



**FUNDAÇÃO RENOVA**

**RENATURALIZE**  
**RENATURALIZAÇÃO DO RIO GUALAXO DO NORTE**

**Viabilidade de Implementação do Projeto de  
Renaturalização nos Tributários TG-11, TG-16 e TG-29**

**Revisão 05**

**Relatório Técnico 034/2024**



## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO TERMOS E PREMISSAS DO PROJETO DE RENATURALIZAÇÃO ....	3
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS ESTUDOS E DOCUMENTOS ELABORADOS .....	5
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
3.1 OBJETIVO GERAL DO DOCUMENTO .....	8
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO DOCUMENTO .....	8
<b>4. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE RENATURALIZAÇÃO EM TRIBUTÁRIOS DO RIO GUALAXO DO NORTE</b> .....	<b>9</b>
4.1 SELEÇÃO DOS TRIBUTÁRIOS.....	9
4.2 PARÂMETROS DE VIABILIDADE .....	10
4.3 ESTRUTURAS DE RENATURALIZAÇÃO .....	21
4.4 TRIBUTÁRIO TG-11 .....	24
4.4.1 Apresentação.....	24
4.4.2 Intervenção Sugerida .....	26
4.4.3 Estudos de Modelagem.....	31
4.4.4 Análise de Viabilidade.....	32
4.5 TRIBUTÁRIO TG-16 .....	35
4.5.1 Apresentação.....	35
4.5.2 Intervenção Sugerida .....	37
4.5.3 Estudos de Modelagem.....	38
4.5.4 Análise de Viabilidade.....	39
4.6 TRIBUTÁRIO TG-29 .....	42
4.6.1 Apresentação.....	42
4.6.2 Intervenção Sugerida .....	44
4.6.3 Estudos de Modelagem.....	45
4.6.4 Análise de Viabilidade.....	47
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>49</b>
<b>6. EQUIPE TÉCNICA</b> .....	<b>53</b>
<b>7. DADOS DA CONTRATANTE E DA CONTRATADA</b> .....	<b>53</b>
7.1 IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE .....	53
7.2 IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATADA .....	53
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

O documento trata do Projeto ReNaturalize da Aplysia em parceria com a Fundação Renova, que visa a renaturalização de trechos do rio Gualaxo do Norte afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. O objetivo desse documento é apresentar análises da viabilidade de implementação das técnicas do Projeto ReNaturalize sobre os tributários TG-11, TG-16 e TG-29 em atendimento a Deliberação CIF nº 730, de 08 de novembro de 2023.

## 2. INTRODUÇÃO

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DE TERMOS E PREMISSAS DO PROJETO DE RENATURALIZAÇÃO

A restauração de rios é um conjunto de ações multidisciplinar destinado a recuperar as características naturais de corpos d'água afetados por atividades humanas ou eventos naturais. Envolve a gestão hídrica para melhorar os processos ecológicos e a hidrogeomorfologia dos rios, podendo exigir modificações no leito e/ou na complexidade dos habitats, incluindo obras civis estruturais (WOHL et al., 2015).

Uma abordagem proeminente na restauração de rios é a renaturalização, que envolve o restabelecimento de características naturais em ambientes aquáticos degradados, incluindo a reconstrução de ecossistemas, reintrodução de espécies nativas, restauração de habitats e promoção da biodiversidade (MILLER; KOCHER, 2013). Seu objetivo é restaurar a funcionalidade e resiliência dos ecossistemas, melhorando a qualidade ambiental.

A estratégia de renaturalização adotada pela Fundação Renova no rio Gualaxo do Norte, concebida e implementada pela Aplysia se fundamenta na utilização de materiais naturais, como troncos e galhos de árvores mortas (LÜDERITZ et al., 2011; MILLER; KOCHER, 2013) e consiste na instalação desses materiais nos trechos afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. Essa técnica tem sido associada a uma variedade de benefícios para o ecossistema aquático (GIPPEL, 1995; CULP et al. 1996; BENKE; WALACE, 2003; CORRELL, 2005; BENNETT; GILCHRIST, 2010; EXTENCE et al. 2013; GLENN et al., 2017; GROLL, 2017; CASHMAN et al., 2018; HERDRICH et al., 2018; LU et al., 2019; ROBERTSON et al., 2021; CUNHA et al., 2022; FURLEY et al., 2022; STOFFERS et al., 2022; PIÉGAY et al., 2023).

A renaturalização frequentemente resulta em aumento na acumulação de sedimentos, redução no fluxo de água, formação de habitats e aumento da complexidade do canal, o que

contribui para melhorar as condições físicas e ecológicas do rio (BROOKS et al., 2004; FRIBERG et al., 2014; WOHL et al., 2019), para a diversidade e abundância de macroinvertebrados (BEAUNE; SELLIER, 2021) e aumento na abundância de peixes (HÖCKENDORFF et al., 2017), além de contribuir no armazenamento de matéria orgânica, absorção de nutrientes e controle da erosão (JOHNSON et al., 2016; RANA et al., 2017). Desta forma, a renaturalização é uma abordagem importante para a conservação do ecossistema e a sustentabilidade ambiental, visando restabelecer o equilíbrio ecológico e promover a coexistência harmoniosa entre o meio ambiente e as atividades humanas (WOHL et al., 2019).

Os métodos de restauração fluvial empregados no rio Gualaxo do Norte pela Aplysia, por meio da renaturalização, são caracterizados como soluções baseadas na natureza (SBN) e não envolvem grandes obras civis ou materiais artificiais. São estratégias que buscam resolver desafios ambientais e sociais ao valorizar e utilizar processos naturais, sendo inspiradas pela natureza e empregando métodos e materiais que imitam ecossistemas naturais para beneficiar o ambiente.

O modelo conceitual geral de SBN inclui práticas e tecnologias, como a restauração de ecossistemas, a implementação de infraestrutura verde e o uso de técnicas de bioengenharia, podendo ou não envolver obras civis (JUSTINA et al., 2019). Projetos de restauração fluvial que adotam soluções baseadas na natureza, semelhantes aos implementados no rio Gualaxo do Norte, têm sido amplamente utilizados em países europeus, nos Estados Unidos e na China (JUSTINA et al., 2019). Esses projetos desempenham um papel eficaz na restauração de ecossistemas naturais, promovendo a recuperação dos processos ecossistêmicos. Além disso, intervenções sem obras civis complexas podem ser mais econômicas e sustentáveis a longo prazo (POTSCHIN et al., 2016), pois demandam menor investimento inicial, proporcionam menor perturbação aos ecossistemas aquáticos e terrestres, e proporcionam manutenção autossustentável.

Nos trechos do rio Gualaxo do Norte onde foram aplicadas as técnicas de renaturalização, observaram-se resultados positivos na diversidade de substratos, além de um incremento na abundância e diversidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Além disso, verificou-se um aumento na presença de algumas espécies de peixes (APLYSIA, 2020; APLYSIA, 2022a; APLYSIA, 2022b). Destaca-se que as intervenções realizadas no rio Gualaxo do Norte para os projetos implementados foram conduzidas utilizando troncos de

árvores e feixes de capim. A escala das intervenções, possibilitou a implementação de forma manual, sem a necessidade de obras civis específicas para garantir a viabilidade e eficácia do projeto.

No entanto, reconhece-se que as características hidrogeomorfológicas e influências antrópicas, especialmente nos tributários, diferem dos trechos renaturalizados até o momento (trechos T6, T7 e T9). Portanto, as estratégias de implementação do projeto devem ser analisadas individualmente para cada tributário proposto, com uma avaliação dos benefícios e das possíveis desvantagens da implementação da renaturalização como concebida e aplicada com sucesso no rio Gualaxo do Norte, bem como considerar a combinação dessa abordagem com obras civis, se necessário.

No contexto das premissas apresentadas, serão avaliados os benefícios, desafios e viabilidade da renaturalização sem a realização de obras civis substanciais nos trechos identificados para a implementação do projeto, especificamente nos três tributários indicados para a expansão do Projeto Renaturalização, conforme solicitação da Deliberação CIF nº 730 de 2023.

## 2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS ESTUDOS E DOCUMENTOS ELABORADOS

O Projeto ReNaturalize, conduzido pela Aplysia em parceria com a Fundação Renova, realizou a partir de 2018 a implementação de medidas mitigadoras para renaturalizar trechos do rio Gualaxo do Norte, afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. A renaturalização, adotada como estratégia, constitui-se como um método de restauração de ecossistemas fluviais, visando restabelecer as condições naturais do ambiente impactado.

O Projeto Piloto de Renaturalização (PPR) englobou as ações compreendidas pelo Programa de Manejo de Rejeitos, que considera o atendimento ao Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC) assinado em 02/03/2016. E como documento norteador destas ações de manejo da Fundação Renova, cita-se o Plano de Manejo de Rejeito (JACOBS; CH2M, 2017), aprovado pela Deliberação do Comitê Interfederativo (CIF) nº 86/2017. O projeto foi apresentado ao IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) em agosto de 2017.

Em julho de 2018, teve início a implementação do Projeto Piloto de Renaturalização nos Trechos T6 e T7 do rio Gualaxo do Norte. O principal objetivo desta iniciativa foi acelerar o restabelecimento das condições ambientais do rio Gualaxo do Norte por meio do

aumento da retenção de sedimento, controle da erosão, melhoria da heterogeneidade do fundo e, conseqüentemente, aumento da abundância e biodiversidade de bentos e ictiofauna.

Posteriormente, a partir da decisão judicial emitida até então pelo juízo da 12ª Vara Federal Cível e Agrária de MG, no âmbito dos itens 5 e 5.1 do Eixo Prioritário 1 da Ação Civil Pública nº 69758-61.2015.4.01.3400, foi determinada a expansão do projeto de Renaturalização do rio Gualaxo do Norte. Atualmente o processo é tratado pela 4ª Vara Federal Cível e Agrária de Belo Horizonte.

Em julho de 2021, foi efetivada a implementação do Projeto de Expansão de Renaturalização (PER) no Trecho 09, que cobre uma extensão de 2 km de renaturalização no curso do Rio Gualaxo do Norte. Após uma avaliação detalhada e a obtenção de resultados positivos tanto no PPR, quanto no PER (APLYSIA, 2020; APLYSIA, 2022a; APLYSIA, 2022b; FURLEY et al. 2022), a Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA), por meio da Nota Técnica 19/2021, solicitou a elaboração de um projeto executivo para uma nova fase de expansão do projeto.

Para a realização de uma nova etapa de expansão do projeto, a Fundação Renova desenvolveu o estudo intitulado "Avaliação Inicial de Áreas Prioritárias para Intervenções na Recuperação de Habitats" (NHC, 2022a), entregue em 27 de outubro de 2022. Este estudo teve como objetivo selecionar áreas passíveis para a execução de iniciativas de renaturalização. Para isso foram consideradas a presença de habitats físicos no ano de 2021, utilizando critérios que incluíram a escolha de segmentos com diversidade de habitats físicos inferior à média de referência (NHC, 2022b). A abordagem baseou-se em informações sobre as características físicas dos rios, respaldadas por autores como Montgomery; Buffington (1999a, 1999b), Wegscheider et al. (2020), Curtis; Guerrero (2015) e Rinaldi et al. (2015). A restauração das condições físicas dos rios a um estado semelhante ao período prévio ao rompimento da barragem pode ser um indicador da capacidade do sistema fluvial de sustentar uma biota, considerando fatores como a acessibilidade aos locais, a diversidade de habitats e a presença de margens e/ou leitos rochosos (NHC, 2022a).

A seleção de tributários foi realizada considerando critérios de conectividade hidráulica, alteração do traçado e aqueles situados na área de influência dos segmentos a serem alvo de renaturalização nos rios principais. Este estudo resultou na identificação de áreas elegíveis com extensão de 1,4 km nos tributários do rio Gualaxo do Norte. O estudo também destacou a importância da verificação em campo para selecionar adequadamente

trechos para intervenções de renaturalização. Essa etapa permite avaliar diretamente as condições do ambiente fluvial, confirmar a presença de habitats físicos e verificar a viabilidade das intervenções planejadas, contribuindo assim para decisões informadas e estratégias eficazes de renaturalização.

Considerando a relevância da verificação em campo, a equipe da Aplysia realizou, em outubro de 2022, uma inspeção nos tributários recomendados (NHC, 2022a), com o objetivo de avaliar a viabilidade da implementação das técnicas de renaturalização. Contudo, devido ao período sazonal de cheias, houve limitações para uma avaliação técnica mais detalhada, o que levou as inspeções a ocorrerem de forma holística, considerando as áreas passíveis de implementação das técnicas de renaturalização.

No dia 27 de fevereiro de 2023, a Fundação Renova recebeu um Memorando Técnico (NHC, 2023), cujo propósito geral foi apresentar as principais conclusões das etapas de alinhamento técnico realizadas após a entrega do estudo original “Avaliação Inicial de Áreas Prioritárias para Intervenções na Recuperação de Habitats” (NHC, 2022a), considerando as informações da inspeção de campo realizada pela Aplysia. Tendo em vista os resultados positivos das atividades de renaturalização já implementadas no rio Gualaxo do Norte (APLYSIA, 2021b), além das recomendações da literatura técnica e os resultados da avaliação das condições físicas dos rios (NHC, 2022a), assim como a avaliação holística dos trechos pré-selecionados, realizada durante a inspeção de campo, ficou recomendada a expansão das atividades de renaturalização em quatro áreas do rio Gualaxo do Norte e em três de seus tributários (TG-11, TG-16 e TG-29).

Na última fase relacionada aos desdobramentos dos estudos das áreas passíveis para implementação do projeto de renaturalização, foram conduzidas, nos períodos de 18 a 31 de outubro e 10 a 17 de novembro de 2023, as atividades de campo da Etapa 1 do projeto de expansão. Essas atividades foram delineadas com o propósito de avaliar e validar os trechos pré-selecionados, conforme descrito no Memorando Técnico 2 (NHC, 2023), além de formular preliminarmente o design de instalação e aplicar o protocolo de avaliação de habitats. Do total planejado de 1 km para a renaturalização dos tributários, aproximadamente 240m foram identificados como inicialmente inviáveis para a aplicação das técnicas de renaturalização (APLYSIA, 2023), sendo 100m no trecho TG-11, que apresenta um estágio avançado de renaturalização espontânea devido ao restauro florestal na área, e 140m no tributário TG-29, onde existe maior potencial risco de inundação na área.

De forma complementar, foi realizada em 30 de janeiro de 2024 uma inspeção de campo pelas equipes da NHC e Fundação Renova nos tributários selecionados para estudo de viabilidade de expansão da renaturalização, com o objetivo de verificar as condições hidráulicas e geomorfológicas dos trechos. As recomendações apresentadas incluem principalmente sobre possíveis obras civis complementares as atividades de renaturalização. O detalhamento das recomendações é apresentado nos respectivos itens de intervenções sugeridas para cada tributário.

Considerando o histórico de estudos, coleta de dados e inspeções de campo realizadas até o momento, a Fundação Renova, em atendimento a Deliberação nº 730 do CIF, reconheceu a necessidade de abordar questões pertinentes à viabilidade da instalação das estruturas de renaturalização nos trechos analisados. Portanto, o presente documento tem como objetivo esclarecer tais questões, com o intuito de evitar impactos negativos no futuro, assim como, identificar previamente fatores que possam limitar a efetividade dos resultados da renaturalização, assim como e avaliar a viabilidade entre as diferentes abordagens sugeridas e como elas se complementam no processo de restauração dos tributários.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL DO DOCUMENTO**

O objetivo geral deste documento é apresentar os estudos de viabilidade dos tributários indicados para a expansão do Projeto de Renaturalização, desenvolvido no âmbito do Programa de Manejos de Rejeitos, em atendimento a Deliberação CIF nº 730, de 08 de novembro de 2023.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO DOCUMENTO**

- (a) Apresentar embasamento técnico e teórico dos critérios adotados para análise de viabilidade de implementação das técnicas de renaturalização nos tributários selecionados;
- (b) Analisar a viabilidade de implementação do projeto de renaturalização dos tributários, destacando a viabilidade e vantagens dessa abordagem, seja em conjunto ou não com obras civis recomendadas;
- (c) Avaliar os impactos resultantes da realização de intervenções para reconectar os tributários no âmbito da renaturalização, considerando, inclusive, ações de reparação já realizadas por outros Programas da Fundação nos mesmos locais.

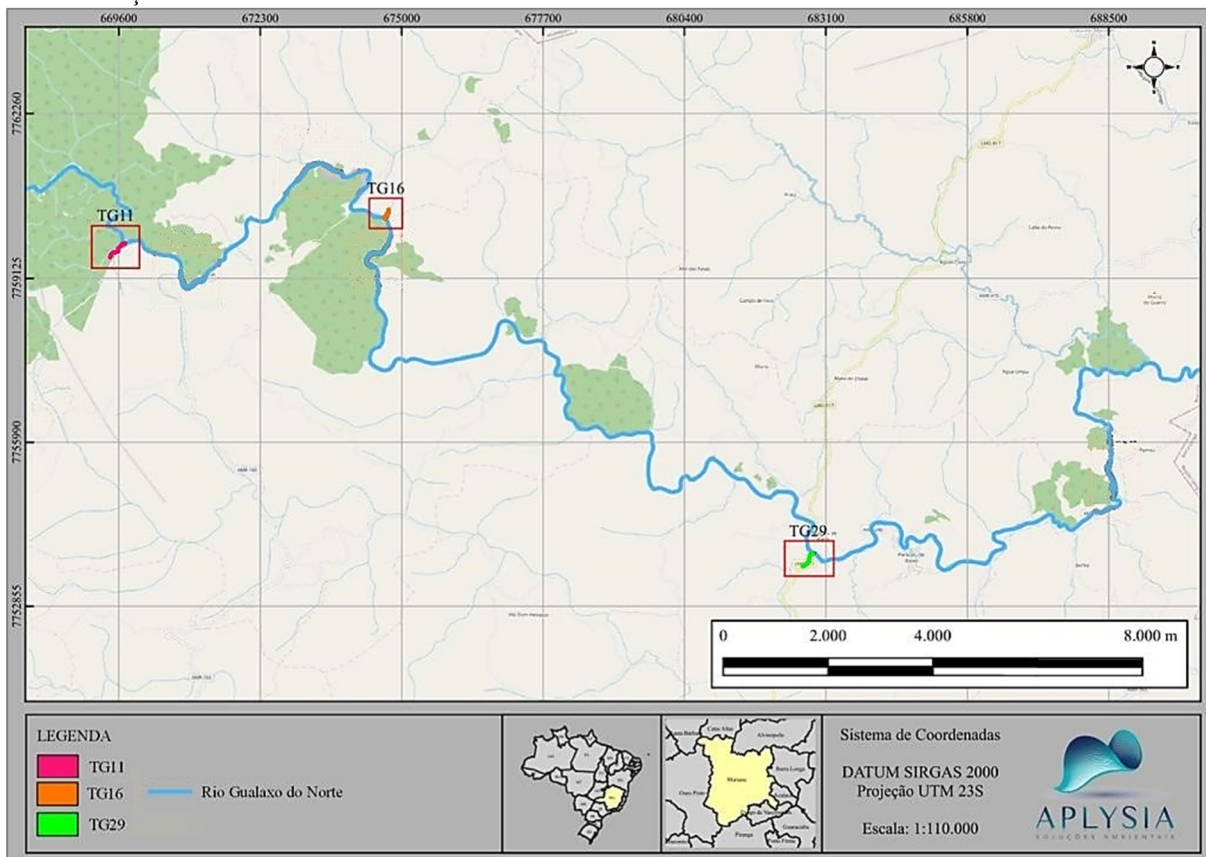
## **4. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE RENATURALIZAÇÃO EM TRIBUTÁRIOS DO RIO GUALAXO DO NORTE**

### **4.1 SELEÇÃO DOS TRIBUTÁRIOS**

Após o rompimento da barragem, foi implementado um projeto de recuperação ambiental nos tributários do rio Gualaxo do Norte com o objetivo de estabelecer seções de fluxo que proporcionassem habitats para peixes, aves e outras formas de vida, comparáveis aos existentes antes do rompimento da barragem. Além disso, também foi implementado um revestimento nos cursos d'água, onde necessário, para mitigar a erosão no leito, fornecendo uma base adequada para a recolonização da vida aquática, além de remover depósitos de rejeitos e materiais transportados pela ruptura dos cursos d'água recuperados (GOLDER, 2016).

De todos os tributários onde foram executados os projetos de recuperação ambiental, três deles foram selecionados (TG-11, TG-16 e TG-29) para a avaliação da viabilidade da implementação do projeto de renaturalização, levando em consideração critérios técnicos como conectividade hidráulica, alteração do curso e localização dentro da área abrangida pelos trechos a serem restaurados no rio Gualaxo do Norte (NHC, 2023) (Figura 1).

**Figura 1** – Localização dos tributários selecionados para análise de viabilidade de implementação do projeto de renaturalização.



Fonte: Aplysia, 2024.

## 4.2 PARÂMETROS DE VIABILIDADE

Após a prévia seleção dos tributários, uma análise detalhada de viabilidade de implementação da renaturalização foi realizada, levando em consideração diversos parâmetros. Estes incluíram a caracterização hidrogeomorfológica, biológica e logística dos tributários selecionados. Além disso, foram considerados os tipos de influência antrópica presentes na área e a necessidade de intervenções de obras civis para implementação das técnicas de renaturalização.

Para definir os resultados de cada parâmetro, foram adotados critérios específicos que variaram de acordo com a natureza de cada aspecto avaliado. Esses critérios foram estabelecidos com base em diretrizes científicas (KAUFMANN et al. 1999) e/ou conhecimentos técnicos especializados. Essa abordagem permitiu a identificação de áreas passíveis de melhorias e implementação de medidas apropriadas para fomentar a renaturalização. Tabela 1 apresenta os critérios e definições adotadas.

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados.

Parâmetro	Definição	Método e Critério
<b>Caracterização Hidrogeomorfológica</b>		
Largura molhada média (m)	Conceito da hidrologia que se refere à extensão da superfície de um canal ou rio que está em contato direto com a água em determinado momento, é a largura das seções transversais que está submersa e sujeita ao fluxo de água.	Mensuração <i>in loco</i> .
Largura média do leito sazonal (m)	Refere-se à largura total do canal durante diferentes períodos sazonais, como estações secas e chuvosas. Leva em consideração a variação na largura do canal devido às mudanças nas condições hidrológicas ao longo do ano.	Avaliação conjunta com outros parâmetros (como profundidade), para determinar se há alguma influência que inviabilize o dimensionamento, o posicionamento e a eficácia das estruturas, bem como os potenciais impactos.
Altura do leito sazonal (m)	Refere-se à elevação do fundo do canal em relação a um ponto de referência durante diferentes períodos sazonais.	
Comprimento (m)	A extensão total selecionada para a implementação das técnicas de renaturalização.	Mensuração <i>in loco</i> . Desejável renaturalização de pelo menos 100m de tributários.
Profundidade média (m)	Medida que representa a média das profundidades da água em uma determinada seção transversal do curso d'água.	Mensuração <i>in loco</i> . Locais com profundidades acima de 2m em períodos de secas inviabilizam a instalação de acordo com o modelo proposto.

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Caracterização Hidrogeomorfológica</b>		
Substrato predominante	Tipo de material ou sedimento que constitui a maior parte do leito do canal em uma determinada área, e sua composição pode influenciar significativamente a morfologia do canal, a qualidade do habitat aquático e a biodiversidade presente no ambiente aquático.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Matacão largo: 1000mm até 4000mm – tamanho de uma caixa d’água até um carro;</li> <li>2. Matacão: 250mm até 1000mm – tamanho de bola de basquete até caixa d’água;</li> <li>3. Bloco: 64mm até 250mm – tamanho de bola de tênis até bola de basquete;</li> <li>4. Cascalho Grosso: 16mm até 64mm - tamanho de jabuticaba até bola de tênis;</li> <li>5. Cascalho fino: 2mm até 16 mm – Tamanho de joaninha até jabuticaba;</li> <li>6. Areia: 0,06mm até 2 mm – arenosa;</li> <li>7. Finos: silte, argila, lama não arenosa;</li> <li>8. Argila Consolidada: substrato fino consolidado, firme;</li> <li>9. Substrato biológico: Banco de folhas e galhos pequenos, serrapilheira fina, macrófitas, algas, raízes finas da mata ciliar e madeira.</li> </ol>
Fluxo predominante	Direção ou padrão de movimento da água que prevalece na maior parte do tempo em uma determinada seção do canal.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Piscina formada por remanso</u>: água parada que se forma atrás de um obstáculo, como uma rocha ou tronco caído, criando um ambiente de baixa velocidade;</li> <li>2. <u>Piscina formada por represamento</u>: água parada que se forma devido a um represamento natural ou artificial;</li> <li>3. <u>Fluxo suave</u>: movimento contínuo e uniforme da água em um curso d’água, caracterizado por baixa turbulência e velocidade moderada;</li> </ol>

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Caracterização Hidrogeomorfológica</b>		
Fluxo predominante	Direção ou padrão de movimento da água que prevalece na maior parte do tempo em uma determinada seção do canal.	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. <u>Corredeira</u>: seção do rio onde a água flui rapidamente sobre um leito rochoso ou irregular, criando ondas, vórtices e turbulência;</li> <li>5. <u>Rápido</u>: seção do rio com fluxo de água rápido e turbulento, geralmente associado a declives acentuados ou obstáculos no leito;</li> <li>6. <u>Cascata</u>: queda d'água vertical ou inclinada em que a água cai livremente de uma altura para outra;</li> <li>7. <u>Canal seco</u>: seção do canal do rio que não contém água devido a baixa vazão ou secas, podendo ser temporária ou permanente.</li> </ol>
Planície de inundação	Área plana adjacente a um curso d'água, que é periodicamente inundada durante eventos de cheias.	Verificação da presença ou ausência de planícies de inundação em pelo menos uma das margens dos trechos a serem renaturalizados.
Barreira Física	Qualquer estrutura ou obstáculo físico que é colocado ou ocorre naturalmente dentro de um curso d'água, e que pode afetar o fluxo da água, a dinâmica do rio e a conectividade do habitat aquático.	Verificação da presença ou ausência de barreira física ao longo da extensão do canal.
Conexão com rio	Avaliação da conectividade entre o tributário e o rio principal. Refere-se à capacidade de fluxo de água, organismos aquáticos e materiais entre esses dois sistemas aquáticos adjacentes.	Existência ou não de conectividade entre o tributário e o rio Gualaxo do Norte.
Lagoa Marginal	É um tipo de corpo d'água que está localizado adjacente ao tributário conectado hidráulicamente.	Existência ou não de lagoa marginal na área do tributário avaliado.

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Modelagem Hidráulica</b>		
TR 2 anos	<p>A modelagem hidráulica refere-se à aplicação de técnicas e métodos para simular o comportamento do fluxo de água em um curso d'água durante eventos de cheias com diferentes períodos de recorrência.</p> <p>O TR de 2 anos representa um evento de cheia que, estatisticamente, tem uma probabilidade de ocorrência de 50% em um determinado ano. Isso significa que, em média, um evento de cheia com essa magnitude pode ser esperado a cada dois anos.</p>	<p>Realizada seguindo um processo estruturado, que incluiu o desenvolvimento da geometria com e sem as estruturas de renaturalização, a definição das condições de contorno baseadas em vazões máximas e declividade do terreno, e a obtenção de resultados por meio de simulações de regime de escoamento. Utilizando o software HEC-RAS, foram considerados dois cenários: um antes e outro após a instalação das estruturas, visando avaliar os padrões de velocidade do rio. Essas etapas garantiram a obtenção de informações, incluindo impactos no leito do rio e estabilidade das estruturas (APLYSIA, 2024a). Para fins práticos a análise de viabilidade, os resultados foram definidos como:</p> <p><u>Fluxo Baixo</u>: apresenta um baixo volume de água nos TRs analisados, caracterizado por uma velocidade reduzida entre 0,25 e 0,82 m/s. Recomendável a renaturalização.</p> <p><u>Fluxo Intermediário</u>: indica um nível moderado de fluxo, com uma velocidade que estão entre os extremos de baixo e alto fluxo entre 0,82 e 3,0 m/s. Recomendável a renaturalização com mitigação.</p> <p><u>Fluxo Alto</u>: situação em que o rio apresenta um alto volume de água, resultando em uma velocidade significativas acima de 3,0 m/s. Recomendável com mitigação. Não recomendável.</p> <p><u>Possibilidade de Inundação</u>: condição em que o rio atinge um nível crítico de vazão, levando ao transbordamento de suas margens e à inundação de áreas adjacentes. A recomendação depende das características locais.</p>
TR 25 anos	<p>O TR de 25 anos representa um evento de cheia com uma probabilidade de ocorrência de 4% em um determinado ano. Isso significa que, em média, um evento de cheia com essa magnitude pode ser esperado a cada 25 anos.</p>	
TR 50 anos	<p>O TR de 50 anos representa um evento de cheia com uma probabilidade de ocorrência de 2% em um determinado ano. Isso significa que, em média, um evento de cheia com essa magnitude pode ser esperado a cada 50 anos.</p>	

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
Estabilidade		
Avaliação de Vulnerabilidade	<p>A avaliação de vulnerabilidade em projetos de análise de estabilidade de estruturas de madeira instaladas no leito de rios refere-se ao processo de identificação e análise dos potenciais riscos e ameaças que podem afetar a integridade e estabilidade dessas estruturas. O objetivo é identificar vulnerabilidades e implementar medidas, preventivas quando, cabíveis para garantir a segurança e eficácia das estruturas de madeira no ambiente fluvial.</p>	<p>A análise de estabilidade é realizada com base em cálculos do Fator de Segurança, avaliação das forças de estabilidade e desestabilização, cálculo de parâmetros intermediários, recomendações para prevenção de falhas, consideração dos mecanismos de falha e estimativas simplificadas. Assim, a vulnerabilidade para fins práticos foi definida como:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Vulnerabilidade Alta</u>: situação em que uma estrutura é altamente suscetível a sofrer danos ou falhas significativas sob determinadas condições adversas. Inviabiliza a implementação do projeto desde que não há possibilidade de mitigação;</li> <li>2. <u>Vulnerabilidade Média</u>: nível intermediário de suscetibilidade, onde a estrutura pode sofrer danos moderados em condições adversas, mas não está tão propensa a falhas significativas, como perda total da estrutura instalada. Não inviabiliza a implementação do projeto, mas recomenda-se mitigação se possível;</li> <li>3. <u>Vulnerabilidade Baixa</u>: situação em que uma estrutura tem uma baixa probabilidade de sofrer danos significativos ou falhas mesmo sob condições adversas. Não inviabiliza a implementação do projeto.</li> </ol>
Possibilidade de Mitigação	<p>Capacidade de adotar medidas preventivas ou corretivas para reduzir ou eliminar os riscos identificados nas estruturas.</p>	<p>Possibilidade de implementar medidas de mitigação quando as estruturas são identificadas como vulneráveis a eventos de alto fluxo de água.</p>

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Características Biológicas</b>		
Abrigo para Peixes	Estrutura física ou um ambiente natural que fornece proteção, refúgio e habitat adequado para os peixes em corpos d'água, como rios e córregos. Eles podem incluir vegetação aquática, troncos submersos, pedras e rochas, barragens, pontes submersas e recifes artificiais, entre outros tipos de estruturas.	<p>Realizada durante as avaliações de habitat físico em corpos d'água. São avaliados e quantificados por meio de observações diretas, utilizando métodos padronizados segundo Kaufmann et al. (1999). A foi realizada da seguinte forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Ruim</u>: significa que há uma escassez significativa ou quase inexistência de estruturas ou ambientes que possam servir como abrigo para os peixes. Recomenda-se a implementação da renaturalização para criação de abrigos.</li> <li>2. <u>Intermediário</u>: classificação intermediária indica que há uma quantidade moderada de abrigos disponíveis. Embora existam alguns habitats, a quantidade ou a qualidade desses abrigos pode não ser ideal para atender às necessidades das populações. Recomenda-se a renaturalização para aprimoramento e melhoria de habitats.</li> <li>3. <u>Bom</u>: significa que há uma abundância adequada de abrigos. Nesse cenário, os peixes têm acesso a uma variedade de abrigos naturais e/ou artificiais que atendem às suas necessidades. Não é recomendável quando há simultaneamente diversidade de substratos.</li> </ol>

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
Vegetação Ripária	Vegetação que cresce nas margens dos corpos d'água. Essa vegetação desempenha um papel fundamental na estrutura e na função dos ecossistemas aquáticos, fornecendo uma série de benefícios e serviços ambientais, incluindo a estabilização das margens, a filtragem de poluentes, a promoção da biodiversidade, a proteção contra a erosão e a regulação da temperatura da água.	<p>A avaliação semiquantitativa realizada para caracterizar o tipo e a quantidade de vegetação em três camadas (Dossel, Sub-bosque e Cobertura do Solo) em parcelas de vegetação ripária localizadas em ambos os lados das transecções. Para fins práticos a cobertura vegetal foi estimada da seguinte forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Alta</u>: vegetação ripária é densa e extensiva ao longo das margens, com uma cobertura vegetal significativa em todas as camadas. Desejável para acelerar e aumentar os efeitos da renaturalização.</li> <li>2. <u>Média</u>: vegetação ripária está presente, mas a cobertura vegetal pode ser variável e menos densa em comparação com áreas de alta presença. Pode haver alguma diversidade de espécies vegetais, mas a cobertura pode não ser tão completa em todas as camadas. Desejável para acelerar e aumentar os efeitos da renaturalização.</li> <li>3. <u>Baixa</u>: vegetação ripária é escassa ou quase ausente, com pouca cobertura vegetal ao longo das margens dos corpos d'água. A falta de vegetação ripária pode indicar um ambiente degradado ou perturbado. Não desejável.</li> </ol>
Disponibilidade de material lenhoso	Presença e quantidade de detritos de madeira de diferentes tamanhos ao longo das margens dos corpos d'água. O material lenhoso pode incluir troncos, galhos e outros restos de árvores que caíram nas margens ou dentro do canal do rio.	Mensurada visualmente e quantitativamente de acordo com o protocolo de Kaufmann et al. (1999) e envolve a contagem e classificação do detrito de madeira de diferentes tamanhos, que estão presentes nas margens e dentro do canal. Para fins práticos a cobertura vegetal foi estimada da seguinte forma:

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
Disponibilidade de material lenhoso	Presença e quantidade de detritos de madeira de diferentes tamanhos ao longo das margens dos corpos d'água. O material lenhoso pode incluir troncos, galhos e outros restos de árvores que caíram nas margens ou dentro do canal do rio.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Alta</u>: presença significativa de detritos de madeira, incluindo troncos, galhos e outros restos de árvores, distribuídos de forma abundante ao longo das margens e dentro do canal do rio. Desejável para utilização do material para a renaturalização.</li> <li>2. <u>Média</u>: material lenhoso está presente em uma quantidade moderada, com uma distribuição razoável ao longo das margens. A diversidade de tamanhos e tipos de detritos pode ser variável, proporcionando algum nível de estrutura, mas em menor quantidade em comparação com áreas de alta disponibilidade. Não desejável para utilização para a renaturalização, necessitando de material lenhoso externo.</li> <li>3. <u>Baixa</u>: escassez de detritos de madeira, com poucos troncos, galhos ou restos de árvores presentes ao longo das margens e dentro do canal do rio. Não desejável para utilização para a renaturalização, necessitando de material lenhoso externo.</li> </ol>
Presença de animais domésticos	Observação de animais domésticos, gado, cavalos ou outros animais criados pelo ser humano, nas proximidades das margens dos corpos d'água.	Realizadas através de observação direta ao longo das margens dos corpos d'água e/ou registros de avistamentos.
Pastagem	Utilização da área adjacente aos corpos d'água para pastagem de animais, como gado ou cavalos.	Observações diretas da área adjacente aos corpos d'água para pastagem de animais.

**Tabela 1** – Definições e critérios dos parâmetros determinados para análise de viabilidade da renaturalização nos tributários selecionados, continuação.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Influências Antrópicas</b>		
Construção Civil	Presença de estruturas construídas pelo ser humano, como casas, estradas, pontes, barragens ou outras construções, nas imediações das margens dos corpos d'água.	Observações diretas da área adjacente aos corpos d'água sobre a presença de construções civis.
Necessidade de Obras Civas	Avaliação da demanda por intervenções físicas e estruturais no ambiente natural para promover a renaturalização e/ou restauração de ecossistemas degradados. Essas obras civis podem incluir a reestruturação do canal.	Para a definição da necessidade de realização de obras a avaliação seguiu os seguintes critérios:  <u>Avaliação da situação atual</u> : avaliação da situação atual do ambiente, incluindo a identificação das principais causas da degradação e a extensão dos danos.  <u>Identificação de intervenções necessárias</u> : identificar as intervenções necessárias para promover a renaturalização, considerando também as intervenções recomendadas após inspeção de campo realizada pelas equipes da NHC e Fundação Renova após visita técnica à área.
Necessidade de Uso de Maquinário	Avaliação da demanda por equipamentos e máquinas para auxiliar nas atividades de restauração e/ou renaturalização de ecossistemas degradados. O maquinário pode incluir tratores, escavadeiras, retroescavadeiras, caminhões, entre outros.	Baseada no porte das intervenções necessárias para alcançar os objetivos da renaturalização, assim como para as intervenções propostas pelas equipes da NHC e Fundação Renova após visita técnica à área. A necessidade de uso de maquinário de grande porte pode inviabilizar a implementação do projeto.

**Tabela 1** – Definições e critérios para os parâmetros determinados para análise de viabilidade de implementação da renaturalização nos tributários selecionados.

Parâmetro	Definição	Método ou Critério
<b>Características Logísticas</b>		
Acesso as áreas selecionadas	Refere-se à facilidade ou dificuldade de alcançar e trabalhar nas áreas onde as intervenções serão realizadas. Isso pode incluir acessibilidade por estradas, trilhas ou outros meios de transporte.	Determinadas através de inspeções de campo. A falta de acesso as áreas pode inviabilizar a implementação do projeto.
Área para armazenamento de madeira	Disponibilidade de espaço adequado para armazenar a madeira que será na renaturalização.	Determinadas através de inspeções de campo. A falta de locais adequadas para armazenamento das madeiras pode inviabilizar a implementação do projeto.
Área de vivência	Presença de áreas próximas onde a equipe de trabalho pode estabelecer acampamentos temporários ou instalar instalações de suporte.	Determinadas através de inspeções de campo. A falta de locais adequadas para área de vivência pode inviabilizar a implementação do projeto.
Supressão da vegetação	Necessidade ou da possibilidade de suprimir a vegetação existente em determinadas áreas onde as intervenções de restauração serão realizadas.	Determinadas através de inspeções de campo. A necessidade de supressão de vegetal pode inviabilizar a implementação do projeto.

### 4.3 ESTRUTURAS DE RENATURALIZAÇÃO

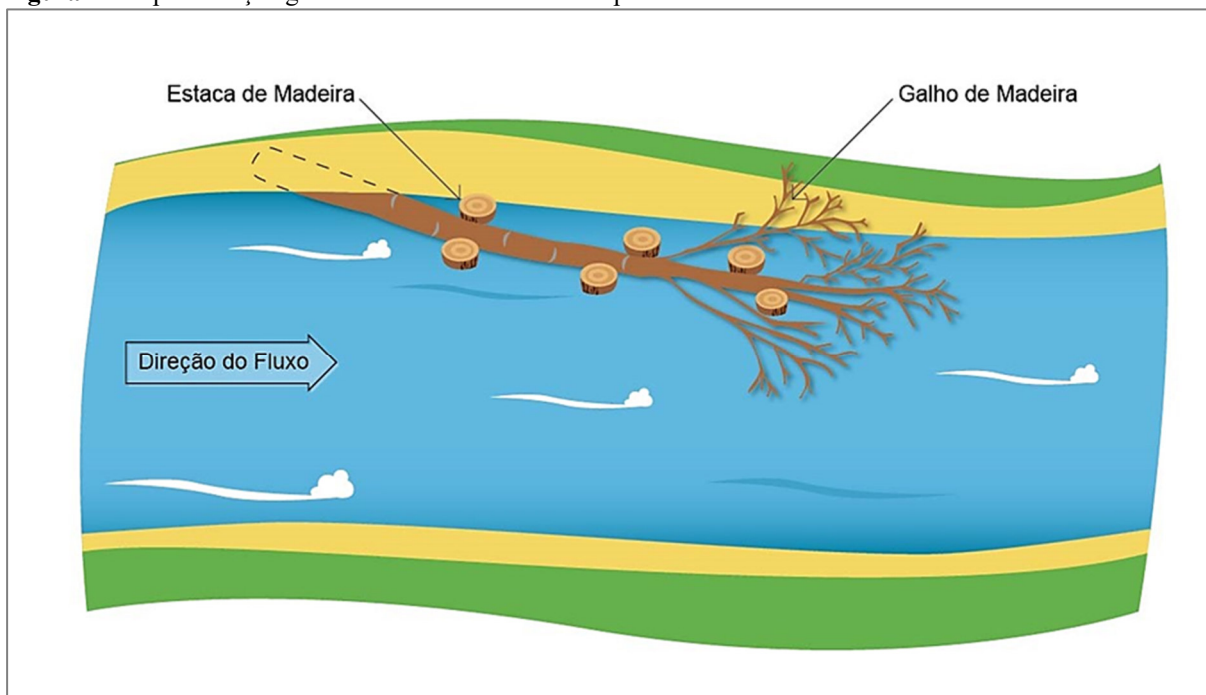
As estruturas propostas no âmbito das intervenções recomendadas no projeto de renaturalização dos tributários do rio Gualaxo do Norte são denominadas como árvores do tipo LWD (*Large Wood Debris*). Essas estruturas são compostas por pedaços de madeira, como troncos e galhos, e podem variar em tamanho e forma. As estruturas são estrategicamente projetadas e posicionadas para influenciar de forma positiva os processos fluviais, promovendo a recuperação ecológica e geomorfológica dos rios (BROOKS, 2006). Os critérios utilizados para selecionar os tipos de estruturas de renaturalização a serem implementadas nos tributários baseiam-se nos seguintes aspectos: os objetivos de restauração, as características do local, a hidráulica e geomorfologia do rio e a viabilidade técnica.

As dimensões das estruturas selecionadas seguiram as diretrizes adotadas por Brooks (2006), Neuhaus; Mende (2021), Harman et al. (2023), Dixon; Sear (2014) e Keech et al. (2023). As principais diretrizes consideradas foram: proporção da largura do rio, extensão da estrutura, espaçamento entre estruturas, considerações hidráulicas e geomorfológicas, e adaptação às condições locais.

Com base nesses critérios, foram selecionados três tipos de estruturas para os tributários (FG, TTX e TTV). Os detalhes e definições desses critérios serão apresentados detalhadamente no Relatório de Design, atualmente em fase de elaboração (APLYSIA, 2024c) e previsão de entrega em maio de 2024. A seguir são apresentadas resumidamente as características e dimensionamento dessas.

- FG – Feixes de Galhos (Figura 2) - Estrutura submersa composta por feixes de galhos com ângulo de 30° à margem do tributário. A instalação dessas estruturas visa aumentar e melhorar a disponibilidade de habitat. Além disso, os galhos ajudam a modular o fluxo da água, reduzir a erosão das margens e promover a formação de piscinas e remansos.

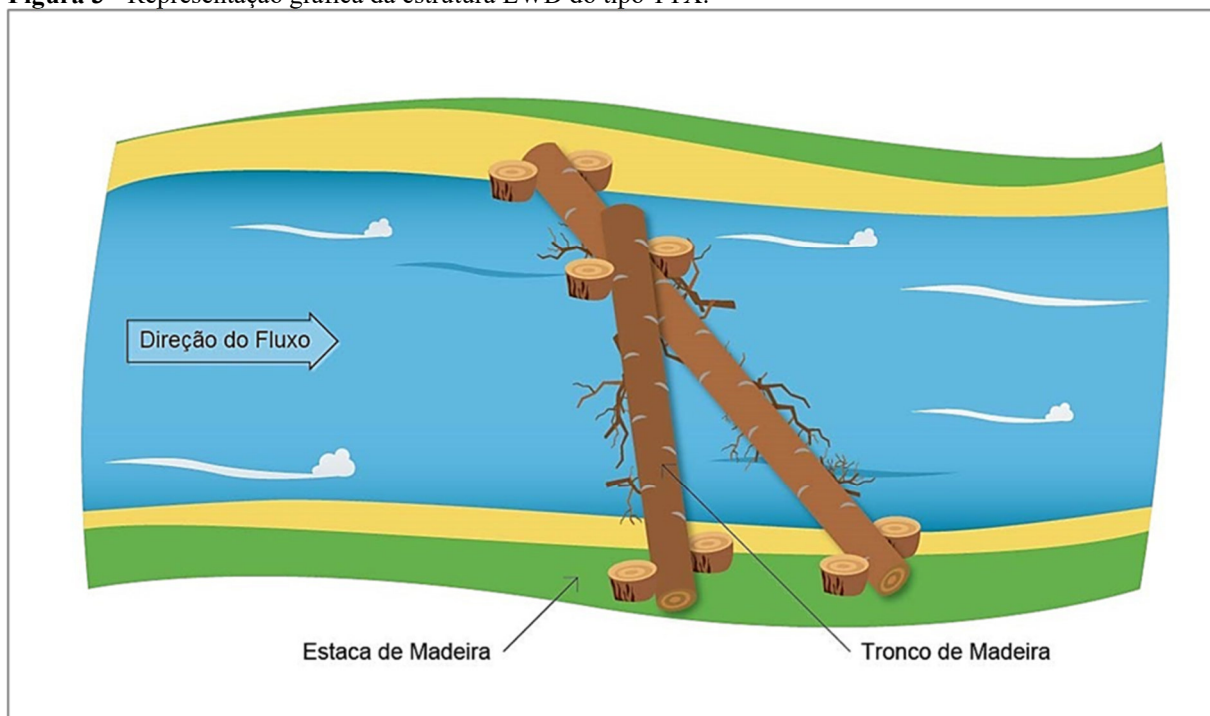
**Figura 2** - Representação gráfica da estrutura LWD do tipo FG.



Fonte: Aplysia, 2024.

- TTX – Estrutura Cruzada (Figura 3) – Consiste em um arranjo projetado de troncos de árvores de aproximadamente 2 m de comprimento, fixados no leito do tributário. A estrutura é parcialmente submersa, sendo o primeiro tronco posicionado a 90° em relação ao escoamento, e o segundo, enviesado a 45° em relação ao escoamento. Isso permite que o fluxo escoe rapidamente em ambas as direções, enquanto ambos os troncos são inseridos parcialmente no perfil da calha do rio, apoiando-se nas margens. Projetada para criar correntes de mergulho, contribui para a diversidade morfológica e estrutural do riacho. Além disso, é integrada ao leito existente para manter a integridade das margens. O objetivo principal dessa estrutura é criar habitat e induzir o fluxo.

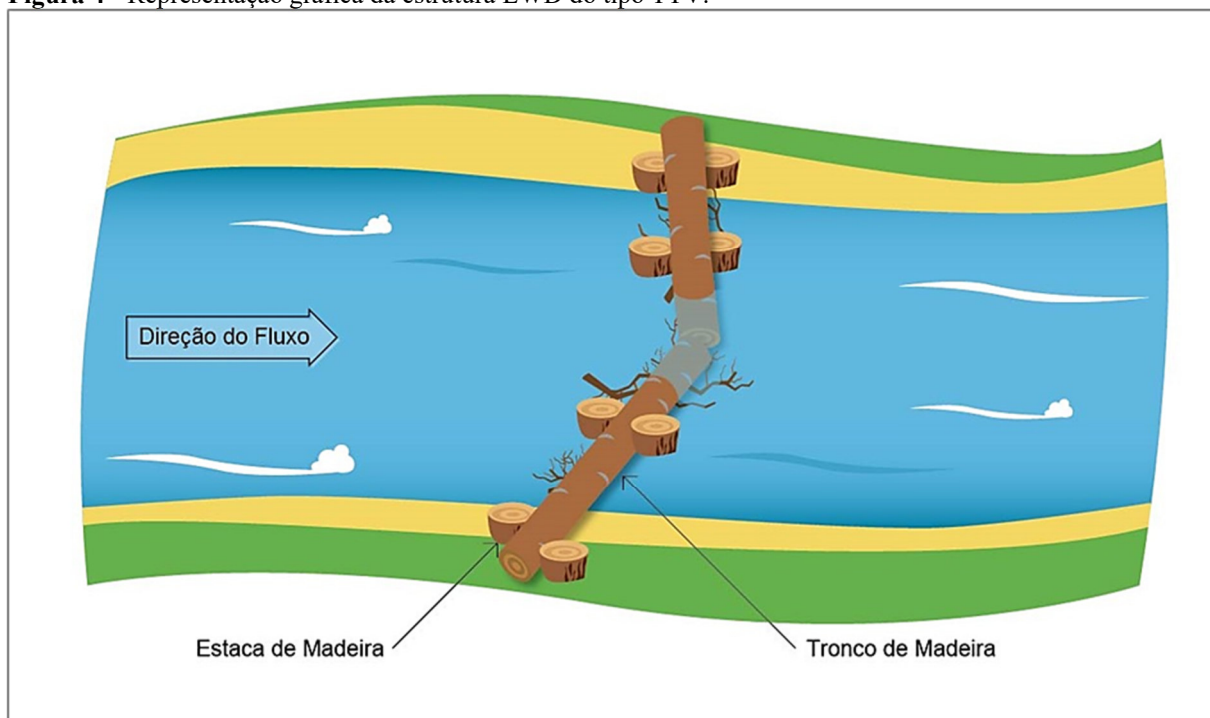
**Figura 3** - Representação gráfica da estrutura LWD do tipo TTX.



Fonte: Aplysia, 2024.

- TTV – Estrutura Transversal (Figura 4) - Estrutura parcialmente submersa composta por dois troncos de aproximadamente 2 m, com ângulo de 90°, sendo transversal ao escoamento e barrando 50% da largura da calha em seu centro ocasionando a divisão de 25% do escoamento para ambas as margens do tributário. Esses troncos atuam como pontos de ancoragem para a retenção de galhos menores, contribuindo para a formação de estruturas complexas e dinâmicas ao longo do tempo. Essa abordagem visa não apenas compensar a falta de entrada natural de madeira, mas também promover a formação de habitats e estruturas ecologicamente valiosas, que podem beneficiar a biodiversidade aquática e os processos fluviais.

**Figura 4** - Representação gráfica da estrutura LWD do tipo TTV.



Fonte: Aplysia, 2024.

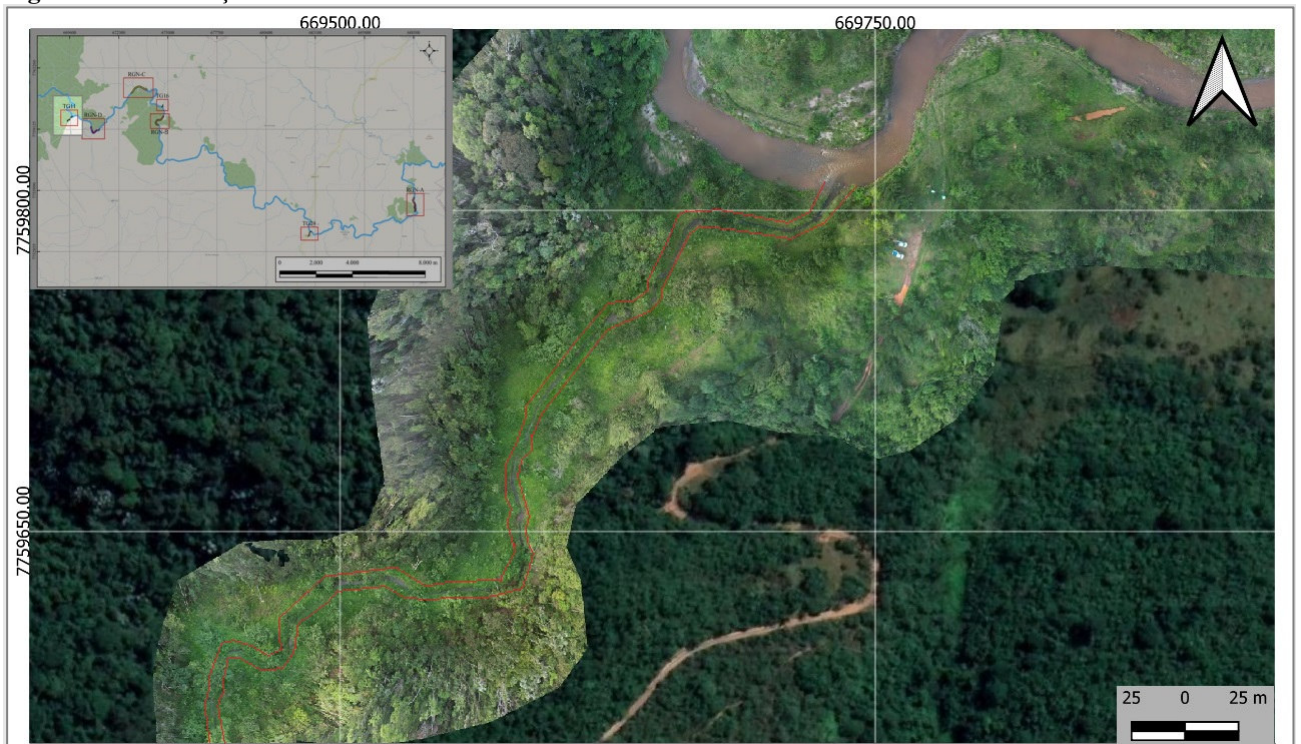
#### 4.4 TRIBUTÁRIO TG-11

##### 4.4.1 Apresentação

O tributário TG-11 está localizado na porção mais a montante do rio Gualaxo do Norte (Figura 5), com comprimento total de 370 m e uma profundidade média de 0,39m e composta por uma grande área de planície de inundação. O curso d'água se desloca no sentido do rio Gualaxo do Norte com predominância de fluxo suave com alguns rápidos. A zona ripária é predominante composta por vegetação rasteira, que pode incluir gramíneas e outras plantas de porte baixo, mas a presença de árvores de pequeno e grande porte é considerável. O sub-bosque é rico em arbustos, e uma variedade de ervas de diferentes formas. O restauro florestal na área adjacente ao tributário, holisticamente revelou avanços significativos na recuperação ambiental. Em relação ao uso do solo, no passado a área era destinada à atividade pecuária. No entanto, atualmente a área não é mais destinada a esta atividade.

Particularmente neste tributário foi identificada uma diferença de nível de aproximadamente 0,40m entre a superfície da água do tributário e a do rio principal (PROGEN, 2022 *apud* NHC, 2023) (Figura 6).

**Figura 5** – Localização do tributário TG-11.



Fonte: Aplysia, 2023.

**Figura 6** – Barreira composta por blocos de rocha no leito do tributário TG-11.



Fonte: Aplysia, 2023.

#### 4.4.2 Intervenção Sugerida

Para o tributário TG-11 é recomendável a implementação do projeto de renaturalização em 370m de extensão. No escopo do projeto está prevista a instalação de 22 estruturas de renaturalização, composta por 18 estruturas do tipo FG, 2 do tipo TTX e 2 do tipo TTV. O arranjo proposto para a renaturalização deste trecho é apresentada no Anexo 1 deste relatório, e o detalhamento do delineamento das configurações propostas serão apresentadas no Relatório de Design que se encontra em elaboração com previsão de entrega em maio de 2024 (APLYSIA, 2024c).

Além da renaturalização, sugere-se também a remoção do desnível entre o tributário e o rio Gualaxo do Norte, considerando o aterramento para a reconformação do canal, visando criar unidades alternadas de remanso e corredeiras com rochas (*step-pools*).

A seguir, serão abordadas questões relevantes relacionadas às intervenções propostas para o tributário TG-11.

No tributário TG-11, a medida adotada para enfrentar os desafios pós-impacto do rompimento da barragem de Fundão foi a implementação de enrocamentos compostos por blocos de rocha pequenos no leito do tributário (Figura 7) e mantas geotêxteis, com objetivo de minimizar a erosão e evitar o carreamento de rejeitos e sedimentos. A escolha do tributário TG-11 para intervenção emergencial foi estratégica, levando em consideração não apenas os impactos causados pelo rompimento da barragem, mas também a necessidade de preservar a integridade do ecossistema aquático local. As intervenções foram cuidadosamente projetadas para que o enrocamento utilizado se integrasse de forma harmoniosa ao ambiente fluvial, oferecendo uma solução durável e eficaz (GOLDER, 2016). Os resultados dessa iniciativa foram notáveis, a erosão e o carreamento de sedimento no leito do rio foram reduzidos, proporcionando uma base mais estável e segura para o desenvolvimento inicial da biota aquática.

**Figura 7** - Blocos de rocha no leito do tributário TG-11.



Fonte: Aplysia, 2023.

Embora os enrocamentos instalados tenham sido eficazes na redução da erosão e na estabilização do leito, em contraponto proporcionaram a homogeneização do substrato. Esta homogeneidade resultante da presença dos enrocamentos pode representar um desafio para a diversidade biológica do ecossistema aquático (Figura 8).

Estudos realizados por Milesi et al. (2016) e Schiemer (2000) indicam que a homogeneidade do substrato tende a dificultar a colonização por uma ampla diversidade de macroinvertebrados e peixes. A diversidade de habitats e nichos é essencial para sustentar uma rica fauna aquática, e a heterogeneidade do mesohabitat no fundo dos rios é particularmente importante nesse aspecto. Ambientes heterogêneos oferecem uma variedade de condições e recursos, promovendo a coexistência de diversas espécies.

**Figura 8** – Homogeneização do leito do tributário por blocos de rocha no tributário TG-11.



Fonte: Aplysia, 2023.

Por outro lado, ambientes homogêneos, oferecem menos variedade de habitats e nichos, o que pode resultar em uma redução da diversidade de macroinvertebrados (BEISEL et al. 2000) e peixes (SCHIEMER, 2000), uma vez que a conectividade dos diferentes elementos do habitat é fundamental para a biota. Assim, torna-se relevante ponderar não apenas sobre os ganhos imediatos das ações de bioengenharia fluvial no ecossistema aquático afetado pelo rompimento da barragem, como a instalação dos enrocamentos, mas também sobre medidas de intervenção a médio e longo prazo, como a renaturalização do habitat físico.

Diante do apresentado, uma das intervenções planejadas para a possível implementação da renaturalização do tributário TG-11 envolve a instalação das estruturas de troncos, podendo ser necessária a substituição de parte das rochas previamente inseridas no leito do rio. O objetivo é fomentar uma maior diversidade de substratos, proporcionando condições mais favoráveis para a colonização de uma biota aquática mais diversa. É importante ressaltar que o planejamento não é remover todas as rochas presentes, mas sim criar espaços sem rochas, ao longo do curso d'água, onde as estruturas serão instaladas.

Outro aspecto crucial a ser considerado em relação ao trecho TG-11 diz respeito à diferença de nível de aproximadamente 0,40m entre a superfície da água do tributário e a do

rio principal em um ponto mais a jusante do tributário, o que dificulta a conectividade entre o tributário e o rio Gualaxo do Norte. Esta falta de conexão com o rio principal devido a uma barreira física parcial, pode acarretar implicações ecológicas significativas. Esse cenário pode resultar na fragmentação do habitat, impedindo o movimento natural da água e dos organismos aquáticos entre o rio principal e seu tributário. Isso pode levar ao isolamento de populações de espécies e à redução da diversidade genética (JONES et al. 2019). Além disso, a falta de conectividade pode bloquear a migração de peixes que dependem de movimentos migratórios para completar seus ciclos de vida, como a desova, o que pode resultar em uma diminuição na reprodução e no tamanho das populações (RADINGER et al. 2018).

Entretanto, estudos conduzidos por Branco et al. (2017) oferecem uma perspectiva diferente, indicando que pequenas barreiras em riachos podem não ter um impacto significativo no movimento dos peixes de água doce. Isso sugere que, sob essas condições, as populações de espécies de peixes podem ajustar suas estratégias de vida para aumentar o tempo de residência. Essas descobertas destacam a complexidade das interações entre as barreiras físicas e as populações de peixes, enfatizando a importância de considerar uma variedade de fatores ao avaliar os impactos ecológicos das barreiras em rios e riachos.

Essas barreiras são estruturas hidráulicas que afetam o fluxo de água em um rio e podem ser parciais ou completas. As parciais permitem a passagem do fluxo de água e podem ser formadas por elementos como pedras ou pilares, permitindo a passagem por espaços intercalados, embora com uma vazão reduzida. Enquanto as completas bloqueiam totalmente o curso do rio e são formadas por barragens ou diques, podendo ter impactos significativos na hidrologia, ecologia e geomorfologia do rio (GRAF, 2006; SULLIVAN et al. 2019).

Desta forma, uma barreira parcial do fluxo de água apresenta implicações ecológicas distintas em comparação com uma barreira completa. Em cenários onde parte do fluxo de água pode atravessar a barreira, especialmente durante períodos de cheias, os impactos sobre o ecossistema aquático podem ser minimizados. No entanto, idealmente, intervenções que removam essas barreiras, quando possível, representariam o cenário ótimo, permitindo uma distribuição e conectividade entre os organismos de ambos os ambientes, independentemente do regime pluviométrico.

A remoção de barreiras físicas em rios e riachos tem um impacto substancial na melhoria dos ecossistemas aquáticos, promovendo a conectividade fluvial, protegendo unidades populacionais de peixes e prevenindo invasões biológicas. A migração de peixes e

outros organismos aquáticos é facilitada, promovendo a diversidade genética e a saúde das populações (NOATCH; SUSKI, 2012). Essa remoção também beneficia os fluxos ambientais naturais e reduz a degradação do habitat (STEWART-KOSTER et al. 2010).

A característica parcial da barreira, caso do TG-11, permite certa conectividade entre as áreas divididas. Durante as cheias, quando o nível da água sobe o suficiente para ultrapassar a barreira, esse fenômeno facilita a migração de organismos aquáticos, como peixes e macroinvertebrados, contribuindo para a diversidade genética e a manutenção das populações. Deste modo, optou-se por avaliar duas alternativas de intervenções que correspondem a implantação de estruturas de renaturalização com e sem a remoção do desnível.

A remoção dessa barreira juntamente com a renaturalização traria benefícios ainda maiores para a restauração ecológica por permitir a conectividade entre os ambientes aquáticos (rio e tributário). Uma alternativa viável, além da remoção da barreira, é a criação de degraus (*step-pools*), conforme sugerido após visita técnica da Fundação Renova em conjunto com a NHC na localidade. Como a implementação da barreira foi realizada por enrocamentos compostos por rochas pequenas, a relocação desse material não implicaria em prejuízos para os projetos de restauração implementados.

Desta forma, essas ações afetam de forma positiva as migrações de peixes, resultando em um aumento significativo na riqueza de espécies e promovendo a resiliência dos ecossistemas (NUNN; COWX, 2012; KING et al. 2017). A retirada dessas barreiras não apenas facilita a adaptação dos peixes a mudanças ambientais futuras, mas também permite o contínuo movimento de água, sedimentos e biota ao longo do curso do rio (RADINGER et al. 2018).

Em contraponto, a remoção da barreira pode acarretar diversos efeitos geomorfológicos significativos. Estes incluem a exposição do sedimento armazenado, resultando em transporte de sedimentos, o que pode desencadear processos de erosão e sedimentação, sobretudo durante eventos de inundação. A redistribuição dos sedimentos pode afetar a estabilidade das margens, modificar a dinâmica fluvial, incluindo padrões de fluxo de água, transporte de sedimentos e processos de deposição, bem como influenciar a estabilidade do leito do rio, especialmente se ocorrerem mudanças abruptas na quantidade e distribuição dos sedimentos (DOYLE et al., 2002).

A discussão dos efeitos hidrogeomorfológicos negativos e positivos em relação da remoção ou não de barreiras é complexa, onde vários fatores devem ser considerados, como impactos sociais, econômicos e ambientais. Quando se avalia a construção e remoção de barragens, isso depende das características do ambiente e dos objetivos almejados por meio dessa intervenção. Apesar de possíveis consequências negativas, quando realizada a remoção de barreiras, prevalece os benefícios da restauração de processos físicos funcionais relacionados à erosão, transporte e deposição de sedimentos, indicativos de condições mais naturais e menos perturbadas (BABBITT, 2002).

É importante ressaltar que as premissas e definições estabelecidas por Doyle et al. (2002) e Babbitt (2002) são atribuídas a grandes barragens e em ambientes de maior porte. Nesse sentido, apesar da dinâmica descrita serem semelhantes, os efeitos observados no tributário em estudo podem ocorrer em escalas significativamente menores em comparação com os descritos pelos autores.

A partir dos estudos apresentados, fica claro que a remoção da barreira no TG-11 pode trazer uma série de benefícios significativos, sem necessariamente acarretar prejuízos para o projeto no qual ela foi implantada, uma vez que os objetivos relacionados ao controle de erosão foram alcançados e o terreno se encontra estável. Desta forma, a remoção dessa barreira e criação do *step-pools*, juntamente com a renaturalização, podem representar estratégias eficazes para promover a restauração ecológica e melhorar a qualidade dos habitats fluviais.

É importante destacar que a realização de obras civis, como o retaludamento e a construção de um sistema de *step-pools* com blocos de rocha não foram atividades usualmente realizadas nos trabalhos iniciais do projeto ReNaturalize, mas que já foram aplicadas anteriormente pela Fundação Renova no âmbito de controle de erosões e, portanto, a remoção das barreiras poderá ocorrer previamente à implantação do projeto de renaturalização por estes programas. O projeto detalhado para a implantação do Projeto ReNaturalize nesse tributário, bem como detalhes quanto o quantitativo e disposição das estruturas serão apresentados no Relatório de Design (APLYSIA, 2024c).

#### **4.4.3 Estudos de Modelagem**

Os estudos de modelagem hidráulica elaborados pela Aplysia e apresentados no Anexo 2, revelaram que, nos cenários simulados, não foram registradas velocidades de fluxo

preocupantes em nenhum dos TRs analisados. As velocidades variaram de 0,48 m/s a 1,26 m/s no cenário mais conservador (TR de 50 anos). Dessa maneira, não há influências que resultem em alterações significativas na hidrodinâmica do rio ou que comprometam a estabilidade das estruturas. Além disso, em relação aos impactos das cheias provenientes do rio Gualaxo do Norte, isso leva à formação de um remanso na área do tributário, reduzindo a velocidade e até mesmo criando áreas com fluxo reverso, o que também contribui para a falta de indicativos de instabilidade nas estruturas avaliadas neste tributário.

Os critérios adotados nos estudos de modelagem hidráulica, juntamente com os resultados obtidos, estão detalhadamente descritos no Relatório de Modelagem Hidráulica (APLYSIA, 2024a) e Relatório de Estabilidade das Estruturas (APLYSIA, 2024b) nos Anexos 2 e 3 deste documento.

#### 4.4.4 Análise de Viabilidade

Diante de todas as discussões levantadas no âmbito da renaturalização do tributário TG-11, além dos parâmetros relacionados ao substrato predominante e à questão da barreira física, discutidos em detalhes como parte das intervenções planejadas, outros aspectos também foram considerados para avaliar a viabilidade da implementação da renaturalização neste tributário específico. A Tabela 2 apresenta uma análise individualizada dos parâmetros de viabilidade, indicando para cada parâmetro se a renaturalização é recomendada, não recomendada, se o resultado é neutro para a decisão ou se é inviável a implementação. É relevante destacar que a decisão final, seja para recomendar ou não a renaturalização, é embasada no conjunto dos parâmetros analisados e pode ou não estar associada a um parâmetro específico, pois cada situação deve ser avaliada considerando as características próprias de cada tributário, bem como a possibilidade de adaptação e/ou mitigação dos resultados que possam inviabilizar a implementação.

**Tabela 2** – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG11 do rio Gualaxo do Norte.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Largura média (m)	1,9	Recomendada
Comprimento (m)	470	Recomendada
Profundidade média (m)	0,37	Recomendada

**Tabela 2** – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG11 do rio Gualaxo do Norte, continuação.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Largura média do leito sazonal (m)	4	Recomendada
Altura do leito sazonal (m)	1,37	Recomendada
Substrato predominante	Matacão e Blocos	Recomendada
Fluxo predominante	Rápidos e Fluxo Suave	Recomendada
Planície de inundação	Sim	Recomendada
Barreira Física	Sim	Recomendada a remoção da barreira
Conexão com rio	Não	Recomendada a reconexão
Lagoa Marginal	Não	Neutro
<b>Modelagem Hidráulica</b>		
TR 2 anos	Fluxo Baixo	Recomendada
TR 25 anos	Fluxo Baixo	Recomendada
TR 50 anos	Fluxo Baixo	Recomendada
Inundação de Área Civil	Não	Recomendada
<b>Estabilidade das Estruturas</b>		
Avaliação de Vulnerabilidade	Baixa	Recomendada
Possibilidade de Mitigação	Não Aplica	Não Aplica
<b>Características Biológicas</b>		
Abrigo para Peixes	Intermediário	Recomendada
Vegetação Ripária	Alta	Recomendada
Disponibilidade de material lenhoso	Sim	Neutro
<b>Influências Antrópicas</b>		
Presença de animais domésticos	Não	Ponto de Atenção
Pastagem	Não	Ponto de Atenção
Construção Civil	Não	Recomendada
Necessidade de Obras Civis	Não	Recomendada
Necessidade de Uso de Maquinário	Não	Recomendada
<b>Características Logísticas</b>		
Dificuldade de acesso	Fácil	Recomendada
Área para armazenamento de madeira	Sim	Recomendada
Área de vivência	Sim	Recomendada
Supressão de Vegetação	Não	Recomendada

Com base nas características hidrogeomorfológicas mensuradas, não foram identificados parâmetros que inviabilizem a execução do projeto. As simulações realizadas mostraram que o fluxo principal do tributário é caracterizado como fluxo suave, e que há baixa vulnerabilidade para as estruturas. No que se refere à disponibilidade de abrigo para peixes, constatou-se uma condição intermediária, com potencial para otimização. É relevante

destacar que os requisitos logísticos mínimos para a implementação do projeto, tais como acessibilidade ao local e disponibilidade de área para armazenamento de madeira e construção de área de vivência temporária, durante o período de instalação, são favoráveis.

Ressalta-se que a substituição de algumas rochas por estruturas não acarretará prejuízos ao projeto de bioengenharia implementado. Isso se deve ao fato de que, a curto e médio prazo, as rochas no leito do rio já desempenharam sua função de minimizar a erosão na calha e o transporte de sedimentos no período emergencial. As iniciativas em conjunto com o bem-sucedido programa de restauro florestal implementado na área, se complementariam de forma sinérgica. Outro aspecto relevante é que atualmente há deposição de sedimentos naturais provenientes do tributário, os quais podem contribuir para a cobertura do leito, e que associados com a redução da velocidade do fluxo proporcionada pelas estruturas, tendem a promover a heterogeneidade de substratos e proteger o leito do rio contra processos erosivos. Portanto, a integração coordenada dessas iniciativas contribuiria significativamente para a aceleração da recuperação ambiental do TG-11.

Considerando que a remoção do desnível provavelmente pode ser feita por trabalho manual (rochas existentes relativamente pequenas e do tamanho relativamente pequeno da intervenção para a remoção do desnível), e que não existem impedimentos técnicos para a instalação das estruturas ao longo do tributário, e que existem condições adequadas de acesso ao local e para a realização dos trabalhos, conclui-se que a implantação da renaturalização no TG-11 é viável.

Diante do exposto, é recomendável que a remoção do desnível e a criação de *step-pools* sejam realizadas antes da implementação da renaturalização. Contudo, é preciso destacar que tais intervenções não fazem parte do escopo e modelo conceitual estabelecido pela Aplysia. Portanto, a condução dessas ações deve ser direcionada à Fundação Renova no âmbito dos trabalhos de controle de erosão.

A conclusão dos argumentos apresentados sugere que a remoção da barreira e a criação de degraus (*step-pools*) no tributário TG-11 antes da implementação do projeto de renaturalização são ações recomendadas para obter os maiores benefícios na restauração fluvial. Essas intervenções não apenas reconectam o tributário ao rio principal, mas também criam e melhoram habitats para a vida aquática, atendendo assim às necessidades ecológicas e promovendo a saúde do ecossistema fluvial. Portanto, uma abordagem sequencial e bem

planejada, começando pela remoção das barreiras físicas e seguida pela implementação das estruturas de renaturalização, pode maximizar os resultados positivos da restauração.

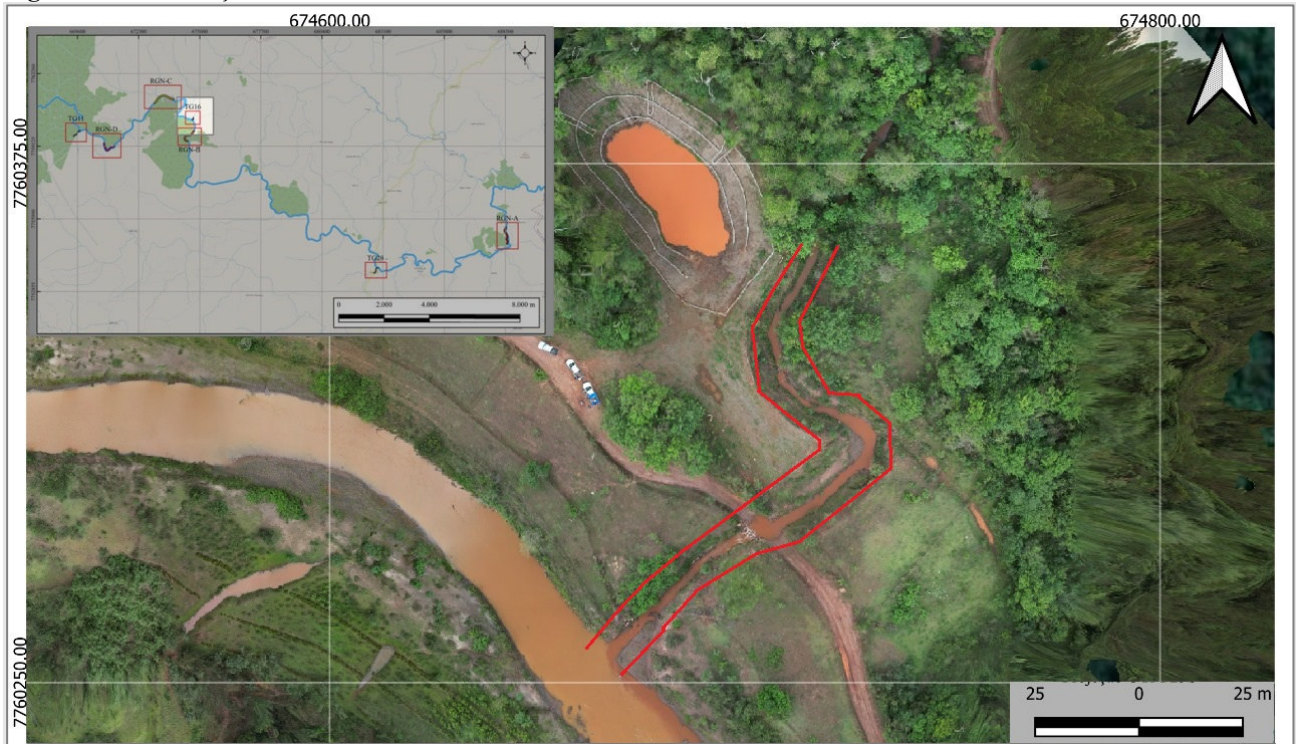
#### 4.5 TRIBUTÁRIO TG-16

##### 4.5.1 Apresentação

O tributário TG-16 está localizado no trecho T9 do rio Gualaxo do Norte, com comprimento total de 150m e uma profundidade média de 0,26m, com uma pequena área de planície de inundação. O curso d'água se desloca no sentido do rio Gualaxo do Norte com predominância de fluxo suave e corredeiras (Figura 9). Na zona ripária, a cobertura vegetal é escassa, destacando-se a predominância de vegetação rasteira. Observa-se de forma esporádica a presença de árvores de pequeno porte e vegetação arbustiva no sub-bosque. O padrão de uso do solo é composto pela presença de uma área anteriormente destinada à prática de silvicultura, porém, atualmente descontinuada. Na porção mais montante do tributário, observa-se a predominância de uma cobertura vegetal caracterizada por uma mata preservada.

Particularmente nesse tributário, foi identificada uma diferença de nível de aproximadamente 0,50m entre a superfície da água do tributário e a do rio principal, formada devido a uma travessia de estrada do tipo passagem molhada (Figura 10) (PROGEN, 2022 *apud* NHC, 2023). Após inspeções de campo conduzidas pelas equipes da Fundação Renova e NHC, foi observado que, devido às chuvas ocorridas durante o período de 2023, houve uma modificação na passagem molhada, resultando na redução do desnível entre o tributário e o rio Gualaxo do Norte.

**Figura 9** – Localização do tributário TG-16.



Fonte: Aplysia, 2023

**Figura 10** – Barreira do tipo estrada de passagem molhada no tributário TG-16.



Fonte: Aplysia, 2023.

#### 4.5.2 Intervenção Sugerida

Para o tributário TG-16 a princípio foi planejado a renaturalização em 150m de extensão. No escopo desse projeto foi prevista a instalação de 14 estruturas de renaturalização, composta por 12 estruturas do tipo FG, 1 do tipo TTX e 1 do tipo TTV.

Além da proposta de implementação do projeto de renaturalização, as recomendações sugeridas após visita técnica do time da Fundação renova em conjunto com a NHC, incluem a possibilidade de realizar a aterramento para reconformação do canal entre o desnível do tributário e o rio Gualaxo do Norte, através da criação de unidades alternadas de remanso e corredeiras com rochas (*step-pools*), além de substituir a estrada molhada por uma travessia por galerias colocadas a uma cota mais baixa que a travessia atual.

A seguir, serão abordadas as questões mais relevantes relacionadas às intervenções propostas para o tributário TG-16.

Um aspecto a ser considerado nas intervenções relacionadas ao tributário TG-16 é a diferença de nível existente, que atualmente impede a conexão entre esses ambientes, através de uma travessia de estrada do tipo passagem molhada. Isso acarreta impactos significativos para as comunidades aquáticas, resultando na fragmentação do habitat, menor dispersão de organismos e na alteração do fluxo da água, conforme discutido em detalhes na seção 4.1.2 referente ao tributário TG-11. Assim, os prejuízos ecológicos atribuídos à falta de conectividade entre os ambientes no TG-16 são semelhantes aos observados no TG-11.

Dentro deste contexto, a reconformação do canal entre o desnível e implementação de *step-pools*, juntamente com a renaturalização traria benefícios ainda maiores para a restauração ecológica por permitir a conectividade entre os ambientes aquáticos.

Entretanto, diferentemente das intervenções recomendadas para o tributário TG-11, onde a barreira física existente é de menor tamanho e complexidade, o que permite uma abordagem mais simplificada e execução manual, sem a necessidade de maquinaria, as intervenções propostas para o tributário TG-16 são mais complexas, devido a largura do canal à jusante. Consequentemente, a implementação das intervenções recomendadas exigirá um projeto mais complexo, e provavelmente com uso de maquinário. Apesar de poderem proporcionar melhores condições ecológicas, segundo Doyle et al. (2002) e Babbitt, (2002), a remoção de barreiras também podem promover efeitos geomorfológicos significativos. como exposição do sedimento armazenado, transporte de sedimentos, erosão e sedimentação,

principalmente durante eventos de inundação. Isso pode afetar a estabilidade das margens, modificar a dinâmica fluvial e influenciar o leito do rio.

Ressalta-se novamente que a realização de obras civis, como o reconformação do canal e a construção de um sistema de *step-pools* não são atividades usualmente realizadas no projeto ReNaturalize, mas que já foram aplicadas pela Fundação Renova no âmbito de controle de erosões.

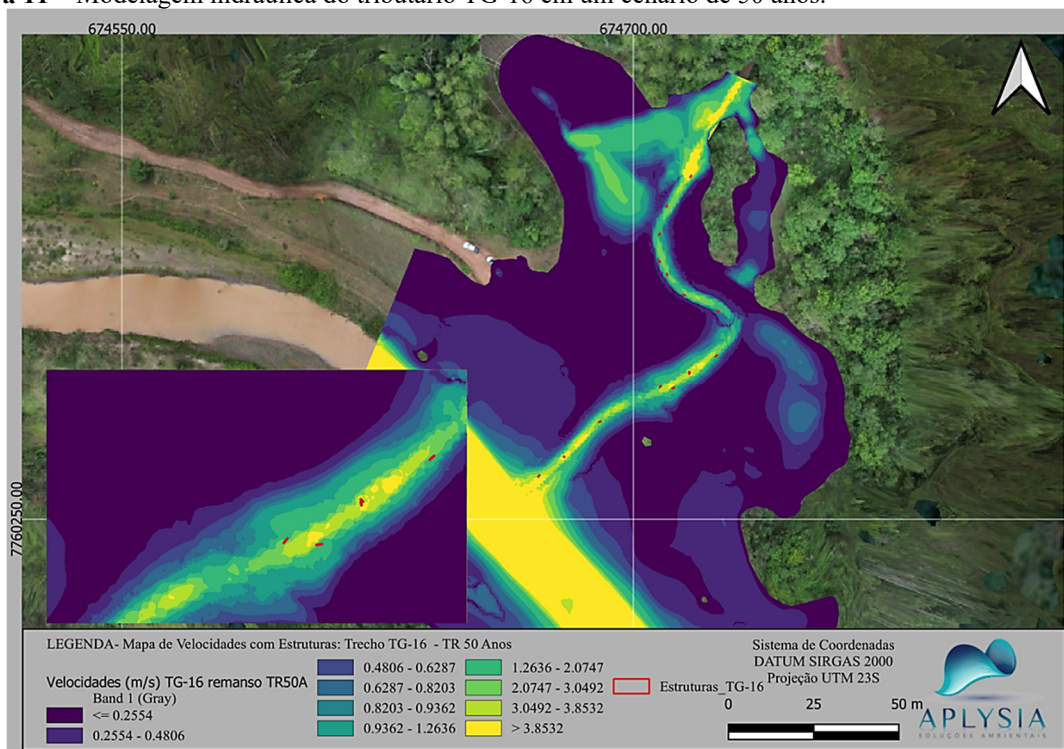
#### **4.5.3 Estudos de Modelagem**

As simulações realizadas para este tributário revelaram que a velocidade do fluxo durante eventos de cheia, considerando TR de 50 anos, causaria impactos significativos na estabilidade das estruturas. Estima-se que a velocidade do fluxo nos pontos mais críticos, poderia ultrapassar 3,85m/s (Figura 11), resultando no arraste das estruturas instaladas nesses locais.

Diante desse cenário, oito das quatorze estruturas planejadas para a renaturalização do tributário estarão posicionadas em locais com alta velocidade de fluxo. Consequentemente, essas estruturas se mostram vulneráveis à força do fluxo e não seriam capazes de se sustentar se instaladas nesses pontos específicos, onde a velocidade do fluxo é demasiadamente elevada.

O detalhamento dos resultados obtidos é apresentado no Relatório de Modelagem Hidráulica (APLYSIA, 2024a) e Relatório de Estabilidade das Estruturas (APLYSIA, 2024b) nos Anexos 2 e 3 deste documento.

**Figura 11** – Modelagem hidráulica do tributário TG-16 em um cenário de 50 anos.



Fonte: Aplysia, 2024.

#### 4.5.4 Análise de Viabilidade

Para a análise de viabilidade da implementação do projeto de renaturalização do tributário TG-16, além da questão da passagem molhada, outros aspectos também foram considerados. A Tabela 3 detalha a análise viabilidade, fornecendo um parecer específico para cada parâmetro, e a decisão final, é embasada no conjunto dos parâmetros analisados e pode ou não estar associada a um parâmetro específico, considerando as características próprias de cada tributário, bem como a possibilidade de adaptação e/ou mitigação dos resultados que possam inviabilizar a implementação.

**Tabela 3** – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG-16 do rio Gualaxo do Norte.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Largura média (m)	2,3	Recomendada
Comprimento (m)	150	Recomendada
Profundidade média (m)	0,26	Recomendada
Largura média do leito sazonal (m)	5,2	Recomendada
Altura do leito sazonal (m)	2,93	Recomendada

**Tabela 3** – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG-16 do rio Gualaxo do Norte, continuação.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Substrato predominante	Areia	Recomendada
Fluxo predominante	Corredeira e Fluxo Suave	Recomendada
Planície de inundação	Sim	Recomendada
Barreira Física	Sim	Recomendada remoção da barreira
Conexão com rio	Não	Recomendada a reconexão
Lagoa Marginal	Sim	Neutro
<b>Modelagem Hidráulica</b>		
TR 2 anos	Sem Impacto	Recomendada
TR 25 anos	Fluxo Intermediário	Não Recomendada
TR 50 anos	Fluxo Alto	Impede a implementação
Inundação de Área Civil	Não	Recomendada
<b>Estabilidade das Estruturas</b>		
Avaliação de Vulnerabilidade	Alta	Impede a implementação
Possibilidade de Mitigação	Não	Impede a implementação
<b>Características Biológicas</b>		
Abrigo para Peixes	Bom	Recomendada
Vegetação Ripária	Média	Recomendada
Disponibilidade de material lenhoso	Não	Recomendada
<b>Influências Antrópicas</b>		
Presença de animais domésticos	Sim	Ponto de Atenção
Pastagem	Sim	Ponto de Atenção
<b>Influências Antrópicas</b>		
Construção Civil	Não	Recomendada
Necessidade de Obras Civis	Sim	Recomendada
Necessidade de Uso de Maquinário	Sim	Recomendada
<b>Características Logísticas</b>		
Dificuldade de acesso	Fácil	Recomendada
Área para armazenamento de madeira	Sim	Recomendada
Área de vivência	Sim	Recomendada
Supressão de Vegetação	Não	Recomendada

Após a análise das características hidrogeomorfológicas mensuradas, não foram encontrados parâmetros que impossibilitem a execução do projeto. Apesar da disponibilidade satisfatória de abrigos para peixes, a renaturalização continua sendo recomendável neste aspecto, uma vez que outros fatores são igualmente importantes. A disponibilidade de alimentos, a diversidade de substratos e os recursos ambientais para grupos, como os macroinvertebrados bentônicos são indicadores de qualidade ambiental. Portanto, aprimorar

e/ou melhorar esses ambientes é essencial para a preservação da biodiversidade aquática como um todo, além de garantir a funcionalidade ecológica dos ecossistemas fluviais.

Em relação aos requisitos logísticos mínimos para a implementação do projeto, como a acessibilidade ao local, a disponibilidade de área para armazenamento de madeira e a construção de uma área de vivência temporária, ou a necessidade de supressão da vegetação durante o período de instalação, todos são favoráveis.

Apesar do tributário TG-16 ser considerado adequado para a implementação da renaturalização devido a características hidrogeomorfológicas, biológicas e logísticas, foi necessário revisar essa decisão apresentada em relatório de campo (APLYSIA, 2023), devido aos resultados dos estudos de modelagem hidráulica (APLYSIA, 2024a). Inicialmente, as características do trecho foram avaliadas como propícias para a renaturalização. No entanto, a análise das simulações em distintos TRs revelaram que, no cenário a partir do TR de 25 anos de grandes inundações, a velocidade do fluxo de água no tributário seria demasiadamente alta, colocando em risco as estruturas ali implementadas. Assim sendo constatada uma condição de instabilidade nas estruturas em relação a esses eventos no tributário TG-16.

Esse fenômeno se intensifica no TR de 50 anos, mesmo com presença de remanso. Esses dados apontam para uma tendência de agravamento da instabilidade à medida que o TR do evento aumenta (ver Anexos 2 e 3). Essa constatação é reforçada pela presença de recirculação do fluxo dentro do canal, que intensificam os efeitos adversos sobre as estruturas, juntamente com a interferência da estrada (passagem molhada) que atravessa o tributário TG-16.

Portanto, esses resultados indicaram que as estruturas propostas para a renaturalização não seriam capazes de resistir às forças geradas pelo fluxo de água durante as grandes cheias, principalmente em TR de 50 anos, o que poderia acarretar perda de aproximadamente 57%. Uma das medidas de mitigação em relação às forças exercidas pela velocidade do fluxo é aumentar a quantidade de estacas utilizadas na instalação das estruturas. Normalmente, são utilizados três pares de estacas para cada estrutura. No entanto, em locais com maiores velocidades, conforme recomendado pelo estudo de estabilidade das estruturas apresentado no Anexo 3 (APLYSIA, 2024b), aumentar para 12 pares de estacas pode ser suficiente para suportar as forças exercidas em um TR de 50 anos. Contudo, devido à pequena largura do canal e ao tamanho da estrutura, essa ação se torna inviável, uma vez que seria necessária uma quantidade de estacas maiores que a própria estrutura.

É importante contextualizar as informações apresentadas no relatório de campo sobre as atividades de análise de viabilidade dos trechos propostos (APLYSIA, 2023). Durante essas análises, foi sugerido que, durante períodos de cheias, o impacto da passagem molhada seria minimizado, facilitando a conexão entre as comunidades bióticas do rio e do tributário, e proporcionando habitats adequados para o desenvolvimento dessas comunidades. Embora isso seja verdadeiro, os resultados dos estudos de modelagem hidráulica realizados posteriormente (APLYSIA, 2024), revelaram que as cheias, que reduzem as limitações da relação entre a conectividade do rio e a renaturalização, têm potencial de resultar em danos significativos às estruturas ali implementadas.

Assim sendo, embora as limitações decorrentes do impacto da passagem molhada sejam consideráveis, este fator ainda é secundário para justificar a não implementação das técnicas de renaturalização neste tributário. O principal motivo para a exclusão desse tributário do escopo do projeto baseia-se nos resultados dos estudos de modelagem hidráulica, os quais indicam que a implementação do projeto não seria viável nesta área.

A conclusão dos argumentos apresentados sugere que a reconformação do canal, remoção do desnível e a criação de degraus (*step-pools*) no tributário TG-16 são recomendadas, mesmo diante da inviabilidade de implementação das técnicas de renaturalização. Pois essas intervenções reconectam o tributário ao rio principal e melhoram a dinâmica ecológica entre os ambientes.

## 4.6 TRIBUTÁRIO TG-29

### 4.6.1 Apresentação

O tributário TG-29 está localizado no trecho T09 do Plano de Manejo de Rejeitos, com comprimento total de 230m, uma profundidade média de 0,26m, e composta por uma grande área de planície de inundação. O curso d'água se desloca no sentido do rio Gualaxo do Norte com predominância de fluxo suave (Figura 12). Este tributário é caracterizado por uma baixa cobertura vegetal na zona ripária, com a vegetação rasteira composta principalmente por ervas. A predominância de ervas na vegetação rasteira indica uma paisagem dominada por gramíneas e outras plantas herbáceas de baixo porte. Esta baixa cobertura vegetal pode ser atribuída ao alto nível de impacto na zona ripária, especialmente devido à presença de pastagens, principal uso do solo na região.

Particularmente nesse tributário foi identificado que o traçado natural foi alterado, reduzindo seu comprimento e aumentando sua declividade local (PROGEN, 2022 apud NHC, 2023), além da construção de sistemas de drenagem do tipo manilhas e passagem de veículo na parte superior (Figura 13).

**Figura 12** – Localização do tributário TG-29.



Fonte: Aplysia, 2023

**Figura 13** – Manilhas de drenagem localizada no tributário TG-29.



Fonte: Aplysia, 2023.

#### 4.6.2 Intervenção Sugerida

Para o tributário TG-29 é recomendável a implementação do projeto de renaturalização em 230m de extensão. No escopo desse projeto está prevista a instalação de 12 estruturas de renaturalização, composta por 9 estruturas do tipo FG, 1 do tipo TTX e 2 do tipo TTV. O arranjo proposto para a renaturalização deste trecho é apresentada no Anexo 1 deste relatório, e o detalhamento do delineamento das configurações propostas serão apresentadas no Relatório de Design que se encontra em elaboração com previsão de entrega em maio de 2024 (APLYSIA, 2024c).

Além da renaturalização, sugere-se também conectar hidraulicamente as travessias por galerias existentes, por meio da instalação/modificação de controles hidráulicos a jusante e remover o depósito de sedimentos a montante da travessia das galerias.

A primeira intervenção realizada no tributário TG-29 após o rompimento da barragem, durante o período emergencial, consistiu na reconfiguração do curso d'água. Originalmente mais sinuoso, o tributário foi modificado para apresentar uma configuração mais retilínea, além da introdução de enrocamento. Essas alterações resultaram em um aumento na declividade do canal e na velocidade do fluxo. Uma das principais consequências ecológicas dessa intervenção foi a redução dos habitats e da diversidade hidráulica no tributário. Portanto, torna-se essencial a implementação de medidas de renaturalização para restaurar esse ecossistema.

A possível execução de obras civis para reconfigurar o canal do rio em suas condições semelhantes às anteriores ao rompimento pode trazer benefícios e prejuízos em diferentes aspectos. Como benefício pode-se citar o aumento da capacidade de drenagem do rio, reduzindo o risco de inundações em áreas adjacentes. Em contraponto, há prejuízo no processo de adaptação, comprometendo a resiliência do ecossistema alcançada desde o rompimento da barragem, além da perda de habitat natural já proporcionado após 8 anos.

Nesse contexto, a renaturalização do trecho a jusante das manilhas pode trazer benefícios consideráveis para a diversidade de habitats e fluxos, e, conseqüentemente, para as comunidades aquáticas. A disposição prevista para as estruturas promove a criação de pequenos meandros e de zonas de remansos, que auxiliarão na recuperação dos benefícios que foram perdidos com a alteração do traçado original.

De forma conjunta a renaturalização, recomenda-se a remoção do material acumulado a montante das manilhas, como sedimentos e galhos de árvores, que tende a restringir o fluxo

do tributário, proporcionando o redirecionamento mais eficiente do fluxo, facilitando o escoamento da água e trazendo melhorias para o tributário durante períodos de cheia.

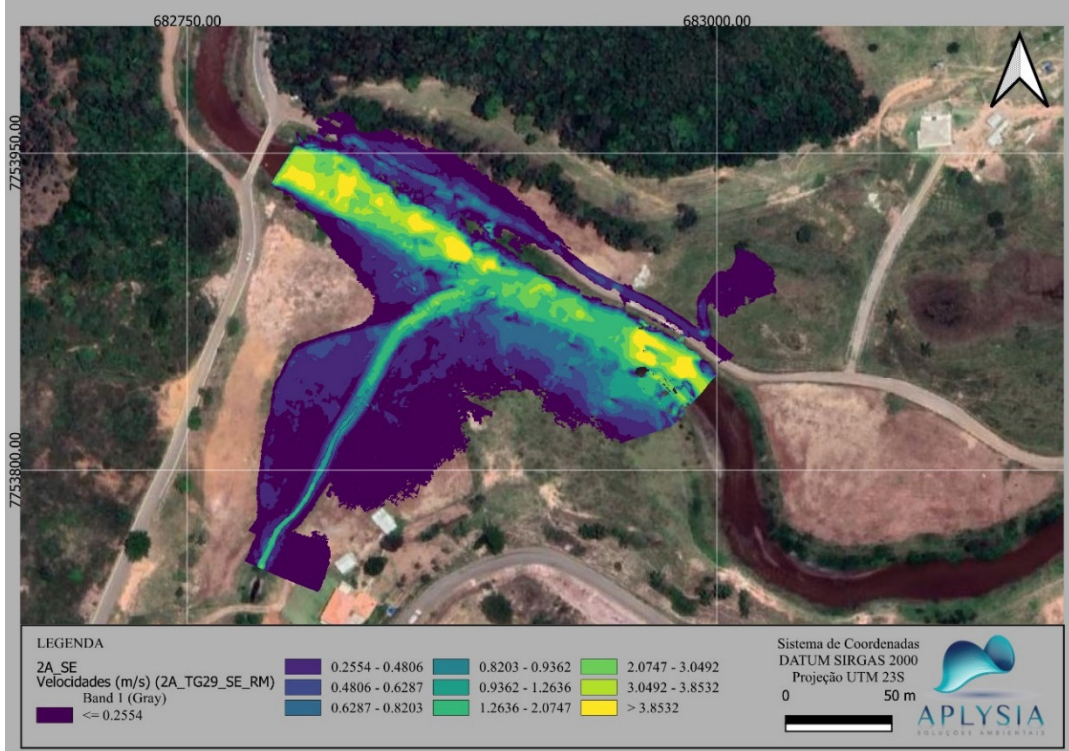
Ressalta-se que a remoção do acúmulo de sedimentos a montante das galerias de travessia não faz parte das atividades padrão do projeto ReNaturalize, mas que já foram aplicadas pela Fundação Renova no âmbito de controle de erosões e pode ser realizada antes ou durante a implementação das técnicas de renaturalização, sem comprometer o projeto.

#### **4.6.3 Estudos de Modelagem**

As simulações realizadas no estudo de modelagem hidráulica (APLYSIA, 2024a) para este tributário não revelaram impactos significativos no escoamento durante a avaliação de eventos de cheias. Segundo os estudos de modelagem hidráulica descritos no Anexo 2 deste documento, os resultados indicam que as velocidades de fluxo ficaram abaixo de 3 m/s para todos os períodos de recorrência (2, 25 e 50 anos), assim garantindo a estabilidade das estruturas instaladas (Figuras 14 a 16).

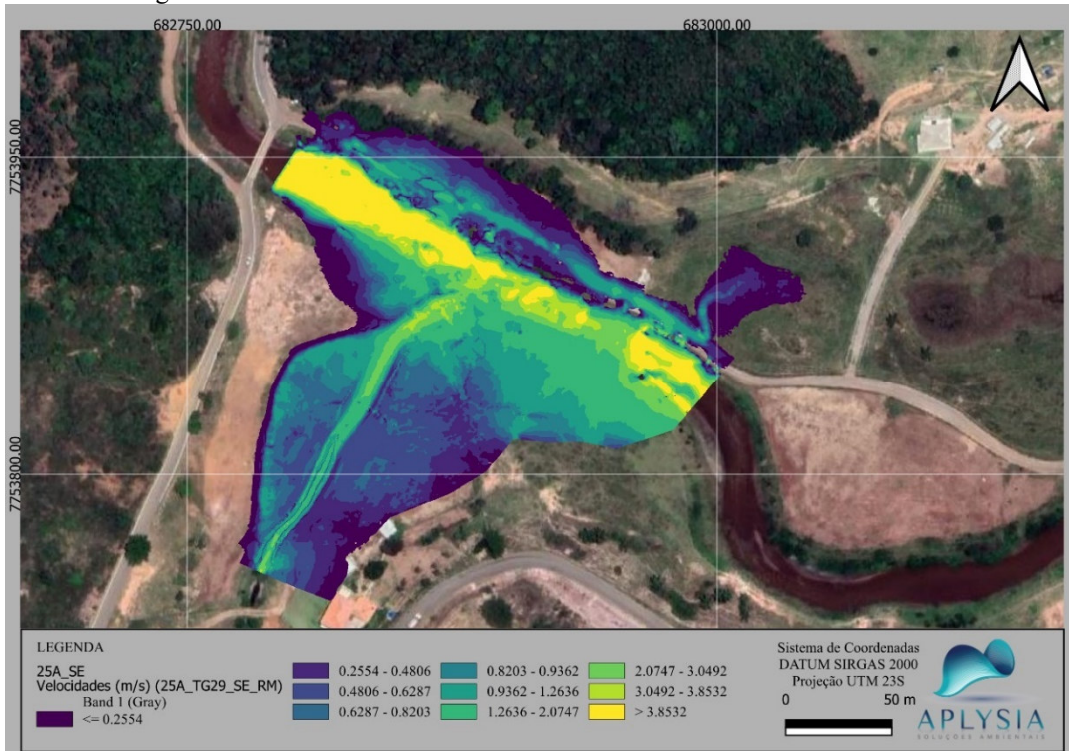
No entanto, é importante ressaltar que a presença de diversas interferências no escoamento, como as manilhas, pode resultar em cheias mais intensas, e potenciais inundações de casas e outras construções civis existentes na área. Desta forma, tanto em cenários de inundação moderada, com uma recorrência de 2 anos, quanto em situações extremas, com uma recorrência de 50 anos, a área de residência do morador local estaria sujeita a inundações, independente da instalação das estruturas.

**Figura 14** – Modelagem hidráulica do tributário TG-29 em um cenário de 2 anos.



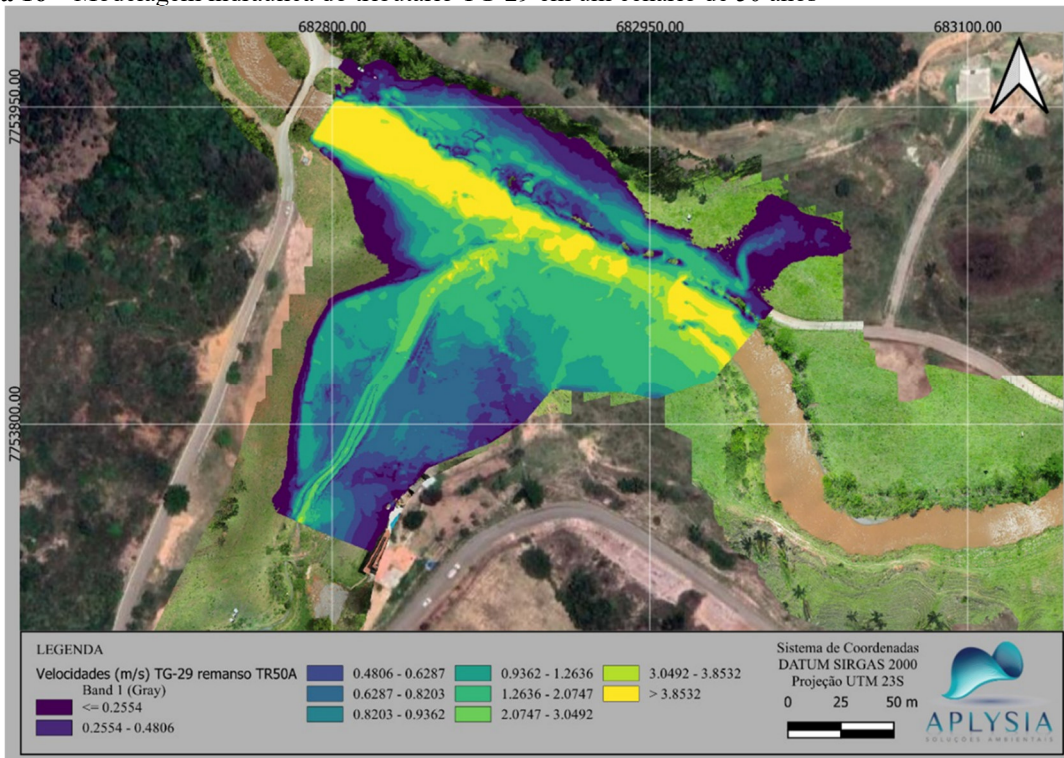
Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 15** – Modelagem hidráulica do tributário TG-29 em um cenário de 25 anos.



Fonte: Aplysia, 2024.

Figura 16 – Modelagem hidráulica do tributário TG-29 em um cenário de 50 anos



Fonte: Aplysia, 2024.

#### 4.6.4 Análise de Viabilidade

Para a análise de viabilidade da implementação do projeto de renaturalização do tributário TG-29, além das questões da reconfiguração do canal e das manilhas, outros aspectos também foram considerados. A Tabela 4 detalha a análise viabilidade, fornecendo um parecer específico para cada parâmetro, e a decisão final foi embasada seguindo as mesmas premissas apresentadas para os tributários TG-11 e TG-16.

Tabela 4 – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG-29 do rio Gualaxo do Norte.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Largura média (m)	1,7	Recomendada
Comprimento (m)	370	Recomendada
Profundidade média (m)	0,26	Recomendada
Largura média do leito sazonal (m)	8,3	Recomendada
Altura do leito sazonal (m)	1,31	Recomendada

**Tabela 4** – Parâmetros avaliados na análise de viabilidade de implementação da renaturalização no tributário TG-29 do rio Gualaxo do Norte, continuação.

Parâmetro	Resultado	Parecer Sobre a Renaturalização
<b>Características Hidrogeomorfológicas</b>		
Substrato predominante	Cascalho Fino e Areia	Recomendada
Fluxo predominante	Fluxo Suave	Recomendada
Planície de inundação	Sim	Recomendada
Barreira Física	Sim	Recomendada melhoria
Conexão com rio	Sim	Recomendada
Lagoa Marginal	Não	Neutro
<b>Modelagem Hidráulica</b>		
TR 2 anos	Fluxo Baixo	Recomendada
TR 25 anos	Fluxo Intermediário	Recomendada
TR 50 anos	Fluxo Intermediário	Recomendada
Inundação de Área Civil	Sim	Não Recomendada
<b>Estabilidade das Estruturas</b>		
Avaliação de Vulnerabilidade	Baixa	Recomendada
Possibilidade de Mitigação	Não Aplica	Não Aplica
<b>Características Biológicas</b>		
Abrigo para Peixes	Ruim	Recomendada
Vegetação Ripária	Baixa	Recomendada
Disponibilidade de material lenhoso	Não	Recomendada
<b>Influências Antrópicas</b>		
Presença de animais domésticos	Sim	Recomendada
Pastagem	Sim	Recomendada
Construção Civil	Sim	Recomendada
Necessidade de Obras Civis	Não	Recomendada
Necessidade de Uso de Maquinário	Não	Recomendada
<b>Características Logísticas</b>		
Dificuldade de acesso	Fácil	Recomendada
Área para armazenamento de madeira	Sim	Recomendada
Área de vivência	Sim	Recomendada
Supressão de Vegetação	Não	Recomendada

Com base nas características hidrogeomorfológicas do tributário, não foram encontrados parâmetros que inviabilizem a execução do projeto de renaturalização. As simulações realizadas indicaram que o corpo d'água apresenta fluxo suave, e que não afetam a estabilidade das estruturas (baixa vulnerabilidade). Quanto à disponibilidade de abrigo para peixes, foi observada uma condição ruim, o que necessita ser melhorado. Os requisitos logísticos mínimos para a implementação do projeto, como acessibilidade ao local e

disponibilidade de área para armazenamento de materiais, construção de áreas temporárias de vivência e necessidade de supressão vegetal durante o período de instalação, demonstraram-se favoráveis.

Embora as simulações não tenham indicado impactos significativos no escoamento durante a análise do evento de cheia, é relevante observar que várias interferências podem ocasionar cheias mais intensas, independentemente da instalação das estruturas de renaturalização. De acordo com os resultados dos estudos de modelagem (APLYSIA, 2024a), não há uma relação direta entre as inundações iminentes e a instalação de estruturas de renaturalização, ou seja, as inundações podem ocorrer independentemente da presença ou ausência de estruturas.

Em relação a execução da reconfiguração do canal, essa intervenção pode trazer mais prejuízos do que benefícios do ponto de vista ecológico. Isso se deve ao fato de o ambiente já demonstrar um grau relativamente avançado de resiliência ecológica, mesmo diante dos impactos antrópicos locais. Sendo essas questões respaldadas pela presença de organismos bentônicos e peixes na área afetada, observada em visitas de campo. Além disso, por representar uma extensão pequena do rio, os benefícios que poderiam ser obtidos são consideravelmente limitados quando comparados com os impactos provenientes da realização de tal obra.

A conclusão dos argumentos apresentados sugere que não há impedimentos técnicos para a implementação das estruturas de renaturalização no trecho após a jusante das manilhas, e portanto, a implementação do projeto ReNaturalize neste trecho é considerada viável. De forma complementar a renaturalização, também é recomendado conectar hidraulicamente as travessias, por meio da instalação/modificação de controles hidráulicos a jusante e remover o depósito de sedimentos a montante da travessia das galerias. No entanto, por ser um local passível de inundações, é crucial considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também as implicações estratégicas, fundiárias e os impactos legais para os moradores locais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento apresenta a viabilidade de implementação do Projeto ReNaturalize conforme o modelo conceitual do escopo proposto pela Aplysia nos tributários TG-11, TG-16 e TG-29, em atendimento as requisições realizadas pela Deliberação CIF nº 730 de 2023. A avaliação teve como base os levantamentos e inspeções de campo conduzidos

pela Aplysia (APLYSIA, 2023), dados levantados através dos protocolos de avaliação de habitats que serão apresentados no Relatório de Design (APLYSIA, 2024c – entrega prevista para maio de 2024), estudos de modelagem hidráulica (APLYSIA, 2024a) e estabilidade das estruturas (APLYSIA, 2024b), os dois últimos apresentados nos Anexos 2 e 3. Também foram considerados os estudos e recomendações propostos nos estudos realizados pela Golder (2016), NHC (2022a; 2022b), NHC (2023) e NHC (2024).

**TG-11: A análise dos parâmetros de viabilidade para a implementação do Projeto ReNaturalize no TG-11 demonstra que as condições nesse tributário são favoráveis para implementação das técnicas de renaturalização propostas, as quais têm o potencial de proporcionar benefícios significantes ao ecossistema aquático.**

A proposta de renaturalização para o TG-11, seguindo os conceitos e técnicas propostos pela Aplysia, pode ser executada sem a necessidade de obras civis de grande porte ou de maquinaria pesada. Embora a remoção da barreira não seja uma condição para a implementação da renaturalização, sendo realizada em conjunto com a renaturalização, representa uma medida eficaz para promover a restauração ecológica e melhorar a qualidade dos habitats fluviais. Pelo fato das estruturas de renaturalização propostas serem localizadas a montante do local do desnível, é recomendável que a obra para remoção do desnível e eventual criação de *step-pools* seja realizada antes da implementação da renaturalização a ser executada pela Aplysia, e podem ser avaliadas pelos programas que implementam ações de controle de processos erosivos da Fundação Renova.

**TG-16: No caso do tributário TG-16, a implantação das estruturas de renaturalização não se mostra viável tecnicamente. No entanto é recomendável que seja implementada a reconformação do canal, remoção do desnível e a criação de degraus (*step-pools*) no tributário TG-16, mesmo diante da inviabilidade de implementação das técnicas de renaturalização.** As análises de modelagem hidráulica indicaram que, em um cenário de recorrência de inundação de 50 anos, as estruturas instaladas não resistiriam às forças geradas pelo fluxo de água. Isso implica em um risco significativo de danos ou perda das estruturas instaladas, o que comprometeria os benefícios esperados para o ecossistema local. A execução dessas intervenções pode ser avaliada pelos programas que implementam ações de controle de processos erosivos da Fundação Renova.

**TG-29: Em relação ao tributário TG-29, a renaturalização se mostra viável tecnicamente.** No entanto, avalia-se que a alteração do canal, que atualmente apresenta um

traçado mais retilíneo em relação ao seu curso original, traria mais prejuízos que benefícios e não se mostra viável. Em contrapartida, a implantação de estruturas de renaturalização se mostra como uma alternativa viável a restauração de novos habitats físicos e o aumento da complexidade do padrão de fluxo. Esta intervenção contribuirá para o processo de meandramento do canal, promovendo uma configuração mais natural das características do tributário. Também se recomenda, de forma conjunta ao projeto de renaturalização executado pela Aplysia, a execução das recomendações para conectar hidraulicamente as travessias. Essas intervenções complementares podem ser avaliadas pelos programas que implementam ações de controle de processos erosivos da Fundação Renova.

Para o TG-29 não há impedimentos técnicos que inviabilizem a implementação do projeto de renaturalização nesse tributário. Entretanto, devido recorrência de inundações na área, é crucial considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também as implicações estratégicas, fundiárias e os impactos para os moradores locais. Ressalta-se que os resultados dos estudos de modelagem hidráulica indicam que, independentemente da presença ou ausência das estruturas, a área de residência do morador local seria afetada por inundações em todos os cenários de recorrência testados (2, 25 e 50 anos), e mesmo que a implantação das estruturas não seja responsável pelas inundações é reconhecido que pode haver prejuízos ao proprietário.

Ressalta-se que intervenções com obras civis para remoção dos desníveis e a criação de degraus (*step-pools*) são atividades que não fazem parte do escopo e modelo conceitual estabelecido pela Aplysia. Estes tipos de intervenções já foram executadas no passado no âmbito dos trabalhos de controle de erosão, e serão direcionados a Fundação Renova.

É importante destacar que os projetos de renaturalização em tributários afetados pelo rompimento de barragens são considerados iniciativas-piloto, que devido às diferenças hidrogeomorfológicas, necessitam de *design* de elaboração distintos aos já implementados no rio Gualaxo do Norte. Mesmo sendo corpos d'água de pequenas dimensões, as intervenções de restauração nesses tributários não são simples. Isso se deve à complexidade dos sistemas locais, à variedade de interferências antrópicas, aos conflitos fundiários e à sobreposição com projetos emergenciais já implementados.

Com base nas análises realizadas neste estudo de viabilidade de implementação das técnicas de renaturalização, fica evidente que replicar essas abordagens em outros tributários apresenta limitações que requerem consideração. As extensões desses tributários podem ser

vistas como relativamente pequenas dentro do contexto do projeto, podendo restringir tanto a viabilidade técnica, quanto econômica da aplicação dessas técnicas. Além disso, em alguns tributários, especialmente em suas partes mais a montante, já se observa uma boa qualidade ambiental estabelecida. Cada tributário possui suas próprias particularidades que requerem uma avaliação detalhada, incluindo intervenções realizadas durante o período emergencial, o que implica em estudos prévios detalhados antes de considerar a aplicação das técnicas de renaturalização. Dessa forma, a replicação dessas abordagens para outros tributários deve ser avaliada, levando em conta as particularidades de cada corpo d'água e suas necessidades individuais, reconhecendo que os benefícios esperados podem ser limitados em determinados contextos.

A presente análise limitou-se a estudar a viabilidade técnica, conforme a Deliberação CIF nº 730 de 2023. A implementação da Renaturalização nos tributários, de acordo com o modelo concebido e implantado no rio Gualaxo do Norte, está sujeita à autorização dos proprietários e à obtenção das licenças necessárias junto aos órgãos competentes.

Além disso, é importante ressaltar que o trabalho realizado neste estudo possui um nível de detalhamento adequado ao objetivo de análise de viabilidade. No entanto, os conceitos apresentados, os arranjos e os tipos de intervenções descritas precisam ser detalhados e poderão ser modificados durante as fases de projetos subsequentes, o que pode resultar em alterações na área e extensão de implantação, ou até mesmo reavaliação da necessidade de implantação.

Por fim, entende-se que as análises apresentadas neste documento, e nos seus anexos, atendem as requisições feitas pela Deliberação CIF nº 730 de 2023.

## 6. EQUIPE TÉCNICA

EQUIPE TÉCNICA			
RESPONSABILIDADE / CARGO	NOME	FORMAÇÃO	CRBIO
Responsável Técnica	Dr <sup>a</sup> . Tatiana Furley	Bióloga	15.386/02
Diretora de Projetos	Noelle Arruda	Oceanógrafa	*
Gerente de Projetos	Joselaine Lombardi Siqueira	Bióloga	60.791/02
Elaboração do documento	MSc. Kátia Regina Chagas	Bióloga	65.888/02
Elaboração do documento	Dr. Douglas de Pádua Andrade	Biólogo	10.4366/04

## 7. DADOS DA CONTRATANTE E DA CONTRATADA

### 7.1 IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE

**Razão Social:** Fundação Renova

**Número do CNPJ:** 25.135.507/0001-83

**Endereço:** Av. Getúlio Vargas, 671 - Belo Horizonte- MG

CEP: 30112-021

**E-mail:** hana.fernandes@fundacaorenova.org

**Telefone:** (31) 3289-9836

### 7.2 IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATADA

**Razão Social:** APLYSIA ASSESSORIA E CONSULTORIA LTDA

**Número do CNPJ:** 02.290.210/0001-97

**Endereço:** Rua: Júlia Lacourt Penna, 335 - Jardim Camburi - Vitória - ES.

CEP: 29090-210

**E-mail:** noelle@aplysia.com.br

**Telefone:** (27) 3024-8303

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. 4ª Campanha – setembro e outubro de 2020. Relatório Técnico nº 496/2020 - Revisão 03. 2020.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. (Relatório Final das Campanhas de Monitoramento 2018-2021. Relatório Técnico nº Relatório de Técnico nº 010/2022- Revisão 03. 2022a.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Relatório Integrado das Campanhas de Monitoramento do Trecho 9. Relatório Técnico nº Relatório de Técnico nº 289/2022- Revisão 02. 2022b.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Etapa 1: Validação dos Trechos, Pré-Design de Instalação, Topobatimetria e Protocolo de Avaliação de Habitats. Relatório de Campo 237/2023. Revisão 01. 2023.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Modelagem Hidráulica dos trechos RGN-A, RGN-B, RGN-C, RGN-D, TG-11, TG-16 e TG-29. Relatório Técnico 003/2024. Revisão 02, 2024a.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Estabilidade das estruturas dos trechos RGN-A, RGN-B, RGN-C, RGN-D, TG-11, TG-16 e TG-29. Relatório Técnico 003/2024. Revisão 02, 2024b.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Relatório de Design das Estruturas. Relatório Técnico 024/2024 (em elaboração). Revisão 00, 2024c.

APLYSIA. Renaturalização do Rio Gualaxo do Norte. Design de Instalação. Relatório Técnico 028/2024. Revisão 00, 2024c.

BABBITT, B. What Goes Up, May Come Down. *BioScience*, 52(8), 2002.

BEAUNE, D.; SELIER, Y. Stream restorations with meanders increase dragonfly and damselfly diversity and abundance, including an endangered species. *Journal for Nature Conservation*, 60, 125950, 2021.

BEISEL, J.N.; USSEGLIO-POLATERA, P.; MORETEAU, J.C. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia* 422/423: 163–171, 2000.

BENKE, A. C.; WALLACE, J. B. Influence of wood on invertebrate communities in streams and rivers', *Ecology and Management of Wood in World Rivers*, v.37, p.149-177, 2003.

BENNETT, C.; GILCHRIST, W. River flies. In *Silent Summer*. New York: Cambridge University Press, 2010.

BRANCO, P.; AMARAL, S. D.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, J. M. Do small barriers affect the movement of freshwater fish by increasing residency? *Science of The Total Environment*, 2017.

BROOKS, A.P. Design guideline for the reintroduction of wood into Australian streams. Land & Water Australia, Canberra. 2006.

BROOKS, A. P., GEHRKE, P. C., JANSEN, J. D., ABBE, T. B. Experimental reintroduction of Woody Debris on the Williams River, NSW: Geomorphic and ecological responses. *River Research and Applications*, 20(5), 513–536, 2004.

BUFFINGTON, J.M.; MONTGOMERY, D.R. Effects of Hydraulic Roughness on Surface Textures of Gravel-Bed Rivers. *Water Resources Research*, 35(11), 3507–3521, 1999a.

BUFFINGTON, J.M.; MONTGOMERY, D.R. Effects of sediment supply on surface textures of gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, 35(11), 3523–3530, 1999b.

CASHMAN, M.J.; WHARTON, G.; HARVEY, G.L.; NAURA, M.; BRYDEN, A. Trends in the use of large wood in UK river restoration projects: insights from the National River Restoration Inventory. *Water and Environment Journal*, 2018.

CORRELL, D. L. Principles of planning and establishment of buffer zones. *Ecological Engineering*, v. 24, n. 5, p. 433-439, 2005.

CULP, J. M.; SCRIMGEOUR, G. J.; TOWNSEND, G. D. Simulated fine woody debris accumulations in a stream increase rainbow trout fry abundance. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.125, n. 3, p. 472-479, 1996. *Revista Brasileira de Zoologia* 24 (3): 545–551, 2007

CUNHA, D.G.F.; SALTARELLI, W.A.; BEGA, J.M.M.; FINKLER, N.R.; FERREIRA, M.S.; FURLEY, T.H.; SCHILLER, D.V.; DODDS, W.K. Assessing Restoration of Ecosystem

CURTIS, J.A.; GUERRERO, T.M. Geomorphic Mapping to Support River Restoration on the Trinity River Downstream from Lewiston Dam, California, 1980–2011. Relatório N° 2015–1047, preparado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) em cooperação com Trinity River Restoration Project, 2015.

DIXON, S. J.; SEAR, D. A. The Effects of Large Wood and Forest Management on Flood Risk and Flood Hydrology. *Water Resources Research*, 2014.

DOYLE, M.W.; STANLEY, E.H.; HARBOR, J.M. Geomorphic analogies for assessing probable channel response to dam removal. *Journal of the American Water Resources Association*, v.38, 2002.

EXTENCE, C. A.; CHADD, R. P.; ENGLAND, J.; DUNBAR, M. J.; WOOD, P. J.; TAYLOR, E. D. The Assessment of Fine Sediment Accumulation in Rivers Using Macro-Invertebrate Community Response. *River Research and Applications*, v. 29, n. 1, p. 17-55, 2013.

FLORES, L., LARRAÑAGA, A., DÍEZ, J. R., ELOSEGI, A. Experimental wood addition in streams: Effects on organic matter storage and breakdown. *Freshwater Biology*, 56, 2156–2167, 2011.

FRIBERG, N., BAATTRUP-PEDERSEN, A., KRISTENSEN, E., KRONVANG, B., LARSEN, S. E., PEDERSEN, M. L., SKRIVER, J., THODSEN, H., IBERGLARSEN, P. The river Gelså restoration revisited: Habitat specific assemblages and persistence of the macroinvertebrate community over an 11-year period. *Ecological Engineering*, 66, 150–157, 2014.

FURLEY, T.H.; CALADO, S.L.M.; MENDES, L.B.; CHAGAS, K.R.; ANDRADE, D.P.; ALVES, C.B.M.; BELO, P.I.D.; RIBEIRO-FILHO, P.S.M.; NIENCHESKI, L.F.H. Short-term hydromorphological and ecological responses of using woody structures for river restoration in a tailing-impacted tropical river. *Integrated Environmental Assessment and Management, Special Series*, 2022.

GLENN, E.P.; NAGLER, P.L.; SHAFROTH, P.B.; JARCHOW, C.J. Effectiveness of environmental flows for riparian restoration in arid regions: A tale of four rivers. *Ecological Engineering*, 2017.

GIPPEL, C. J. Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. *Journal of Environmental Engineering*, v. 121, n. 5, p. 388-395, 1995.

GOLDER. Avaliação das opções de revestimento para as calhas dos tributários, 2016.

GOTHE, E.; TIMMERMANN.; JANUSCHKE, K.; BAATTRUP-PEDERSEN, A. Structural and functional responses of floodplain vegetation to stream ecosystem restoration. *Hydrobiologia*, 2015.

GRAF, W.L. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, v.79, 2006.

GROLL, M. The passive river restoration approach as an efficient tool to improve the hydromorphological diversity of rivers – Case study from two river restoration projects in the German lower mountain range. *Geomorphology*, 2017.

HERDRICH, A.T.; WINKELMAN, D.L.; VENARSHY, M.P.; WALTERS, D.M.; WOHL, E. The loss of large wood affects rocky mountain trout populations. *Ecology of Freshwater Fish*, 2018.

HÖCKENDORFF, S., TONKIN, J. D., HAASE, P., BUNZEL-DRÜKE, M., ZIMBALL, O., SCHARF, M., STOLL, S. Characterizing fish responses to a river restoration over 21 years based on species' traits. *Conservation Biology*, 31, 1098–1108, 2017.

JACOBS; CH2M. Plano de Manejo de Rejeito. Revisão 01. 2017.

JOHNSON, T. A. N., KAUSHAL, S. S., MAYER, P. M., SMITH, R. M., SIVIRICHI, G. M. Nutrient retention in restored streams and rivers: A global review and synthesis. *Water*, 118, 8040116, 2016.

JONES, J.; BÖRGER, L.; TUMMERS, J.; JONES, P.; LUCAS, M.; KERR, J.; de LEANIZ, C.G. A comprehensive assessment of stream fragmentation in Great Britain. *Science of The Total Environment*, 2019.

JUSTINA, C.R.V.; LUGON-JUNIOR, J.; FERREIRA, M.I.P.; RODRIGUES, P.P.W. Nature based solutions as a promising alternative for river restoration and flood reduction. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 2019.

KAIL, J.; BRABEC, K.; POPPE, M.; JANUSCHKE, K. The effect of river restoration on fish, macroinvertebrates and aquatic macrophytes: A meta-analysis. *Ecological Indicators* 58, 2015.

KAIL, J.; MCKIE, B.; VERDONSCHOT, P.F.M.; HERING, D. Preface: Effects of hydromorphological river restoration - a comprehensive field investigation of 20 European projects. *Hydrobiologia*, 2016.

KEECH, D.; CLARKE, L.; SHORT, C. Nature-Based Solutions in Flood Risk Management: Unlocking Spatial, Functional and Policy Perceptions Amongst Practitioners in South-West England. *Nature-Based Solutions*, 4, 2023.

KING, S.; O'HANLEY, J.R.; NEWBOLD, L.R.; KEMP, P.S.; DIEBEL, M.W. A toolkit for optimizing fish passage barrier mitigation actions. *Journal of Applied Ecology*, 54, 599–611, 2017.

KAUFMANN, P.; LEVINE, P.; ROBISON, E.; SEELIGER, C.; PECK, D. Quantifying physical habitat in wadeable streams. Environmental Protection Agency (EPA), Washington. 1999.

LÜDERITZ, V., SPEIERL, T., LANGHEINRICH, U., VÖLKL, W., GERSBERG, R. M. Restoration of the Upper Main and Rodach rivers—The success and its measurement. *Ecological Engineering*, 37, 2044–2055, 2011.

LU, W.; FONT, R.A.; CHENG, S.; WANG, J.; KOLLMANN, J. Assessing the context and ecological effects of river restoration – A meta-analysis. *Ecological Engineering*, 136, 2019.

MAGLIOZZI, C., MEYER, A., USSEGLIO-POLATERA, P., ROBERTSON, A., GRABOWSKI, R. C. Investigating invertebrate biodiversity around large wood: Taxonomic vs functional metrics. *Aquatic Sciences*, 82(4), 69, 2020.

MILESI, S.V.; DOLÉTEC, S.; MELO, A.S. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. *Freshwater Science*, 35(4), 2016.

MILLER, J. R.; KOCHER, R. C. Use and performance of in-stream structures for river restoration: A case study from North Carolina. *Environmental Earth Sciences*, 68(6), 1563–1574, 2013.

NEUHAUS, V.; MENDE, M. Engineered Large Wood Structures in Stream Restoration Projects in Switzerland: Practice-Based Experiences. *Water*, 2021.

NHC. Avaliação inicial de áreas prioritárias a receberem intervenções para recuperação de habitats – Revisão 06. São Paulo, 2022a.

NHC. Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 À T11 e Definição Da Condição de Referência: Relatório Final - Revisão 3. São Paulo, agosto de 2022b.

NHC. Memorando Técnico 2. Comentários sobre as observações de campo. São Paulo. Revisão 2, 2023.

NOATCH, M.R.; SUSKI, C.D. Non-physical barriers to deter fish movements. *Environmental Reviews*, 20(1), 71–82, 2012.

NUNN, A. D.; COWX, I.G. Restoring River Connectivity: Prioritizing Passage Improvements for Diadromous Fishes and Lampreys. *AMBIO*, 41(4), 402–409, 2012.

PIÉGAY, H.; ARMAUD, F.; BELLETTI, B.; CASSEL, M.; MARTEAU, B.; RIQUIER, J.; ROUSSON, C.; VAZQUEZ-TARRIO, D. Why Consider Geomorphology in River Rehabilitation?. *Land*, 2023.

POTSCHIN, M.; KRETSCH, C.; HAINES-YOUNG, R.H.; FURMAN, E. Nature-Based Solutions. *OpenNESS*, 2016.

RADINGER, J.; HÖLKER, F.; HORKÝ, P.; SLAVÍK, O.; WOLTER, C. Improved river continuity facilitates fishes' abilities to track future environmental changes. *Journal of Environmental Management*, 208, 169–179, 2018.

RAYMOND, C.M.; FRANTZESKAKI, N.; KABISCH, N.; BERRY, P.; BREIL, M.; NITA, M.R.; GENELETTI, D.; CALFAPIETRA, C. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science and Policy*, n. 77, p. 15–24, 2017.

RINALDI, M.; BELLETTI, B.; BERGA CANO, M.I. Final report on methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers. Deliverable 6.2, 2015.

RANA, S. M. M., SCOTT, D. T., HESTER, E. T. Effects of in-stream structures and channel flow rate variation on transient storage. *Journal of Hydrology*, 548, 157–169, 2017.

ROBERTSON, A.L.; PERKINS, D.M.; ENGLAND, J.; JOHNS, T. Invertebrate Responses to Restoration across Benthic and Hyporheic Stream Compartments. *Water*, 2021.

SCHIENER, F. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Hydrobiologia* 422/423: 271–278, 2000.

SULLIVAN, B.G.; TAYLOR, M.K.; CARLI, C.; WARD, T.D.; LENNOX, R.J.; COOKE, S.J. Partial dam removal restores passage for a threatened salmonid. *River Research and Applications*, 2019.

STEWART-KOSTER, B.; BUNN, S.E.; MACKAY, S.J.; POFF, N.L.; NAIMAN, R.J.; LAKE, P.S. The use of Bayesian networks to guide investments in flow and catchment restoration for impaired river ecosystems, 55(1), 243–260, 2010.

STOFFERS, T.; BUIJSE, A.D.; GEERLING, G.W.; JANS, L.H.; SCHOOR, M.M.; POOS, J.J.; VERRETH, J.A.J.; NAGELKERKE, L.A.J. Freshwater fish biodiversity restoration in floodplain rivers requires connectivity and habitat heterogeneity at multiple spatial scales. *Science of the Total Environment*, 2022.

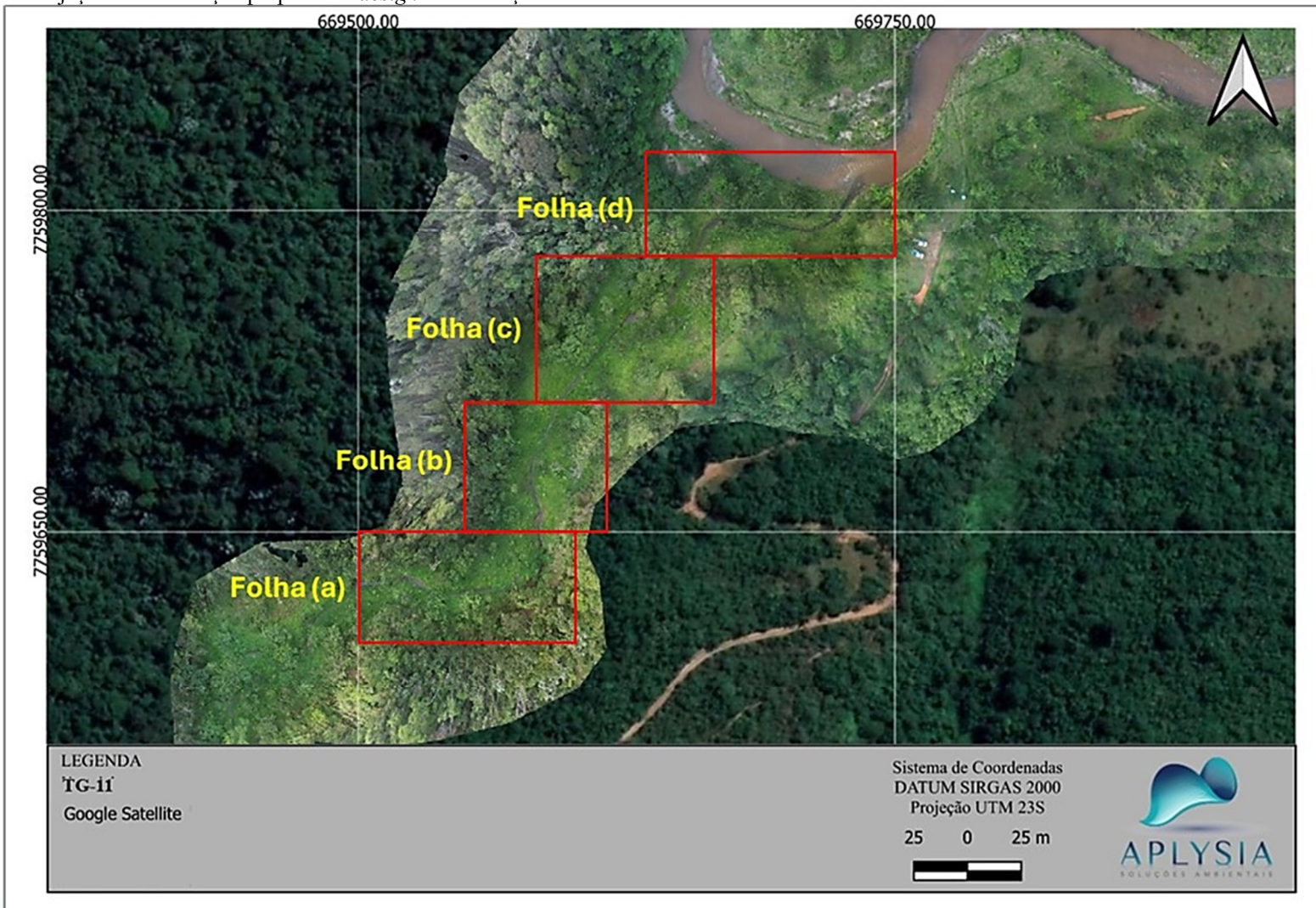
WEGSCHEIDER, B, LINNANSAARI, T, CURRY, RA. Mesohabitat modelling in fish ecology: A global synthesis. *Fish*. 2020.

WOHL, E., KRAMER, N., RUIZ-VILLANUEVA, V., SCOTT, D. N., COMITI, F., GURNELL, A. M., PIEGAY, H., LININGER, K. B., JAEGER, K. L., WALTERS, D. M., FAUSCH, K. D. The natural wood regime in rivers. *BioScience*, 69(4), 259–273, 2019.

WOHL, E.; STUART, N.L.; WILCOX, A. The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 2015.

# ANEXO 1

Figura 1 – Projeção da localização proposta do *design* de instalação no tributário TG-11.



Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 2** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-11 – Folha (a).



Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 3** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-11 – Folha (b).



Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 4** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-11 – Folha (c).



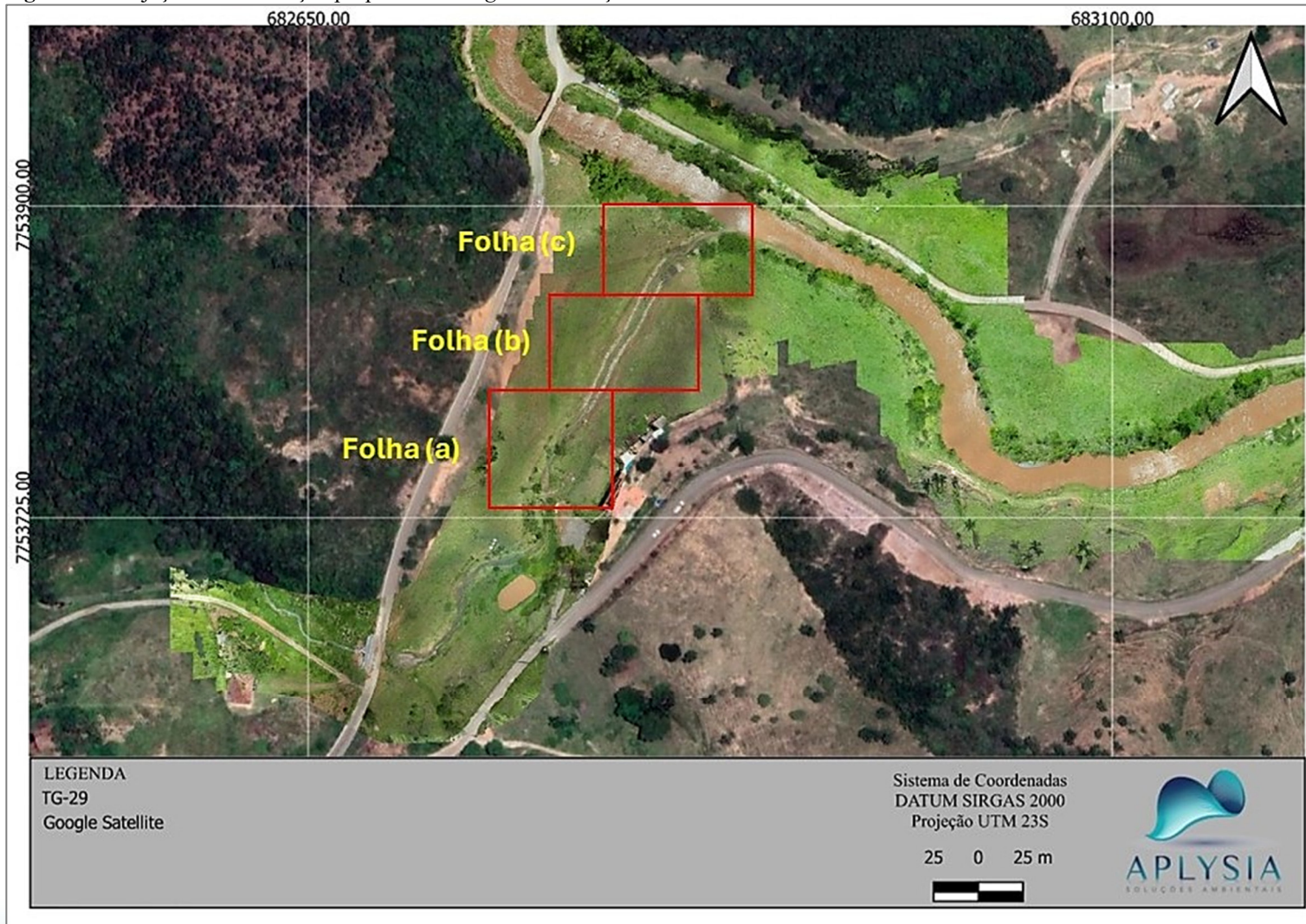
Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 5** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-11 – Folha (d).



Fonte: Aplysia, 2024.

Figura 6 – Projeção da localização proposta do *design* de instalação no tributário TG-29.



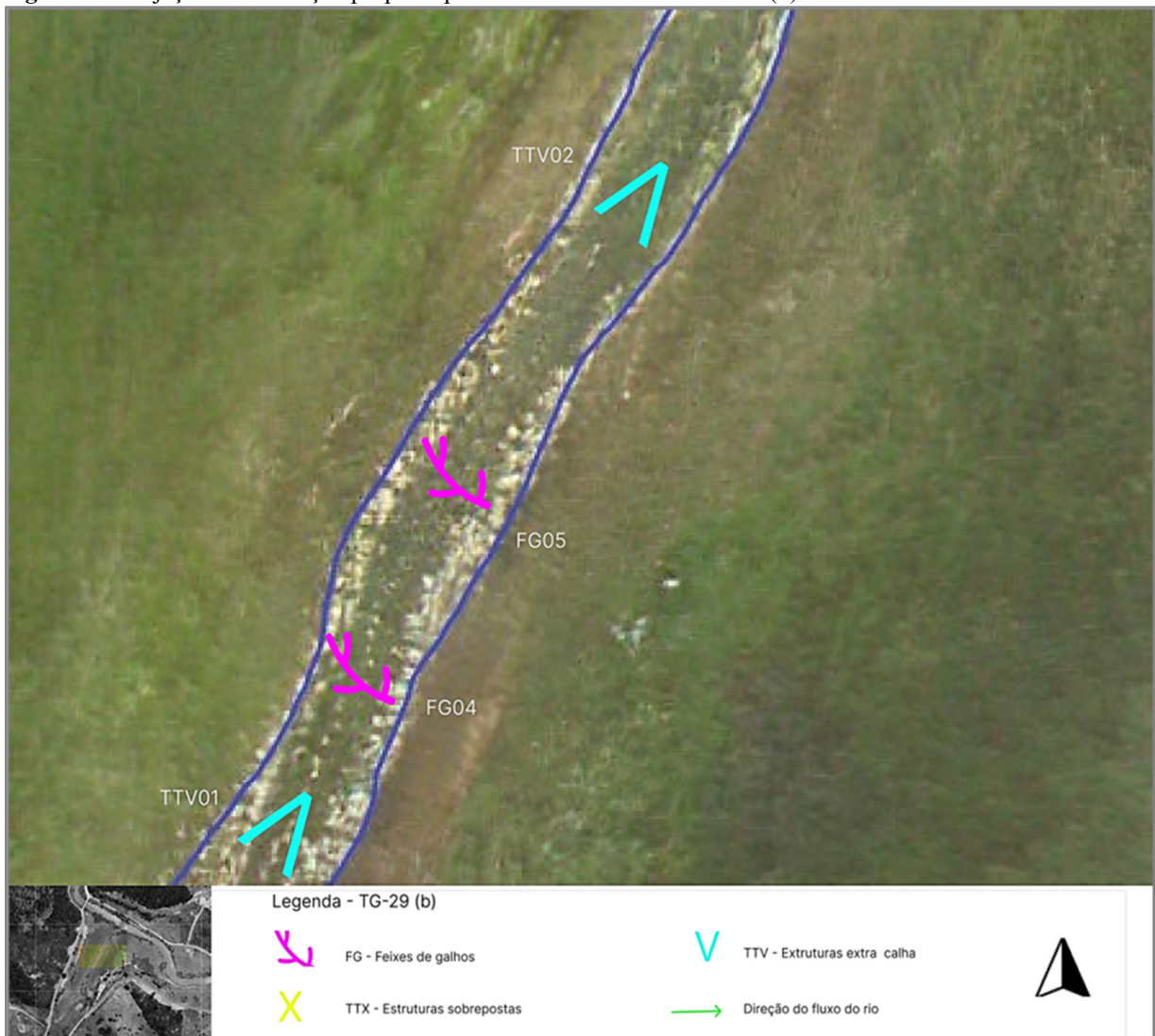
Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 7** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-29 – Folha (a).



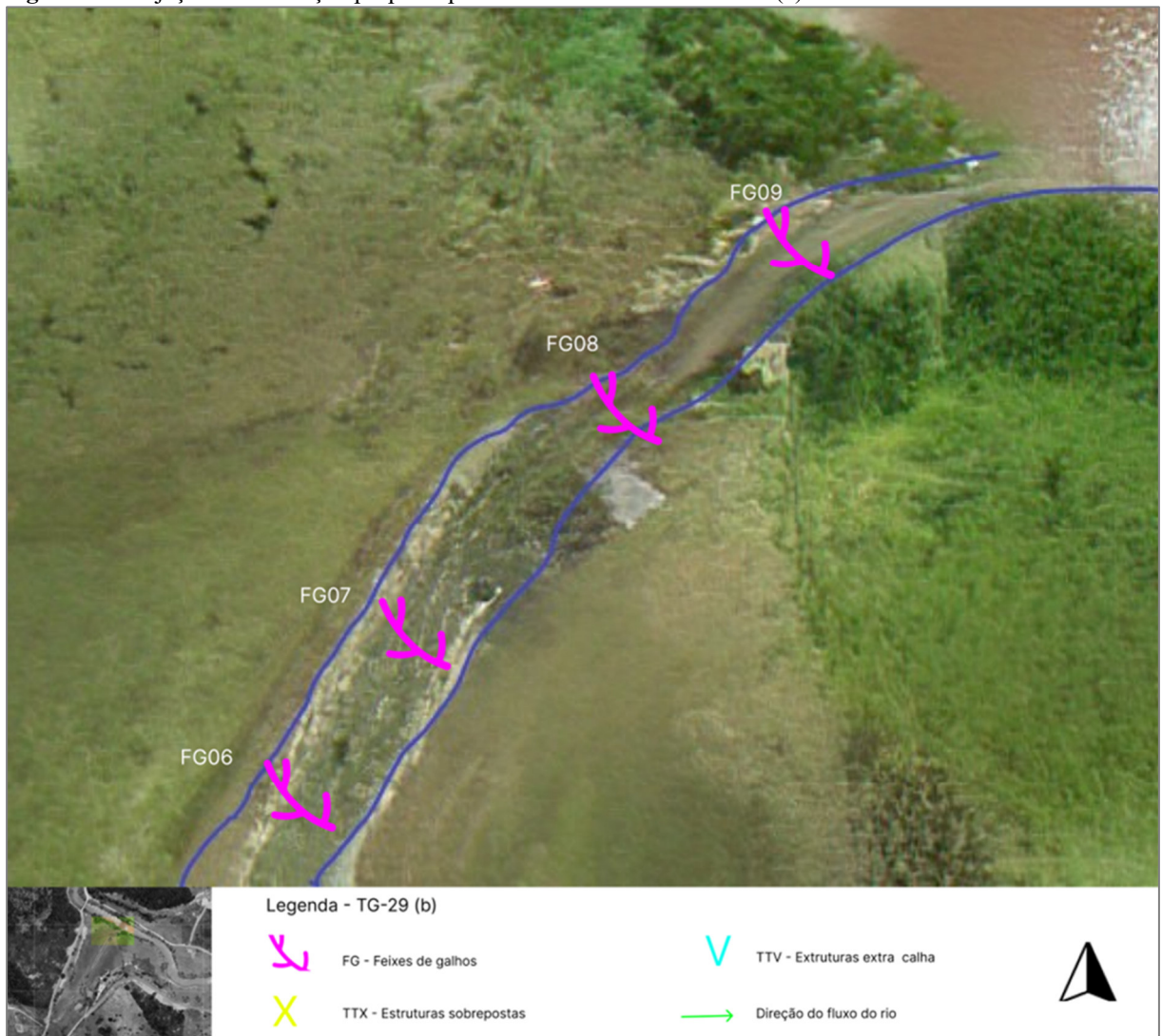
Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 8** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-29 – Folha (b).



Fonte: Aplysia, 2024.

**Figura 9** – Projeção de instalação proposta para o tributário TG-29 – Folha (c).



Fonte: Aplysia, 2024.