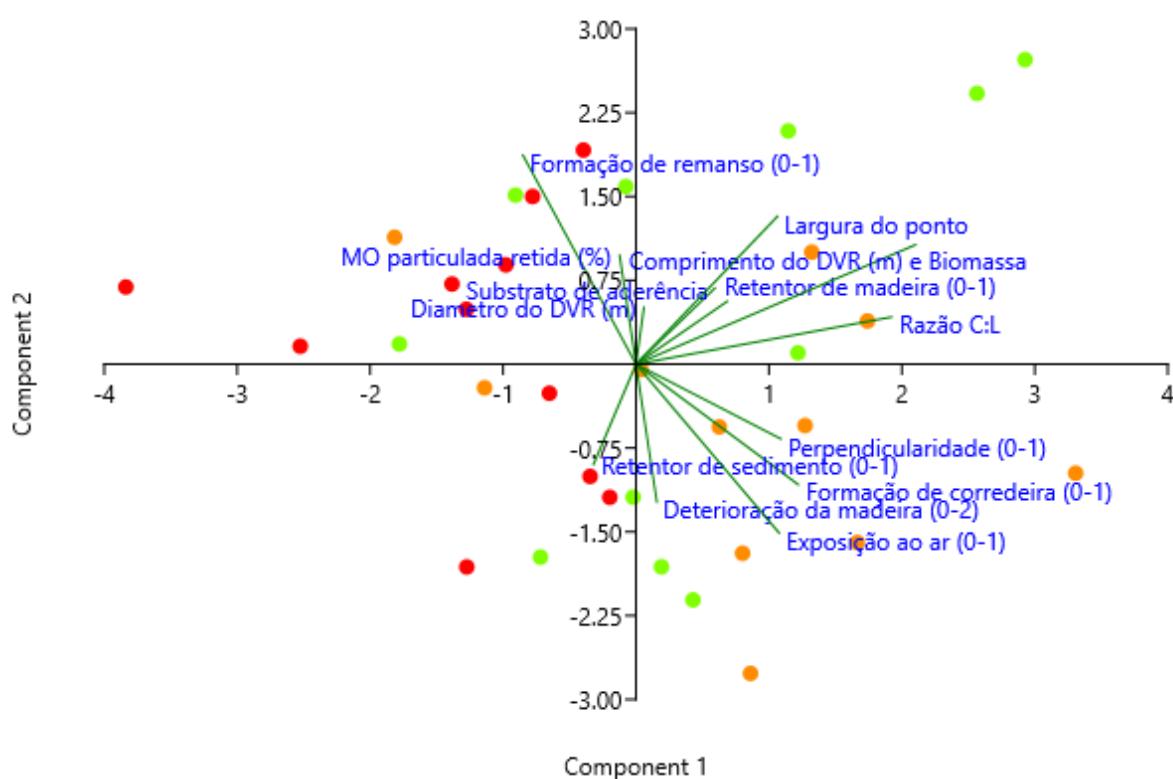
**Tabela 6.** Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho DEG-A em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade  $p \leq 0,05$ .

Variáveis	Deterioração da madeira	Diversidade de funções	Perpendicularidade	Exposição ao ar	Comprimento do DVR (m)	Diâmetro do DVR (m)	Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	MO do sítio (%)	Largura do sítio
Deterioração da madeira		0.454	0.482	<b>0.049</b>	0.554	0.636	0.814	0.637	0.814
Diversidade de funções	<i>114.500</i>		0.261	0.230	0.696	0.854	0.891	0.235	0.361
Perpendicularidade	<i>77.000</i>	<i>98.000</i>		0.260	0.813	1.000	0.814	0.814	0.637
Exposição ao ar	<i>49.500</i>	<i>109.000</i>	<i>82.500</i>		0.849	0.184	0.450	1.000	0.089
Comprimento do DVR (m)	<i>186.00</i>	<i>232.500</i>	<i>147.500</i>	<i>175.000</i>		0.711	0.319	0.773	0.954
Diâmetro do DVR (m)	<i>136.500</i>	<i>195.000</i>	<i>158.500</i>	<i>263.000</i>	<i>243.500</i>		<b>0.046</b>	0.063	0.319
Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	<i>170.500</i>	<i>199.000</i>	<i>170.500</i>	<i>231.000</i>	<i>150.000</i>	<i>81.000</i>		0.508	1.000
MO do sítio (%)	<i>181.500</i>	<i>286.000</i>	<i>170.500</i>	<i>187.000</i>	<i>239.000</i>	<i>348.000</i>	<i>266.000</i>		0.239
Largura do sítio	<i>170.500</i>	<i>268.000</i>	<i>181.500</i>	<i>286.000</i>	<i>223.000</i>	<i>150.000</i>	<i>220.00</i>	<i>302.000</i>	

**Tabela 7.** Correlações de Spearman entre as variáveis avaliadas nos 11 agrupamentos de madeira estudados no trecho DEG-B em Abril/Maio de 2019. Os valores em itálico são referentes aos coeficientes de correlação e os valores em negrito indicam a significância de probabilidade  $p \leq 0,05$ .

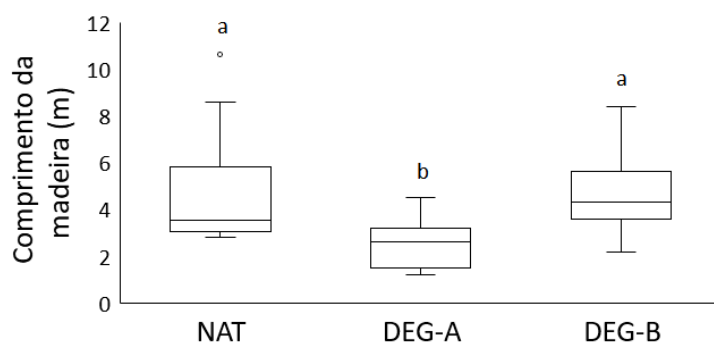
Variáveis	Deterioração da madeira	Diversidade de funções	Perpendicularidade	Exposição ao ar	Comprimento do DVR (m)	Diâmetro do DVR (m)	Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	MO do sítio (%)	Largura do sítio
Deterioração da madeira		0.679	0.186	0.186	0.850	0.571	0.571	0.850	0.776
Diversidade de funções	<i>190.500</i>		0.862	0.862	0.508	0.887	<b>0.045</b>	0.850	0.987
Perpendicularidade	<i>143.000</i>	<i>124.500</i>		0.002	0.527	1.000	0.752	0.752	0.342
Exposição ao ar	<i>143.000</i>	<i>124.500</i>	<i>0.000</i>		0.527	1.000	0.752	0.752	0.342
Comprimento do DVR (m)	<i>176.000</i>	<i>159.500</i>	<i>115.500</i>	<i>115.500</i>		0.404	<b>0.054</b>	<b>0.029</b>	0.063
Diâmetro do DVR (m)	<i>154.000</i>	<i>210.500</i>	<i>137.500</i>	<i>137.500</i>	<i>278.000</i>		0.585	0.196	0.428
Biomassa do sítio (kg/m <sup>2</sup> )	<i>154.000</i>	<i>74.500</i>	<i>126.500</i>	<i>126.500</i>	<i>86.000</i>	<i>182.000</i>		0.358	0.966
MO do sítio (%)	<i>198.000</i>	<i>213.500</i>	<i>148.500</i>	<i>148.500</i>	<i>68.000</i>	<i>310.000</i>	<i>156.000</i>		0.079
Largura do sítio	<i>203.000</i>	<i>200.000</i>	<i>170.000</i>	<i>170.000</i>	<i>90.500</i>	<i>274.500</i>	<i>216.500</i>	<i>97.500</i>	

Ao realizar a PCA, com as variáveis selecionadas através da correlação de Spearman, foi observado que os três primeiros eixos da PCA são responsáveis por 47% da variabilidade total dos dados. Os componentes foram marcados pela maior variabilidade e distanciamento da formação de remanso (negativamente) e comprimento da madeira/biomassa retida (positivamente) no componente 1, onde o trecho DEG-A se separa dos demais devido a sua maior formação de remanso e menor comprimento de madeira. O eixo do segundo componente foi ordenado pelas variáveis formação de remanso (positivamente) e exposição ao ar (negativamente). Em relação ao eixo do componente 3 houve uma ordenação em torno da variável matéria orgânica particulada (positivamente) e deterioração da madeira (negativamente) (Figura 16).

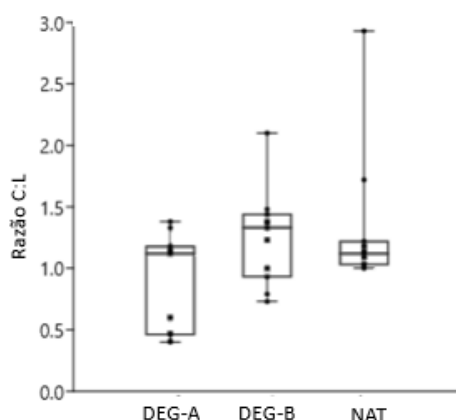


**Figura 16.** Scatter plots da análise de componentes principais (PCA) demonstrando a ordenação dos trechos de estudo (DEG-A=vermelho, DEG-B=laranja e NAT=verde) e das variáveis (vetores) avaliadas nos agrupamentos de madeira.

O teste de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ) realizado para o comprimento de madeira, biomassa e matéria orgânica particulada retida apresentou diferenças significativas. O comprimento da madeira apresentou diferenças significativas ( $H=10.46$  e  $p \leq 0,05$ ) entre o trecho DEG-A e os trechos DEG-B e NAT, tendo DEG-A apresentado os menores comprimentos de madeira (Figura 17). A diferença observada no comprimento da madeira entre os trechos, contribui para uma menor razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$  (comprimento da madeira/largura do ponto) no trecho DEG-A (Figura 18).



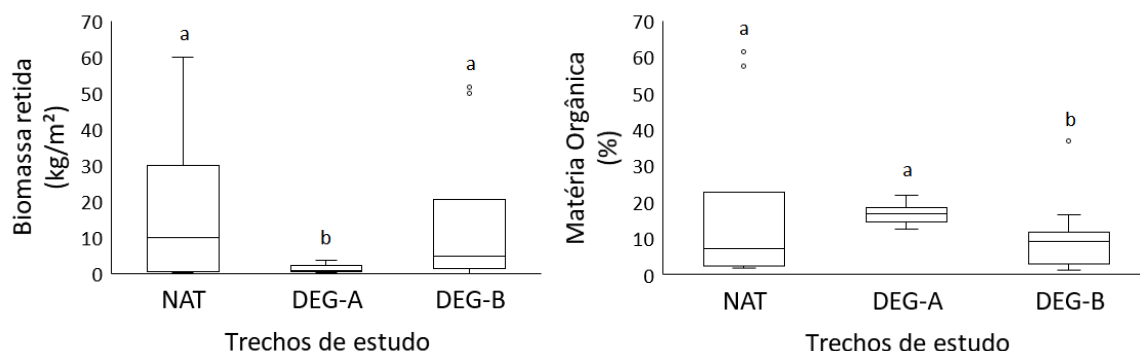
**Figura 17.** Box-plot do comprimento da madeira (m) entre os trechos NAT, DEG-A e DEG-B ( $H=10.46$  e  $p \leq 0,05$ ) avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.



**Figura 18.** Box-plot da razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$  (comprimento da madeira/largura do canal do ponto) nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

Em relação a quantidade de biomassa e matéria orgânica particulada retida nas áreas de retenção formadas pelos agrupamentos de madeira, foi observada diferença significativa entre os trechos. O trecho DEG-A apresentou menor retenção de biomassa, se diferenciando dos demais trechos ( $H=7.36$  e  $p \leq 0,05$ ) (Figura 19). Em relação a variável

matéria orgânica particulada, o trecho DEG-B apresentou menor retenção, se diferenciando de DEG-A e NAT ( $H=7.68$ ;  $p\leq 0,05$ ) (Figura 19).



**Figura 19.** Gráficos box-plots sobre a relação da biomassa ( $\text{kg/m}^2$ ) ( $H=7.36$  e  $p\leq 0,05$ ) e matéria orgânica ( $H=7.68$  e  $p\leq 0,05$ ) acumuladas nas áreas de retenção de material formadas pelos agrupamentos de madeiras nos três trechos de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) avaliados em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

### 4.3 Avaliação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em diferentes microhabitats formados pelos agrupamentos de madeira

#### 4.3.1 Composição taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos

A comunidade bentônica apresentou menores valores de abundância absoluta e riqueza nos trechos degradados (DEG-A e DEG-B) em relação ao trecho NAT, principalmente no trecho DEG-A. Porém, as métricas ecológicas da comunidade apresentaram variações em relação aos diferentes microhabitats (Tabela 8).

Nos 11 pontos avaliados em cada trecho (DEG-A, DEG-B e NAT), todos apresentaram retenção de material orgânico e inorgânico (galhos, folhas, sedimento fino e cascalho) no leito do riacho nas áreas de retenção a montante dos agrupamentos, sendo realizada 11 amostragens com a rede Surber nos três trechos estudados. As demais metodologias de amostragem apresentaram n amostral diferentes de acordo com a disponibilidade de material vegetal retido em suspensão nos agrupamentos de madeira, formação de remansos e corredeiras próximos aos agrupamentos (Tabela 8). Além disso, foi observado que os 14 agrupamentos que apresentaram material vegetal retido em suspensão em todos os trechos de estudo amostrados como rede D, desempenhavam a função de retenção de madeiras e eram posicionados de forma perpendicular ao fluxo do canal. Dentre as posições dos agrupamentos classificadas como perpendiculares, a

posição ponte na coluna d'água apresentou maior retenção de material em suspensão (64%); já a posição ponte em contato com o fundo, classificada como perpendicular ao fluxo do canal, não apresentou retenção de material suspenso, contribuindo apenas para uma maior retenção de material no fundo do canal (Anexo 2).

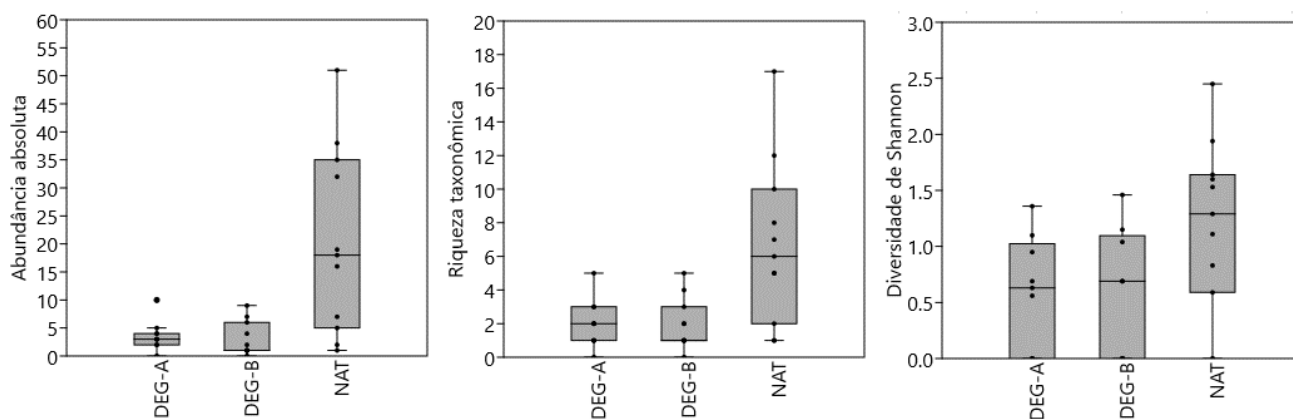
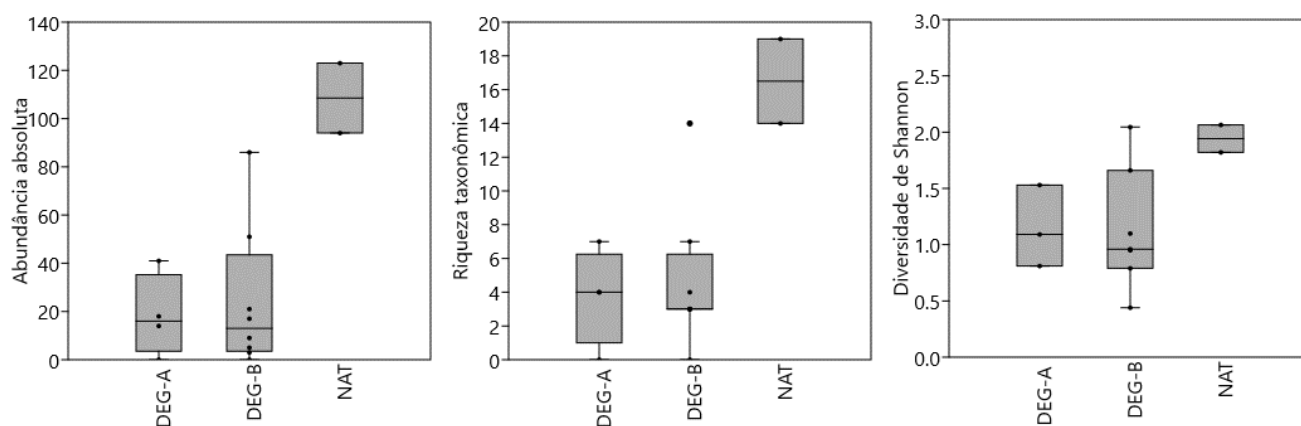


**Tabela 8.** Métricas ecológicas da comunidade de macroinvertebrados bentônicos coletados nas áreas de retenção, remanso e corredeiras formadas pelos grupamentos de madeira no período de abril/maio de 2019.

Métrica ecológicas	Rede D			Rede Surber			Litter				
	DEG-A	DEG-B	NAT	DEG-A	DEG-B	NAT	Remanso			Corredeira	
	DEG-A	DEG-B	NAT	DEG-A	DEG-B	NAT	DEG-A	DEG-B	NAT	DEG-B	NAT
Abundância absoluta total	73	191	217	36	32	223	5	44	263	49	69
Riqueza Taxonômica	11	21	26	10	8	42	5	14	21	13	15
Dominância (D)	0,40	0,25	0,15	0,31	0,24	0,29	0,20	0,25	0,30	0,20	0,16
Diversidade (H)	1,37	1,86	2,28	1,67	1,67	2,22	1,60	1,88	1,75	2,03	2,12
Equitabilidade (J)	0,57	0,61	0,70	0,72	0,80	0,60	1	0,71	0,57	0,79	0,78
Abundância absoluta EPT	2	42	90	2	1	28	0	15	76	16	44
Riqueza taxonômica EPT	1	5	13	1	1	14	-	5	8	5	8
Abundância relativa EPT	3%	22%	41%	6%	3%	13%	-	34%	29%	33%	64%
N amostral	5	8	2	11	11	11	10	6	7	5	4

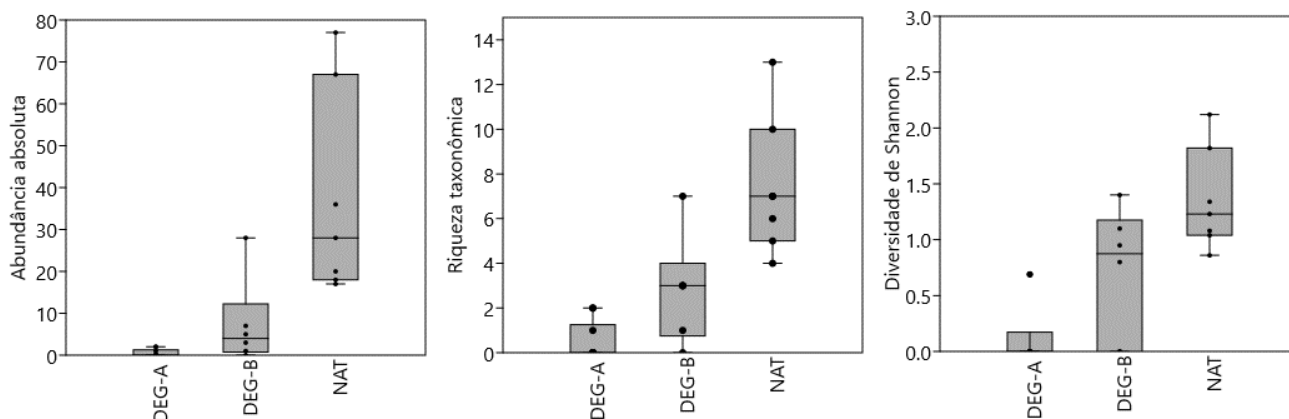
As coletas realizadas no leito do riacho, através da utilização da rede surber, apresentaram resultados semelhantes nos trechos degradados (DEG-A e DEG-B), sendo observado baixos valores de abundância, riqueza e diversidade nestes trechos (Figura 20; Tabela 8). Os resultados obtidos através da amostragem do material retido suspenso nos agrupamentos de madeira, coletados através do uso da rede D, demonstraram maiores valores de abundância e riqueza taxonômica em todos os trechos de estudo, mesmo apresentando um menor  $n$  amostral. Ao considerar o aumento observado nas coletas com a rede D, o trecho DEG-B apresentou maior abundância absoluta, riqueza taxonômica e diversidade se comparado com o trecho DEG-A (Figura 20).

Em relação as métricas ecológicas da comunidade aderida aos litterbags nas áreas de remanso, foi observada menor abundância, riqueza e diversidade taxonômica no trecho DEG-A. As métricas da comunidade avaliadas nos remansos de DEG-B e NAT foram semelhantes aos resultados encontrados nas coletas de fundo (rede Surber). O trecho DEG-A não apresentou formação de corredeiras a montante dos agrupamentos de madeira, portanto, não foram instalados litterbags em corredeiras neste trecho. Em relação aos litterbags fixados nas zonas de remansos e corredeiras de DEG-B e NAT, foi observada uma semelhança na abundância absoluta, riqueza taxonômica, dominância, diversidade e equitabilidade da comunidade bentônica coletada nas áreas de remanso e corredeira avaliadas em DEG-B. Porém, o trecho NAT apresentou menor abundância e riqueza taxonômica na comunidade bentônica das áreas de corredeira (Figura 21).

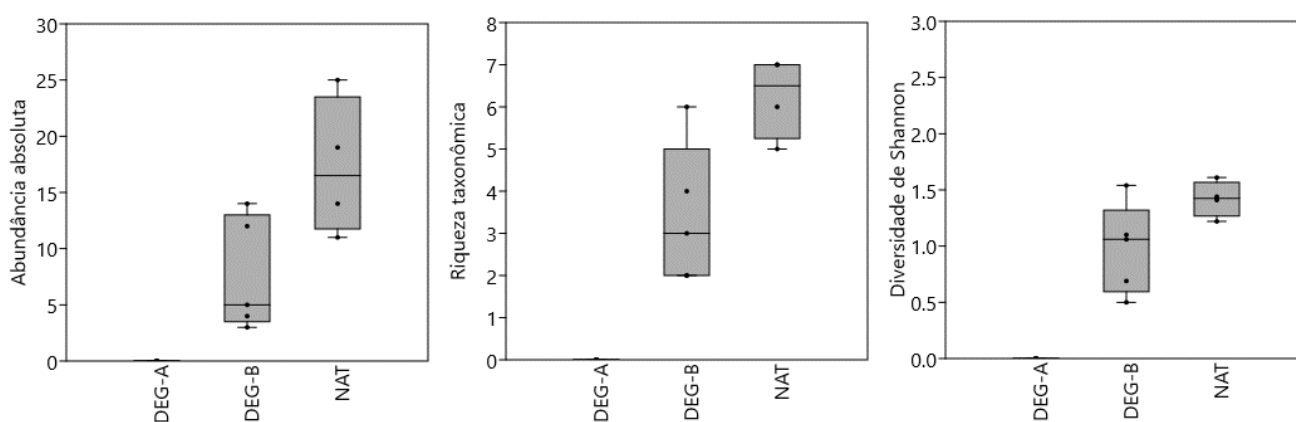
**REDE SURBER****REDE D**

**Figura 20.** Dados de abundância absoluta, riqueza taxonômica e diversidade de Shannon da comunidade bentônica coletada nos três trechos de estudo, através da metodologia da rede surber e rede D coletados em Abril/Maio de 2019. A mediana está representada pela linha interquartil e o intervalo corresponde a 25-75% dos dados com a barra de erros sendo representada pelos valores máximos e mínimos.

### LITTER REMANSO



### LITTER CORREDEIRA



**Figura 21.** Dados de abundância absoluta, riqueza taxonômica e diversidade de Shannon da comunidade bentônica aderida aos litterbags adicionados nas áreas de remanso e corredeira coletados em Abril/Maio de 2019. A mediana está representada pela linha interquartil e o intervalo corresponde a 25-75% dos dados com a barra de erros sendo representada pelos valores máximos e mínimos

Em relação as ordens taxonômicas, a ordem dos Dípteras foi a que apresentou maior abundância absoluta nos três trechos de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) em todas as coletas realizadas nas áreas de retenção formadas pelos agrupamentos de madeiras (Tabela 9). Desconsiderando a ordem Diptera, o trecho DEG-A não apresentou outra ordem dominante, enquanto os trechos DEG-B e NAT apresentaram outras ordens com alta dominância como, por exemplo, Coleoptera, Trichoptera e Plecoptera (Anexo 3; Tabela 9).

**Tabela 9.** Abundância absoluta (Ab.) e abundância taxonômica (AT) identificados em cada trecho de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT) em relação ao tipo de coleta realizada em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

Ordem	DEG-A						DEG-B								NAT							
	Rede D		Rede Surber		Litter		Rede D		Rede Surber		Litter				Rede D		Rede Surber		Litter			
					Remanso						Remanso		Corredeira						Remanso		Corredeira	
	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.	AT	Ab.
Anellida	0	0	1	3	0	0	1	1	2	4	1	1	1	1	0	0	3	4	2	2	0	0
Acari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Blattodea	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Cladocera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Coleoptera	2	3	0	0	2	2	6	9	0	0	1	3	2	2	7	50	12	25	3	7	1	2
Decapoda	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2
Díptera	5	64	4	27	2	2	6	134	4	27	3	21	2	16	5	76	5	155	5	175	3	20
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	3	4	3	9	5	10	7	15	3	19	2	15
Hemíptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Megaloptera	1	2	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0
Nematomorpha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Odonata	1	1	2	2	1	1	0	0	1	2	1	1	2	2	0	0	1	2	2	2	1	1
Ostracoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0	1	20	0	0	0	0	0	0	2	50	1	5	1	6	2	4
Planorbiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichoptera	1	2	1	2	0	0	3	19	1	1	2	11	1	4	6	30	6	8	4	51	4	25

Ao avaliar os macroinvertebrados bentônicos pertencentes aos gêneros Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), foi observado que o trecho DEG-A apresentou um total de 4 indivíduos e 2 táxons pertencentes ao grupo EPT. Ao considerar os tipos de amostragens individualmente este trecho apresentou menores valores de abundância absoluta, riqueza taxonômica e abundância relativa, independentemente do tipo de amostragem (Tabela 8). Em DEG-B houve um total de 74 indivíduos e 8 táxons pertencentes ao grupo EPT, sendo observado diferentes valores de abundância absoluta, riqueza taxonômica e abundância relativa de EPT em relação ao tipo de amostragem realizada, onde as coletas com rede Surber (leito do riacho) apresentou menor abundância absoluta, riqueza taxonômica e abundância relativa (Tabela 8). A amostragem realizada em DEG-B através do uso da rede D apresentou maior abundância absoluta, porém, a riqueza taxonômica apresentou o mesmo valor nas amostragens com rede D, e os litterbags alocados em áreas de remanso e correnteza. O trecho NAT apresentou maior ocorrência total de EPT, sendo 238 indivíduos e 24 táxons. Além disso, em NAT foram encontrados maiores valores de abundância absoluta, riqueza taxonômica e abundância relativa em relação aos trechos degradados, sendo os valores das métricas diferentes de acordo com o método de amostragem (Tabela 8).

Dentre os táxons EPT coletados, o gênero *Smicridea* foi coletado nos três trechos de estudo; em DEG-A este gênero foi coletado em suspensão através do uso da rede D; em DEG-B e NAT o gênero foi coletado através das três metodologias utilizadas (rede Surber, rede D, litterbags alocados nas áreas de remanso e correnteza). Foi observado que os trechos degradados apresentaram gêneros que não ocorreram no trecho NAT, onde DEG-A foi o único trecho que apresentou indivíduos do gênero *Macronema* na coleta realizada com a rede Surber (material retido no fundo) e DEG-B o único trecho a apresentar indivíduos do gênero *Chimarra* através da coleta realizada com a rede D (material retido em suspensão).

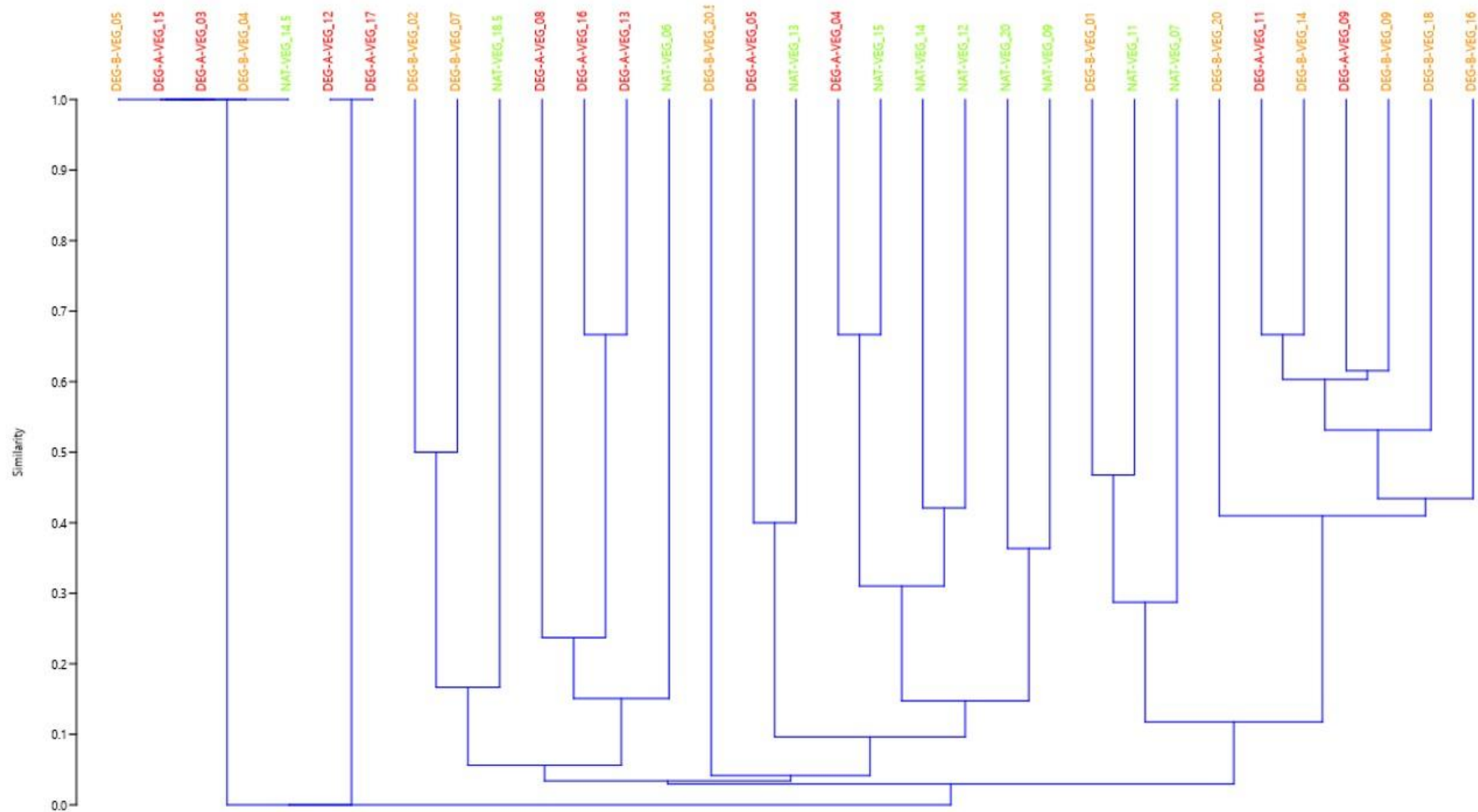
#### **4.3.1.1 Ordenação e similaridade taxonômica da comunidade bentônica retida no leito e em suspensão**

Com o intuito de avaliar a similaridade taxonômica e a ordenação da comunidade bentônica em relação as características da madeira, foi avaliada de forma conjunta a abundância taxonômica coletadas através do uso da rede D e rede Surber, onde ambas as coletas foram realizadas no mesmo ponto e período (dia e horário). Para diminuir o ruído das análises causados pela alta abundância da família Chironomidae, o número de indivíduos identificados até família foi desconsiderado da abundância absoluta de cada trecho de estudo (Tabela 10).

**Tabela 10.** Abundância relativa da família Chironomidae coletada através da rede surber, rede D e a abundância relativa total ao se considerar os dois tipos de amostragem realizada em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

<b>Abundância relativa da família Chironomidae</b>			
	<b>Rede Surber</b>	<b>Rede D</b>	<b>Rede surber + D</b>
<b>DEG-A</b>	54%	59%	57%
<b>DEG-B</b>	35%	36%	42%
<b>NAT</b>	53%	23%	38%

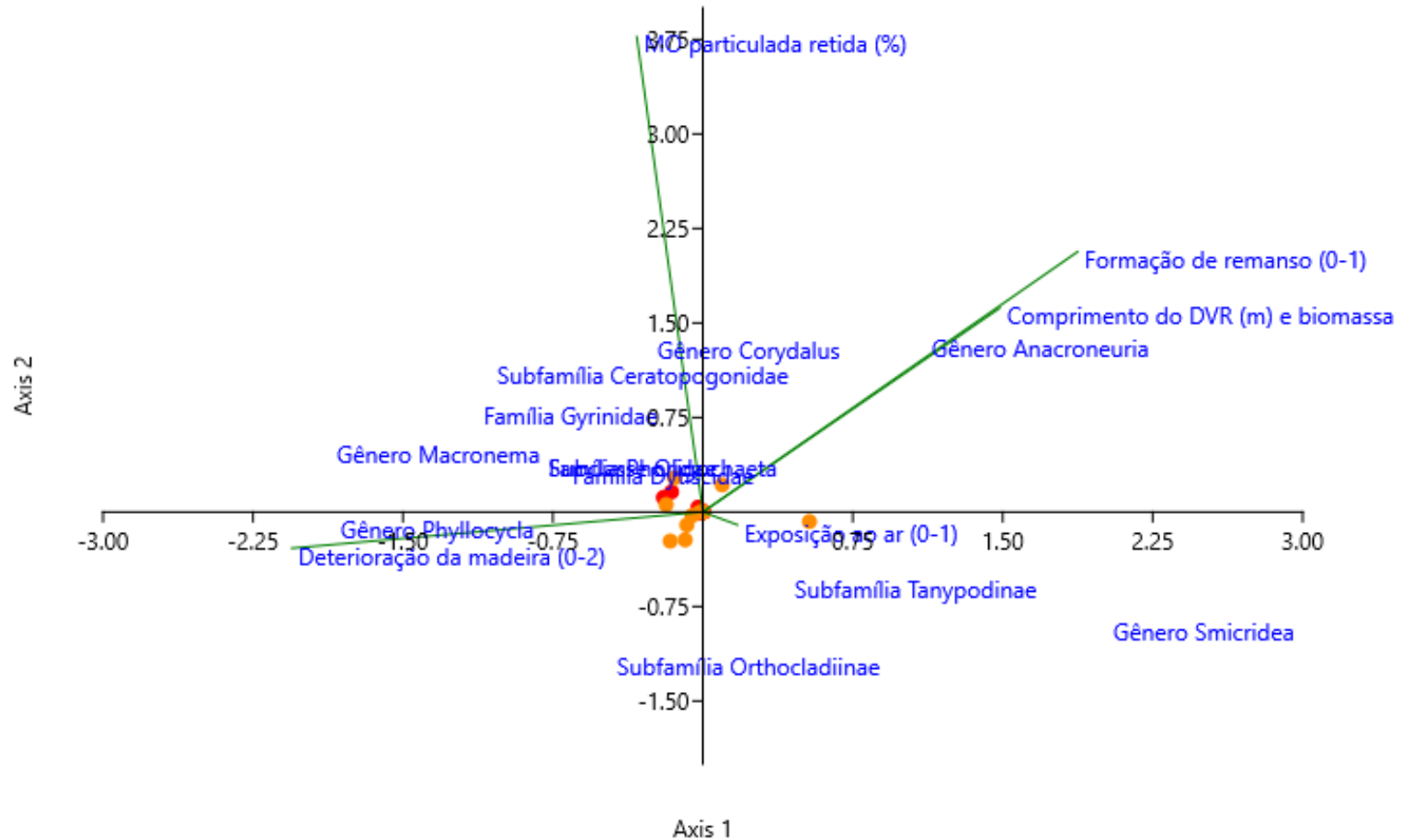
Ao avaliar a composição taxonômica dos trechos DEG-A, DEG-B e NAT, foi possível observar a formação de dois grupos compostos pelos trechos DEG-A e DEG-B com nível de corte de 50% de similaridade ( $R^2=0,95$ ) (Figura 22). A diferença entre os trechos de estudo em relação aos grupos taxonômicos foi confirmada entre os trechos DEG-B e NAT (ANOSIM,  $p=0,001$ ), sendo a Subfamília Orthoclaadiinae (Díptera, 18,09%) e o gênero *Anacroneuria* (Plecoptera, 9,6%) os principais contribuintes para essa diferença entre os trechos.



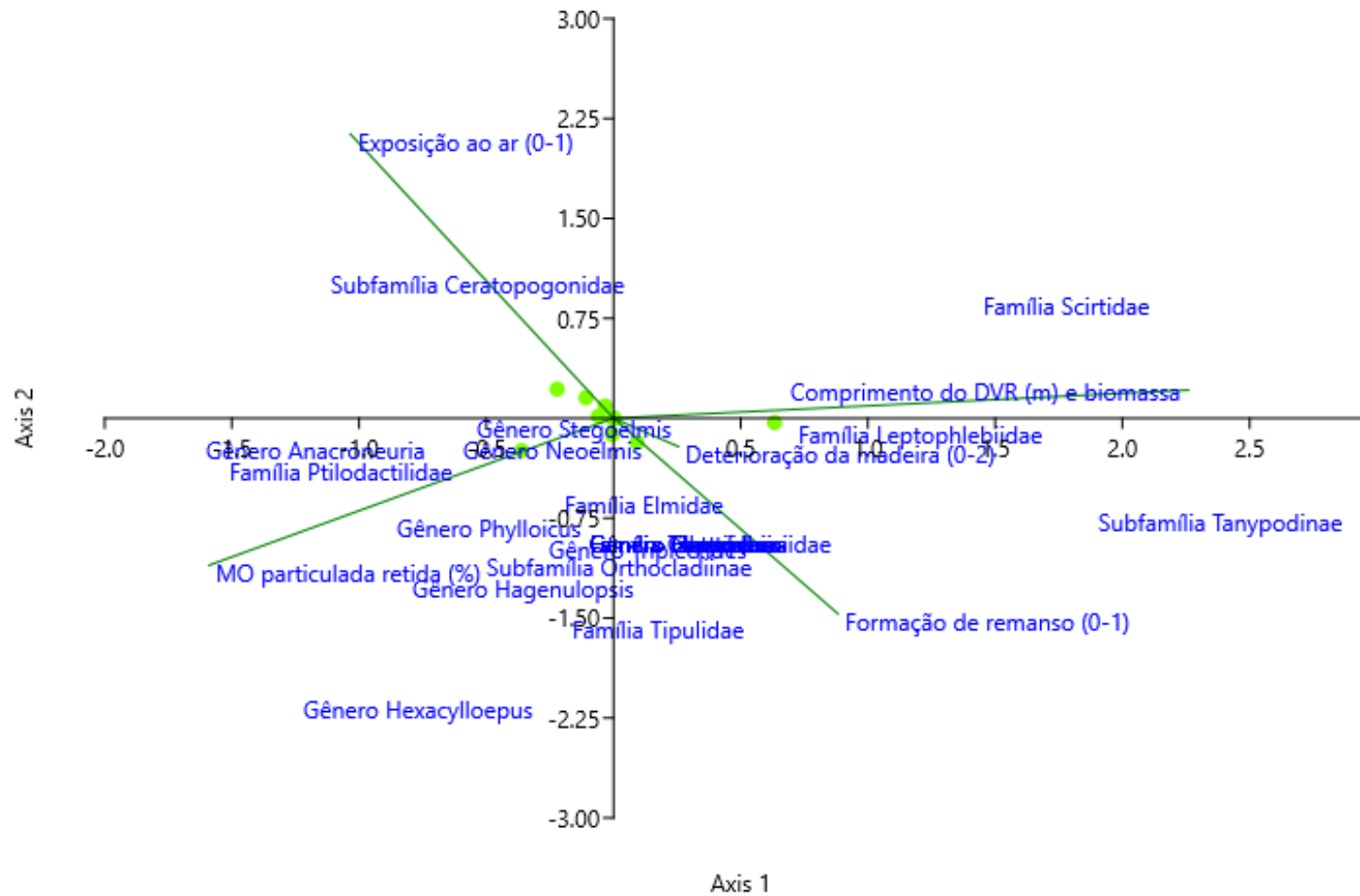
**Figura 22.** Análise de similaridade baseada no índice de Bray Curtis para os grupos taxonômicos de macroinvertebrados bentônicos no leito e em suspensão nos trechos de estudo ( $R^2=0,95$ ). Os pontos representados pela cor vermelha representam o trecho DEG-A, em laranja o trecho DEG-B e em verde o trecho NAT. Amostras coletadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.



Ao realizar a CCA foi observado que não há ordenação taxonômica significativa que associe os trechos degradados e as variáveis da madeira aos táxons coletados ( $p=0,12$ ), sendo observado apenas uma reduzida ordenação dos táxons ao longo dos eixos através dos autovalores. Porém, há uma tendência de ordenação dos trechos degradados, onde o trecho DEG-B tende a apresentar menor retenção de matéria orgânica particulada, maior comprimento de madeira/biomassa e maior colonização da subfamília Tanypodinae e dos gêneros *Smicridea* e *Acroneuria* (Figura 23). Assim como os trechos degradados, o trecho NAT apresentou autovalores baixos e uma ordenação taxonômica não significativa ( $p=0,24$ ). Ao observar a baixa dispersão dos táxons nos eixos, foi possível verificar que a subfamília Tanypodinae e o gênero *Smicridea* são as que mais se dispersaram no eixo 1 que explicou 72% da relação, podendo esta dispersão estar relacionada com o maior comprimento de madeira e retenção de biomassa (Figura 24).



**Figura 23.** Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos taxonômicos coletados nos trechos DEG-A (vermelho) e DEG-B (laranja) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar) selecionados através da realização da PCA. Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

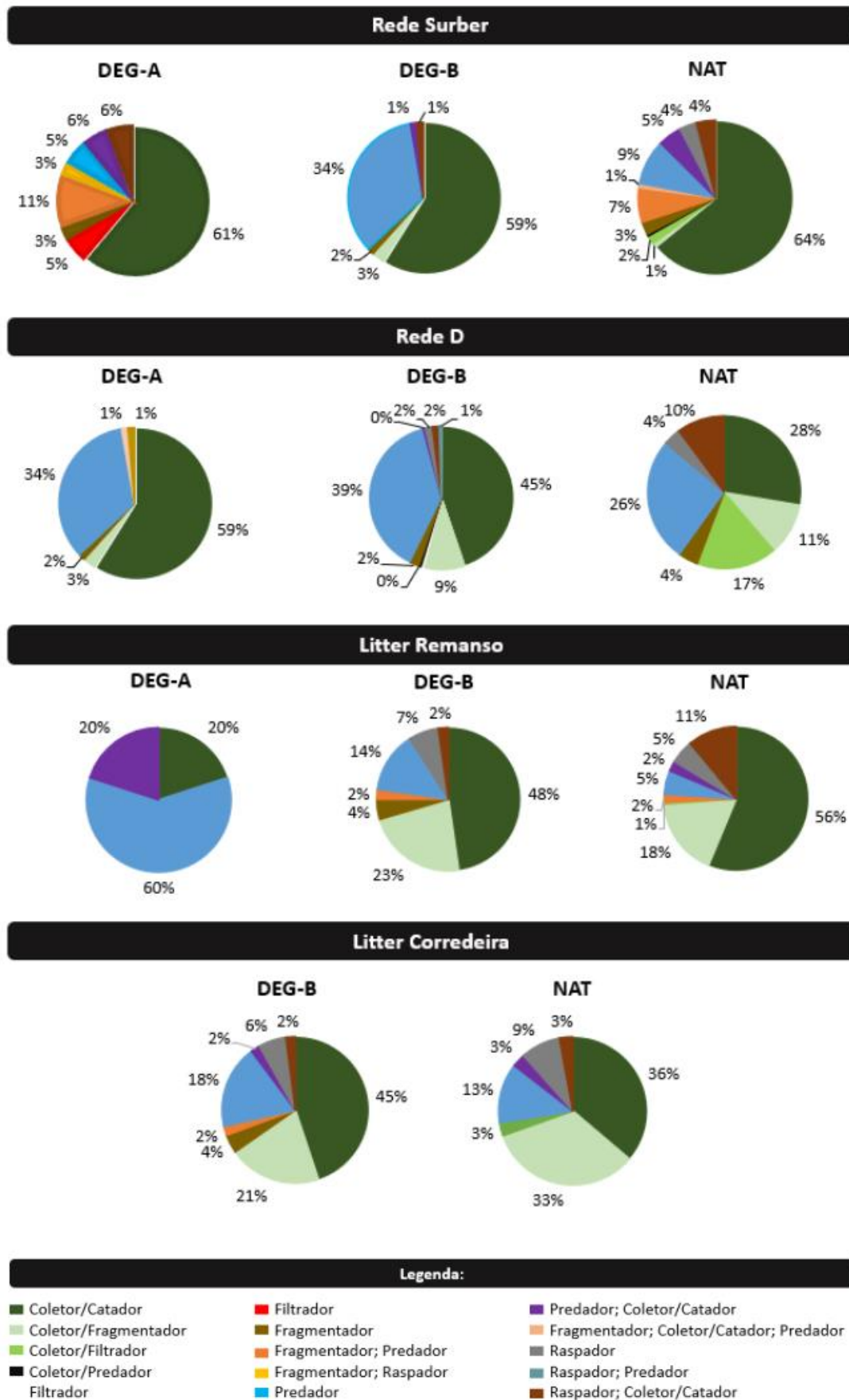


**Figura 24.** Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos taxonômicos coletados no trecho NAT (verde) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar) selecionados através da realização da PCA. Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

### **4.3.2 Composição do grupo funcional alimentar da comunidade de macroinvertebrados bentônicos**

Quanto aos grupos funcionais, os macroinvertebrados bentônicos coletores/catadores apresentaram maior ocorrência nos trechos de estudo (DEG-A, DEG-B e NAT). Apenas nas amostras de litterbags instalados na área de remanso em DEG-A o grupo funcional de predadores apresentou maior abundância. O trecho NAT apresentou maior diversidade funcional comparado com os trechos degradados (DEG-A e DEG-B), independentemente do tipo de amostragem.

Algumas funções atribuídas principalmente a organismos sensíveis e relacionadas com a decomposição foliar, como raspagem, filtração e fragmentação foram pouco registradas nos trechos DEG-A e DEG-B, comparados com os resultados observados no trecho NAT (Figura 25). Além disso, nos trechos amostrados foram coletados diferentes organismos capazes de desempenhar mais de uma função, como raspador;coletor/catador, o que significa que estes podem desempenhar uma função dependendo das condições do ambiente e disponibilidade de recursos alimentares.



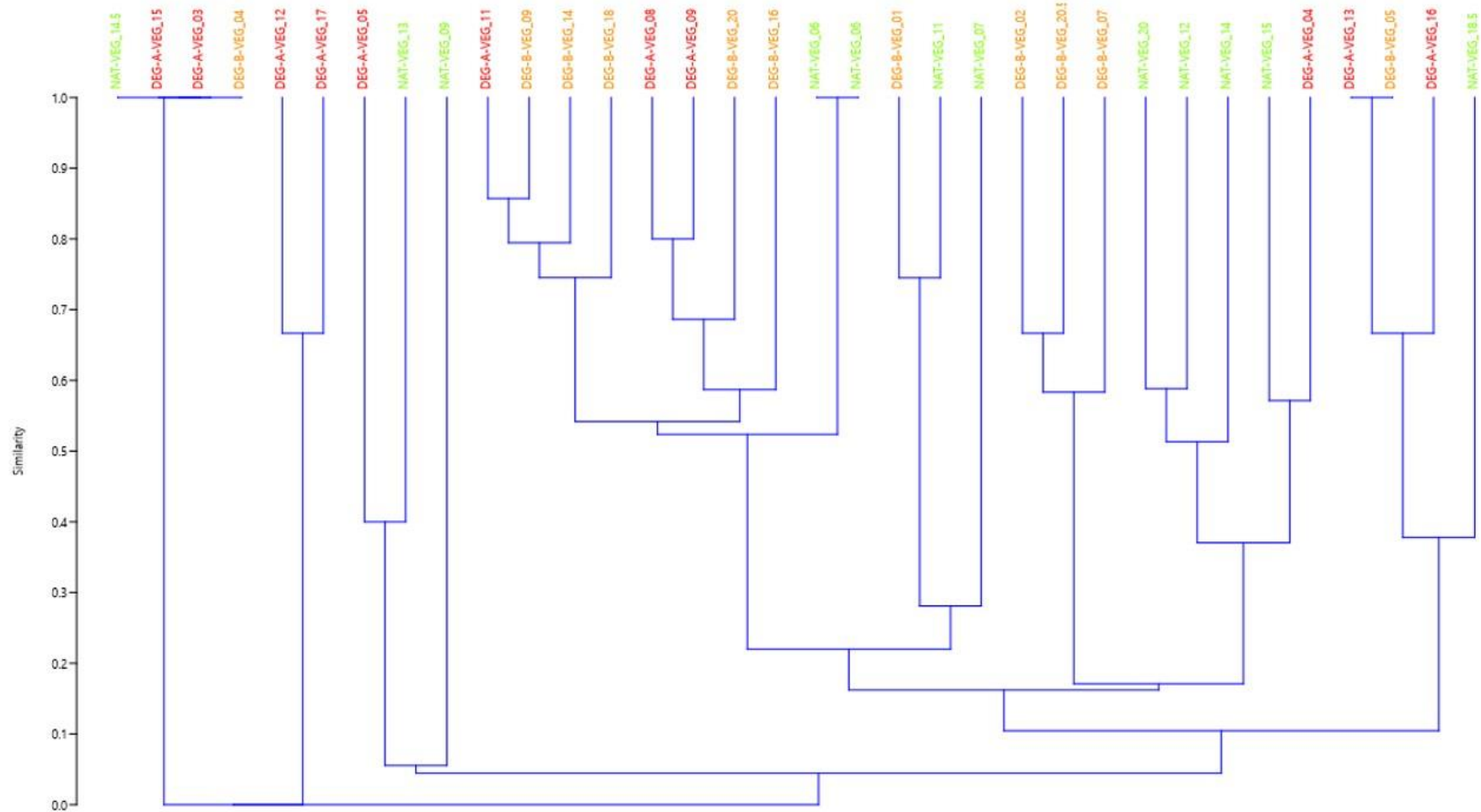
**Figura 25.** Porcentagem dos grupos funcionais encontrados em cada trecho de estudo através das diferentes metodologias de coleta.

#### **4.3.2.1 Ordenação e similaridade do grupo funcional alimentar da comunidade bentônica retida no leito e em suspensão.**

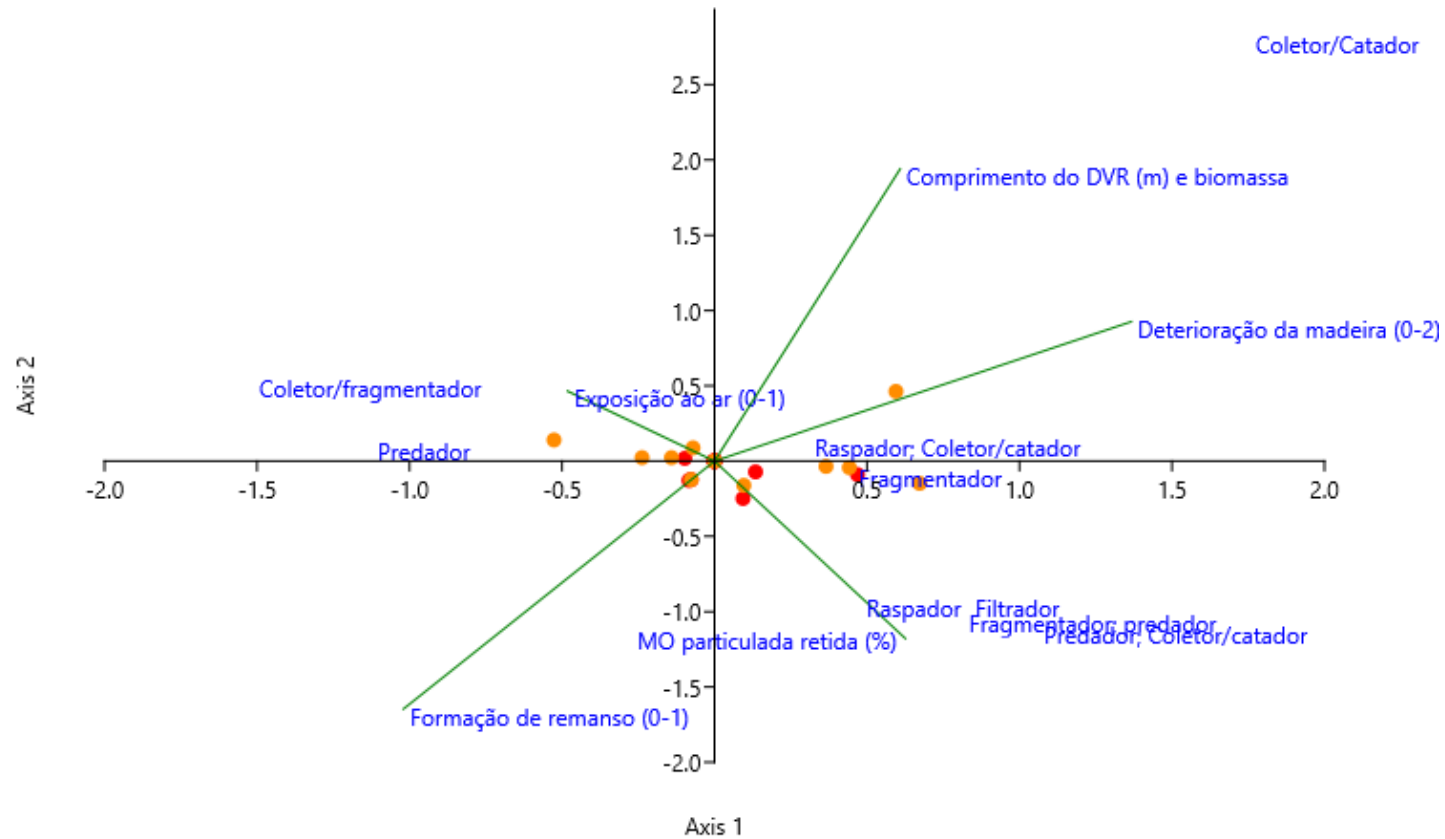
Assim como utilizado nas análises de similaridade e ordenação taxonômica, para realizar as análises referente a abordagem funcional da comunidade também foram utilizados os dados da rede Surber e da rede D, além da subtração da abundância dos indivíduos Chironomidae identificados até família do grupo funcional coletores/catadores, para diminuir o ruído nas análises.

Na análise de similaridade por agrupamento foi observada a formação de quatro grupos com nível de corte de 50% de similaridade ( $R^2=0,92$ ), sendo um deles formado apenas por pontos pertencentes ao trecho NAT e três deles compostos majoritariamente por pontos pertencentes aos trechos degradados (Figura 26). Através da ANOSIM foi possível observar essa diferença entre a composição funcional dos trechos DEG-B e NAT ( $p=0,015$ ), sendo indicado pela análise de SIMPER uma contribuição de 35% do grupo funcional dos predadores para a diferenciação dos trechos.

Os trechos degradados apresentaram uma tendência de ordenação dos grupos taxonômicos em relação as variáveis dos agrupamentos de madeira ( $p=0,064$ ), sendo 76% dos dados ordenados em torno das variáveis “formação de remanso” e “deterioração da madeira” (eixo 1). Os grupos funcionais coletor/fragmentador e predador ocorrem mais nos trechos com maior formação de remanso e menor deterioração da madeira. Em relação ao trecho NAT, não foi observada uma ordenação significativa ( $p=0,331$ ) (Figura 27; Figura 28).

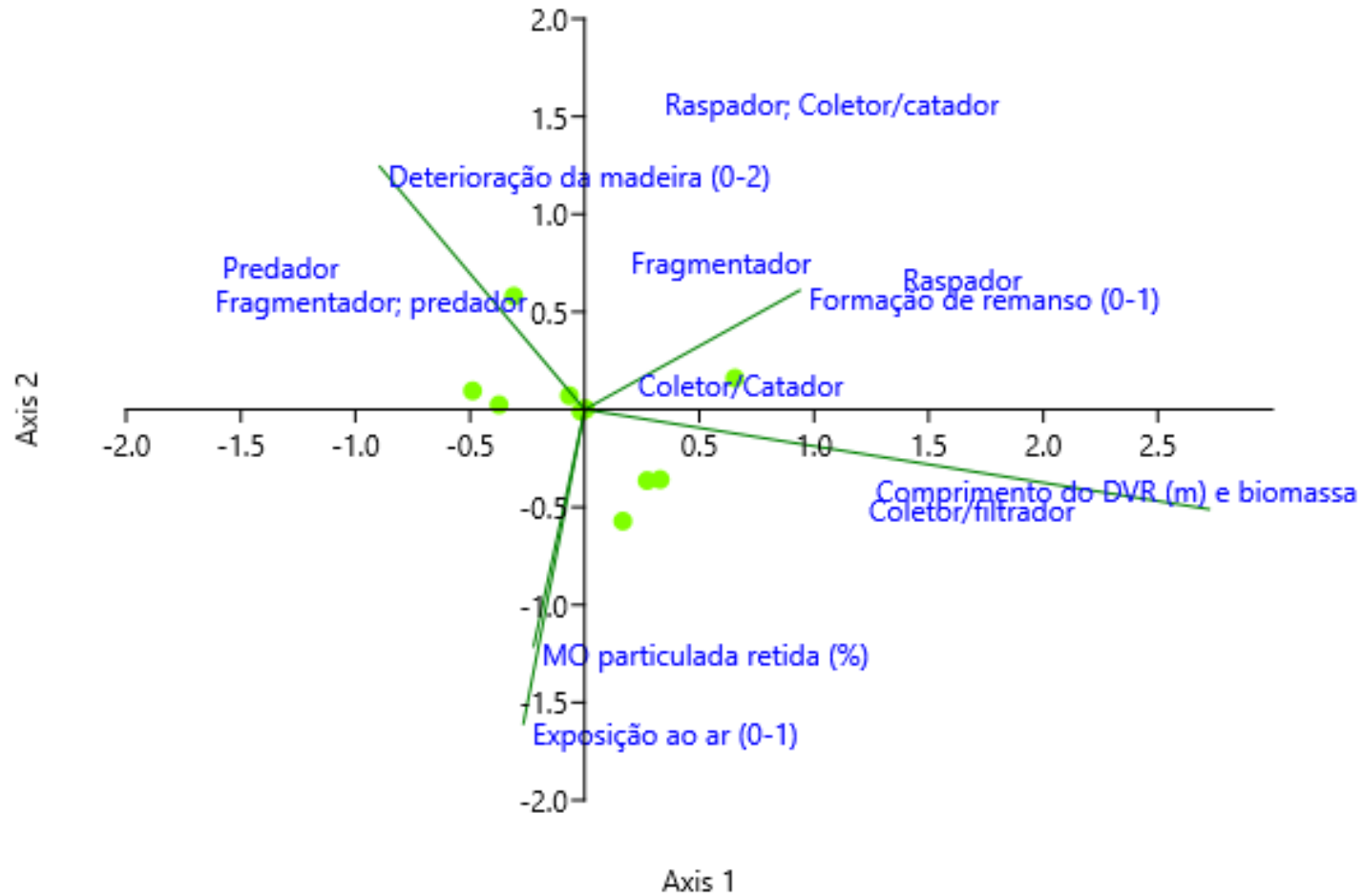


**Figura 26.** Análise de similaridade baseada no índice de Bray Curtis para os grupos funcionais de macroinvertebrados bentônicos no leito e em suspensão nos trechos de estudo ( $R^2=0,92$ ). Os pontos representados pela cor vermelha representam o trecho DEG-A, em laranja o trecho DEG-B e em verde o trecho NAT. Amostras coletadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.



**Figura 27.** Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos funcionais coletados nos trechos DEG-A (vermelho) e DEG-B (laranja) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar). Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.





**Figura 28.** Análise de correspondência canônica (CCA) com os grupos funcionais coletados no trecho NAT (verde) retidos no fundo e em suspensão e variáveis dos agrupamentos de madeira (formação de remanso, comprimento da madeira, exposição ao ar, matéria orgânica particulada e exposição ao ar). Coletas realizadas em Abril/Maio de 2019 na Mina do Manganês do Azul na FLONA de Carajás-PA.

## 5. DISCUSSÃO

Durante o trabalho realizado foi observado que o trecho DEG-A apresenta maior acúmulo de sedimento fino nas áreas marginais, porém seus pontos estudados apresentam diferentes indícios de regeneração natural. Pois, principalmente nos pontos mais a jusante de DEG-A os danos causados pelo assoreamento das margens e leito permanecem bastante perceptíveis, uma vez que o solo marginal apresenta ausência de camada de serapilheira, espécies vegetais espaçadas, acúmulo de sedimento fino no solo marginal e no leito do riacho, além da ausência de elementos minerais do leito. Enquanto isso, o trecho mais a montante de DEG-A apresenta mais sinais de regeneração de sua área ciliar, através do estabelecimento de gramíneas e espécies rasteiras, demonstrando características de floresta primária (FELIX et al., 2021). Em relação ao trecho DEG-A, seu ponto mais a montante estudado possui alterações em comparação aos pontos central e jusante, por apresentar maior erosão do leito. Esse processo de erosão ocorre devido à presença de uma manilha que canaliza o riacho, ocasionando um maior deslocamento do sedimento do fundo e a presença de sedimento arenoso no centro do canal. As laterais do canal e o solo marginal são compostos principalmente por sedimento fino estéril e a vegetação é constituída por gramíneas e arbustos. Os pontos central e jusante de DEG-A são caracterizados como zonas de deposição de sedimentos, apresentam o leito e o solo marginal compostos por sedimento fino e a mata ciliar composta majoritariamente por palmeiras.

Os trechos DEG-A, DEG-B e NAT apresentaram formação de agrupamentos de madeira independente do grau de impacto observado. Porém, as características físicas dos agrupamentos, o processo de retenção de biomassa e matéria orgânica particulada, e a colonização dos diferentes habitats pela comunidade de macroinvertebrados bentônicos ocorreu de forma distinta entre os trechos, fatores que podem ter sido influenciados pelas diferentes características ambientais apresentadas por cada trecho de estudo (HOOKE, 2003)

A presença de agrupamentos de madeira nos três trechos estudados (DEG-A, DEG-B e NAT) demonstrou a capacidade de fornecimento dos elementos vegetais, como galhos e troncos, pela mata ciliar independente da condição ambiental de cada trecho, viabilizando o ciclo das grandes madeiras. Este ciclo é definido pelo processo de entrada, retenção e carreamento das madeiras ao longo do riacho, permitindo o fornecimento contínuo de galhos e troncos por todo o curso d'água, formando os agrupamentos de

madeiras (COLLINS et al., 2012). Porém, os processos retenção de fragmentos vegetais, fornecimento e estabilização da madeira no riacho ocorre de forma dinâmica de acordo com algumas características do leito e das madeiras fornecidas pela mata ciliar, como o comprimento e posição da madeira dentro do canal, largura, profundidade e vazão do riacho (BAILLIE, 2008). Trechos de riachos que apresentam agrupamentos de madeira composto, posicionados de forma perpendicular ao fluxo d'água, razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}} > 1$  e riacho com baixa profundidade e vazão tende a estabilizar os agrupamentos de madeiras por um maior período contribuindo na maior retenção de biomassa. Essas características podem contribuir para maiores transformações ambientais como formação de zonas de remansos, retenção de substratos orgânicos e inorgânicos, como observado nos trechos NAT e DEG-B. Em contrapartida, agrupamentos de madeira simples, posicionados paralelamente ao fluxo d'água, com razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}} < 1$ , como observado no trecho DEG-A são facilmente carregados pelo fluxo d'água, sendo retidos em agrupamentos maiores ou em trechos do riacho que apresentam menor largura do canal, contribuindo para a entrada de madeira do ciclo a jusante e para a formação de novas áreas de retenção (GREGORY et al., 2017; GURNELL et al., 2002; RYAN; BISHOP; DANIELS, 2014).

A degradação da área ciliar como observado no trecho DEG-A pode influenciar no comprimento dos agrupamentos de madeira dentro do riacho, assim como suas taxas de decomposição, razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$  e retenção de biomassa. A fragmentação da mata ciliar e a predominância de espécies vegetais de pequeno porte pode interferir diretamente no fornecimento de madeira para o riacho, uma vez que a mata ciliar é a sua principal fonte de fragmentos vegetais. Devido ao trecho de riacho a montante apresentar maior fragmentação da mata ciliar e estar localizado mais próximo do empreendimento de mineração, não vem sendo disponibilizada grandes peças de madeira a montante para serem carregadas para o trecho DEG-A para formarem agrupamentos com maior razão e de composição composta que favorecem a retenção de material, principalmente em suspensão. Desta forma, as características das espécies vegetais que compõem a mata ciliar como tamanho e idade são os primeiros modeladores das características dos agrupamentos de madeira, e somente após um tempo da permanência da madeira dentro do riacho que suas características como comprimento e decomposição serão influenciadas por outros fatores ambientais do trecho como inclinação, vazão e rugosidade do leito (MONTGOMERY; PIÉGAY, 2003).

A formação dos agrupamentos de madeira com menor comprimento e razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$ , a posição da madeira dentro do riacho e a perda da rugosidade do leito

contribuíram para menor retenção de biomassa, pois essas características diminuem a área de retenção e fixação de biomassa no leito e na coluna d'água, facilitando seu carreamento para trechos a jusante (GREGORY et al., 2017; WOHL; CADOL, 2011). Além disso, a fragmentação da mata ciliar diminui o fornecimento de fragmentos vegetais, como folhas e galhos, para o solo e para o riacho, diminuindo a quantidade de biomassa disponível para o riacho (ALLAN; CASTILLO, 2007). Trechos com mata ciliar preservada, com solo marginal coberto por serapilheira e espécies vegetais de maior porte, apresentam agrupamentos de madeira de maior comprimento e razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$  contribuindo para a maior retenção de biomassa e para a formação de agrupamentos compostos. Além disso, a rugosidade do leito desses trechos, que possuem maior presença de agrupamentos compostos e elementos minerais como cascalhos, pedras e matacões, contribui para a retenção de substratos maiores como a biomassa diversa de detritos vegetais e grandes troncos, pois a presença desses elementos minerais forma locais rígidos contribuindo para maior estabilidade do material vegetal retido, dificultando seu carreamento mesmo em eventos de maior vazão (CHEN et al., 2008).

Ao se tratar da retenção de matéria orgânica particulada outras características do riacho, como mobilidade do canal e vazão, podem moldar esse processo, como observado em DEG-B que apresentou menor retenção de material orgânico particulado. Este trecho apresenta maior declividade longitudinal e vazão, fatores que contribuem para maior lixiviação de partículas finas, ocasionando uma maior dispersão da matéria orgânica particulada e do sedimento fino estéril retido no leito para trechos de riacho a jusante (FELIX, 2020). O trecho DEG-A, por apresentar menor vazão, maior formação de zonas de deposição de sedimento e remansos, retem maiores quantidades de substratos finos que se agregam, como a matéria orgânica particulada e o sedimento fino estéril. Desta forma, contribuindo para uma maior deposição de material orgânico particulado nas áreas de retenção avaliadas próximas aos agrupamentos de madeira.

Além das condições ambientais do riacho no trecho DEG-A, sua proximidade com o empreendimento minerador onde ocorreu a lixiviação da pilha de solo estéril, contribuiu para maior deposição de sedimento fino estéril no leito do riacho e na área ciliar de DEG-A. Desta forma, ocasionando o aumento dos sólidos totais em suspensão e da turbidez da água, principalmente durante o período chuvoso. Em eventos de chuva partículas de solos marginais expostos são lixiviados para o riacho, além de ocorrer a ressuspensão do leito do canal ocasionando um aumento das variáveis da água que representam o impacto

provocado por assoreamento de sedimento fino, como turbidez e sólidos totais em suspensão (FELIX 2020).

O elevado aporte de sedimento fino para o riacho e a lixiviação constante do solo marginal exposto, ocasionou uma homogeneidade do leito, devido ao soterramento de seus elementos minerais, como cascalhos, pedras e matacões e de pequenos elementos vegetais, ocasionando a perda de diferentes microhabitats (ANDRADE, 2020; FELIX, 2020). As homogeneizações do leito e dos microhabitats podem alterar a composição da comunidade aquática, principalmente da comunidade de macroinvertebrados bentônicos que perdem seus habitats devido ao soterramento de abrigo e recursos alimentares por exemplo, reduzindo sua abundância e diversidade taxonômica e funcional (COUCEIRO et al., 2009; PINTO, 2018).

Os fragmentos vegetais, por serem fornecidos aos riachos de forma constante através da mata ciliar devido à queda de galhos e árvores das áreas marginais, contribuem para o reestabelecimento da rugosidade do leito em um menor período se comparado com os elementos minerais (COLLINS et al., 2012). Desta forma, a presença de agrupamentos de madeira fornece recursos ao riacho para que haja formação de microhabitats diversificados, através da formação das áreas de remanso e da retenção de elementos vegetais que servem para alimentação, reprodução e refúgio da comunidade bentônica, favorecendo o estabelecimento de diferentes táxons e grupos funcionais (BENKE; WALLACE, 2003; NAKANO et al., 2018).

Porém, em trechos mais degradados, como DEG-A, mesmo com a presença dos agrupamentos de madeira, outros fatores ambientais como os altos valores de sólidos totais em suspensão podem influenciar a colonização da comunidade bentônica, principalmente dos organismos considerados sensíveis, devido ao soterramento constante do leito do riacho. Essa constante deposição de sedimento indisponibiliza os microhabitats para os organismos, dificultando sua locomoção, alimentação e proteção, além de poder ocasionar a obstrução das suas estruturas respiratórias (ALLAN; CASTILLO, 2007; COUCEIRO et al., 2009). Dessa forma, apenas organismos tolerantes que possuem maior plasticidade, como o desenvolvimento de adaptação alimentar, seria capaz de colonizar esse trecho (BUENDA et al., 2013; PES, 2001).

Trechos de riachos naturais e com menor grau de impacto apresentam uma maior diversidade de habitats, favorecendo a colonização da comunidade bentônica e a ocorrência de organismos sensíveis. Além disso, riachos com áreas de mata ciliar mais preservadas tendem a apresentar maior formação de agrupamentos de madeiras

compostos e posicionados de forma perpendicular, muitas vezes ficando suspensos, como observado em NAT e DEG-B. Agrupamentos com essas peculiaridades favorecem a retenção de biomassa em suspensão e são menos expostos ao processo de assoreamento constante ocasionado pela ressuspensão do sedimento do fundo e da lixiviação do solo marginal. Além disso, madeiras em contato com a coluna d'água retêm mais material disponibilizado a montante do riacho e intercepta organismos que estão à deriva na coluna d'água, contribuindo para o aumento da abundância e riqueza taxonômica e funcional (ALLAN; CASTILLO, 2007; BISPO et al., 2006).

Em relação a composição taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, a predominância da família Chironomidae nos três trechos estudados se dá devido a sua ocorrência de forma abundante em ambientes aquáticos lânticos e lóticos e à diversidade de organismos tolerantes a diferentes condições ambientais que compõem essa família (HAMADA et al., 2014). A tolerância as modificações das condições ambientais pelos organismos da família Chironomidae está relacionada há uma diversidade de gêneros com amplas características adaptativas, como habito fossorial, alimentação detritívora e capacidade de sobreviver por horas em ambientes anóxicos devido ao seu modo de respiração que ocorre através da absorção do oxigênio dissolvido na água por toda a superfície do corpo, dessa forma as hemoglobinas armazenam grande quantidade de oxigênio que permite que os organismos se mantenham em ambientes anóxicos. Essas características ajudam a sobrevivência desses organismos em ambientes com diferentes características, como as apresentadas pelos trechos estudados, pois permitem que estes organismos habitem diferentes substratos, incluindo os argilosos e sejam capazes de realizar diferentes tipos de hábitos respiratórios e alimentares (GOULART; CALLISTO, 2003; HAMADA et al., 2014; HENRIQUES et al., 2003).

Ao desconsiderar os organismos da família Chironomidae, foi observada uma diferença na composição taxonômica e funcional entre os trechos DEG-B e NAT. A subfamília Orthoclaadiinae apresentou maior abundância no trecho DEG-B, principalmente no material retido em suspensão nos agrupamentos de madeira. Esses organismos são característicos de ambientes lóticos ricos em elementos minerais e vegetais, como cascalhos, rochas, plantas aquáticas e material vegetal, podendo abrigar locais de maior vazão (HAMADA et al., 2014). Desta forma, a presença dos elementos minerais no leito do trecho DEG-B e a maior formação de agrupamentos que retiveram material em suspensão pode ter favorecido a maior colonização desse táxon. Além disso, a subfamília Orthoclaadiinae são raspadores que colonizam principalmente ambientes que

apresentam maior formação de corredeiras e vazão, como identificado no trecho DEG-B (BOWEN, 1998; JOHNSON, 2003; WALLACE, 1995).

A diferença na composição funcional alimentar dos macroinvertebrados bentônicos ocorreu devido à menor abundância de predadores nos trechos degradados, principalmente no trecho DEG-B. O gênero *Anacroneturia* pode ter contribuído para essa diferença na composição funcional entre os trechos, onde o mesmo ocorreu de acordo com o grau de impacto dos mesmos. Ou seja, não ocorreu em DEG-A, apresentou uma abundância média em DEG-B e maior abundância em NAT. Esse gênero pertence a ordem dos Plecopteras, que são considerados organismos sensíveis a condições ambientais extremas, como a alta sedimentação, porém *Anacronetura* apresenta menor sensibilidade ao assoreamento em riachos florestados (BOBOT; HAMADA, 2002). Dessa forma, as condições ambientais do leito e das margens de DEG-B contribuíram para a colonização desse gênero, porém devido as características ambientais peculiares do trecho como as manchas de sedimento fino e altos valores de sólidos totais em suspensão, esses organismos ainda podem encontrar dificuldades para colonizar esse trecho. Além disso, os organismos predadores tendem a colonizar ambientes de remanso, com menor vazão e maior deposição de matéria orgânica, pois esses ambientes favorecem sua proteção e fornecem alimento, devido à alta colonização desses microhabitats por outros grupos funcionais (HURYN; WALLACE, 1987). Outro fator que pode ter influenciado na ocorrência desses organismos nos trechos impactados é o período chuvoso em que o estudo foi realizado, pois os dados analisados são referentes a um curto período de tempo onde houve altas variações dos valores de vazão, principalmente no trecho DEG-B, devido aos eventos de chuva.

A ordenação dos grupos taxonômicos e funcionais não ocorreu em relação as características dos agrupamentos de madeira, sendo essa ordenação influenciada principalmente pelas condições ambientais de cada trecho estudado. As variáveis ambientais como sólidos totais em suspensão, granulometria do leito e integridade da mata ciliar alteram a disponibilidade dos recursos, como biomassa e matéria orgânica particulada, para a comunidade bentônica inviabilizando a colonização de diferentes organismos, principalmente daqueles considerados sensíveis (BENKE; WALLACE, 2003; GOULART; CALLISTO, 2005; STEINMAN; MCLNTIRE, 1990).

Porém, foi possível observar uma maior abundância e diversidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos no material retido em suspensão nos agrupamentos de madeira, principalmente no trecho DEG-B que apresentou maior número de

agrupamentos que retiveram material suspenso. Desta forma, indicando a contribuição dos agrupamentos suspensos, principalmente daqueles em posição de ponte, para a formação de microhabitats inclusive para organismos sensíveis, pois o material retido suspenso fica menos exposto ao assoreamento, sendo mais disponível para a comunidade bentônica. Sendo assim, estudos futuros que avaliem a adição desses agrupamentos maiores em posição de ponte em contato com a coluna d'água são indicados para o trecho DEG-A, juntamente com intervenções na área ciliar que auxiliem a recomposição da mata ciliar deste trecho e, conseqüentemente, no fornecimento de serapilheira para o riacho.

## 6. CONCLUSÃO

Os trechos estudados apresentaram características ecológicas e geomorfológicas distintas, sendo parte delas ocasionadas pelo grau de extensão do impacto. Onde o trecho DEG-A possui maiores sinais de degradação, sendo eles observados no leito do riacho e na mata ciliar, devido ao assoreamento dos elementos naturais do leito, da perda da mata ciliar nativa e da exposição do solo adjacente. Além disso, as características do riacho, como vazão e declividade do leito, podem estar influenciando no processo de dispersão do sedimento fino carreado para o trecho DEG-B, contribuindo para uma menor deposição deste sedimento neste trecho que apresenta leito do canal mais diversificado e mata ciliar preservada.

Os agrupamentos de madeiras estudados apresentaram características heterogêneas, onde DEG-A apresentou a maioria de seus agrupamentos de madeira de composição simples e com razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}} < 1$ . Os trechos mais preservados, como DEG-B e NAT, apresentaram maior quantidade de agrupamentos compostos com maior razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}}$  e posicionados perpendicularmente a margem, onde estas características juntamente com as características ambientais dos trechos de estudo podem ter contribuído para a maiores retenções de biomassa.

A abundância e diversidade de macroinvertebrados bentônicos, assim como a ocorrência de organismos sensíveis, variou de acordo com a proximidade com a origem do impacto, sendo menor no trecho de riacho mais próximo ao local da erosão (DEG-A). Agrupamentos com as características apresentadas em DEG-B (citadas acima) favoreceram a retenção de biomassa em suspensão e apresentaram maior riqueza e diversidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos.



Com intuito de melhorar as condições ambientais e a diversidade no trecho DEG-A, há uma necessidade de aplicação de práticas de restauração da mata ciliar juntamente com a aplicação de agrupamentos de madeira com características semelhantes às encontradas no trecho DEG-B para auxiliar na maior retenção de biomassa, criando manchas de microhabitats em suspensão.

Desta forma, podemos concluir que o uso de agrupamentos de madeira compostos com razão  $C_{\text{mad}}:L_{\text{riacho}} \geq 1$  e em contato com a coluna d'água, favorece a formação de microhabitats em suspensão, podendo contribuir para a colonização da comunidade bentônica, auxiliando na reestruturação da biota aquática em riachos com presença de manchas de sedimento fino no leito. E que os mesmos podem contribuir para a aplicação de soluções baseadas na natureza (SBNs) auxiliando na restauração de trechos riachos sob impacto de assoreamento.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Coletânea de normas de mineração e meio ambiente – NBR 13029**. Rio de Janeiro, 2006, p. 1-5.
- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. **Stream ecology**. Structure and function of running Waters Second Edition. Dordrecht: Springer, p. 444, 2007.
- ANDRADE, M. M. **Caracterização granulométrica e ecológica de riacho degradado por sedimento fino**. Trabalho de conclusão de curso (monografia). Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade. UFRJ, p.33, 2020.
- APHA. **2540 D – Total Suspended Solid Dried at 103-105°C**. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23 ed., 2017.
- ARAGÃO, G. A. S. **Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, UFOP, Ouro Preto, p.133, 2008.
- BAILLIE, B. R.; GARRET, L. G.; EVANSON, A. W. Spatial distribution and influence of large woody debris in an old-growth forest river system, New Zealand. **Forest Ecology and Management**, v.256, p. 20-27, 2008.
- BARBOUR, M. T. et al. **Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish**. Washington, D. C., 2ed, p. 339, 1999.
- BENKE, A. C.; WALLACE J. N. Influence of wood on invertebrate communities in stream and river. **Am. Fish. Soc. Symp.** n 37, p. 149-177, 2003
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J.L. **Ecology: From Individuals to Ecosystems**. 4ed, p. 752, 2006.
- BISPO, P. C.; OLIVEIRA, L. G.; BINI, L. M.; SOUSA, K. G. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brazilian Journal Biology**, v. 66, n. 2b, p. 611-622, 2006.
- BISSON, P. A. et al. Large Woody Debris in Forested Streams in the Pacific Northwest: Past, Present, and Future. **Stream side Management: Forestry and Fisheries Interactions**, p. 144–190, 1987.
- BOBOT, T.E.; HAMADA, N. Plecoptera genera of two streams in Central Amazonia, Brazil. **Entomotropica**, v.17, p. 299-301, 2002.
- BOWEN, K. L.; KAUSHIK N. K.; GORDON A. M. Macroinvertebrate communities and biofilm chlorophyll on woody debris in two Canadian oligotrophic lakes. **Archiv fur Hydrobiologie**, v.141, p. 257–281, 1998.
- BRASIL. Decreto Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del0227](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227). Acesso em: 15 de março de 2021.

BRASIL, Resolução CONAMA n° 01, de 13 de fevereiro de 1986. Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, seção 1, p. 2548-2549. 1986.

BURROWS, R. M. et al. Woody debris input and function in old-growth and clear-felled headwater streams. **Forest Ecology and Management**, v. 286, p. 73–80, 2012.

CHEN, X. et al. Effects of large woody debris on surface structure and aquatic habitat in forested streams, southern interior British Columbia, Canada. **River Research and Applications**, v. 24, p. 862-875, 2008.

COLLINS B. D. The floodplain large-wood cycle hypothesis: A mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion. **Geomorphology**, v. 139, p. 460-470, 2012.

COMITI, F. et al. Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). **Geomorphology**, v. 78, n. 1–2, p. 44–63, 2006.

CORDOVA, J. M. et al. Quantity, controls and functions of large woody debris in Midwestern USA streams. **River Research and Applications**, v. 23, n. 1, p. 21–33, jan. 2007.

COUCEIRO, S. R. M. et al. Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon. **J Soils Sediments**, v. 10, p 89-103, 2009.

DURLO, M. A.; SUTILI F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotecnico de Cursos de Água**. Santa Maria: Reprodução e distribuição liberada pelos Autores, 2 ed, p. 186, 2012.

ESTEVES, F, A; GONÇALVES, J, F, J. Etapas do Metabolismo Aquático. **Fundamentos de Limnologia**. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 119-124, 2011.

FELIX, R. W. et al. **Programa de Estudos Limnológicos na FLONA Carajás - Monitoramento dos Igarapés sob Influência da Mina do Manganês do Azul**. Rio de Janeiro, p. 54, 2021.

FELIX, R. W. **Estratégias para reabilitação de um riacho amazônico em cabeceira de drenagem assoreado por atividade de mineração utilizando conceitos e práticas da limnologia, hidrogeomorfologia e soluções baseadas na natureza**. Tese de doutorado. Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade. UFRJ, p.178, 2020.

FREITAS, M. A. **Apostila Sobre Formação de Pilha de Estéril e Rejeito**. Belo Horizonte. Editora Ietec, p. 20, 2004.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.** v.18, n.10, p. 1111-1116 ,1987.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Mayfly diversity in the brazilian tropical headwaters of Serra do Cipó. **Braz. arch. biol. technol**, Curitiba, v. 48, n. 6, p. 983-996, 2005.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v.02, p. 153–164, 2003.

GREGORY, S. V. et al. Dynamics of Wood. In: *Methods in Stream Ecology*. **Elsevier**, v. 2, p. 113–126, 2017.

- GURNELL, A. M. et al. Large wood and fluvial processes. **Freshwater Biology**, v. 47, n. 4, p. 601–619, 2002.
- HAMADA, N.; NESSIMIAN J. L.; QUERINO R. B. **Insetos aquáticos na amazônia Brasileira: Taxonomia, Biologia e Ecologia**. 1ed. Manaus: Editora do INPA, 2014.
- HAUER, F. R. et al. Large woody debris in bull trout (*Salvelinus confluentus*) spawning streams of logged and wilderness watersheds in northwest Montana. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 56, n. 6, p. 915–924, 1 jun. 1999.
- HEDGPETH, J. W. Aquatic Oligochaeta of the World. **The Quarterly Review of Biology**, v. 47, n. 4, p. 464–465, jun. 1972.
- HENRIQUES-OLIVEIRA, A.L.; NESSIMIAN, J.L.; DORVILLÉ, L.F.M. Feeding habits of chironomid larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca. **Revista Brasileira de Biologia**, v.63, n.2, p.269–281, 2003.
- HEPP, L. U.; RESTELLO, R. M.; MILESI, S. V.; BIASI, C.; MOLOZZI, J. Distribution of aquatic insects in urban headwater streams. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2013.
- HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v.56, p. 79-94, 2003.
- HURYN A. D.; WALLACE J. B.B. Local geomorphology as a determinant of macrofaunal production in a mountain stream. **Ecology**, v. 68: 1932-1942, 1987.
- JONES, T. A.; DANIELS, L. D. Dynamics of large woody debris in small streams disturbed by the 2001 Dogrib fire in the Alberta foothills. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 10, p. 1751–1759, 2008.
- JOHNSON, L. B., et al. Macroinvertebrate Community structure and function associated with large wood in low gradient streams. **River Research and Applications**. n 19, p. 199-218, 2003.
- JORGENSEN, SVEN ERIK. **Applications in Ecological Engineering**. S. E. Jorgensen. Amsterdam: Academic Press. 1 ed. 2009.
- MARTIN, D. J.; BENDA, L. E. Patterns of Instream Wood Recruitment and Transport at the Watershed Scale. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 130, n. 5, p. 940–958, 2001.
- MARTINS, F. D. et al. **Fauna Da Floresta Nacional de Carajás - Estudo Sobre Vertebrados Terrestres**. São Paulo: Nitro Imagens, p.119, 2012.
- MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, p. 209–220, 2010
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás – Diagnóstico**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), v. 1, p. 202, 2016.
- MONTGOMERY, D. R.; PIÉGAY, H. Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. **Geomorphology**, v. 51, n.1–3, p. 1–5, 2003.

NAKANO, D. et al. Significance of the stable foundations provided and created by large wood for benthic fauna in the Shibetsu River, Japan. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 249-259, 2018.

NESSIMIAN, J. L. et al. Relation between flood pulse and functional composition of the macroinvertebrate benthic fauna in the lower Rio Negro, Amazonas, Brazil. *Amazoniana*, v. 15, n. January, p. 35–50, 1998.

NESSIMIAN, J. L. et al. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. **Hydrobiologia**, v. 614, n.1, p. 117, 2008.

OLIVEIRA, M.L.; BACCARO, F. B.; BRAGA-NETO, R.; MAGNUSSON W. E. **Reserva Ducke: A biodiversidade Amazônica através de uma grade**. Manaus, Áttema Design Editorial, p. 171, 2008.

PALHARES, J. C. P. et al. Medição Da Vazão Em Rios Pelo Método Do Flutuador. **Comunicado Técnico - EMBRAPA** n.455, p. 1–5, 2007.

PETERSEN, R. C. The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. **Freshwater Biology**, v.27, n.2, p. 295–306,1992.

PES, A. M. O. **Taxonomia e estrutura de comunidade de Trichoptera (Insecta) no município de Presidente Figueiredo, Amazonas, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 166p, 2001.

PINTO, T. J. S. **Macroinvertebrados como bioindicadores em riacho tropical: uma avaliação de impactos por sedimentação, rompimento de barragem e de recuperação após medidas restauração**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, USP, p. 144, 2018.

POND, G.J. et al. Calibration and validation of a regionally and seasonally stratified macroinvertebrate index for West Virginia wadeable streams. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 2, p. 1515-1540, 2013.

RICHARDSON, J. S.; DANEHY, R. J. Zones in Temperate Forests. **Forest Science**, v.53, n.2, p. 131–147, 2007.

RINELLA, D. J. et al. Large Woody Debris and Salmonid Habitat in the Anchor River Basin, Alaska, Following an Extensive Spruce Beetle (*Dendroctonus rufipennis*) Outbreak. **Northwest Science**, v.83, n.1, p. 57–69, 2009.

RIOS-TOUMA, B.; PRAT, N.; ENCALADA, A. C. Invertebrate drift and colonization processes in a tropical Andean stream. **Aquatic Biology**, v. 14, n. 2, p. 233-246, 2012.

RONI, P.; BEECHIE, T. **Stream and Watershed Restoration0: A Guide to Restoring Riverine Processes and Habitats**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. Blackwell, 1ed, p.316, 2013.

RYAN, S. E.; BISHOP, E. L.; DANIELS, J. M. Influence of large wood on channel morphology and sediment storage in headwater mountain streams, Fraser Experimental Forest, Colorado. **Geomorphology**, v.217, p.73–88, 2014.

SCHENEIDER, K. N.; WINEMILLER, K. O. Structural complexity of wood debris patches influences fish and macroinvertebrate species richness in a temperate floodplain-river system. **Hydrobiologia**, p. 236-244, 2008

STEINMAN, A. D.; MCINTIRE, C. D. Recovery of Lotic Periphyto Communities after Disturbance. **Environmental Management**, n.14, p.589-604, 1990.

THOMPSON, D. M. The effects of large organic debris on sediment processes and stream morphology in Vermont. **Geomorphology**, v.11, n 3, p. 235–244, 1995.

TURUNEN, J. et al. Differential responses by stream and riparian biodiversity to in-stream restoration of forestry-impacted streams. **Journal of Applied Ecology**, v.54, n.5, p. 1505–1514, 2017.

USEPA. National Rivers and Streams Assessment 2013-2014; Field Operations Manual Non-Wadeable; EPA 841-B-12-009a. U.S. **Environmental Protection Agency**, Office of Water Washington, DC. n. May, p. 152, 2013.

WALLACE, J. B.; WEBSTER, J. R.; MEYER J.L. Influence of log additions on physical and biotic characteristics of a mountain stream. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, n.52, p. 2120–2137, 1995.

WILKINS, R. N.; PETERSON, N. P. Factors related to amphibian occurrence and abundance in headwater streams draining second-growth Douglas-fir forests in southwestern Washington. **Forest Ecology and Management**, v.139, n.1–3, p. 79–91, 2000.

WOHL, E.; CADOL D. Neighborhood matters: Patterns and controls on wood distribution in old-growth forest streams of the Colorado Front Range, USA. **Geomorphology**, v. 125, p. 132-146, 2011.

## 8. ANEXOS

**Anexo 1.** Protocolo ambiental aplicado nos pontos a montante, no centro e a jusante dos trechos de 100m estudados para caracterização de DEG-A, DEG-B e NAT.

<b>Caracterização visual</b>		
<b>Variáveis</b>	<b>Características</b>	<b>Observações</b>
Característica sedimentológica do leito	Cascalhoso	
	Arenoso	
	Argiloso	
	Rochoso	
Mobilidade do canal	Realocação	
	Meandramento	
	Expansão	
	Zona de deposição	
Causa de erosão das margens	Vazão	
	Escoamento não natural	
	Vegetação ciliar pobre	
	Vegetação adjacente a mata ciliar pobre	
	Crescimento de vegetação no leito	
	Exposição de solos fracos	
	Presença de diques	
Características do solo adjacente	Dragagem	
	Arenoso	
	Argiloso	
	Orgânico	
Composição da mata ciliar	Gramíneas	
	Árvores diversas	
	Arbustos	
	Palmeiras	
<b>Medições</b>		
Dossel centro do canal, margem direita e margem esquerda		
Seção transversal		
Vazão		
Turbidez		
STS		

**Anexo 2.** Classificação dos agrupamentos de madeira em cada ponto avaliado nos trechos DEG-A, DEG-B e NAT de acordo com sua posição e função. Em negrito estão representados os pontos que apresentaram retenção de material retido em suspensão nos agrupamentos.

Pontos de amostragem	Posição	Função
DEG-A-VEG_17	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de remanso; Retentor de sedimento
DEG-A-VEG_16	Rampa em contato com a margem e o riacho	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de sedimento
DEG-A-VEG_15	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de remanso; retentor de sedimento
DEG-A-VEG_13	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira
DEG-A-VEG_12	Ponte em contato com o fundo	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
<b>DEG-A-VEG_11</b>	<b>Dentro do riacho perpendicular a margem</b>	<b>Substrato de aderência; Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira</b>
<b>DEG-A-VEG_08</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-A-VEG_09</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-A-VEG_05</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
DEG-A-VEG_04	Ponte em contato com o fundo	Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
DEG-A-VEG_03	Ponte em contato com o fundo	Formação de remanso; Retentor de madeira
<b>DEG-B-VEG_01</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-B-VEG_02</b>	<b>Dentro do riacho perpendicular a margem</b>	<b>Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
DEG-B-VEG_04	Rampa em contato com a margem e o riacho	Formação de remanso; Retentor de madeira
<b>DEG-B-VEG_05</b>	<b>Rampa em contato com a margem e o riacho</b>	<b>Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira</b>
<b>DEG-B-VEG_07</b>	<b>Rampa em contato com a margem e o riacho</b>	<b>Formação de corredeira; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-B-VEG_09</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-B-VEG_14</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Retentor de madeira</b>
<b>DEG-B-VEG_16</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Retentor de sedimento</b>
<b>DEG-B-VEG_18</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Retentor de madeira; Retentor de sedimento</b>
DEG-B-VEG_20	Ponte em contato com a coluna d'água	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira
DEG-B-VEG_20.5	Ponte em contato com a coluna d'água	Formação de corredeira
NAT-VEG_20	Ponte em contato com a coluna d'água	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
NAT-VEG_18.5	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de remanso
NAT-VEG_15	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de remanso; Retentor de sedimento
NAT-VEG_14	Ponte em contato com a coluna d'água	Formação de corredeira; Retentor de sedimento
NAT-VEG_14.5	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de corredeira; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
NAT-VEG_13	Dentro do riacho perpendicular a margem	Formação de corredeira; Retentor de sedimento
NAT-VEG_12	Ponte em contato com o fundo	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
<b>NAT-VEG_11</b>	<b>Ponte em contato com a coluna d'água</b>	<b>Formação de corredeira; Retentor de madeira; Retentor de sedimento; Retentor de sedimento</b>
NAT-VEG_09	Rampa em contato com a margem e o riacho	Formação de corredeira; Formação de remanso; Retentor de madeira; Retentor de sedimento
<b>NAT-VEG_07</b>	<b>Dentro do riacho perpendicular a margem</b>	<b>Formação de remanso; Retentor de madeira</b>



**Anexo 3.** Lista de ocorrência de táxons, abundância absoluta e grupos funcionais coletados nos trechos de estudo DEG-A, DEG-B e NAT através do uso da rede Surber, rede D, Litterbags instalados em remanso (rem.) e Litterbags instalados em corredeiras (cor.), no período de Abril/Maio de 2019. \*\*Táxons EPT.

Táxons	Grupo funcional	DEG-A			DEG-B				NAT			
		Rede Suber	Rede D	Litter rem.	Rede Suber	Rede D	Litter rem.	Litter cor.	Rede Suber	Rede D	Litter rem.	Litter cor.
Família Alluroididae	Coletor/catador					1						
Subfamília Tubificinae	Coletor/catador				1				1			
Subclasse Oligochaeta	Coletor/catador	3					1		1		1	
Subfamília Naididae	Coletor/catador				3			1			1	
Gênero Heterelmis	Coletor/catador								1	2		
Família Elmidae	Coletor/catador								1	3		
Família Hydrophilidae	Coletor/catador					1			1			
Gênero Neelmis	Coletor/Catador								4			
Gênero Promoresia	Coletor/catador										3	
Família Phoridae	Coletor/Catador				3	3						
Família Chironomidae	Coletor/Catador	19	43	1	11	82	19	15	119	49	134	16
Gênero Simothraulopsis **	Coletor/Catador								1			
Família Baetidae **	Coletor/Catador						1	3		1		
Gênero Adebrotus **	Coletor/Catador									1		
Gênero Leptoyphe **	Coletor/Catador							1	1		5	9
Gênero Needhamella **	Coletor/Catador								2			
Classe Ostracoda	Coletor/Catador						1					
Gênero Hexacylloepus	Coletor/Catador								5			
Gênero Phanoceroides	Coletor/Catador									1	1	
Gênero Stegoelmis	Coletor/Catador								4		3	
Gênero Campsurus **	Coletor/Filtrador								3			
Gênero Polyplectropus **	Coletor/Filtrador					1					1	
Família Scirtidae	Coletor/Filtrador							1	1	37		2

Gênero Macronema **	Coletor/Filtrador	2										
Gênero Smicridea **	Coletor/Filtrador		2		1	15	10	4	2	22	46	20
Gênero Leptonema **	Coletor/Fragmentador									3		
Gênero Chimarra **	Coletor/Fragmentador					3						
Gênero Macrostemum **	Coletor/Fragmentador											3
Família Ptilodactilidae	Fragmentador					3			2	5		
Ordem Blattodea	Fragmentador					1	1		1			
Gênero Macrobrachium	Fragmentador		1						1			
Ordem Lepidoptera	Fragmentador	1					1					
Gênero Triplectides **	Fragmentador								1	3		
Gênero Phylloicus **	Fragmentador								1	1		
Família Tipulidae	Fragmentador/Predador	4					1		16		5	
Gênero Oecetis **	Fragmentador/Predador									1	2	
Gênero Marilia **	Fragmentador;Predador;								2			
Família Staphylinidae	Predador					1						
Gênero Trychodactilus	Predador											1
Gênero Goyazana	Predador											1
Família Scarabinae	Predador					1						
Família Glossiphoniidae	Predador								2			
Ordem Acari	Predador								1			
Ordem Cladocera	Predador								1			
Família Dytiscidae	Predador		1	2		2	3	1	2			
Ordem Diptera (pupa)	Predador		3									
Família Gyrinidae	Predador		2			1						
Família Empididae	Predador										1	
Família Tabanidade	Predador								2	2		
Ordem Hemiptera	Predador						1					
Gênero Tenogobia	Predador								3			
Gênero Corydalus	Predador		2			4			1	1		
Chloronia hyeroglifica	Predador					1			1			
Família Libellulidae	Predador							1			1	

Gênero Phyllocycla	Predador	1			2							
Gênero Argia	Predador			1								
Gênero Aphyla	Predador	1										
Gênero Hetaerina	Predador	1						1				1
Gênero Progomphus	Predador								2		1	
Gênero Polythore	Predador					1						
Gênero Anacroneuria **	Predador					20			5	49		
Gênero Macrogynoplax **	Predador									1		
Gênero Pictetoperla **	Predador											1
Gênero Cernotina **	Predador										2	
Subfamília Ceratopogonidae	Predador; Coletor/Catador	2	1	1	1	1			11		6	2
Família Dryopidae	Raspador									1		
Gênero Hagenulopsis **	Raspador					3	2	5	5	1	9	6
Família Leptophlebiidae **	Raspador						1		3	5	5	
Gênero Campilocia **	Raspador								1			
Gênero Austrotinodes **	Raspador								1			
Gênero Neotrichia **	Raspador						1		1	1		1
Gênero Helichopsyche **	Raspador											1
Família Lutrochidae	Raspador; Coletor/Catador								2			
Subfamília Tanypodinae	Raspador; Coletor/Catador	2	1			3		1	7	19	28	2
Subfamília Orthoclaudiinae	Raspador; Coletor/catador		16		10	44				3		
Família Simuliidae	Raspador; Coletor/catador									3		
Subfamília Forcypomiinae	Raspador; Predador					1						