



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
OURO PRETO

MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL



Diretrizes Técnicas para Proposta Conceitual de Intervenção Fluvial no Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa (BA)



Agosto - 2025



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
OURO PRETO**

MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL –
MIDR**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

RELATÓRIO – META 2 – ETAPA 6

**DIRETRIZES TÉCNICAS PARA PROPOSTA CONCEITUAL DE INTERVENÇÃO
FLUVIAL NO RIO SÃO FRANCISCO EM BOM JESUS DA LAPA (BA)**

Agosto - 2025

Universidade Federal de Ouro Preto

Reitor

Luciano Campos da Silva

Grupo de Trabalho

Coordenador

Aníbal da Fonseca Santiago

Ficha Técnica

Produto nº 2 – Relatório referente às atividades da Meta 2, Etapa 6, previstas no Plano de Trabalho firmado entre a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

Equipe Técnica

Alexia Saleme Aona de Paula Pereira

Aline de Araújo Nunes

Ana Carolina Lopes Dias

Ana Letícia Pilz de Castro

Ana Paula Maciel de Castro

Bianca Barros Marangon

Bruno Silva Henriques

Eduardo Morgan Uliana

Giulio Pacheco Forato Belga

Iara Barbosa Magalhães

Igor Rodrigues Quintão

Ítalo Oliveira Ferreira

Jackeline de Siqueira Castro

Jeann Cristian Caldeira

Laura Coelho de Andrade

Lucas de Almeida Bertoncini Dorini

Luís Felipe Figueiredo Mafra

Marina da Silva Reis Assis

Matheus Quintão Braga

Múcio André dos Santos Alves Mendes

Rafael Carvalho Nogueira da Gama

Sabrina do Carmo Alves

Tamara Daiane de Souza

Vinícius José Ribeiro

Vitor Reis Castellar

Sumário

1. Contextualização	7
2. Justificativa	8
3. Objetivos.....	8
3.1. Objetivo Geral.....	9
3.2. Objetivos Específicos.....	9
4. Caracterização	10
4.1. Delimitação da área de estudo	10
4.1.1. Aspectos Socioeconômicos.....	11
4.1.2. Aspectos Físicos e Bióticos	13
4.2. Levantamento de Dados Secundários	18
4.2.1. Aquisição e Processamento das Imagens.....	19
4.2.2. Análise dos Dados e Implementação da Classificação Supervisionada com Machine Learning	22
4.3. Caracterização do Problema	27
5. Descrição das Alternativas	36
5.1. Delimitação das Áreas de Abrangência Ambiental	40
6. Dimensionamento Preliminar	42
6.1. Critérios de Dimensionamento	43
6.1.1. Espigões	43
6.1.2. Espigões tipo Chevron	49
6.1.3. Diques Marginais	72
6.1.4. Contenções Marginais.....	79
6.1.5. Compatibilização Técnica entre os Dimensionamentos Preliminares e as Soluções Estruturadas por Alternativa	93

6.1.6.	Medidas Mitigadoras	93
7.	Estimativa de Custos	94
8.	Avaliação e Seleção da Alternativa Mais Adequada.....	96
8.1.	Apresentação Resumida das Alternativas.....	96
8.2.	Metodologia de Análise Multicritério (SWOT).....	96
8.3.	Apresentação da Alternativa Mais Adequada.....	102
8.3.1.	Justificativa	102
9.	Cronograma Preliminar	103
10.	Recomendações Para Próxima Etapa (Projeto Básico).....	105
11.	Referências Bibliográficas	106
12.	Lista de Anexos.....	111

Apresentação

A Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), localizada à Rua Diogo Vasconcelos, n. 122, Campus Universitário, na cidade de Ouro Preto – Minas Gerais, contratada pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) – Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH), por meio do Termo de Execução Descentralizada (TED) nº 962835/2024, é responsável pela Proposição de carteira de projetos de intervenção vislumbrando o aumento da recarga das vazões afluentes, ampliação da flexibilização operativa dos reservatórios e melhoria da navegabilidade nas bacias dos rios São Francisco, Parnaíba, Paranaíba e Grande.

A revitalização de bacias hidrográficas consiste na recuperação, conservação e preservação ambiental por meio de ações integradas que promovam o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais e o aumento da disponibilidade hídrica de boa qualidade. Essa é uma das prioridades do governo brasileiro para a promoção da segurança hídrica e do desenvolvimento regional sustentável, uma vez que gera impactos positivos ao meio ambiente no que se refere à disponibilização de água em quantidade e qualidade suficiente para os usos múltiplos. Assim, a revitalização destes corpos hídricos pode contribuir para a redução dos conflitos relativos ao comprometimento da segurança hídrica das regiões, o que é fundamental para manutenção da qualidade de vida e desenvolvimento regional. Diante desse cenário, a adoção de estratégias de preservação, conservação e recuperação de bacias hidrográficas mostra-se essencial, em especial nas áreas classificadas como prioritárias devido à fragilidade e vulnerabilidade dos recursos hídricos nelas presentes.

Nesse sentido, no fim de 2022 foi publicado o texto-base do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (PNRBH), cujo objetivo é formular diretrizes e estratégias, assim como viabilizar um conjunto de ações integradas de preservação, conservação e recuperação das bacias hidrográficas para promover o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais e o aumento da disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade, para os mais diversos usos. Outro marco importante foi o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, de 2018, que incentiva o uso de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) que usam ou simulam processos naturais, para contribuir com o aperfeiçoamento da gestão da água no mundo, fortalecer a resiliência às mudanças climáticas e contribuir para a segurança hídrica. Acredita-se que a ampliação das SBN será fundamental para a realização da Agenda 2030, que visa alcançar os

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), englobando a melhoria das condições de vida, a proteção do ambiente e a garantia da paz e prosperidade para as pessoas.

É nesse contexto que se busca ampliar a escala das ações de revitalização de bacias hidrográficas no Brasil, considerando a elevada demanda e a importância de garantir a disponibilidade de água para o desenvolvimento sustentável do país. Dessa forma, o objetivo do TED é propor uma carteira de projetos de intervenção que promovam o aumento da recarga das vazões afluentes, ampliação da flexibilização operativa dos reservatórios e melhoria da navegabilidade nas bacias dos rios São Francisco, Parnaíba, Paranaíba e Grande.

Conforme o Plano de Trabalho, os estudos apresentados este produto corresponde a Etapa 6 da Meta 2. O presente documento reúne os resultados técnicos e as diretrizes preliminares para a elaboração de uma proposta conceitual de intervenção fluvial no Rio São Francisco, com foco no trecho localizado no município de Bom Jesus da Lapa (BA). Esta etapa contempla o diagnóstico das áreas críticas de assoreamento e erosão marginal, utilizando metodologias modernas de sensoriamento remoto. A partir desse diagnóstico, foram avaliadas alternativas baseadas em soluções de engenharia hidráulica e de bioengenharia, considerando a sustentabilidade ambiental, a eficiência hidráulica e a viabilidade construtiva. Adicionalmente, o estudo incorpora uma análise econômica comparativa das alternativas propostas, de modo a subsidiar a tomada de decisão quanto à relação custo-benefício das intervenções. Assim, este produto constitui um subsídio essencial para a definição de projetos básicos e executivos futuros, alinhando-se às políticas nacionais de revitalização de bacias hidrográficas e ao compromisso com a segurança hídrica, a conservação ambiental e o desenvolvimento regional sustentável.

1. Contextualização

O presente documento tem por finalidade estabelecer diretrizes técnicas para a elaboração de proposta conceitual de intervenção fluvial (Figura 1) com a utilização de contenções, espigões e diques marginais no trecho do Rio São Francisco, na altura de Bom Jesus da Lapa (BA). O referido trecho apresenta recorrentes problemas de assoreamento, erosão marginal e perda de navegabilidade, comprometendo o transporte hidroviário, o equilíbrio morfológico do canal fluvial e os ecossistemas associados. O uso de soluções combinadas, baseadas em estruturas hidráulicas e técnicas de bioengenharia, é considerado o caminho mais adequado, conforme referências técnicas consagradas como o Manual Técnico da MACCAFERRI (Fracassi et al, 2017) e estudos recentes em hidrossedimentologia fluvial.

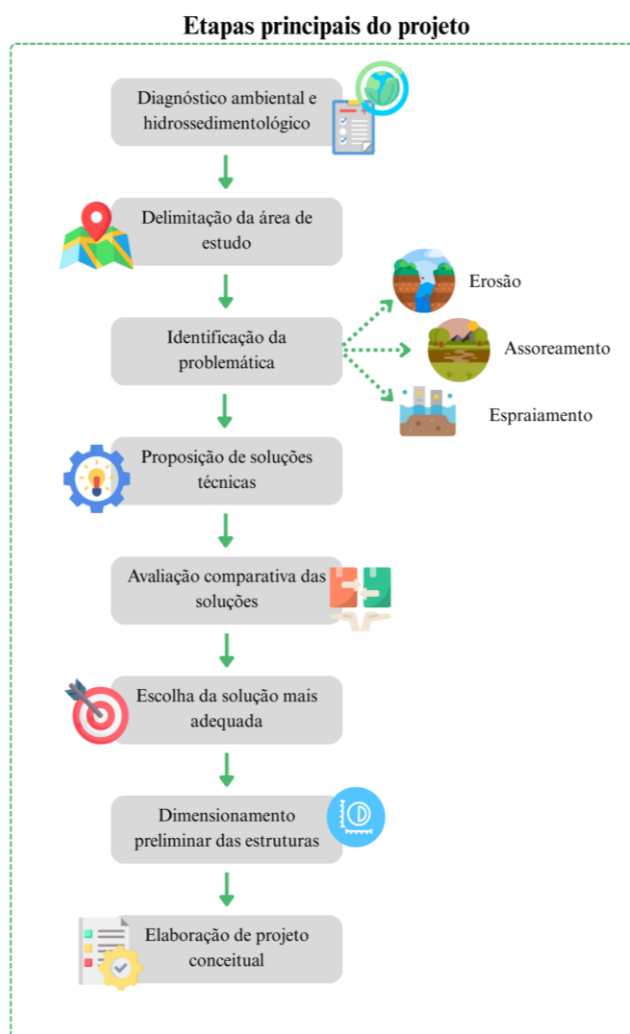


Figura 1. Etapas principais do projeto.

2. Justificativa

A presente proposta está alinhada às diretrizes do Art. 3º da Resolução nº 2/2023 do Comitê Gestor da CPR São Francisco e Parnaíba, priorizando intervenções integradas em áreas com reconhecida vulnerabilidade hídrica. O projeto adota soluções baseadas na natureza, promove a recuperação de áreas degradadas, mitiga processos erosivos e estabelece ações estruturantes capazes de restaurar o regime hidrossedimentológico local, contribuindo diretamente para usos múltiplos da água e fortalecendo serviços ecossistêmicos.

Em conformidade com o Art. 4º da referida Resolução, a proposta fundamenta-se nas recomendações de documentos governamentais estratégicos, como o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o PNRBH, o Plano de Recuperação dos Reservatórios (PRR) e o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco. Essas políticas ressaltam a importância da restauração da vegetação ciliar, uso de técnicas de bioengenharia e implementação de infraestruturas leves para o manejo sedimentológico sustentável.

O diagnóstico técnico, elaborado pela Universidade Federal de Ouro Preto no âmbito do TED nº 962835/2024 com o MIDR, identifica criticidade acentuada na sub-bacia situada entre os municípios de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama, região caracterizada por significativa deposição de sedimentos, espraiamento de canais e formação crescente de bancos de areia. Imagens orbitais demonstram claramente a alta susceptibilidade ao assoreamento devido à perda da cobertura vegetal, atividades agrícolas inadequadas, extração mineral irregular e presença extensiva de pecuária em áreas de proteção permanente (APPs).

O trecho do diagnóstico está localizado no Médio São Francisco (BA), estendendo-se por cerca de 100 km, entre coordenadas aproximadas UTM 24K 507.000m E / 8.579.000m N (Bom Jesus da Lapa) e UTM 24K 529.500m E / 8.582.500m N (Ibotirama). Essa região estratégica atua como ponto intermediário entre reservatórios regulados a montante (como Três Marias) e zonas intensivamente exploradas a jusante, sendo de grande importância para assegurar a segurança hídrica, navegabilidade e qualidade ambiental na bacia.

Diante disso, essa proposta prevê a implementação integrada de espigões permeáveis sequenciais, estruturas de baixo impacto destinadas à reorientação do fluxo hídrico e indução de autolimpeza sedimentar, associadas a técnicas de bioengenharia para estabilização das margens, utilizando vegetação nativa adaptada no primeiro ponto crítico identificado no trecho do diagnóstico, próximo a Bom Jesus da Lapa (BA), com 26 km de extensão. Tais medidas são

reconhecidas internacionalmente, já aplicadas com êxito em rios como Mississippi (EUA) e Waal (Holanda), garantindo efetividade, economicidade e sustentabilidade ambiental.

Portanto, esta proposta representa uma ação estruturante urgente e pertinente frente à criticidade identificada, contribuindo diretamente para a redução de vulnerabilidades, recuperação ecológica e fortalecimento das funções hidrológicas e sociais essenciais ao Médio São Francisco.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Estabelecer diretrizes para o projeto executivo de obras hidráulicas destinadas à mitigação de processos erosivos, contenção de margens, controle de assoreamento e recuperação da calha navegável no Rio São Francisco, com foco no uso de espigões e diques, priorizando técnicas de menor impacto ambiental.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização técnica e ambiental da área de estudo, abrangendo aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos;
- Mapear e diagnosticar as áreas críticas de assoreamento e erosão marginal no trecho do Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa (BA), utilizando dados orbitais, registros históricos de eventos hidrológicos e informações documentais da área;
- Avaliar alternativas técnicas de intervenção hidráulica e bioengenharia, considerando soluções baseadas na natureza, estruturas rígidas e alternativas híbridas, com foco na sustentabilidade ambiental e eficiência hidráulica;
- Definir diretrizes técnicas preliminares para o projeto executivo, incluindo critérios para o dimensionamento de espigões, diques e contenções marginais, adaptados à morfologia e hidrodinâmica do canal fluvial.

4. Caracterização

4.1. Delimitação da área de estudo

A área de estudo deste projeto conceitual compreende um trecho de aproximadamente 26 quilômetros lineares do Rio São Francisco, localizado integralmente no município de Bom Jesus da Lapa, no estado da Bahia, inserido na Região Hidrográfica do São Francisco (Figura 2). Essa porção do rio apresenta uma calha meandrante, marcada por curvas sinuosas típicas de rios de planície com baixo declive. Nessa configuração, observam-se múltiplos canais ativos e ilhas fluviais, o que torna o trecho naturalmente suscetível à deposição de sedimentos e a constantes alterações morfológicas ao longo do tempo. A margem direita do trecho inclui parte da sede urbana de Bom Jesus da Lapa, com presença de infraestrutura ribeirinha como a orla da Barrinha, enquanto a margem esquerda apresenta mosaicos de vegetação e uso agrícola extensivo.

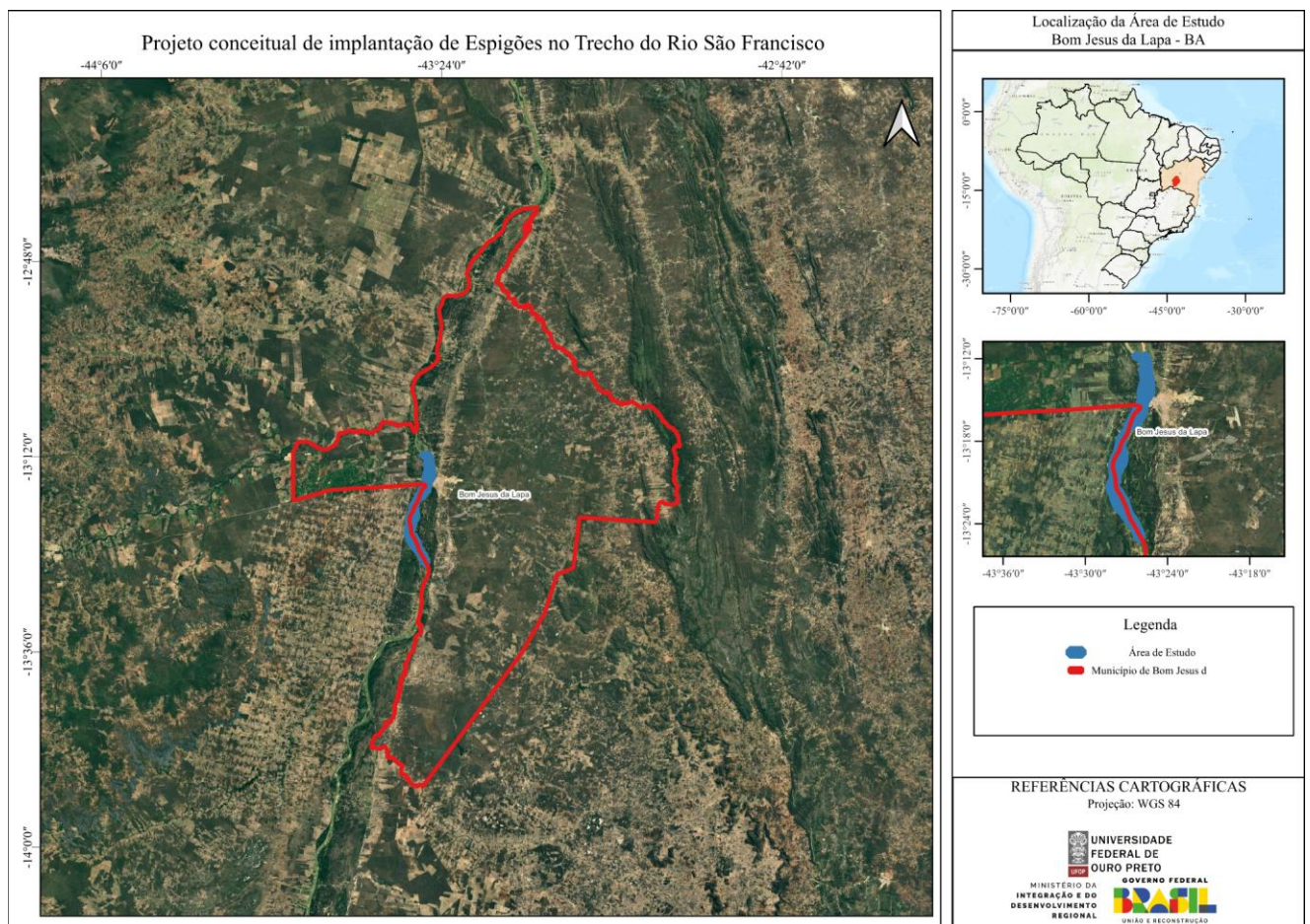


Figura 2. Delimitação da área de estudo no município de Bom Jesus da Lapa (BA).

O município está a aproximadamente 796 km a oeste da capital estadual, Salvador, e faz divisa com os municípios baianos de Paratinga (ao norte), Riacho de Santana e Malhada (ao sul), Macaúbas (a leste), Serra do Ramalho e Sítio do Mato (a oeste). Com área territorial de 4.115,5 km², o município está entre os maiores municípios baianos em extensão. Sua sede está situada às margens do Rio São Francisco e é acessada pelas rodovias BR-349, BR-430 e BA-160, o que lhe confere posição estratégica no contexto regional.

4.1.1. Aspectos Socioeconômicos

O município de Bom Jesus da Lapa, localizado no oeste baiano às margens do Rio São Francisco, possui uma trajetória histórica marcada pela religiosidade e pela dinâmica fluvial regional. Sua formação tem origem no final do século XVII, quando o eremita Francisco de Mendonça Mar se fixou em uma gruta no Morro da Lapa (Figura 3) e instalou a imagem do Bom Jesus, dando início à formação do povoado e à tradicional romaria, que até hoje atrai milhões de fiéis anualmente (Silva, 2016). Posteriormente, o núcleo urbano consolidou-se como entreposto comercial e ponto estratégico de travessia fluvial. O município foi oficialmente criado em 1923, tendo seu crescimento urbano impulsionado por obras de infraestrutura ao longo do século XX, com destaque para a implantação do Projeto Formoso na década de 1980, voltado à fruticultura irrigada, que consolidou a cidade como um importante polo agrícola regional (Codevasf, 2023).



Figura 3. Morro do Bom Jesus às margens do Rio São Francisco. Fonte: Silva (2016).

Em 2022, a população estimada era de aproximadamente 65.550 habitantes, com predominância da população urbana (cerca de 73%) e densidade demográfica de 15,93 hab./km², segundo dados do (IBGE, 2022). O perfil demográfico do município é majoritariamente jovem, o que reforça a demanda por políticas públicas voltadas à educação, qualificação e inserção produtiva. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) calculado em 2010 foi de 0,588, classificado como médio e ainda abaixo da média nacional à época (0,724) (Atlas Brasil, 2010).

A estrutura econômica do município é fortemente baseada na agricultura irrigada, fomentada principalmente pelo Perímetro Irrigado Formoso, com destaque para o cultivo de banana, coco e manga, além de outras culturas tropicais (Codevasf, 2023). Complementam a base econômica a pecuária extensiva (bovinos e caprinos), a agricultura de sequeiro e o beneficiamento agroindustrial de pequena escala. Em 2021, o município apresentou um PIB (Produto Interno Bruto) de R\$ 1,36 bilhão e um PIB per capita de R\$ 19.356,52, ocupando a 66ª posição entre os 417 municípios baianos em valor per capita, o que evidencia sua importância econômica regional (IBGE, 2022).

No campo fiscal, em 2024, Bom Jesus da Lapa obteve receitas realizadas no montante de R\$ 368,1 milhões e despesas empenhadas de R\$ 359,9 milhões, o que lhe conferiu destaque entre os 30 municípios com maior movimentação orçamentária da Bahia. Contudo, o município ainda apresenta alta dependência de receitas externas, que representaram 87,38% da arrecadação total, colocando-o na 348ª posição entre os 417 municípios do estado (IBGE, 2022), indicador que reforça a necessidade de diversificação de fontes de receita e fortalecimento da arrecadação própria.

Na área da saúde, a taxa de mortalidade infantil foi de 17,32 por mil nascidos vivos em 2023, valor ainda superior ao ideal, embora esteja em posição intermediária no ranking estadual. Em contrapartida, o município apresentou zero internações por diarreia em 2024, indicando bons resultados em saneamento básico e vigilância sanitária. O município dispõe de 29 estabelecimentos de saúde vinculados ao SUS, sendo 19 listadas em zona urbana e mais 10 postos na zona rural (Central da Lapa, 2025).

A análise do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), calculado pelo IPEA, também aponta avanços significativos entre os anos de 2000 e 2010 (IPEA, 2010). Nesse período, o IVS total de Bom Jesus da Lapa caiu de 0,438 para 0,319, indicando uma redução geral da vulnerabilidade social. Quanto ao IVS capital humano, que inclui acesso à educação, saúde e

proteção infantil, também melhorou, passando de 0,618 para 0,521. Por outro lado, houve um aumento na vulnerabilidade relacionada à renda e trabalho, cujo índice subiu de 0,482 para 0,588, sinalizando dificuldades no mercado de trabalho, como desemprego, informalidade e baixa escolarização da força de trabalho adulta durante o período analisado.

4.1.2. Aspectos Físicos e Bióticos

Condições Climáticas

O clima é classificado como semiárido quente do tipo BSh, segundo a classificação de Köppen (Meneses et al., 2024), caracterizando-se por temperaturas elevadas ao longo do ano. A precipitação média anual é de aproximadamente 732,6 mm, conforme a série histórica de 1991 a 2020 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As chuvas concentram-se entre novembro e março, caracterizando um regime de verão chuvoso e inverno seco. Dezembro é, em média, o mês mais chuvoso, enquanto julho costuma ser o mais seco, frequentemente sem registro de precipitação. As temperaturas apresentam baixa amplitude sazonal, com máximas médias de 35,8 °C em outubro (mês mais quente) e mínimas inferiores a 17,5 °C em julho (mês mais ameno) (INMET, 2020). Nos últimos anos, observou-se um aumento na frequência de eventos extremos de calor: em 2023, por exemplo, temperaturas acima de 41 °C foram registradas em diversos dias consecutivos (INMET, 2023).

A umidade relativa do ar acompanha esse padrão sazonal, variando de 70% na estação chuvosa para valores críticos abaixo de 30% no auge da seca, com médias mensais mínimas próximas a 44% em setembro (INMET, 2020). De acordo com o índice de aridez (Thornthwaite), o município encontra-se na transição entre clima subúmido seco e semiárido. Um estudo utilizando dados de 30 anos classificou Bom Jesus da Lapa como semiárida classe *CIw2A'a'*, ou “subúmido seco com grande deficiência hídrica” (Costa et al., 2019).

Contudo, análises mais recentes indicam aumento da aridez. Conforme a metodologia de Thornthwaite, o clima local evoluiu de “semiárido megatérmico” para árido megatérmico entre as Normais 1981–2010 e 1991–2020 (Meneses et al., 2024). Esse fato pode ser um indicativo da redução da chuva e aumento da evapotranspiração observados nas últimas décadas. Oficialmente, Bom Jesus da Lapa integra o Polígono das Secas (semiárido brasileiro) definido pela SUDENE (Agência de Desenvolvimento do Nordeste, 2005). Além disso, estudos apontam inclusive uma tendência moderada à desertificação na região, devido ao déficit hídrico

persistente e à elevada suscetibilidade dos solos à degradação em função do agravamento das condições climáticas áridas (Araujo et al, 2022).

Geomorfologia, Relevo e Solos

O município está inserido em uma região de expressiva diversidade geomorfológica, marcada por unidades como a Depressão Sertaneja e de Paranaguá, a Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco, as Baixadas dos rios Jacaré e Salitre, além de Planícies Fluviais e/ou Fluviolacustres e porções das Serras do Espinhaço, Tabatinga e Quadrilátero Ferrífero (DRZ GEOTECNOLOGIA E CONSULTORIA, 2018). Essa compartimentação geomorfológica resulta em distintas formas de relevo, influenciando os padrões de drenagem, a dinâmica de uso da terra e os processos erosivos locais.

O relevo predominante no município é caracterizado por formas planas a suavemente onduladas (Figura 4), com declividades variando entre 0% e 3%, e altitudes que oscilam entre 379 e 1.021 metros. A topografia pouco acidentada favorece a expansão urbana e agrícola, especialmente em áreas de planície, porém também contribui para baixa drenagem superficial, o que, aliado à ocorrência de chuvas intensas de verão, pode provocar enxurradas localizadas em zonas urbanas.



Figura 4. Vista panorâmica do município. Fonte: Silva (2016).

No que se refere à pedologia, os solos do município apresentam ampla diversidade, com predominância de classes típicas de regiões tropicais semiáridas. Destacam-se os Argissolos Vermelho-Amarelos, os Cambissolos Háplicos e os Latossolos Amarelos, que ocupam extensas porções do território (Borges e Souza, 2009). Esses solos apresentam fertilidade natural variando de média a alta, com os latossolos sendo geralmente profundos e bem drenados, enquanto os argissolos se destacam pela presença de horizonte B textural com acúmulo de argila.

Nas proximidades dos principais cursos d'água, especialmente ao longo do Rio São Francisco e seus afluentes, ocorrem solos aluvionares, formados por depósitos sedimentares recentes, que tendem a apresentar maior fertilidade. De modo geral, os solos locais variam de textura arenosa a média-argilosa e apresentam boa aptidão para fruticultura irrigada, como evidenciado pelo cultivo de banana no Perímetro Irrigado do Formoso (Borges e Souza, 2009).

Cobertura vegetal, uso do solo e áreas de preservação

O município está situado em uma faixa de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, sob clima semiárido. A cobertura vegetal nativa predominante corresponde à caatinga arbórea e arbustiva, frequentemente associada a formações calcárias e areníticas, com ocorrência de capões de Cerrado em áreas de maior altitude. Segundo dados do MapBiomas (2025), o uso do solo é dominado por formações lenhosas da Caatinga, classificadas como “floresta”, cobrindo aproximadamente 59,68 % da área municipal. A agropecuária ocupa 37,45 %, enquanto superfícies não vegetadas e corpos d'água representam apenas 1,13 % e 1,06 %, respectivamente.

Além disso, o município está inserido no polígono “Bom Jesus da Lapa/Santa Maria da Vitória” (código 47), identificado no Plano de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Caatinga como de importância biológica muito alta. Nessa área, destacam-se afloramentos calcários e lagoas temporárias associados à caatinga arbórea, que apresentam elevada riqueza de espécies endêmicas. A principal recomendação para essa região é a adoção de práticas sustentáveis de uso dos habitats (GIULIETTI et al., 2004; SILVA et al., 2004).

Embora não existam unidades de conservação federais no município, há presença de APPs ao longo das margens do Rio São Francisco e de seus afluentes, conforme estabelecido pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Também não há registro de parques nacionais ou reservas biológicas em seu território.

Disponibilidade hídrica e qualidade da água

O município de Bom Jesus da Lapa está inserido na Região Hidrográfica do São Francisco, integrando a Sub-bacia do Médio São Francisco. Em escala mais detalhada, abrange trechos das sub-bacias de nível 2 denominadas Rio Corrente e São Francisco 04, que compreendem áreas significativas do território municipal. Entre os principais corpos hídricos destacam-se o Rio São Francisco, que percorre aproximadamente 8,72% da área do município, seguido pelo riacho do Torto (8,34%) e pelo riacho Santa Rita (7,78%). Esses cursos d'água exercem papel essencial na dinâmica hidrológica local, no abastecimento de comunidades rurais e no suporte às atividades agropecuárias (SNIS, 2022).

O município apresenta forte dependência do Rio São Francisco como principal fonte hídrica, sendo sede de sistemas relevantes de irrigação, como o Perímetro Irrigado Formoso, coordenado pela Codevasf (2023). Essa dependência é reforçada pelo clima semiárido da região e pelos resultados de um estudo de balanço hídrico climatológico, realizado com base em 38 anos de dados do INMET. O estudo realizado por Costa et al. (2019) revela a ocorrência de um longo período de déficit hídrico, que se estende de janeiro a novembro, com reposição hídrica concentrada em dezembro. A capacidade de água disponível no solo foi estimada em 100 mm/m, caracterizando um cenário de forte sazonalidade hídrica e necessidade de estratégias de armazenamento e uso racional da água.

Para mitigar os efeitos dessa limitação hídrica, o município conta com a infraestrutura da Adutora da Fé, obra coordenada pelo governo federal em parceria com a Codevasf. O sistema realiza a captação direta no Rio São Francisco e distribui água tratada a comunidades urbanas e rurais, contribuindo significativamente para a segurança hídrica, especialmente nos períodos de estiagem prolongada (DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2018). A gestão e o monitoramento dos recursos hídricos em Bom Jesus da Lapa vêm sendo fortalecidos por iniciativas do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco e da Agência Peixe Vivo, com destaque para ações voltadas ao aumento da eficiência no uso da água, sobretudo na agricultura irrigada, setor de maior demanda hídrica no município (DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2018).

Além dos recursos hídricos superficiais, Bom Jesus da Lapa encontra-se inserido na Província Hidrogeológica das Coberturas Detríticas da Depressão do São Francisco, considerada uma das mais relevantes da Bahia em termos de potencial aquífero. Essa província abrange uma extensa faixa entre a Serra da Tabatinga, a Serra do Estreito e o Rio São Francisco, incluindo os

municípios de Bom Jesus da Lapa a Barra (DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2018). A reserva explorável é estimada em cerca de 477 milhões de m³/ano, configurando um elevado potencial de captação de água subterrânea, particularmente importante para o abastecimento rural difuso e a agricultura de sequeiro em períodos secos (Diniz 2008).

Entretanto, a disponibilidade de água subterrânea na região tem diminuído, em função de fatores como a expansão da irrigação intensiva na bacia do Rio Corrente, a redução da recarga no Aquífero Urucuia, o desmatamento das margens, o assoreamento dos cursos d'água e o crescimento urbano. Esses processos vêm contribuindo para a redução das vazões, colocando em risco a sustentabilidade hídrica local (Codevasf, 2023).

Em relação à qualidade da água, estudos realizados no âmbito do Plano Municipal de Saneamento Básico de Bom Jesus da Lapa indicam que o trecho urbano do Rio São Francisco apresenta classificação nível II, de acordo com os critérios da Resolução CONAMA n° 357/2005 (DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2018). Além disso, pesquisa conduzida pelo Confea também confirma essa classificação, destacando variações sazonais nos parâmetros de qualidade da água, associadas ao uso do solo e às descargas urbanas (Bulhões et al, 2018).

Infraestrutura de Saneamento Básico

O abastecimento de água no município de Bom Jesus da Lapa é realizado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), tendo como principal fonte de captação o Rio São Francisco. A água é tratada e distribuída por meio de rede geral, que atende aproximadamente 79,09% dos habitantes da população. Os demais habitantes se abastecem por poços profundos (8,68%), poços rasos (0,52%) ou outras fontes alternativas (0,51%). Destaca-se ainda a elevada cobertura da infraestrutura de abastecimento, com 99,38% das ligações devidamente hidrometradas (SNIS, 2022). Quanto ao esgotamento sanitário, apenas 48,63% dos moradores têm acesso à coleta de esgoto por rede regular, concentrada principalmente nos bairros centrais da cidade. Fora dessa área, cerca de 12,09% da população utiliza sistemas individuais, como fossas sépticas ou fossas filtro não conectadas à rede pública.

No que se refere ao manejo dos resíduos sólidos urbanos, aproximadamente 81,2% da população é atendida por serviço regular de coleta de lixo domiciliar. A cobertura contempla toda a zona urbana e parte das comunidades rurais maiores. No entanto, estima-se que entre 9 e 10 mil habitantes, especialmente em áreas rurais dispersas, não tenham acesso à coleta regular, recorrendo ao descarte irregular ou à queima dos resíduos (SNIS, 2022).

No que se refere ao sistema de drenagem urbana, observa-se que apenas 15,86% da população urbana reside em áreas cobertas por rede de drenagem pluvial formal, enquanto os demais 84,14% encontram-se em zonas desprovidas dessa infraestrutura. A cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos é baixa, alcançando apenas 1% da malha viária urbana. Nas áreas não contempladas por rede de drenagem, o escoamento das águas pluviais ocorre de forma difusa sobre pavimentos e vias não pavimentadas, favorecendo processos erosivos, assoreamento de cursos d'água e alagamentos pontuais em períodos de precipitação intensa. Além disso, a inexistência de mapeamento oficial de áreas de risco de inundação agrava a situação do município, comprometendo o planejamento preventivo e a gestão de eventos extremos (SNIS, 2022).

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município também identificou a ausência de um sistema estruturado de drenagem pluvial como um dos principais entraves à infraestrutura urbana, ressaltando a urgência de intervenções planejadas que promovam a ampliação da cobertura da rede e a implementação de medidas integradas de controle e manejo das águas pluviais.

4.2. Levantamento de Dados Secundários

A caracterização das áreas assoreadas ao longo do Rio São Francisco, no trecho correspondente ao município de Bom Jesus da Lapa, foi realizada com base na integração de dados orbitais multitemporais, registros históricos de eventos hidrológicos e informações documentais provenientes de fontes institucionais e de notícias veiculadas na imprensa regional e nacional (Figura 5).

Análise Multitemporal com Sensoriamento Remoto

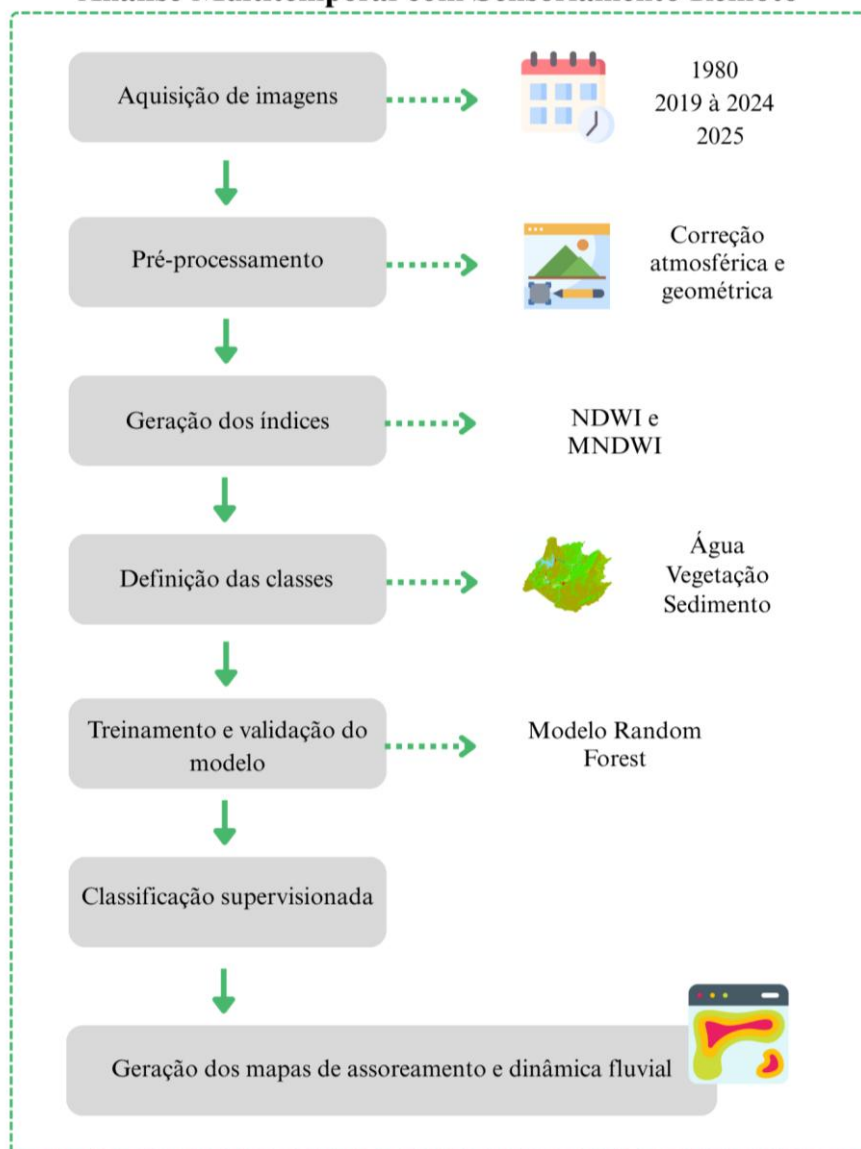


Figura 5. Fluxograma metodológico.

4.2.1. Aquisição e Processamento das Imagens

Para análise e identificação das áreas assoreadas na região entre os municípios de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama foram considerados diferentes satélites de observação, incluindo sensores ópticos das séries Landsat (como Landsat-8 e Landsat-9) e o sensor MUX do satélite CBERS-4. No entanto, optou-se pelo uso do Sentinel-2, que se mostrou mais adequado para o período e identificação de áreas assoreadas em ambientes aquáticos.

Conforme destacado por Li et al. (2022), o sensor MSI (Multispectral Instrument) do Sentinel-2 oferece resolução espacial de 10 metros nas bandas do visível e infravermelho próximo (B2,

B3, B4 e B8), resolução radiométrica de 12 bits, e uma resolução espectral composta por 13 bandas que abrangem desde o visível até o infravermelho de ondas curtas (SWIR). Essa combinação de resoluções permite uma melhor sensibilidade às variações espectrais da superfície da água, principalmente aquelas associadas à presença de sedimentos em suspensão, variações de profundidade e alterações na transparência da coluna d'água (Barbosa et al., 2019). Tais características são fundamentais para aplicações voltadas ao monitoramento de assoreamento, uma vez que influenciam diretamente na capacidade de distinguir áreas com diferentes graus de turbidez ou deposição sedimentar, especialmente em corpos hídricos interiores.

Com o intuito de conferir maior celeridade à análise e garantir a padronização dos resultados, desenvolveu-se um código automatizado na plataforma Google Earth Engine (GEE). Essa ferramenta, baseada em computação em nuvem, viabiliza o acesso direto às imagens dos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B a partir do ano de 2019. A utilização do GEE apresenta como principal vantagem a capacidade de processar grandes volumes de dados remotamente, eliminando a necessidade de infraestrutura computacional local de alto desempenho. Tal abordagem torna o processo analítico não apenas mais eficiente, mas também mais reprodutível e escalável em diferentes contextos de aplicação.

O primeiro passo do procedimento consistiu em carregar a área de estudo a partir de um arquivo shapefile contendo os limites geográficos no sistema de referência WGS84. Para facilitar o processamento e evitar limitações técnicas associadas ao tamanho da área, a região foi subdividida automaticamente em duas partes: uma porção oeste e uma leste, com base na divisão equidistante do retângulo envolvente da geometria original. Em seguida, foi realizada a seleção das imagens do Sentinel-2, com a definição do intervalo de tempo para cada ano de estudo, priorizando o período de seca da região, que se estende principalmente de abril a setembro (Braga et al., 1998; Silva et al., 2012), quando a cobertura de nuvens tende a ser reduzida e os bancos de areia estão mais visíveis, indicando o assoreamento. Contudo, observou-se que em determinados anos ocorreram eventos de precipitação durante esse intervalo, o que resultou em níveis mais elevados de água nos corpos hídricos. Diante disso, novas datas foram testadas para garantir a melhor representatividade das feições de interesse, especialmente para identificação de trechos assoreados.

Destaca-se que as imagens utilizadas neste estudo pertencem à coleção Sentinel-2 Surface Reflectance (SR), disponibilizada pela ESA e processada por meio do algoritmo Sem2Cor, que

aplica correções atmosféricas padronizadas. Esse processo converte os valores de reflectância no topo da atmosfera (TOA) para reflectância de superfície (SR), eliminando os efeitos de espalhamento e absorção provocados por gases atmosféricos e aerossóis. Além disso, as imagens passam por correção radiométrica, que garante a uniformidade dos dados provenientes de diferentes sensores (Sentinel-2A e 2B), permitindo a comparação temporal e espacial entre cenas distintas. As correções geométricas asseguram o alinhamento espacial das bandas espectrais, com precisão subpixel, o que é essencial para cálculos de índices espectrais e análises multitemporais confiáveis (Louis et al., 2016). Dessa forma, o uso de imagens já corrigidas contribui significativamente para a acurácia dos resultados obtidos, reduzindo incertezas associadas a ruídos atmosféricos ou desalinhamentos entre bandas.

Ademais, a partir da seleção, foram gerados mosaicos combinando todas as imagens classificadas como válidas (até 10% de nuvens), em uma única composição contínua e representativa. Além das bandas espectrais utilizadas na composição em cores reais (vermelho – B4, verde – B3 e azul – B2), foram calculados dois índices espectrais de água a partir das imagens Sentinel-2, com o objetivo de destacar corpos hídricos e identificar áreas potencialmente assoreadas. Ambos os índices são derivados de combinações matemáticas entre bandas espectrais específicas, e são amplamente aplicados em estudos de hidrologia, monitoramento ambiental e gestão de recursos hídricos.

O NDWI (Normalized Difference Water Index) foi proposto por McFeeters (1996) e é utilizado para realçar a presença de água superficial, explorando o contraste entre a reflectância da vegetação (alta no infravermelho próximo) e da água (baixa nessa mesma faixa). Valores positivos de NDWI geralmente indicam presença de água, enquanto valores negativos tendem a representar vegetação ou solo exposto (Equação 1).

$$\text{NDWI} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{NIR}}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

- ρ_{Green} corresponde à reflectância na banda verde (B3) do Sentinel-2;
- ρ_{NIR} corresponde à reflectância na banda do infravermelho próximo (B8).

O MNDWI foi proposto por Xu (2006) como uma modificação do NDWI, substituindo o NIR pela banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Essa modificação melhora a capacidade

de detectar corpos d'água em áreas urbanizadas e em regiões com solo exposto ou areia, condições frequentemente associadas a processos de assoreamento (Equação 2).

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{SWIR1}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}}} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

- ρ_{Green} corresponde à reflectância na banda verde (B3);
- ρ_{SWIR1} corresponde à reflectância na banda do infravermelho de ondas curtas (B11).

O uso do MNDWI é especialmente relevante em regiões com assoreamento visível, pois corpos hídricos rasos ou carregados de sedimentos apresentam assinaturas espectrais distintas que são mais bem realçadas quando se utiliza a banda SWIR no cálculo.

Ambos os índices foram gerados apenas quando o mosaico da sub-região continha dados válidos, evitando o processamento de áreas sem cobertura espectral. As imagens resultantes da série temporal de 2019 a 2024 foram posteriormente exportadas e estão disponíveis em formato GeoTIFF, com resolução espacial de 10 metros.

4.2.2. Análise dos Dados e Implementação da Classificação Supervisionada com Machine Learning

Para a etapa de classificação supervisionada das imagens, foi realizada a definição de pontos de amostragem representativos das principais feições observadas na área de estudo, sendo água, sedimentos e vegetação. Essas classes foram selecionadas com base na recorrência e importância das suas ocorrências ao longo do trecho fluvial analisado entre os municípios de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama, sendo as mais representativas em termos de cobertura e impacto ambiental. Os pontos de treinamento foram distribuídos de forma a cobrir adequadamente a variabilidade espectral de cada classe ao longo da série temporal, garantindo uma representação estatisticamente robusta para o treinamento dos algoritmos de classificação.

Considerando que a acurácia de qualquer modelo supervisionado depende diretamente da separabilidade espectral entre as classes, foi conduzida uma análise detalhada da resposta espectral média de cada classe para as bandas B2 (azul), B3 (verde) e B4 (vermelho), bem como para os índices NDWI e MNDWI, que teve como objetivo principal compreender o

comportamento espectral típico de cada feição e identificar as bandas e índices com maior poder discriminante (Figura 6 e Figura 7).

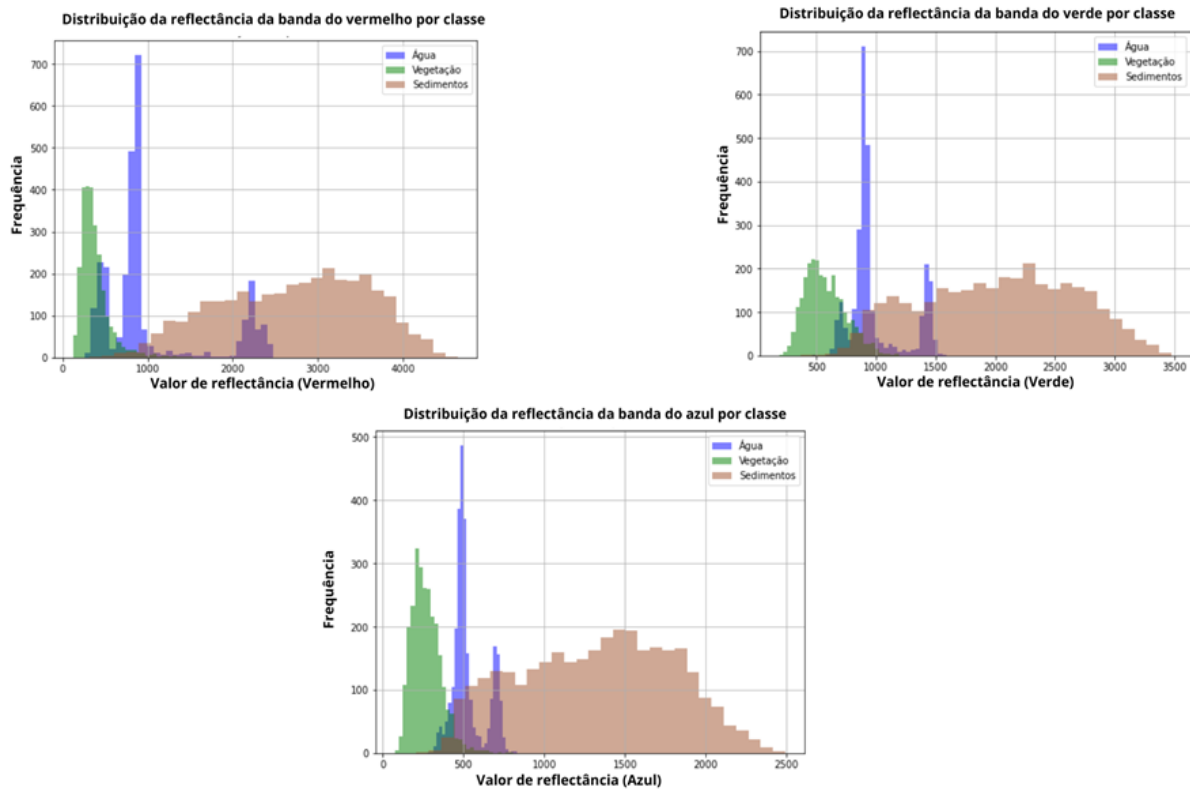


Figura 6. Histogramas de distribuição dos valores de reflectância por banda.

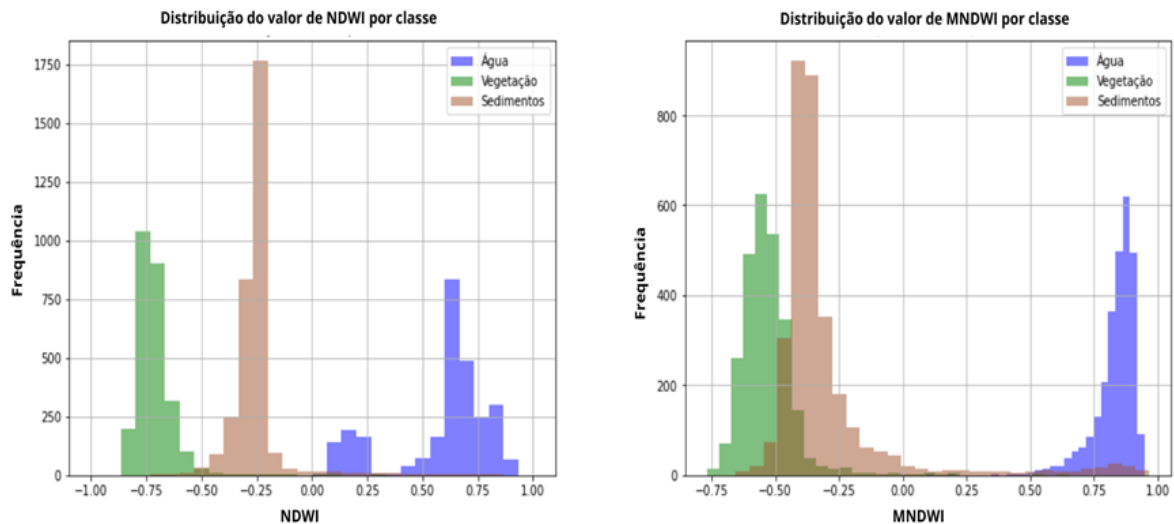


Figura 7. Histogramas de distribuição dos valores de NDWI e MNDWI.

A água, por exemplo, distribui-se em faixas intermediárias para todas as bandas, chegando a valores mais altos para as bandas do vermelho e verde, indicando forte absorção nos canais

visíveis. Já o sedimento concentra-se em valores elevados e muito dispersos, consequência da variabilidade de turbidez e substrato raso. Essa clara separabilidade univariada confirma o potencial discriminante das três bandas e corrobora o uso combinado de limiares e índices como NDWI e MNDWI para maximizar a acurácia dos modelos supervisionados.

Dessa forma, o algoritmo foi construído para gerar de forma automática a análise supracitada, bem como o modelo de machine learning para classificação. Para isso, foi utilizado o modelo Random Forest (RF), amplamente conhecido por sua robustez, precisão e capacidade de lidar com dados multivariados e não linearmente separáveis (Breiman, 2001). É importante ressaltar que o RF consiste em um método de aprendizado de máquina baseado em árvores de decisão, que cria uma floresta de árvores geradas a partir de subconjuntos aleatórios dos dados de treinamento e dos atributos. Cada árvore individual contribui com um voto, e a classe final atribuída ao pixel é aquela mais votada pelas árvores, caracterizando um processo de decisão por maioria.

A escolha do RF foi motivada por se tratar de um algoritmo não paramétrico, ou seja, não exige suposições sobre a distribuição estatística dos dados, o que o torna especialmente adequado para dados espectrais complexos e heterogêneos, como aqueles provenientes de imagens de sensoriamento remoto (Belgiu; Drăguț, 2016). Além disso, o RF apresenta alta resistência ao overfitting mesmo com conjuntos de dados ruidosos ou com variáveis correlacionadas, como frequentemente ocorre com bandas espectrais e índices derivados. Outro ponto relevante é sua capacidade de fornecer estimativas de importância dos atributos, permitindo compreender quais bandas ou índices mais contribuíram para a separação entre as classes (Rodríguez-Galiano et al., 2012).

Assim, o conjunto de dados empregado foi dividido em subconjuntos de treinamento, validação e teste, com o intuito de garantir que o modelo fosse treinado com parte dos dados, ajustado com outra parte e finalmente avaliado com dados inéditos.

Para selecionar os melhores parâmetros do algoritmo Random Forest (como o número de árvores na floresta, a profundidade máxima das árvores, o número mínimo de amostras para a divisão de nós internos e o número mínimo de amostras por folha terminal), foi adotada a técnica de validação cruzada com busca em grade (GridSearchCV). Essa abordagem sistemática avalia diversas combinações de hiperparâmetros por meio de validação cruzada estratificada, garantindo que todas as classes estejam proporcionalmente representadas em cada subdivisão do conjunto de dados. A métrica utilizada para guiar essa escolha foi a acurácia

média, que representa a proporção de classificações corretas durante as iterações da validação cruzada.

Concluída a etapa de otimização, o modelo com melhor desempenho foi então aplicado ao conjunto de teste, composto por dados não utilizados nas fases anteriores. Nesse momento, buscou-se uma avaliação mais abrangente da performance do classificador, por meio de diferentes métricas. Entre elas, destacam-se o F1-score, nas formas macro (considerando todas as classes igualmente) e ponderada (levando em conta a proporção de cada classe), a precisão (proporção de acertos entre as amostras classificadas como pertencentes a uma determinada classe) e o recall, conhecido como sensibilidade ou taxa de verdadeiros positivos, que mede a capacidade do modelo de identificar corretamente todos os elementos positivos de uma determinada classe. Também foi considerado o índice Kappa de Cohen, que mede o grau de concordância entre as classificações previstas e as reais, descontando o acerto por acaso. Os resultados dessas métricas podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Métricas da classificação.

Índice Kappa	F1-Score (Macro)	F1-Score (Ponderado)	Precisão (Macro)	Sensibilidade/ Recall (Macro)	Acurácia Balanceada
0.9851	0.9902	0.9901	0.9901	0.9903	0.9903

Além das métricas numéricas, foi gerada a matriz de confusão, apresentada tanto em valores absolutos quanto normalizados e o gráfico da curva de aprendizado do algoritmo. Destaca-se que a matriz permite visualizar de forma clara os padrões de erro do modelo, evidenciando, por exemplo, se há confusão frequente entre determinadas classes, como sedimentos sendo classificados como vegetação, ou vice-versa. Essa etapa é especialmente importante para aplicações ambientais, nas quais decisões de gestão podem ser afetadas diretamente por classificações equivocadas (Figura 8 e Figura 9).

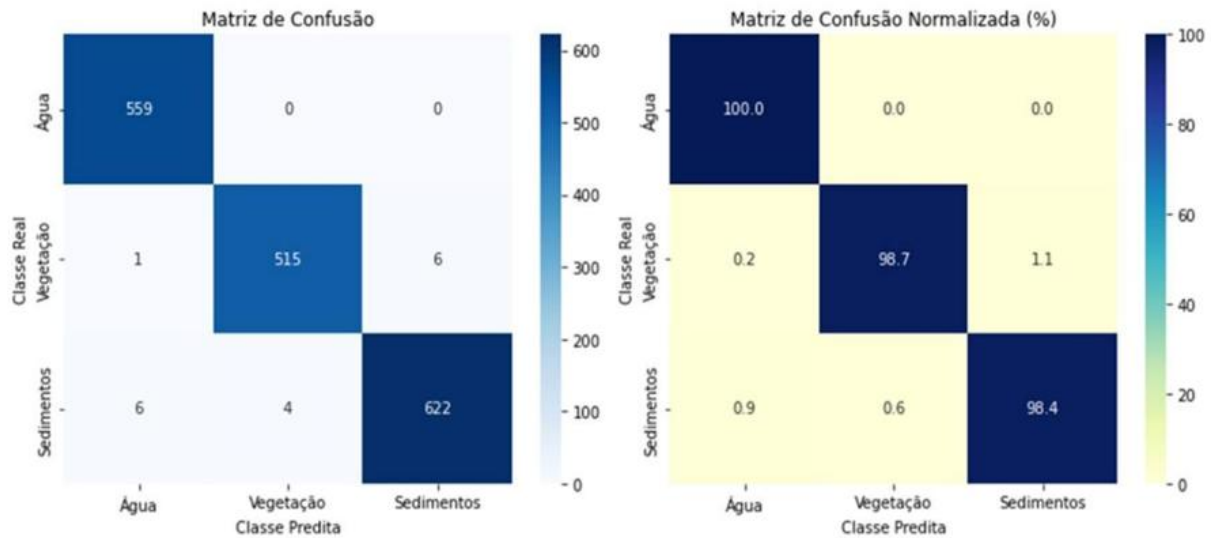


Figura 8. Matrizes de confusão da classificação supervisionada, apresentadas em valores absolutos (esquerda) e normalizados (direita).

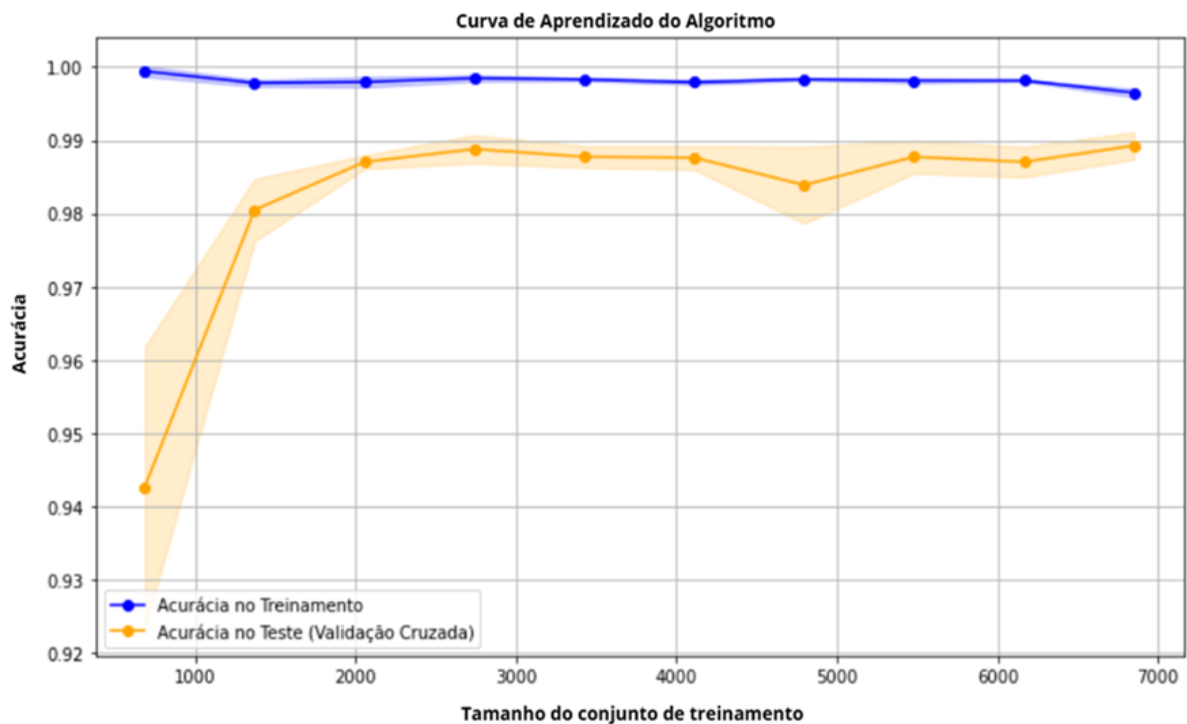


Figura 9. Curva de aprendizado do Random Forest para o conjunto de treino e teste.

As matrizes de confusão indicam que o modelo apresenta um ótimo desempenho, com altos índices de acerto para todas as classes. Além disso, está operando de forma robusta e com boa distinção entre as classes, apesar de pequenas confusões entre "Vegetação" e "Sedimentos", o que pode ser esperado devido à sobreposição espectral entre essas classes, evidenciado nos histogramas.

O gráfico de curva de aprendizado também reflete um bom desempenho, com a acurácia no treino se mantendo constantemente alta (acima de 99%) e a acurácia de validação chegando a estabilizar em torno de 98–99% após o aumento do tamanho do conjunto de treinamento. A área sombreada em torno da curva de validação (indicando o desvio padrão) diminui à medida que o modelo aprende, o que sugere que o modelo ganha mais consistência e generalização conforme mais dados são usados. Isso é um indicativo de que o modelo não está sofrendo de overfitting e que sua performance permanece estável e confiável ao longo das validações cruzadas. O resultado geral mostra que o modelo está bem ajustado e com grande potencial para classificação de novas imagens ou cenários.

Com o modelo treinado, procedeu-se à classificação de todos os pixels do mosaico multiespectral, aplicando o algoritmo aos dados das bandas R, G, B e aos rasters dos índices NDWI e MNDWI. Cada pixel foi tratado como uma instância a ser classificada, e o modelo atribuiu a ele uma das três classes predefinidas com base em seu comportamento espectral.

O resultado foi uma imagem classificada, onde cada pixel é rotulado de acordo com o padrão espectral mais compatível com as amostras previamente identificadas. Essa imagem, por fim, foi salva no formato GeoTIFF e shapefile georreferenciado, compatível com softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo análises espaciais posteriores com precisão.

Por fim, os produtos gerados pelos índices espectrais foram empregados como variáveis preditoras em uma classificação supervisionada com o algoritmo Random Forest, técnica reconhecida por sua robustez no tratamento de dados multivariados e pela elevada precisão na classificação de uso e cobertura da terra em ambientes fluviais de alta complexidade. Essa abordagem permitiu identificar, com elevado grau de confiabilidade técnica, as áreas prioritárias de assoreamento ao longo do trecho estudado, bem como realizar o monitoramento contínuo das transformações morfológicas da calha principal e de suas margens.

4.3. Caracterização do Problema

O trecho do Rio São Francisco situado no município de Bom Jesus da Lapa apresenta um quadro recorrente de instabilidade morfológica, resultante da atuação simultânea de processos erosivos e da deposição de sedimentos. As margens, especialmente em áreas adjacentes à zona urbana e a setores agrícolas com vegetação ciliar degradada, demonstram suscetibilidade à erosão. Além disso, observa-se acúmulo de sedimentos e formação de bancos de areia,

sobretudo nas imediações do porto e da orla urbana, o que tem provocado a redução da lâmina d'água, dificultado a navegabilidade e comprometido a eficiência da drenagem durante os eventos de cheia.

Outro aspecto crítico é o espriamento lateral do fluxo em diversos pontos do canal, fenômeno associado ao assoreamento e à perda de profundidade do leito. Essa alteração da dinâmica fluvial favorece a redistribuição de sedimentos e a migração de canais, aumentando o risco de inundações localizadas e afetando negativamente os usos múltiplos do rio, como o abastecimento de água, o transporte hidroviário, a prática de atividades recreativas e a agricultura irrigada.

Destaca-se que eventos hidrológicos extremos registrados nos anos de 2020 e 2022 exerceram papel significativo na intensificação desses processos. Em março de 2020, o nível do rio em Bom Jesus da Lapa alcançou 7,46 m, a maior cheia desde 2012, já indicando um agravamento dos processos erosivos e de deposição de sedimentos (Agência Sertão, 2020). Em fevereiro de 2022, o nível subiu ainda mais, atingindo 9,20 m, o maior valor desde 1992, ocasionando alagamentos expressivos, aceleração do assoreamento e instabilidade acentuada das margens, com impactos diretos sobre a ocupação ribeirinha e a infraestrutura urbana e rural local (Central da Lapa, 2022).

Com o objetivo de subsidiar tecnicamente o diagnóstico e a definição das intervenções, o segmento fluvial em estudo, com aproximadamente 26 km de extensão e largura variando entre 48,01 metros (mínima) e 559,88 metros (máxima), foi setorizado em 18 trechos e 3 canais distintos (Figura 10). Essa subdivisão permite uma análise mais precisa das condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e de ocupação em cada setor, facilitando a identificação de áreas críticas bem como a definição de possíveis soluções alternativas.

A avaliação realizada no trecho do Rio São Francisco que atravessa o município de Bom Jesus da Lapa revelou a coexistência de processos erosivos e sedimentação fluvial que comprometem a estabilidade geomorfológica da calha e de suas margens (Tabela 2). Entre os principais problemas identificados, destacam-se: (i) o assoreamento da calha do rio, (ii) o espriamento lateral do fluxo, (iii) a erosão das margens, e (iv) a presença de bancos de areia.

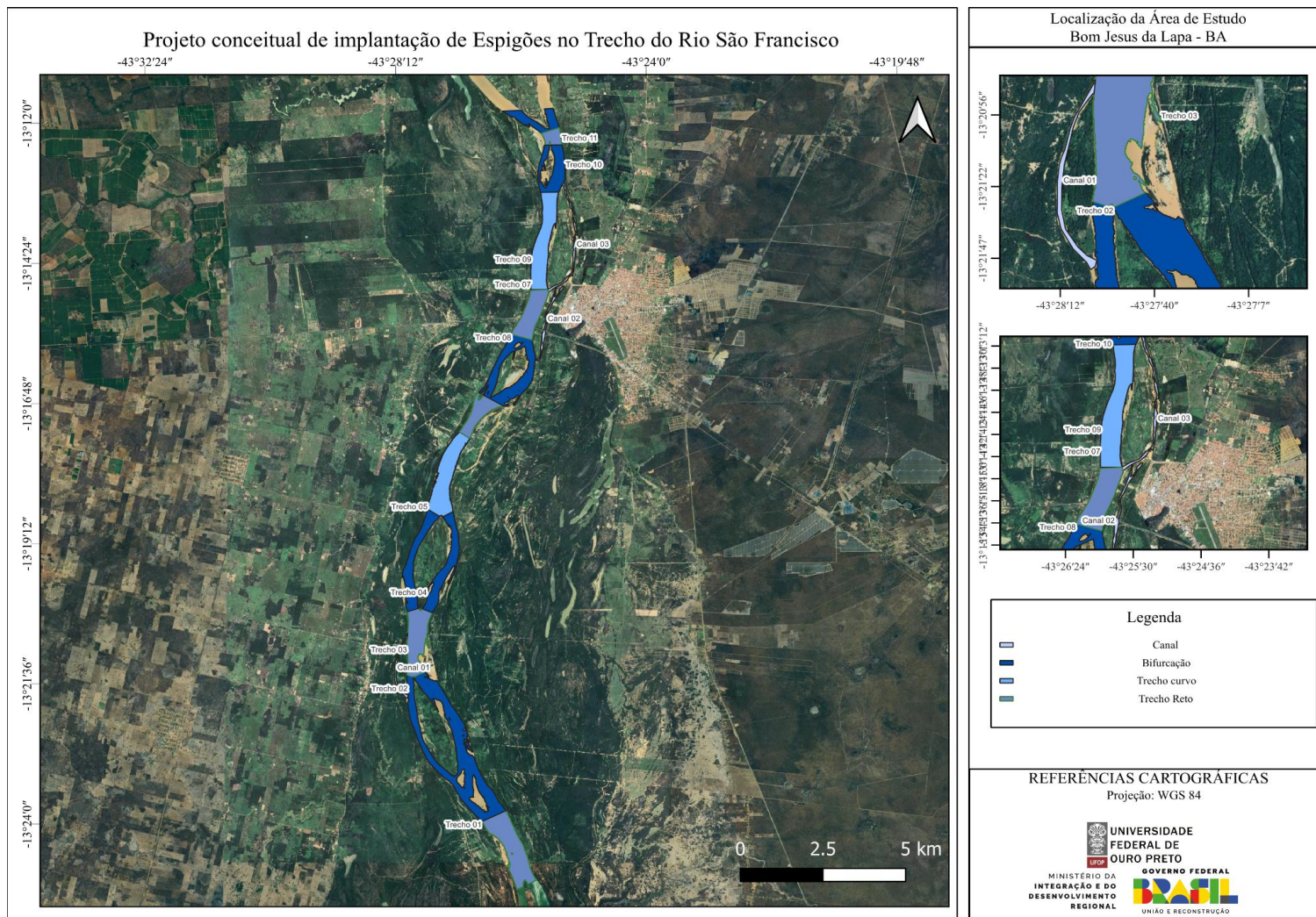


Figura 10. Setorização do trecho fluvial de estudo em 18 trechos e 3 canais distintos ao longo do Rio São Francisco, no município de Bom Jesus da Lapa.

Tabela 2. Caracterização dos trechos e canais analisados no Rio São Francisco.

Trecho	Subtrecho	Comprimento (m)	Largura Média (m)	Bancos de areia		Solo exposto	
				Quantidade	Área (ha)	Quantidade	Área (ha)
Trecho 1	Trecho Reto 1	2.344	559,9	1	17,7	1	1,2
Trecho 2	Bifurcação 1 - braço direito	5.129	349,8	7	100,1	-	-
	Bifurcação 1 - braço Esquerdo	5.228	205,3	2	40,5	1	0,9
Trecho 3	Trecho Reto 2	2.152	497,6	1	38,6	1	2,5
Trecho 4	Bifurcação 2 - braço direito	3.194	272,1	3	29,3	3	8,2
	Bifurcação 2 - braço esquerdo	3.090	273,2	1	7,2	1	2,5
Trecho 5	Trecho Curvo 1	2.648	486,4	1	2,5	6	24,0

Trecho	Subtrecho	Comprimento (m)	Largura Média (m)	Bancos de areia		Solo exposto	
				Quantidade	Área (ha)	Quantidade	Área (ha)
Trecho 6	Trecho Reto 3	1.362	368,2	-	-	2	6,3
Trecho 7	Bifurcação 3 - braço direito	2.231	300,6	3	21,2	4	4,0
	Bifurcação 3 - braço esquerdo	1.945	221,0	1	4,5	-	-
Trecho 8	Trecho Reto 4	1.998	491,4	1	4,5	5	9,2
Trecho 9	Trecho Curvo 2	2.987	441,4	1	3,1	4	11,9
Trecho 10	Bifurcação 4 - braço esquerdo	1.490	110,3	5	16,4	1	0,7
	Bifurcação 4 - braço direito	1.457	350,5	2	4,7	1	4,2
Trecho 11	Trecho Reto 5	562	522,4	2	12,8	1	1,4

Trecho	Subtrecho	Comprimento (m)	Largura Média (m)	Bancos de areia		Solo exposto	
				Quantidade	Área (ha)	Quantidade	Área (ha)
Trecho 12	Bifurcação 5 - braço direito	1.518	276,9	1	4,9	2	4,0
	Bifurcação 5 - braço esquerdo	1.850	235,7	1	10,9	2	1,1
Canal 1	Canal vetorizado em período de estiagem	2.100	43,9	7	4,3	-	-
Canal 2	Canal vetorizado em período chuvoso	2.569	46,3	2	0,8	-	-
Canal 3	Canal vetorizado em período de estiagem	3.768	47,1	10	3,9	2	0,5

O assoreamento da calha é mais acentuado nas imediações do porto e da orla urbana, onde a formação e migração de bancos de areia reduzem a profundidade do leito, diminuem a lâmina d'água, dificultam a navegabilidade e comprometem a drenagem eficiente, especialmente durante eventos de cheia. Essa obstrução parcial da calha impacta diretamente o escoamento das águas e a funcionalidade hidrológica do sistema fluvial (Figura 11).

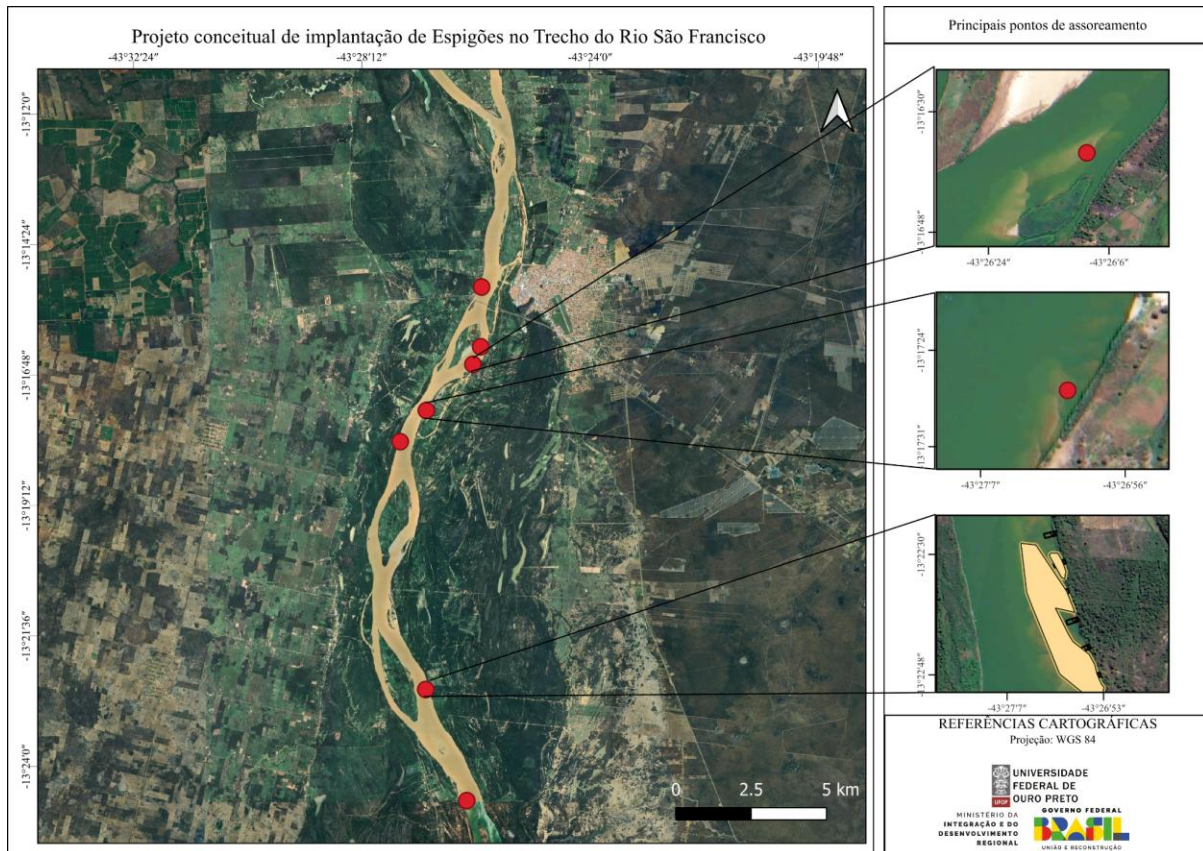


Figura 11. Localização dos principais pontos de assoreamento identificados ao longo do trecho estudado do Rio São Francisco.

O espraiamento lateral do fluxo foi observado em nove pontos distintos ao longo do trecho analisado. Esse fenômeno está associado à perda de profundidade do leito ativo e ao acúmulo de sedimentos finos, que alteram o padrão de escoamento e favorecem a deposição secundária em áreas marginais, provocando alargamento do canal e redistribuição da energia do fluxo (Figura 12).



Figura 12. Registro fotográfico do espraio lateral do fluxo em diferentes eventos extremos: (A) março de 2020 e (B-D) fevereiro de 2022. Fonte: A) Codevasf (2020) B) a D) Notícias da Lapa (2022).

A presença de bancos de areia expostos, especialmente durante o período seco, também representa um fator crítico. Esses bancos de areia funcionam como núcleos de sedimentação que induzem ao encurtamento dos canais de escoamento e intensificam o espraio da água. Apresentam comportamento dinâmico, com migração e reorganização em resposta à variabilidade sazonal das vazões, o que contribui para a redução da capacidade de transporte da calha principal e eleva o risco de transbordamentos durante o período chuvoso.

A erosão das margens ocorre, principalmente, em áreas adjacentes a zonas urbanas e agrícolas, onde a cobertura vegetal nativa foi parcialmente suprimida, tornando as margens mais suscetíveis à erosão lateral (Figura 13). Esse processo resulta na perda de solo, ameaça infraestruturas ribeirinhas e compromete a segurança de comunidades e atividades produtivas estabelecidas nas proximidades.

A associação desses fatores caracteriza um cenário de degradação morfológica da calha do rio, com impactos diretos sobre os múltiplos usos, como o abastecimento de água, o transporte fluvial, o lazer e a conservação da biodiversidade aquática. Além disso, o processo de erosão das margens potencializa perdas de solo, danos à infraestrutura ribeirinha e comprometimento de atividades econômicas locais, como a agricultura irrigada e o turismo religioso que mobiliza significativa a população flutuante na sede municipal. Diante desse cenário, torna-se necessária a adoção de medidas integradas que combinem soluções de engenharia, ações de recomposição da vegetação ciliar, bem como a adoção de estratégias de educação ambiental e participação comunitária. Portanto, essa caracterização subsidia a seleção de alternativas de manejo e recuperação ambiental que conciliam segurança hidráulica, conservação dos recursos naturais e manutenção das funções sociais e econômicas do rio.

5. Descrição das Alternativas

Com base nas características morfológicas, hidrossedimentológicas e socioambientais do trecho fluvial em Bom Jesus da Lapa, foram elaboradas três alternativas técnicas, considerando diferentes graus de intervenção e impacto ambiental.

As soluções foram concebidas a partir de critérios de efetividade hidráulica, sustentabilidade ambiental, adaptabilidade às condições locais e viabilidade construtiva. Em todas as alternativas, foram considerados os seguintes aspectos:

- a morfologia fluvial local (trechos retos, meandranes e bifurcados);
- o comportamento hidrossedimentológico do trecho;
- o calado necessário para navegação;
- a largura média do canal;
- a presença de áreas ambientalmente sensíveis.

Por se tratar de um projeto conceitual, desenvolvido com base em diretrizes gerais de engenharia fluvial e em experiências consolidadas em contextos similares, não foi possível estabelecer critérios mais específicos quanto à geomorfologia local, às características sedimentológicas, à estabilidade das margens ou ao regime hidrodinâmico detalhado do trecho de intervenção. A ausência de levantamentos topobatimétricos, modelagens hidrossedimentológicas e informações geotécnicas precisas limita a definição de parâmetros técnicos mais refinados, especialmente no que se refere à profundidade de fundação das

estruturas, aos espaçamentos ótimos entre espigões, à granulometria dos materiais de enrocamento, entre outros aspectos críticos ao dimensionamento executivo. Assim, as soluções aqui apresentadas devem ser compreendidas como diretrizes preliminares, passíveis de revisão e ajuste conforme a obtenção de dados primários em futuras fases do projeto.

À luz do exposto, são apresentadas três alternativas técnicas (Figura 14): 1) com predomínio de bioengenharia integrada e espigões permeáveis; 2) solução híbrida com espigões semirrígidos; e 3) solução com estruturas rígidas convencionais e espigões estruturais.

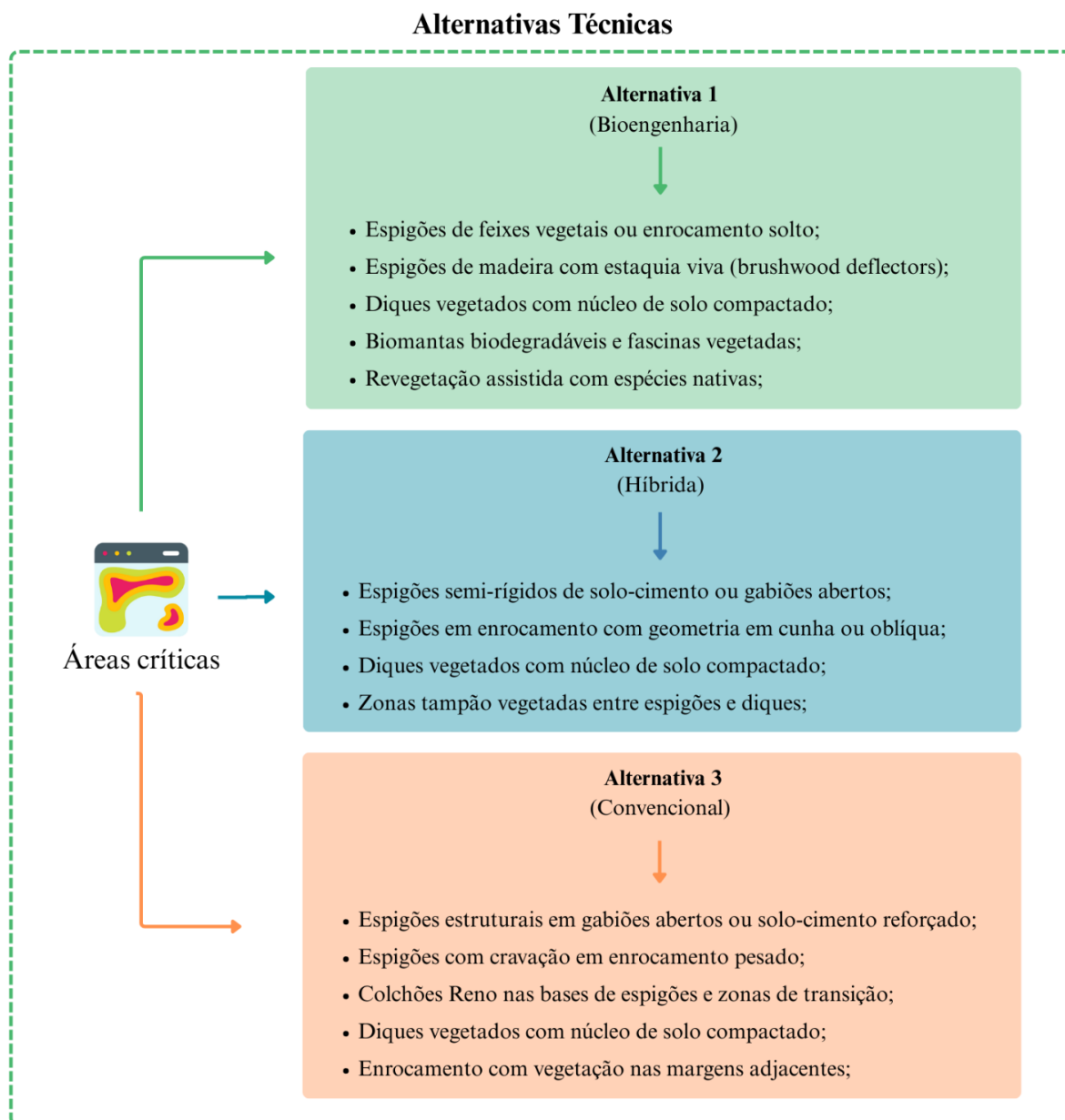


Figura 14. Apresentação esquemática das alternativas propostas.

Alternativa 1 – Solução com Predomínio de Bioengenharia Integrada a Espigões Permeáveis

Essa alternativa tem como foco o uso de soluções baseadas na natureza, priorizando a recuperação morfológica do canal fluvial com emprego de espigões permeáveis integrados a técnicas de bioengenharia. Os espigões, confeccionados com feixes vegetais, estacas vivas ou enrocamentos soltos, são implantados em trechos estratégicos com o objetivo de promover deflexão de fluxo, deposição sedimentar e redução da energia da corrente. A disposição dos espigões respeita a morfologia local e é acompanhada por intervenções de estabilização biotécnica nas margens, com o uso de biomantas biodegradáveis, fascinas e revegetação por estaquia. A lógica de implantação modular permite adaptações conforme o comportamento hidráulico e sedimentológico observado ao longo do tempo, o que torna essa alternativa especialmente adequada a contextos em que se busca compatibilizar proteção fluvial e restauração ecológica.

Componentes Principais:

- Espigões de feixes vegetais ou enrocamento solto: dispostos com ângulo de 30° a 45° em relação à margem, promovem deposição e redução da velocidade do fluxo.
- Espigões de madeira com estaquia viva (brushwood deflectors): utilizados em trechos de menor energia.
- Diques vegetados com núcleo de solo compactado: com cobertura de biomantas ou vegetação densa.
- Biomantas biodegradáveis e fascinas vegetadas: aplicadas entre espigões para estabilização do solo marginal.
- Revegetação assistida com espécies nativas: visando a recuperação da faixa ripária e a integração ecológica da intervenção.

Essa alternativa apresenta como principais vantagens o baixo impacto ambiental, a fácil implantação e a compatibilidade com processos de regeneração natural. Sua efetividade, contudo, depende de diagnóstico técnico prévio, especialmente para definição do espaçamento e da geometria dos espigões, além da necessidade de manutenção periódica, especialmente após eventos de cheia.

Alternativa 2 – Solução Híbrida com Espigões Semirrígidos

Nesta alternativa, adota-se uma abordagem combinada entre contenção lateral e deflexão de fluxo, com a implantação de diques marginais de natureza híbrida (núcleo compactado com cobertura vegetada ou vegetação estruturante) associados à construção de espigões semirrígidos com enrocamento ou solo-cimento. Os espigões têm papel fundamental na proteção da base dos diques, reduzindo a energia do escoamento próximo às margens e induzindo a formação de depósitos sedimentares adjacentes. Os diques, por sua vez, estabilizam a calha e delimitam o avanço lateral da água em áreas com risco de extravasamento, especialmente em zonas agrícolas, urbanas ou infraestruturas sensíveis. A cobertura vegetal sobre os diques, além de favorecer a integração paisagística, contribui para o controle da erosão superficial.

Componentes Principais:

- Espigões semirrígidos de solo-cimento ou gabiões abertos: implantados para redirecionamento de fluxo e proteção dos pés dos diques.
- Espigões em enrocamento com geometria em cunha ou oblíqua: adaptados ao regime hidráulico local.
- Diques vegetados com núcleo de solo compactado: com cobertura de biomantas ou vegetação densa.
- Zonas tampão vegetadas entre espigões e diques: para aumento da rugosidade e retenção de sedimentos.

Essa solução é indicada para trechos com largura fluvial elevada e presença de várzeas com uso antrópico, sendo eficaz na contenção de extravasamentos e na organização da seção ativa. Apesar de exigir maior movimentação de solo e espaço lateral, apresenta boa relação custo-benefício e permite a instalação de sistemas com manutenção reduzida e boa performance hidráulica.

Alternativa 3 – Solução com Estruturas Rígidas Convencionais de Alta Resistência e

Espigões Estruturais

Essa alternativa propõe a implantação de estruturas rígidas convencionais utilizando materiais como gabiões abertos, colchões Reno, solo-cimento e enrocamento pesado. Os espigões desempenham papel central como dispositivos de deflexão de fluxo e proteção longitudinal, posicionados para garantir a estabilidade das margens. Em trechos de maior instabilidade, utiliza-se solo-cimento armado com geogrelhas ou gabiões ancorados em cravação profunda.

Dissipadores naturais e transições em colchões Reno são aplicados para reduzir gradientes hidráulicos, evitando concentração de energia em pontos críticos. Complementarmente, faixas vegetadas são inseridas em bordas de canais e cabeceiras de espigões para mitigar impactos ambientais e promover conectividade lateral mínima.

Componentes Principais:

- Espigões estruturais em gabiões abertos ou solo-cimento reforçado: com fundações profundas e posicionamento oblíquo ao escoamento.
- Espigões com cravação em enrocamento pesado: para controle de margens em trechos com instabilidade severa.
- Colchões Reno nas bases de espigões e zonas de transição: utilizados para reduzir turbulência e erosão localizada.
- Diques vegetados com núcleo de solo compactado: com cobertura de biomantas ou vegetação densa.
- Enrocamento com vegetação nas margens adjacentes: promovendo mitigação ecológica e reforço superficial.

Essa alternativa apresenta robustez técnica e elevada durabilidade estrutural, sendo recomendada para trechos críticos com instabilidade acentuada, proximidade de infraestruturas ou pressão urbana. Embora tenha maior custo de implantação e menor valor paisagístico, sua aplicação pontual e combinada com elementos vegetados permite compatibilizar segurança hidráulica com mitigação de impactos ambientais.

5.1. Delimitação das Áreas de Abrangência Ambiental

A definição da Área Diretamente Afetada (ADA), da Área de Influência Direta (AID) e da Área de Influência Indireta (AII) neste estudo foi orientada pelas diretrizes estabelecidas na legislação ambiental brasileira, em especial pela Lei nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente); pela Resolução CONAMA nº 01/1986; e pela Resolução CONAMA nº 237/1997. Adicionalmente, foram consideradas o Guia de Avaliação de Impacto Ambiental do IBAMA, o PNRBH e o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco.

A delimitação das áreas de abrangência ambiental foi realizada com base em análises técnicas preliminares, fundamentadas exclusivamente em dados secundários disponíveis até o momento, como imagens orbitais multitemporais, registros fluviométricos, documentos

técnicos institucionais e literatura especializada. Ressalta-se que os limites aqui propostos possuem caráter indicativo, sendo suscetíveis de revisão e refinamento na fase de elaboração do projeto executivo e, se aplicável, durante o processo de licenciamento ambiental, mediante a realização de levantamentos de campo e modelagens complementares.

A ADA foi definida como a faixa territorial sujeita a intervenção física direta, abrangendo os pontos de implantação das estruturas hidráulicas (espigões, diques marginais e contenções rígidas), bem como áreas de apoio logístico, canteiros de obras e acessos operacionais. A ADA proposta compreende um trecho linear contínuo de aproximadamente 26 km ao longo do leito e margens do Rio São Francisco, inserido integralmente no município de Bom Jesus da Lapa (BA). Estima-se que essa faixa inclua o leito menor do rio nos trechos de intervenção, margens com largura média de até 50 metros, e, adicionalmente, faixas marginais de até 30 metros destinadas à movimentação de equipamentos, depósito de materiais e implantação de estruturas auxiliares. A delimitação exata da ADA deverá ser validada e ajustada com base em levantamento topográfico de precisão, inspeções em campo e análise da ocupação fundiária, especialmente em trechos urbanos ou com presença de infraestrutura sensível.

A AID, por sua vez, corresponde ao entorno imediato da ADA, sendo caracterizada como a região sujeita a impactos ambientais diretos, ainda que sem intervenção física. Nessa categoria incluem-se os efeitos associados à modificação do escoamento superficial, alteração do regime sedimentar, instabilidade de margens adjacentes, perda ou regeneração de vegetação ciliar, e interferências sobre o uso e ocupação do solo ribeirinho. Com base na análise integrada da morfologia fluvial, das condições hidrodinâmicas e da distribuição do uso do solo, a AID foi definida como uma faixa com largura variável, entre 100 e 300 metros ao longo de ambas as margens do rio. Essa faixa abrange áreas urbanas ribeirinhas, como a orla da Barrinha e o porto fluvial, trechos de uso agrícola nas proximidades da calha e segmentos de APPs com vegetação ripária degradada. A confirmação desses limites requer a execução de levantamentos de campo, diagnóstico socioeconômico participativo e análise integrada de fragilidades ambientais, a serem realizados nas etapas subsequentes do projeto.

A AII foi estabelecida a partir da identificação de possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos de natureza secundária, cumulativa ou induzida, decorrentes da implantação do projeto, mesmo que fora do perímetro diretamente manipulado. Entre os principais fatores considerados na definição da AII destacam-se a possibilidade de alteração do regime hidrossedimentológico em trechos a jusante e montante, o impacto sobre os usos múltiplos da

água (como abastecimento público, irrigação e turismo religioso), a modificação na dinâmica de recarga das planícies aluviais e a repercussão sobre serviços ecossistêmicos associados à conectividade lateral do canal. A AII proposta abrange integralmente a área urbana de Bom Jesus da Lapa, as zonas agrícolas sob influência do Perímetro Irrigado Formoso, e trechos ribeirinhos situados a jusante até o município de Ibotirama. Também foram considerados os riscos de efeitos sinérgicos e impactos cumulativos com outras intervenções existentes ou planejadas na bacia, conforme diretrizes do PNRBH e do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco.

Destaca-se que a definição espacial das áreas de influência direta e indireta tem caráter preliminar e deverá ser objeto de reavaliação à luz de modelagens hidráulicas, simulações de cenários de cheia, diagnóstico socioambiental participativo e diretrizes específicas do órgão ambiental competente, caso o projeto seja submetido a licenciamento ambiental. Recomenda-se que, nas próximas fases, sejam incorporados dados primários georreferenciados, validação em campo e articulação com os instrumentos de planejamento territorial e gestão integrada de recursos hídricos em escala de sub-bacia.

6. Dimensionamento Preliminar

Esta seção apresenta o dimensionamento preliminar de espigões, diques marginais e contenções propostos para intervenção no trecho analisado do Rio São Francisco, na altura de Bom Jesus da Lapa (BA). O objetivo é definir estimativas do número de estruturas necessárias, seus espaçamentos e extensão, de acordo com a morfologia local (subtrechos retos, curvos e bifurcações) e as alternativas técnicas propostas.

A Figura 10 apresenta a divisão do trecho fluvial, com destaque para a classificação morfológica dos subtrechos como retos, curvos e de bifurcação, conforme análise vetorial da geometria do canal e interpretação de imagens. Essa segmentação foi fundamental para orientar o dimensionamento preliminar das estruturas hidráulicas, permitindo adequar os espaçamentos, tipologias e materiais utilizados nas três alternativas técnicas propostas. A distinção entre os tipos de subtrecho possibilita melhor adequação entre as soluções adotadas e o comportamento hidrossedimentológico local.

6.1. Critérios de Dimensionamento

6.1.1. Espigões

A implantação de espigões foi proposta exclusivamente nos subtrechos que apresentam margens expostas e bancos de areia, conforme identificado na análise da base vetorial georreferenciada. Essa escolha se justifica pelas funções principais dessas estruturas, que são a proteção e a reabilitação de margens vulneráveis à erosão fluvial, assim como o redirecionamento do fluxo em direção ao talvegue principal. Ao concentrar as intervenções em áreas críticas, busca-se otimizar os recursos disponíveis, garantir maior efetividade hidráulica e minimizar os impactos ambientais associados à instalação das obras.

O dimensionamento foi baseado em boas práticas descritas no manual técnico da MACCAFERRI (Fracassi et al., 2017), além de estudos de caso nacionais e internacionais. Foram adotados critérios distintos para espaçamento e comprimento de espigões conforme a morfologia do canal e a alternativa técnica escolhida.

Comprimento dos Espigões (L_e)

O comprimento dos espigões foi calculado como uma fração da largura média do canal fluvial. A fórmula utilizada foi:

$$L_e = k \times L$$

Em que:

- L_e = Comprimento do espigão;
- L = Largura do canal fluvial;
- $k = 0,30$ - para trechos retos;
- $k = 0,25$ - para trechos curvos e bifurcações.

Em que: L é a largura média do canal e k o coeficiente definido acima.

Para os trechos retos, a proporção de 30% tem como fundamento o fato de que, em canais retilíneos, o escoamento apresenta padrão mais uniforme e centrado, o que exige maior penetração das estruturas transversais na calha para induzir efetivamente a redistribuição da corrente e promover deposição sedimentar próxima às margens. O objetivo, nesse caso, é estimular a formação de bancos laterais e recuperar a seção útil da calha sem comprometer a

navegabilidade. O uso de espigões mais longos em trechos retos também é sustentado por referências clássicas da engenharia hidráulica, como os manuais do United States Army Corps of Engineers (USACE) e Macafferri, que recomendam, para essas situações, comprimentos entre 25% e 35% da largura do canal, a depender da função da estrutura (se de repulsão, estabilização ou sedimentação).

Por outro lado, nos trechos caracterizados por curvaturas acentuadas ou presença de bifurcações, optou-se por reduzir o comprimento dos espigões para cerca de 25% da largura média do canal. Essa decisão decorre da necessidade de minimizar os riscos associados à intensificação da velocidade de escoamento na margem oposta, bem como evitar interferências negativas na divisão natural do fluxo entre os canais principais e secundários. Em curvas, há predominância de forças centrífugas e gradientes de velocidade transversais que tornam o ambiente hidráulico mais instável, o que exige soluções mais comedidas. Espigões excessivamente longos nesses contextos podem promover bloqueios parciais, induzir contracorrentes erosivas ou desviar a corrente de forma abrupta, comprometendo a estabilidade morfológica e ecológica do sistema fluvial. Por essa razão, adotar estruturas com penetração mais discreta na calha, mas ainda assim eficazes em sua função de redirecionamento e contenção, representa uma estratégia mais segura e compatível com a complexidade hidrodinâmica observada nesses trechos.

O comprimento total de cada estrutura foi subdividido em duas porções fundamentais: a porção ativa (ou projetante), que avança em direção ao leito do rio e atua diretamente sobre o fluxo, e a porção de engaste, que se ancora na margem e garante a estabilidade estrutural da intervenção. A proporção entre essas partes segue recomendações clássicas da engenharia hidráulica, adaptadas às condições locais de largura de canal, tipo de fundação e intensidade do escoamento.

O comprimento de engaste foi definido como correspondente a aproximadamente 20% do comprimento total do espigão. Essa escolha visa assegurar ancoragem segura da estrutura na margem, resistindo às forças hidrodinâmicas incidentes, à pressão do fluxo lateral e ao empuxo gerado pelo sedimento transportado. Em canais naturais, especialmente em margens não consolidadas ou com material de baixa coesão, é fundamental que a porção de engaste seja suficientemente longa para evitar instabilidade por arrancamento ou rotação da estrutura. Além disso, o engaste prolongado contribui para a transmissão das cargas para camadas mais

profundas e estáveis do solo, reduzindo a necessidade de fundações especiais em boa parte dos subtrechos avaliados.

Já a porção ativa do espigão, que representa cerca de 80% do comprimento total da estrutura, é responsável por produzir os efeitos desejados sobre o escoamento e a morfodinâmica do canal. Essa parte projetada em direção ao leito atua na indução à deposição sedimentar, redirecionamento da corrente para o centro do canal e proteção da margem adjacente. A escolha dessa proporção busca maximizar a eficácia hidráulica dos espigões sem comprometer a navegabilidade ou gerar efeitos adversos como canalizações abruptas ou erosões na margem oposta. Trata-se, portanto, de um equilíbrio técnico entre estabilidade estrutural e desempenho hidráulico, obtido a partir da experiência consolidada de intervenções semelhantes e conforme as recomendações de manuais técnicos, como os produzidos pelo USACE e instituições europeias especializadas em obras fluviais.

Essas proporções também favorecem a replicabilidade do projeto ao longo de diferentes subtrechos com características morfológicas distintas, mantendo coerência construtiva e facilitando a modelagem orçamentária e a execução em campo.

Espaçamento entre Espigões (S) e Número de Espigões (N)

O espaçamento entre os espigões ao longo do trecho fluvial de Bom Jesus da Lapa foi estabelecido com base em sua morfologia dominante, respeitando critérios hidrodinâmicos e funcionais amplamente adotados em projetos de regularização e proteção de margens. A escolha dos valores considerou o equilíbrio entre a eficácia hidráulica da estrutura, a estabilidade do sistema e a viabilidade econômica de execução, de modo a garantir o desempenho adequado sem sobreposição desnecessária de efeitos entre as estruturas.

Nos trechos retilíneos, onde o fluxo tende a se manter mais concentrado no eixo central do canal e os gradientes de energia são mais uniformes, o espaçamento foi definido como 3,5 vezes o comprimento do espigão ($S = 3,5 \times Le$). Esse valor permite uma boa cobertura da margem sem sobrecarregar o sistema com estruturas redundantes, sendo adequado para induzir deposição lateral progressiva e restabelecer a simetria hidráulica da calha.

Para os trechos curvos, nos quais há o efeito centrífugo e a concentração de energia cinética, o espaçamento foi reduzido para três vezes o comprimento do espigão ($S = 3 \times Le$). Essa redução tem como objetivo evitar lacunas que possam favorecer erosões localizadas, assegurando

proteção contínua ao longo da curvatura e mantendo o fluxo dentro de limites morfológicamente controláveis.

Já nas zonas de bifurcação, onde a dinâmica fluvial é particularmente complexa em razão da divisão do escoamento e das variações de profundidade e velocidade entre os canais, adotou-se um espaçamento ainda mais restrito, equivalente a 2,5 vezes o comprimento da estrutura ($S = 2,5 \times L_e$). Essa aproximação entre os espigões busca garantir maior controle sobre a direção do fluxo e a manutenção da navegabilidade, além de reduzir o risco de instabilidades associadas à migração dos canais secundários.

A estimativa do número de espigões necessários em cada subtrecho foi realizada por meio da razão entre o comprimento linear do subtrecho e o espaçamento definido ($N = \text{comprimento do subtrecho} / S$). Esse procedimento permitiu dimensionar a quantidade de estruturas por trecho de forma racional, compatibilizando a intensidade da intervenção com a necessidade hidráulica e morfológica de cada localidade.

Altura dos Espigões (S) e Ângulo de Orientação

A definição da altura dos espigões adotada no presente dimensionamento preliminar foi baseada na premissa de que essas estruturas devem atuar predominantemente durante os períodos de vazão média a alta, sem representar barreiras fixas que obstruam a calha em situações de cheia ou causem represamento excessivo. Para isso, considerou-se como referência à altura média do nível d'água em condições de escoamento regular acrescida de uma margem de segurança. Nos trechos onde o banco de sedimentos encontra-se elevado e a calha apresenta maior assoreamento, a altura projetada dos espigões foi dimensionada entre 60% e 80% da profundidade média local. Esse critério visa permitir que a estrutura influencie o fluxo de forma efetiva — promovendo a deflexão da corrente e a deposição sedimentar adjacente — sem criar obstáculos rígidos permanentes que alterem a dinâmica natural da planície aluvial. Além disso, a submergência parcial favorece o amortecimento da energia do escoamento e reduz a suscetibilidade ao socavamento¹ na base dos espigões.

A definição do ângulo de orientação dos espigões em relação ao eixo do escoamento principal foi realizada com base na função hidrossedimentológica prioritária em cada tipo de trecho

¹ **Socavamento**, no contexto dos espigões, é o processo de erosão localizado que ocorre ao redor ou abaixo da fundação da estrutura devido à ação do escoamento da água, principalmente quando há alta velocidade, vórtices ou mudanças bruscas na direção do fluxo.

fluvial, considerando o comportamento da corrente, a necessidade de controle de margens e o estímulo à sedimentação lateral. Em trechos retos, os espigões foram projetados com orientação a jusante formando um ângulo de aproximadamente 30 graus em relação à linha de corrente. Essa escolha decorre do fato de que ângulos mais fechados promovem uma deflexão suave do fluxo para o centro da calha, sem gerar alterações bruscas no campo de velocidades ou zonas de recirculação excessivamente intensas. A orientação em 30 graus é classicamente associada a espigões do tipo guia de corrente, que têm como principal função manter o escoamento concentrado na seção central do canal, favorecendo a recuperação de calado e o controle do avanço de bancos laterais. Além disso, essa configuração reduz o risco de socavamento na base da estrutura e é menos suscetível à formação de turbulência intensa, o que aumenta sua durabilidade e reduz a demanda por manutenção.

Nos trechos classificados como bifurcações, foi adotada uma orientação transversal, com ângulo de 90 graus em relação ao escoamento dominante. Nessa situação, a função da estrutura é sobretudo de estabilização sedimentar e reforço de margem, buscando conter a migração dos canais e manter a divisão de fluxo relativamente constante. Espigões perpendiculares ao leito têm maior capacidade de induzir deposição local e promover uma barreira hidráulica que favoreça o acúmulo de sedimentos no entorno imediato da estrutura. Isso é especialmente importante em regiões de bifurcação, onde a competição entre os canais por energia e vazão pode levar à instabilidade morfológica e à erosão regressiva. A adoção do ângulo reto permite também a criação de zonas de amortecimento do escoamento secundário e maior controle sobre a geometria da confluência dos fluxos.

Em áreas com necessidade de estabilização mais agressiva — como nas curvas externas e zonas com ataque fluvial acentuado — foram utilizados ângulos mais fechados, de 45°, com vistas a aumentar a eficiência na deflexão do escoamento e criar uma barreira hidráulica mais pronunciada. A escolha do ângulo, portanto, considera a interação entre o vetor de velocidade da corrente e a orientação do espigão, respeitando as condições locais de ataque hidráulico, morfologia e objetivo específico da intervenção.

Em todos os casos, buscou-se garantir que a inclinação favorecesse a autodepuração da calha, mantendo-se compatível com a navegabilidade e minimizando efeitos colaterais a jusante. Dessa forma, a definição da altura e do ângulo dos espigões atende simultaneamente aos requisitos de funcionalidade hidráulica, segurança estrutural e adequação ambiental.

Fundação e Material

A escolha dos materiais e fundações para os espigões foi realizada considerando a função hidráulica principal de cada estrutura, as condições morfológicas locais e a viabilidade técnica de implantação. Com base nas diretrizes clássicas da engenharia fluvial, os espigões foram classificados em dois tipos funcionais — de estabilização e de sedimentação — e, para cada tipo, especificou-se o material estrutural e o sistema de fundação mais apropriado.

Para os espigões de estabilização, projetados para conter processos erosivos e proteger as margens contra o recuo lateral, adotou-se como solução construtiva preferencial o enrocamento de pedra bruta, disposto em camada única ou dupla, com ou sem gabiões de reforço, conforme a declividade da margem e a energia do fluxo. Esse tipo de espigão atua como barreira física à propagação da erosão, exigindo materiais de elevada densidade e intertravamento natural, capazes de resistir à força de arrasto e à instabilidade superficial. Em geral, recomenda-se que essas estruturas sejam fundadas diretamente sobre o leito, com escavação rasa e berço de assentamento em material granular, podendo incluir colchões de geotêxtil ou camadas filtrantes quando houver risco de piping ou erosão por percolação.

Já os espigões de sedimentação, cuja função principal é induzir a deposição de sedimentos finos nas margens adjacentes, foram especificados com materiais mais leves e permeáveis, como madeira roliça tratada, feixes vegetativos ou enrocamento solto de pequeno porte. Essas estruturas, ao atuarem como elementos semipermeáveis, favorecem a redução da velocidade local do fluxo e promovem zonas de baixa turbulência, criando condições ideais para o acúmulo de sedimentos. A opção por materiais vegetativos ou seminaturais também contribui para a integração paisagística e a regeneração da vegetação ripária. Em relação à fundação, a cravação direta da madeira no solo marginal, com profundidade de no mínimo $1/3$ da altura da estrutura, é suficiente na maioria dos casos. Em áreas mais instáveis, pode-se utilizar amarração com cordoalhas ou reforço com perfis leves de aço galvanizado, cravados em alternância com os elementos vegetativos.

Dessa forma, a correspondência entre tipo funcional do espigão, material empregado e fundação adotada assegura que cada estrutura atue de maneira otimizada conforme sua posição no sistema e as exigências hidrossedimentológicas do subtrecho em que será implantada, respeitando ao mesmo tempo critérios técnicos, ambientais e orçamentários.

6.1.2. Espigões tipo Chevron

A implantação de espigões tipo chevron foi proposta de forma pontual, exclusivamente nos subtrechos onde se verificou a presença de bancos de areia estáveis localizados em áreas de bifurcação fluvial, conforme identificado na análise integrada da base vetorial georreferenciada e nas imagens de alta resolução. Essa tipologia de espigão foi adotada como solução morfossedimentar estratégica, associando-se diretamente ao aproveitamento da geometria natural dos bancos e à necessidade de concentração do escoamento no talvegue principal, com vistas à proteção das margens adjacentes, à manutenção da navegabilidade e ao controle da evolução lateral da calha.

O uso dos espigões chevron justifica-se pelas suas funções hidráulicas específicas: indução da deposição sedimentar na região posterior ao “V”, recentralização do fluxo e amortecimento da energia da corrente em pontos críticos de divisão de vazão, como bifurcações instáveis ou áreas com canais múltiplos. Trata-se, portanto, de uma estrutura de caráter corretivo e estabilizador, cujo desempenho depende de sua conformação geométrica, orientação e adaptação à morfologia local do leito. Na Figura 15 é apresentada uma representação esquemática deste tipo de espigão, combinado aos espigões retos.



Figura 15. Representação esquemática de espigões chevron e retos

Geometria dos Espigões Chevron

O espigão chevron é composto por uma haste central (vértice do “V”) e dois braços laterais simétricos ou assimétricos, dispostos com abertura voltada para montante, de modo a receber o escoamento e redistribuí-lo em direção ao centro da calha. As dimensões foram definidas com base nas proporções relativas à largura média do canal e à extensão do banco de areia em que será implantado.

Comprimento das hastes:

Haste central (L_0): definida como 1/3 da largura do canal, estendendo-se do ponto de maior estabilidade do banco de areia até a posição desejada para o vértice da estrutura.

Braços laterais (L_1): equivalem a cerca de 50% de L_0 , conformados sobre o banco e adaptados às suas bordas naturais, garantindo que a estrutura respeite a morfologia sedimentar preexistente.

Ângulo de abertura (θ):

Adotado em 90° , voltado contra o escoamento, com o objetivo de desviar o fluxo lateralmente em direção ao talvegue (centro do canal), reduzindo, por consequência, a velocidade do escoamento entre os braços do “V”.

Implantação e Engaste

Diferentemente dos espigões retos, os espigões chevron foram idealizados nesta proposta sem necessidade de engaste direto nas margens, visto que todos os casos de aplicação se deram sobre bancos de areia centrais considerados estáveis. Nesses casos, a fundação da estrutura é realizada diretamente sobre o banco, com reforço da base por meio de colchões de proteção, enrocamento ou camadas de geotêxtil, garantindo resistência à erosão por percolação e segurança contra deslocamento.

A escolha por estruturas totalmente conformadas ao banco de areia deve-se à ausência de margens laterais próximas, em alguns casos, e ao objetivo específico de estabilizar o banco, evitando sua migração longitudinal ou erosão lateral, além de controlar a direção do fluxo entre os ramos da bifurcação.

Com base nos critérios hidrossedimentológicos, morfológicos e funcionais previamente definidos — considerando variáveis como a largura média do canal, a tipologia fluvial de cada subtrecho, a presença de margens expostas e bancos de areia, a orientação predominante do escoamento e os objetivos específicos de cada intervenção —, foi realizado o dimensionamento preliminar dos espigões a serem implantados no trecho fluvial de Bom Jesus da Lapa. As Figuras 16 a 26 apresenta a distribuição espacial das estruturas propostas por subtrecho, enquanto as Tabelas 3 e 4 consolidam as principais características geométricas e construtivas dos espigões indicados, de acordo com as especificações técnicas adotadas para cada contexto.

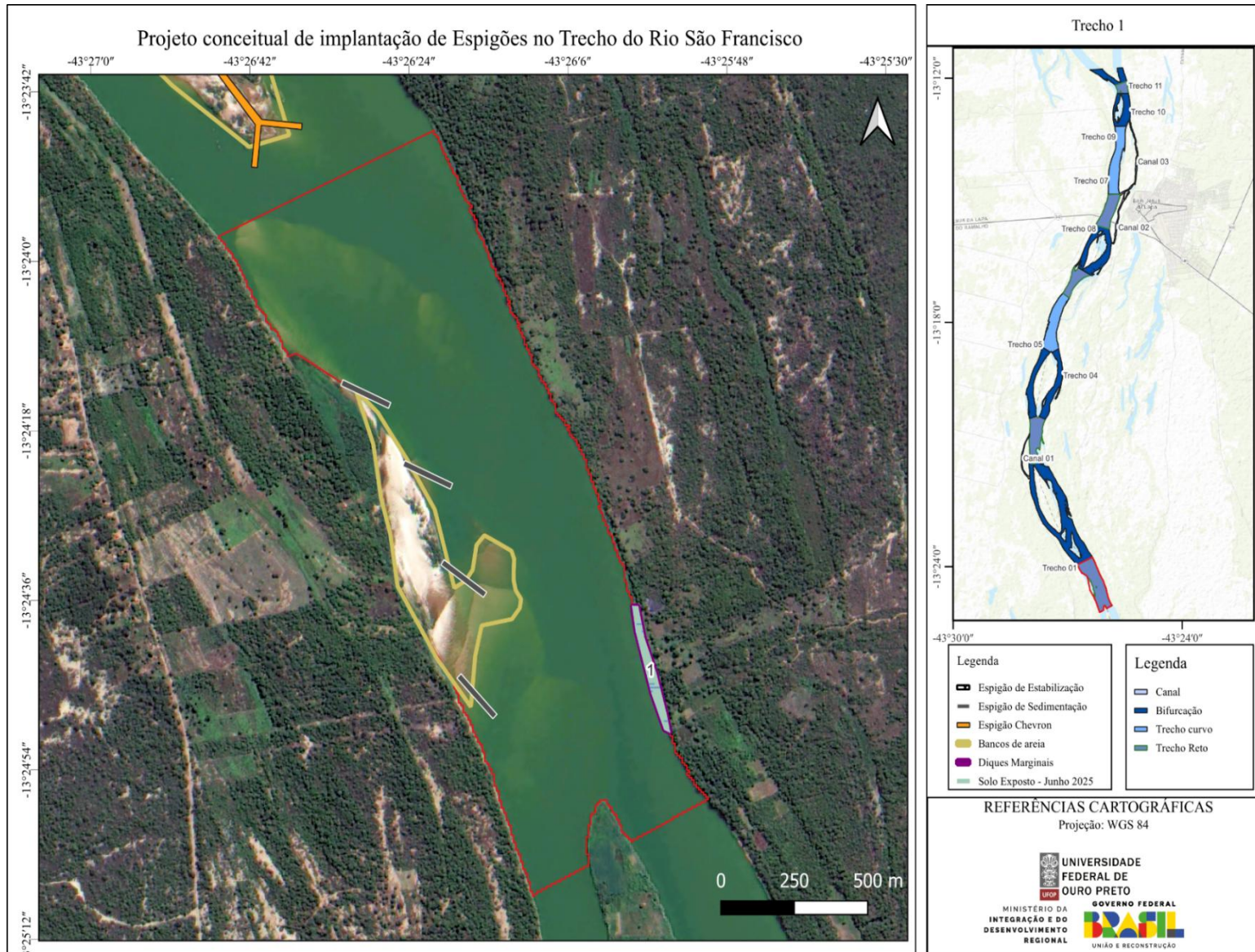


Figura 16. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 1.
Página | 51

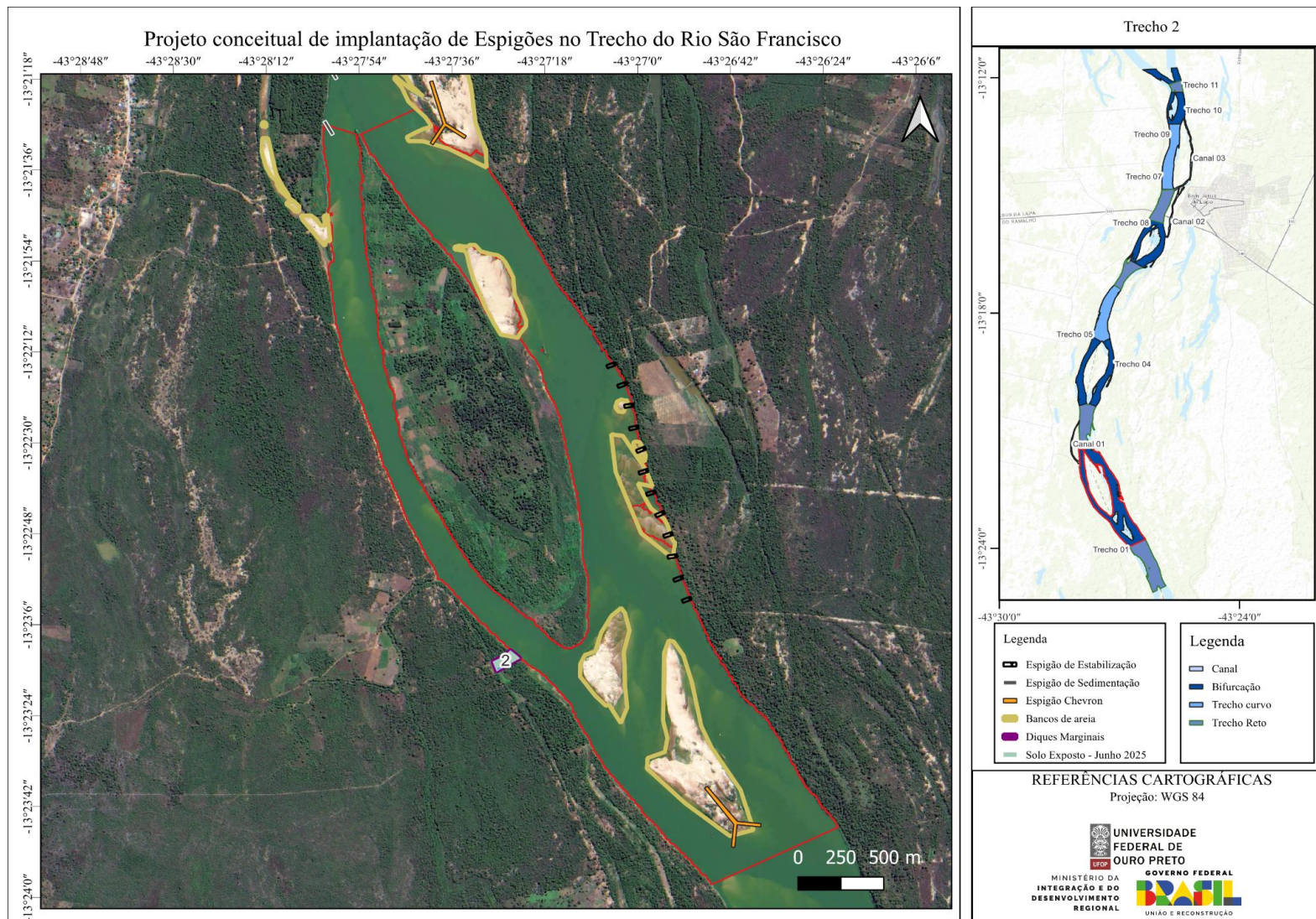


Figura 17. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 2.

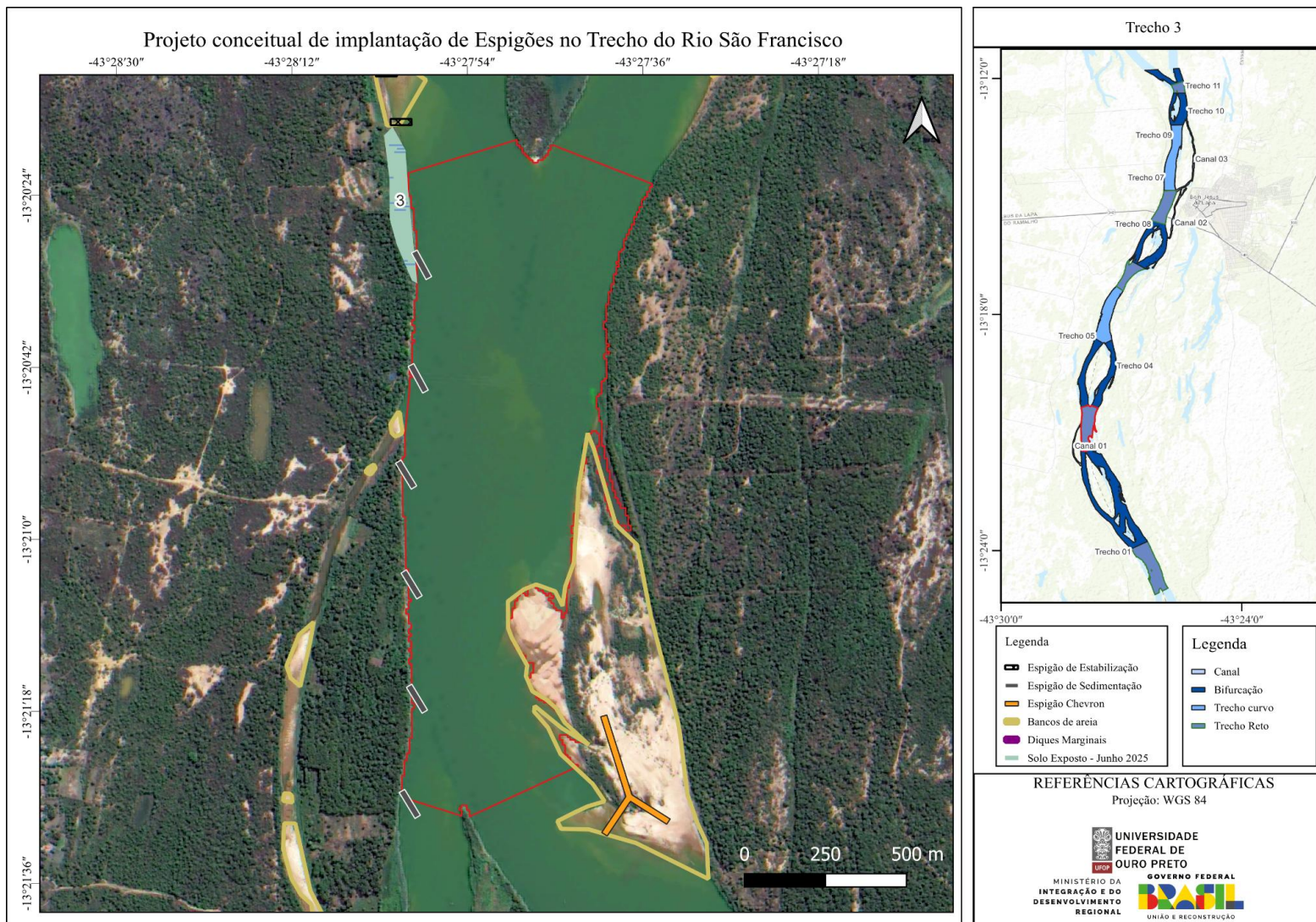


Figura 18. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 3.

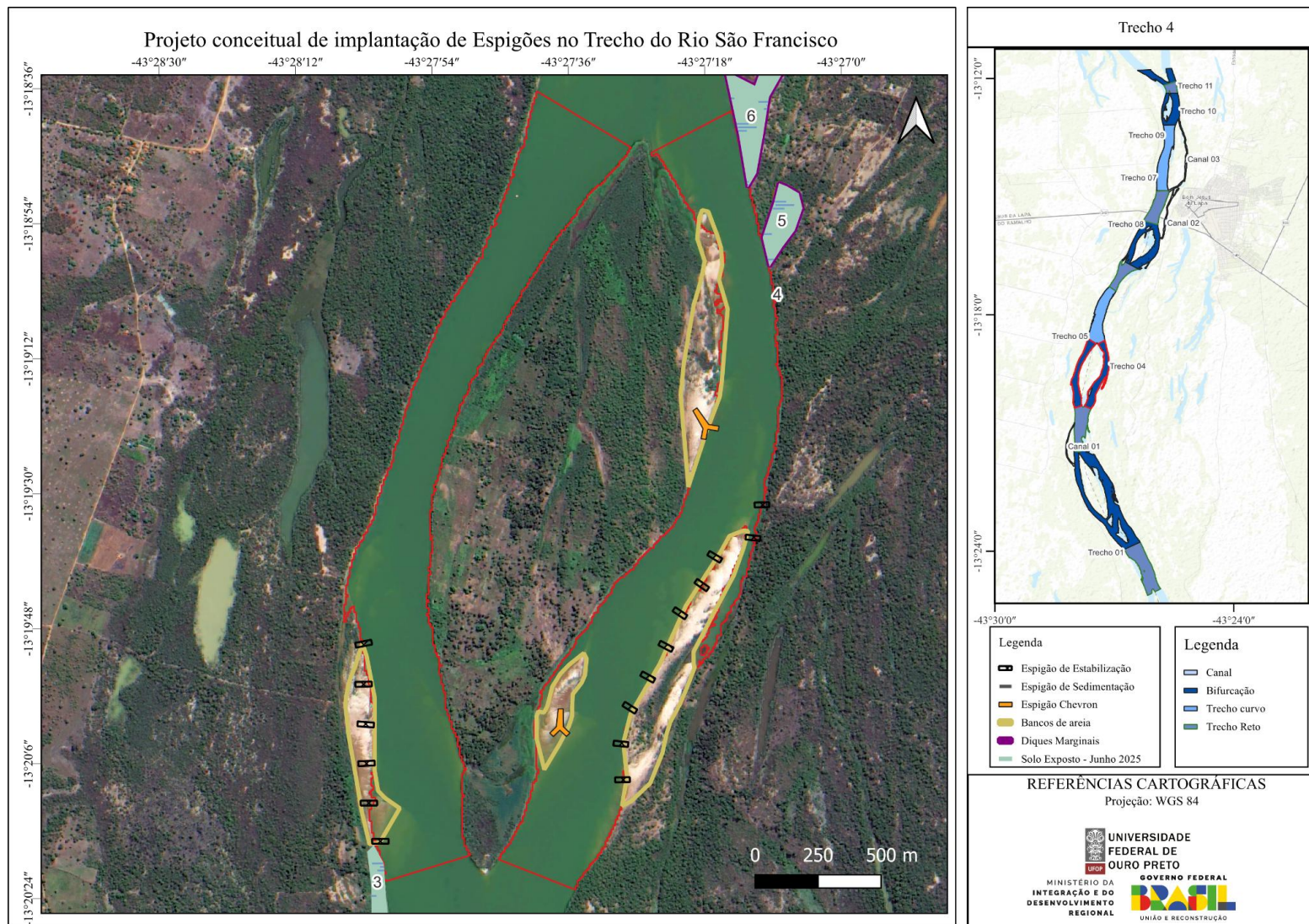


Figura 19. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 4.

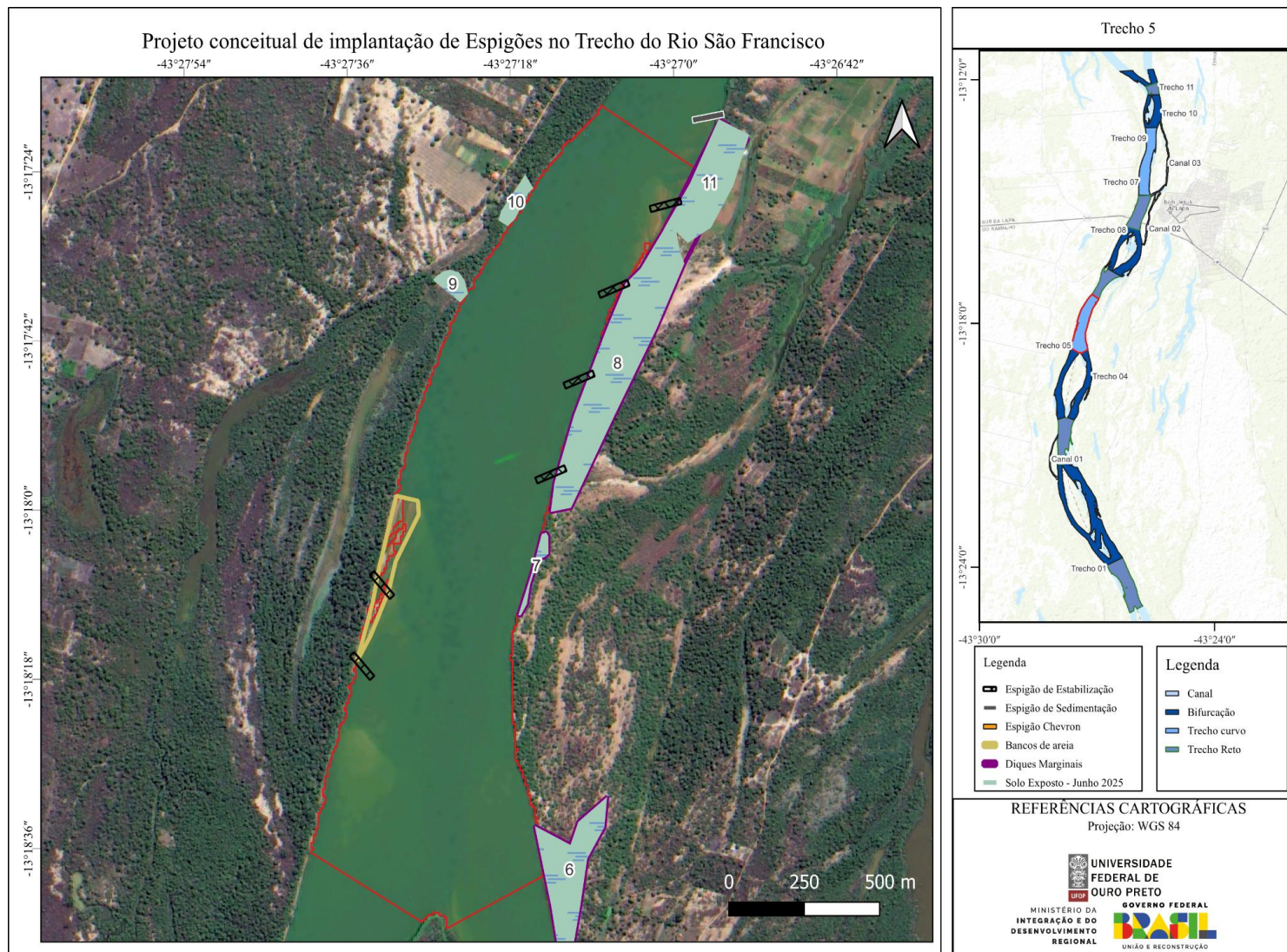


Figura 20. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 5.

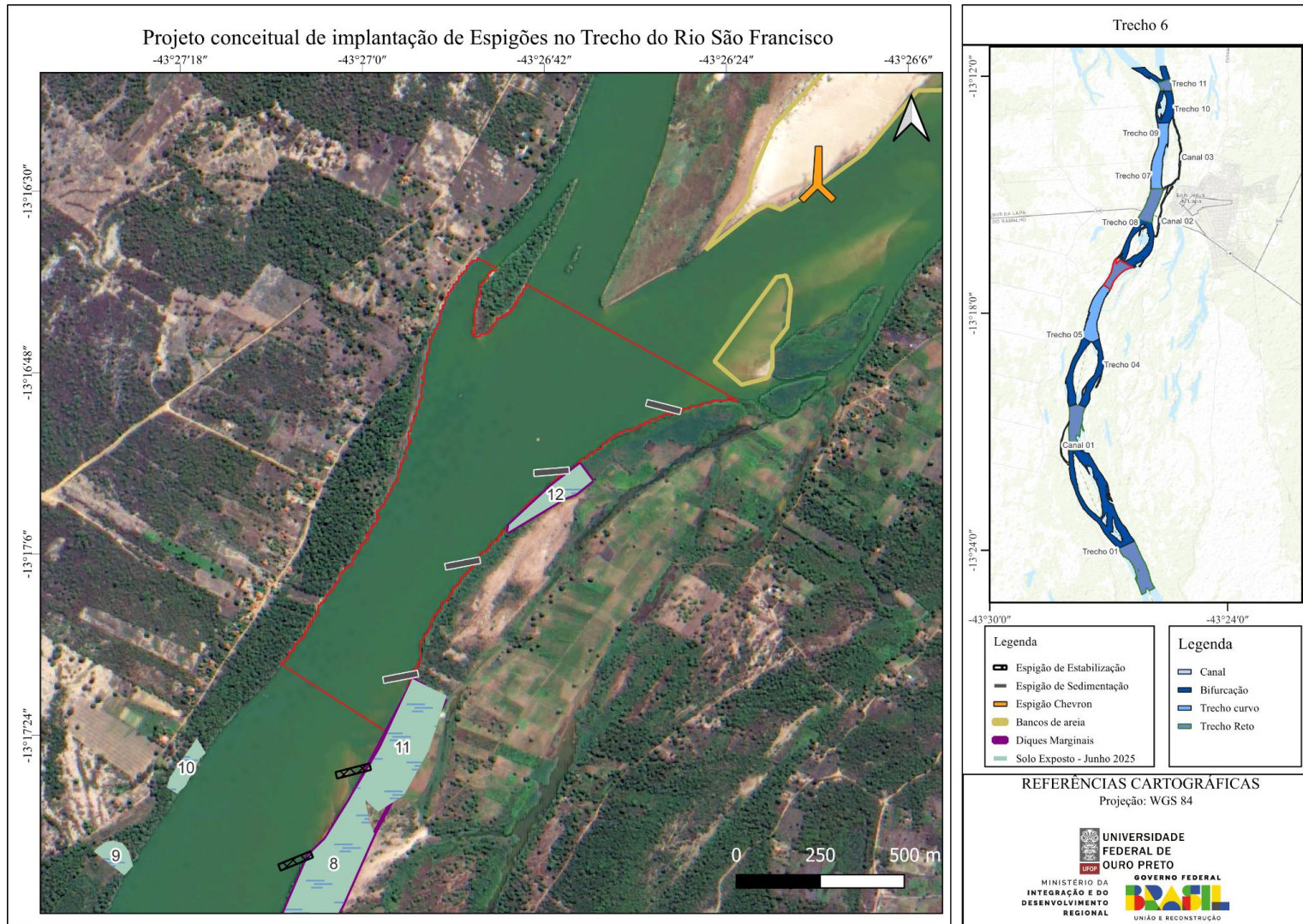


Figura 21. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 6.

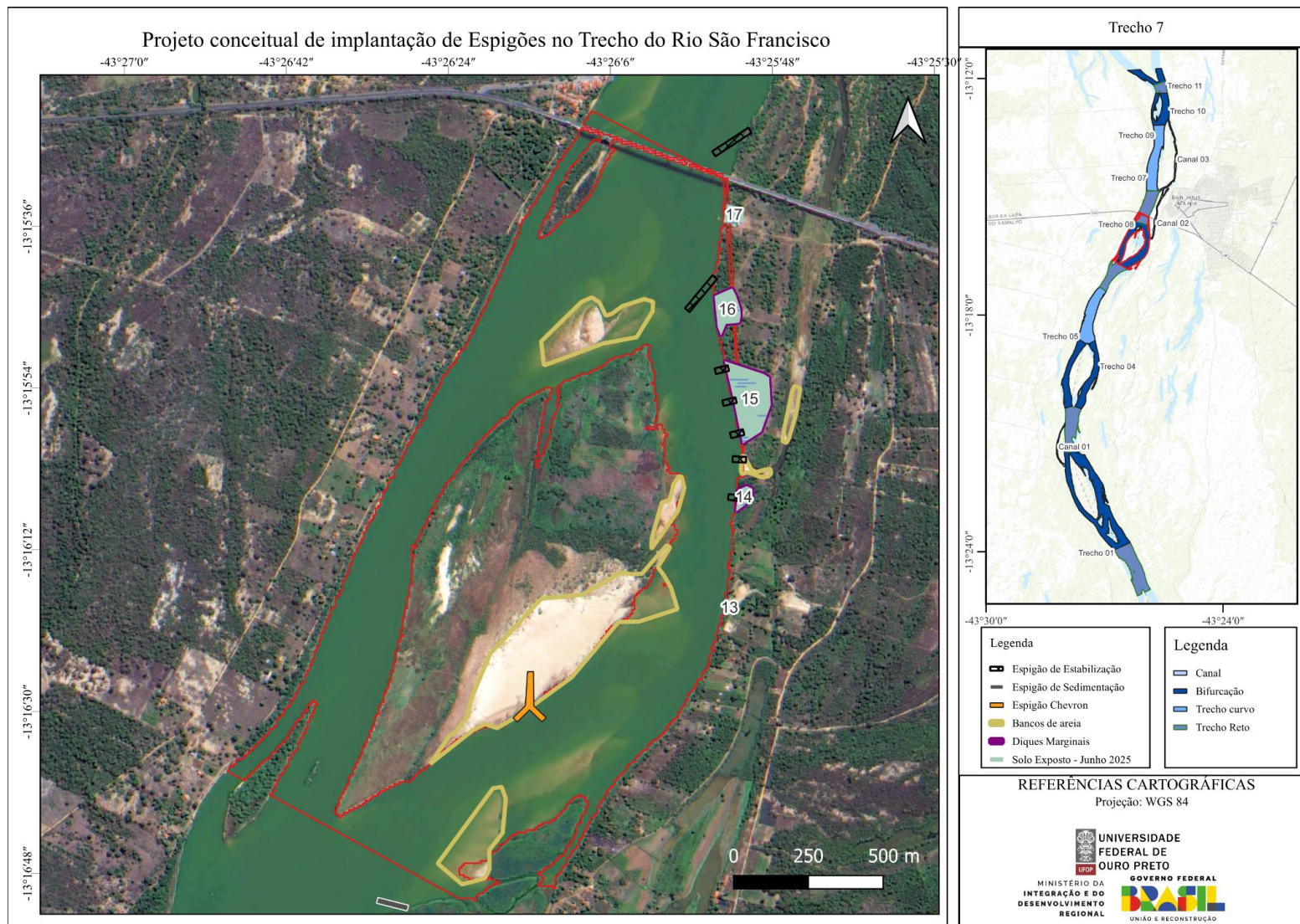


Figura 22. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 7.

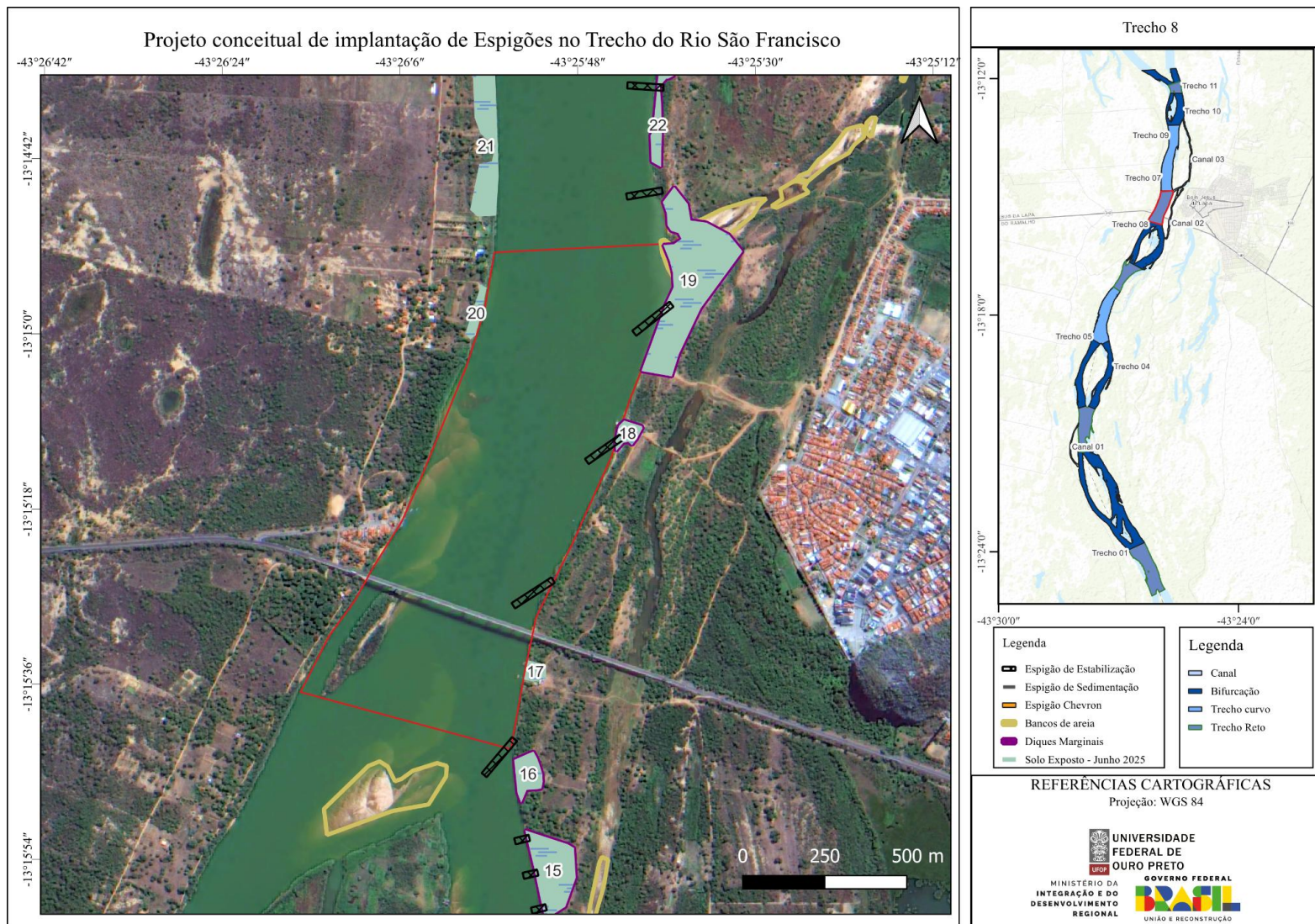


Figura 23. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 8.

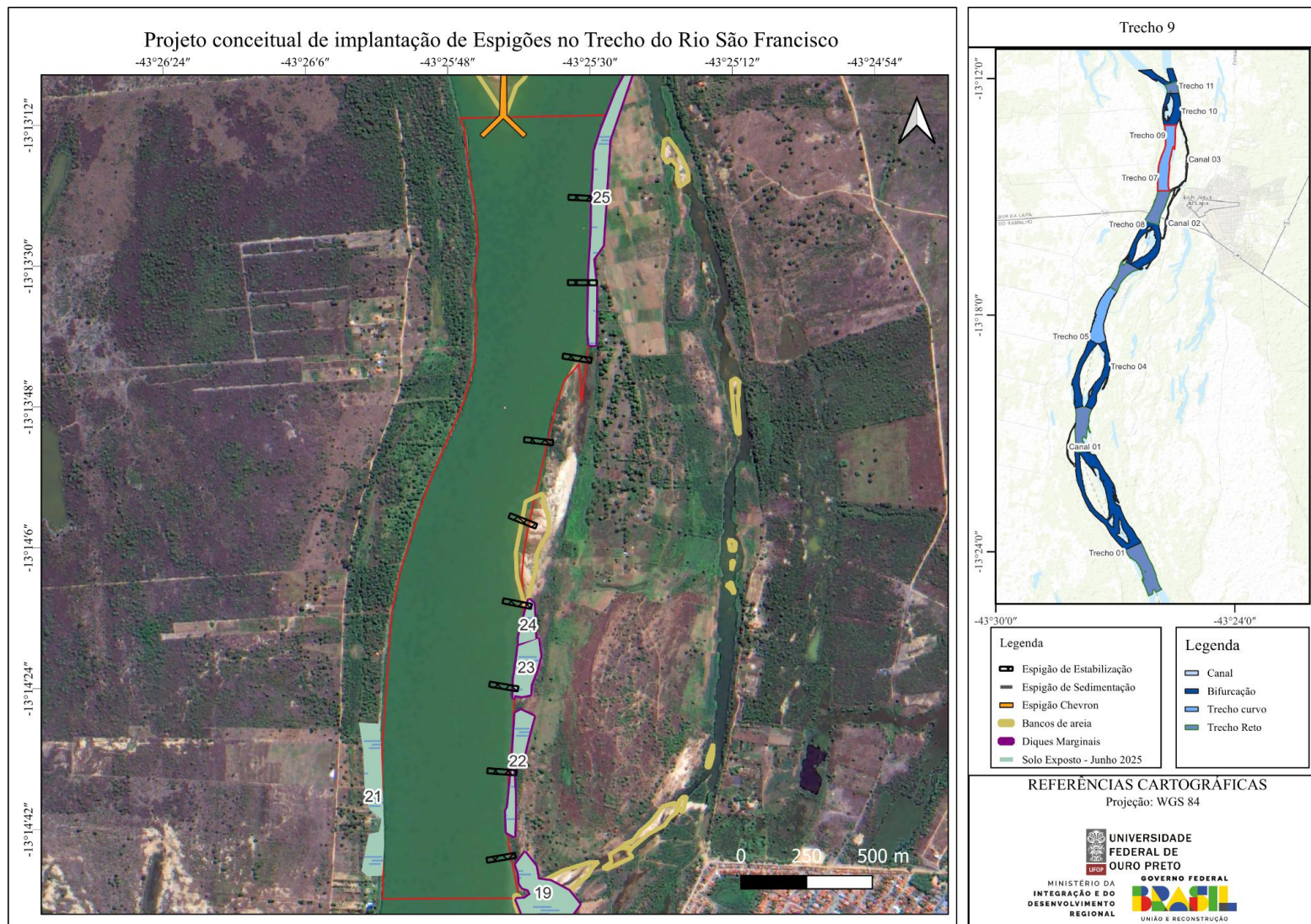


Figura 24. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 9.

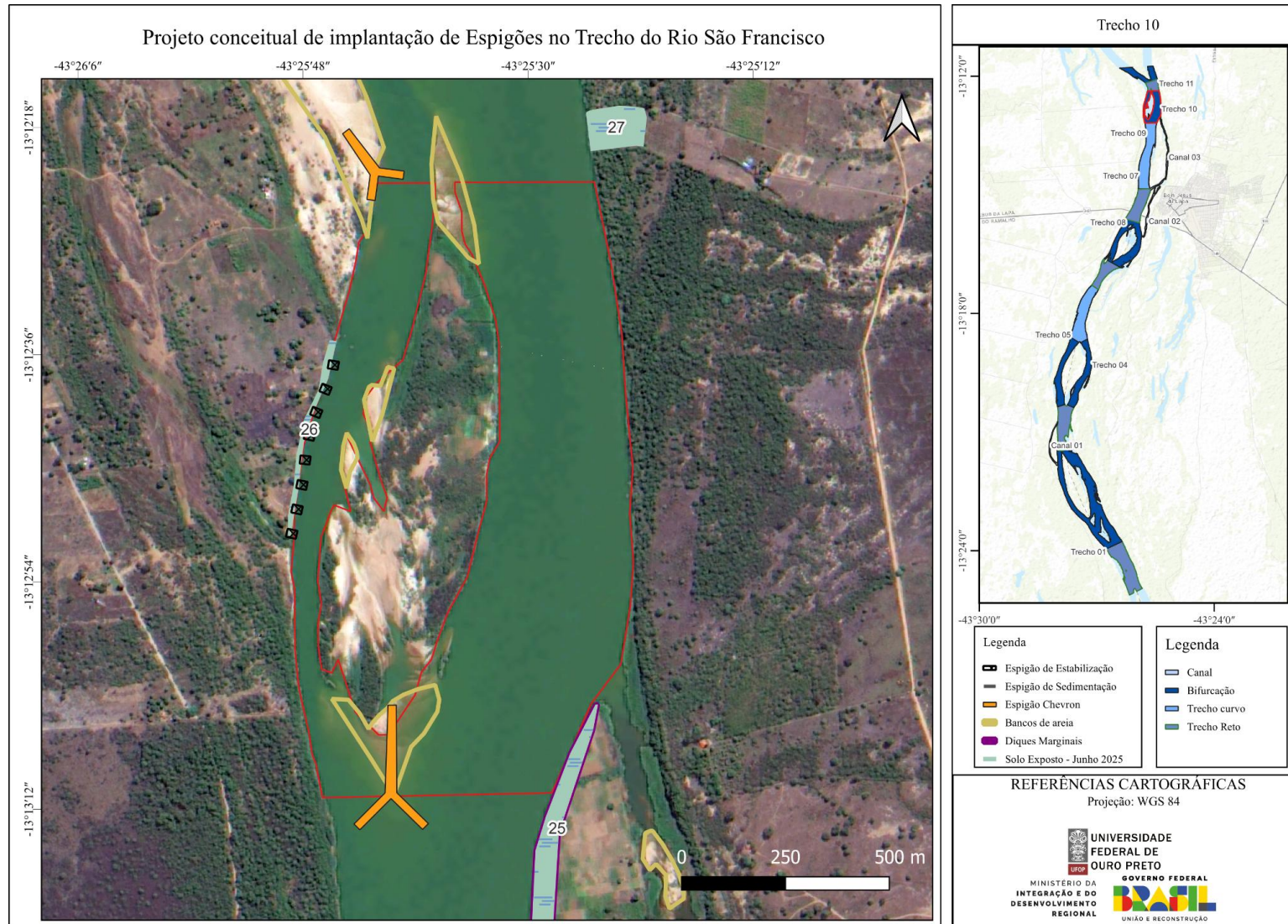


Figura 25. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 10.

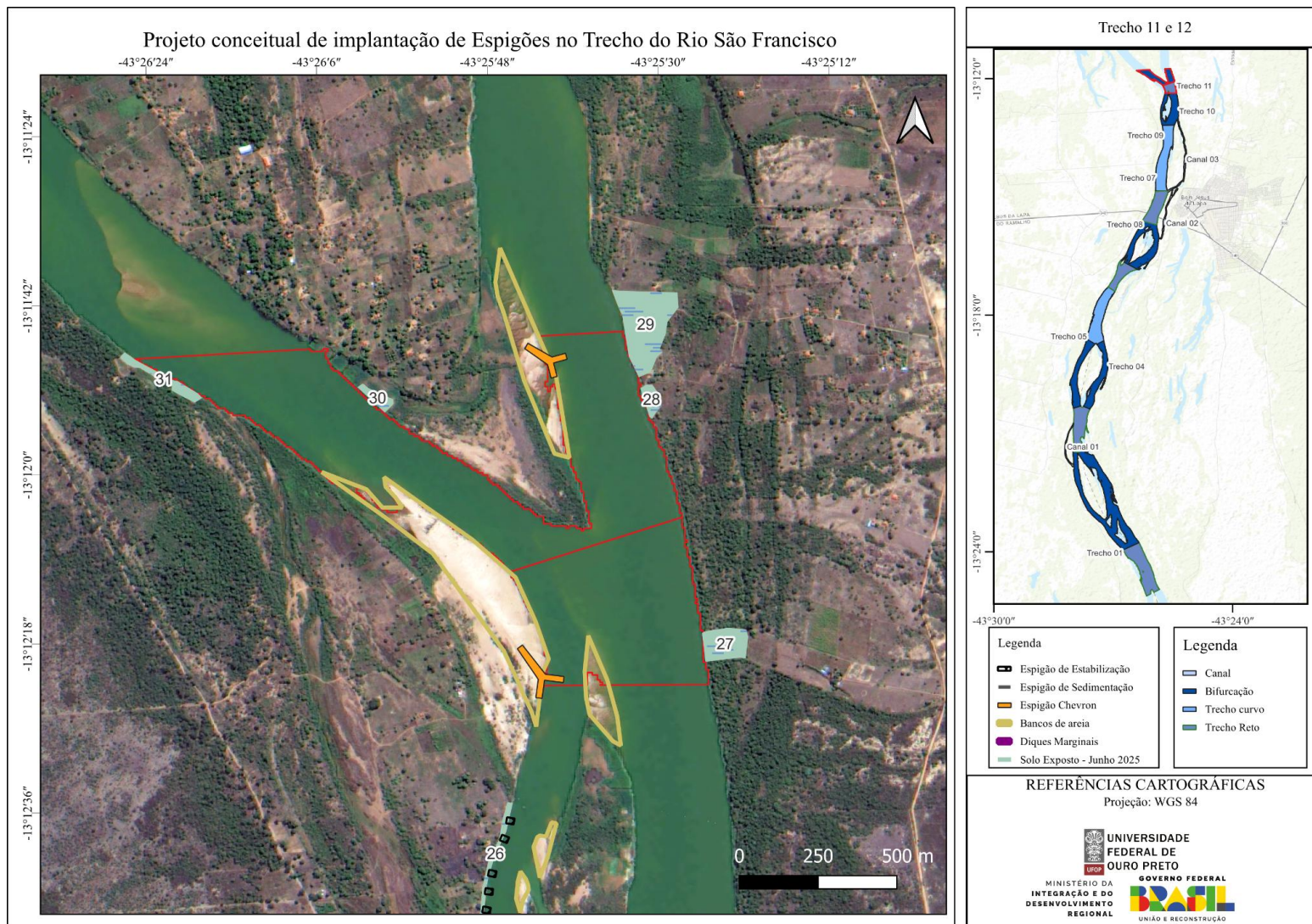


Figura 26. Localização dos espigões sugeridos - Trecho 11 e 12.

Tabela 3. Síntese dos espigões retos propostos por subtrecho, conforme as especificações adotadas

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 1	Trecho Reto 1	Engastado na margem esquerda, junto ao banco de areia	1289	333	Espigão de Sedimentação	30	20	80	100	350	4	3	Cravação com gabiões ou enrocamento	Estrutura permeável: enrocamento, troncos ou gabiões vazados
Trecho 2	Bifurcação 1 - Braço direito	Engastado na margem direita	1619	219	Espigão de Estabilização	90	11	44	55	137	12	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal lateral

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 3	Trecho Reto 2	Engastado na margem esquerda, próximo ao canal lateral	1988	327	Espigão de Sedimentação	30	20	78	98	343	6	3	Cravação com gabiões ou enrocamento	Estrutura permeável: enrocamento, troncos ou gabiões vazados
Trecho 4	Bifurcação 2 - braço direito	Engastado na margem direita, junto ao banco de areia	1394	233	Espigão de Estabilização	90	12	47	58	146	10	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 4	Bifurcação 2 - braço esquerdo	Engastado na margem esquerda, junto ao banco de areia	934	260	Espigão de Estabilização	90	13	52	65	163	6	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 5	Trecho Curvo 1	Engastado na margem esquerda, junto ao banco de areia	660	408	Espigão de Estabilização	45	20	82	102	306	2	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 5	Trecho Curvo 1	Engastado na margem direita, junto aos bancos de areia	1433	428	Espigão de Estabilização	45	21	86	107	321	4	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 6	Trecho Reto 3	Engastado na margem direita, junto aos bancos de areia	1472	368	Espigão de Sedimentação	30	22	88	110	387	4	3	Cravação com gabiões ou enrocamento	Estrutura permeável: enrocamento, troncos ou gabiões vazados

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 7	Bifurcação 3 - braço direito	Engastado na margem direita	587	180	Espigão de Estabilização	90	9	36	45	113	5	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 8	Trecho Reto 4	Engastado na margem direita	1998	491	Espigão de Sedimentação	30	29	118	147	516	4	3	Cravação com gabiões ou enrocamento	Estrutura permeável: enrocamento, troncos ou gabiões vazados

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Comprimento do trecho sugerido (m)	Largura do trecho sugerido (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de Orientação (graus)	Engaste (m)	Comprimento Ativo (m)	Comprimento Total (m)	Espaçamento (m)	Número de espigões	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 9	Trecho Curvo 2	Engastado na margem direita	2987	441	Espigão de Estabilização	90	22	88	110	331	9	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 10	Bifurcação 5 - braço esquerdo	Engastado na margem esquerda, junto à margem exposta	489	97	Espigão de Estabilização	90	5	19	24	61	8	3,5	Solo firme ou fundação cravada com proteção lateral	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Tabela 4. Síntese dos espigões chevron propostos por subtrecho, conforme as especificações adotadas

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Largura média do banco de areia (m)	Comprimento médio do banco de areia (m)	Largura do trecho (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de abertura	Comprimento da haste principal (m)	Comprimento das hastes laterais (m)	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 2	-	Banco de areia central	300	840	830	Espigão Chevron	90	277	138	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 3	Trecho Reto 2	Engastado na margem direita ou cravação no banco de areia	350	990	800	Espigão Chevron	90	267	133	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Largura média do banco de areia (m)	Comprimento médio do banco de areia (m)	Largura do trecho (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de abertura	Comprimento da haste principal (m)	Comprimento das hastes laterais (m)	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 4	Bifurcação 2 - braço direito	Engastado na margem do banco permanente central ou cravação no banco de areia	90	350	220	Espigão Chevron	90	73	37	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 4	Bifurcação 2 - braço direito	Engastado na margem do banco permanente central ou cravação no banco de areia	150	1000	250	Espigão Chevron	90	83	42	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Largura média do banco de areia (m)	Comprimento médio do banco de areia (m)	Largura do trecho (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de abertura	Comprimento da haste principal (m)	Comprimento das hastes laterais (m)	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 7	Bifurcação 3 - braço direito	Engastado na margem direita	250	900	350	Espigão Chevron	90	117	58	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 10	Bifurcação 5 - braço esquerdo	Banco de areia central	200	200	640	Espigão Chevron	90	213	107	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

Trecho	Subtrecho	Sugestão de espigão	Largura média do banco de areia (m)	Comprimento médio do banco de areia (m)	Largura do trecho (m)	Tipo de Espigão	Ângulo de abertura	Comprimento da haste principal (m)	Comprimento das hastes laterais (m)	Altura do Espigão (m)	Fundação	Material
Trecho 11	Trecho reto 5 - braço esquerdo	Engastado na margem esquerda ou cravação no banco de areia	150	670	270	Espigão Chevron	90	90	45	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal
Trecho 12	Bifurcação 6 - braço direito	Engastado na margem do banco permanente central ou cravação no banco de areia	100	690	360	Espigão Chevron	90	120	60	2	Verificar recomendações no texto	Semipermeável: gabião intercalado com material vegetal

6.1.3. Diques Marginais

A implantação de diques marginais foi proposta nos subtrechos com maior instabilidade das margens e proximidade com a área urbana, conforme identificado nas Figuras 27, 28 e 29. Essa escolha foi adotada para as 3 alternativas e se justifica pela função principal dessas estruturas no contexto fluvial: a contenção física do escoamento em períodos de cheia e a estabilização do traçado do canal, contribuindo diretamente para a redução de processos erosivos laterais e o controle da deposição difusa de sedimentos. Os diques foram inseridos na Alternativa 2 como elementos estruturantes complementares aos espigões, atuando de forma sinérgica para o direcionamento da corrente, a preservação das áreas adjacentes e o restabelecimento do equilíbrio hidrossedimentológico do trecho.

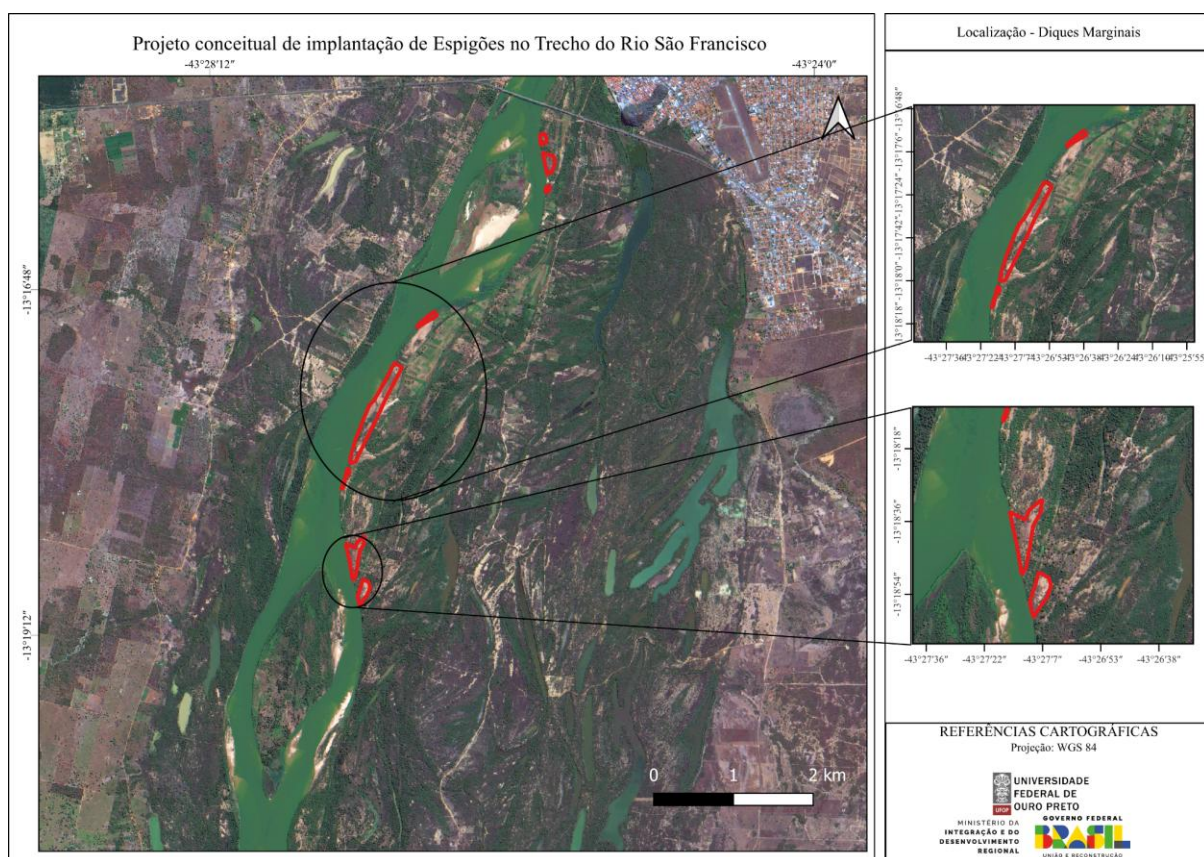


Figura 27. Localização dos diques marginais - 1.

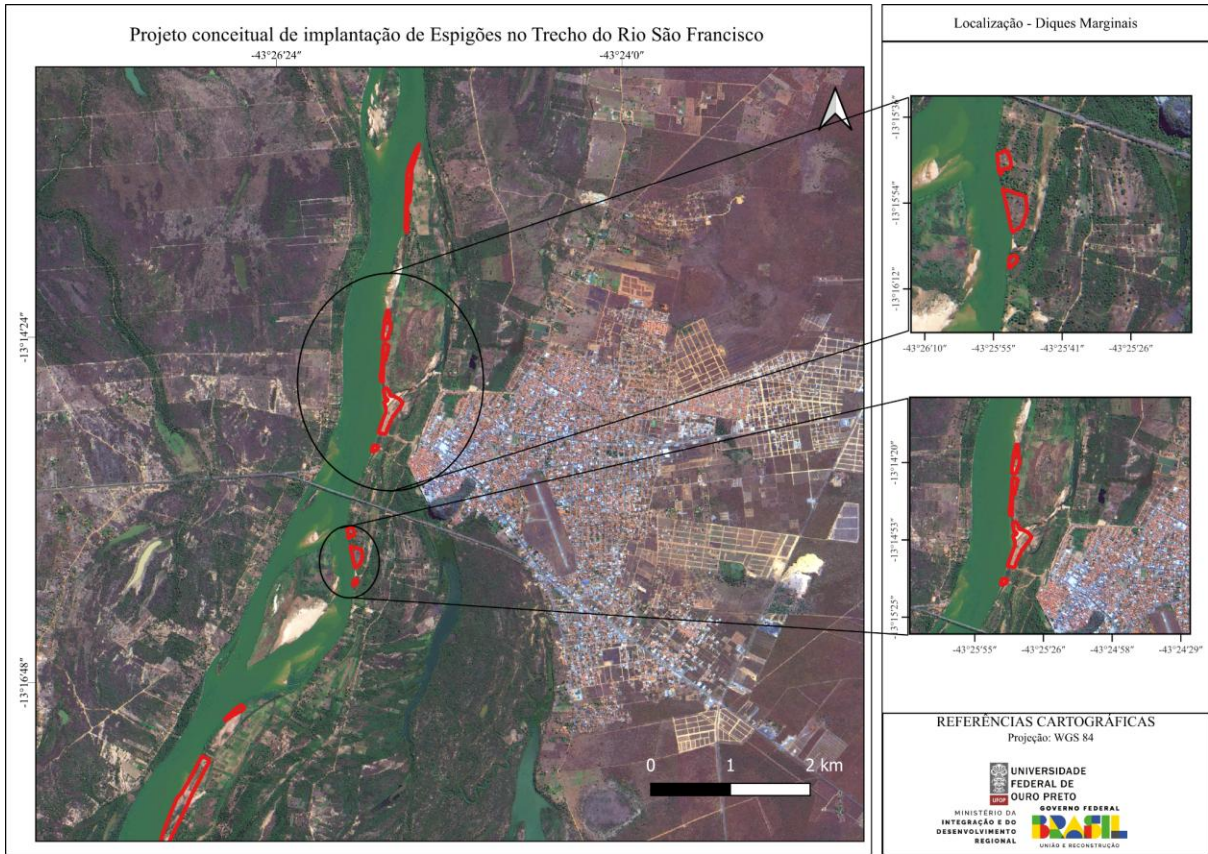


Figura 28. Localização dos diques marginais - 2.

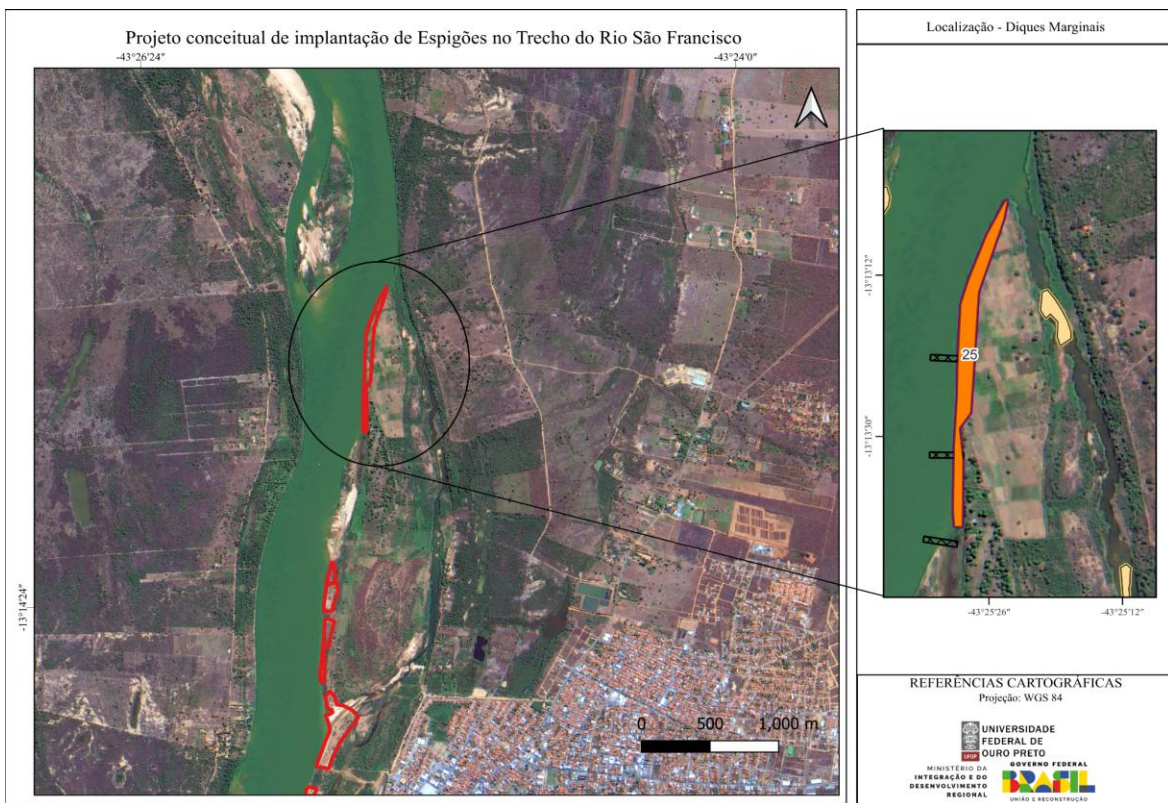


Figura 29. Localização dos diques marginais - 3.

O dimensionamento preliminar dos diques marginais foi realizado com base em boas práticas consolidadas em manuais técnicos e diretrizes nacionais e internacionais, incluindo o *Design and Construction of Levees* do USACE (2000), o *Manual de Drenagem Urbana do DAEE-SP* (1999) e o *Manual Técnico de Obras de Contenção* da MACCAFERRI (Fracassi et al., 2017). Essas referências fornecem parâmetros geométricos e hidráulicos compatíveis com obras de contenção em várzeas fluviais, especialmente em situações em que não se dispõe de dados geotécnicos detalhados. Foram considerados aspectos como altura projetada em função do nível de cheia, inclinação dos taludes, largura da base proporcional à altura do dique e exigência de bordo livre mínimo, de forma a assegurar estabilidade estrutural e desempenho hidráulico adequado ao longo dos trechos propostos.

Altura dos Diques (H)

A definição da altura dos diques foi baseada em uma modelagem hidráulica simplificada, desenvolvida no software HEC-RAS v6.3. Para isso, utilizou-se a interpolação de dados altimétricos obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) fornecido pelo Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA), gerado com base em coletas realizadas pelo satélite Advanced Land Observing Satellite-2 (ALOS-2). O ALOS-2 apresenta resolução espacial de 15 m × 15 m e tempo de revisita de 14 dias. Complementarmente, foi realizada a análise do perfil transversal da estação fluviométrica 45480000, localizada nas proximidades do trecho em estudo, cujos dados foram obtidos por meio do portal HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa abordagem permitiu estimar o nível d'água de cheia de projeto (NAF) para vazões com tempo de retorno entre 25 e 50 anos, considerando as características geomorfológicas da calha e da planície adjacente. A altura dos diques corresponde à diferença entre o NAF estimado e a cota natural da várzea, acrescida de bordo livre mínimo de 1,0 metro. Essa altura é compatível com o regime hidrológico regional e suficiente para conter eventos de cheia média, garantindo proteção hidráulica às áreas vulneráveis sem comprometer a conectividade ecológica em eventos extremos.

Inclinação dos Taludes e Largura da Base (B)

A geometria transversal dos diques foi dimensionada com taludes inclinados em 1:2 (1V:2H), configuração amplamente adotada em obras hidráulicas para equilíbrio entre estabilidade geotécnica e otimização de volumes de aterro. A largura da base (B) foi estimada com base na fórmula empírica $B = H \times (1 + i_1 + i_2)$, onde i_1 e i_2 representam as inclinações dos taludes de

montante e jusante, respectivamente. Em situações em que não há dados geotécnicos específicos disponíveis — como no presente estudo conceitual —, é prática técnica consolidada adotar a largura da base como sendo equivalente a 2 a 3 vezes a altura do dique.

Largura do Topo e Acessibilidade

A largura do topo dos diques foi fixada em 3,0 metros, compatível com a passagem de veículos leves de manutenção e equipamentos de inspeção. Essa largura atende também à recomendação de acessibilidade mínima para vias de serviço associadas a sistemas de proteção hidráulica em áreas rurais e periurbanas.

Materiais e Revestimento dos Taludes

A estrutura dos diques foi planejada com núcleo de solo compactado, preferencialmente argiloso, visando baixa permeabilidade e adequada resistência ao piping. Em face da ausência de dados geotécnicos, a definição do tipo de solo será condicionada ao levantamento posterior em campo. Os taludes voltados para o canal receberão proteção adicional com biomantas vegetativas ou camada de enrocamento leve. O uso de vegetação nativa e fascinas ao longo das encostas externas também foi previsto, com a dupla função de reforço superficial e integração ecológica da estrutura.

Integração com os Espigões

Os espigões implantados ao longo da margem atuam como dispositivos de dissipação de energia e controle da linha de corrente, protegendo a base dos diques contra processos erosivos localizados. A disposição dos espigões favorece a deposição de sedimentos na face protegida do dique, promovendo estabilidade adicional ao sistema. A interação entre espigões e diques garante maior robustez hidráulica, especialmente nos trechos com elevada largura de canal e presença de margens expostas.

Com base nos critérios hidrossedimentológicos, geométricos e funcionais adotados, o dimensionamento preliminar dos diques marginais no trecho de Bom Jesus da Lapa foi consolidado como diretriz conceitual para orientar as futuras etapas do projeto executivo. Embora se reconheça a ausência de dados topográficos de alta resolução, ensaios geotécnicos e modelagens hidráulicas detalhadas, os parâmetros empregados foram fundamentados em referências técnicas reconhecidas e complementados por uma modelagem hidráulica simplificada. Assim, os resultados apresentados asseguram coerência técnica, viabilidade

construtiva preliminar e compatibilidade com a realidade morfológica da calha, permitindo a organização da calha ativa e a contenção de processos erosivos laterais. Ressalta-se que os valores propostos deverão ser refinados em etapas subsequentes, com base em levantamentos de campo, ensaios específicos e validações hidrossedimentológicas detalhadas.

A seguir, apresenta-se a tabela síntese (Tabela 5) com os diques marginais propostos nos trechos anteriormente apresentados, detalhando suas principais características geométricas conforme as especificações adotadas.

Tabela 5. Síntese dos diques propostos por subtrecho, conforme as especificações adotadas.

Dique sugerido	Comprimento do trecho (m)	Nível de água seca (m)	Nível de água TR 25 anos (m)	Nível de água TR 50 anos (m)	Borda Livre (m)	Altura total (25 anos) (m)	Altura total (50 anos) (m)	Largura do Topo (m)	Largura da Base (25 anos) (m)	Largura da Base (50 anos) (m)
1	120	412	416	416	1	5	5	3	15	16
2	485	412	416	416	1	5	5	3	15	16
3	276	412	416	416	1	5	5	3	15	16
4	1412	412	416	416	1	5	5	3	15	16
5	290	412	416	416	1	5	5	3	15	16
6	74	411	415	415	1	5	5	3	15	15
7	287	411	415	415	1	5	5	3	15	15
8	144	411	415	415	1	5	5	3	15	15
9	103	411	415	415	1	5	5	3	15	15

Dique sugerido	Comprimento do trecho (m)	Nível de água seca (m)	Nível de água TR 25 anos (m)	Nível de água TR 50 anos (m)	Borda Livre (m)	Altura total (25 anos) (m)	Altura total (50 anos) (m)	Largura do Topo (m)	Largura da Base (25 anos) (m)	Largura da Base (50 anos) (m)
10	559	411	415	415	1	5	5	3	15	15
11	473	411	415	415	1	5	5	3	15	15
12	380	411	415	415	1	5	5	3	15	15
13	1147	411	415	415	1	5	5	3	15	15

6.1.4. Contenções Marginais

As contenções de margens são elementos destinados a garantir a estabilidade lateral da calha fluvial, reduzir os processos erosivos e integrar-se funcionalmente aos espigões implantados. No contexto do trecho do Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa (BA), sua adoção é essencial nas áreas adjacentes aos espigões, particularmente em trechos com vegetação ciliar degradada, presença de solo exposto ou pressão antrópica direta.

A seleção e o pré-dimensionamento das contenções foram orientados por critérios hidrossedimentológicos, geotécnicos e ambientais, buscando soluções com desempenho hidráulico satisfatório e compatibilidade ecológica, conforme diretrizes da engenharia fluvial sustentável e práticas consolidadas (Fracassi et al., 2017; USACE, 2000; CIRIA, 2007).

Classificação das Contenções

No presente estudo, foram identificadas e consideradas três tipologias principais de contenção de margens, cuja aplicabilidade está diretamente relacionada ao grau de vulnerabilidade da margem fluvial, à intensidade do escoamento no trecho analisado e à existência de infraestrutura sensível ou uso antrópico relevante nas proximidades. Essas tipologias foram selecionadas com base em critérios técnicos de eficiência hidráulica, compatibilidade ambiental e viabilidade construtiva.

A primeira categoria contempla as contenções vegetativas, também denominadas soluções de bioengenharia leve. Trata-se de técnicas baseadas predominantemente no uso de materiais naturais e na recuperação da vegetação ciliar como principal elemento de estabilização. Entre os componentes típicos dessa abordagem, destacam-se as biomantas biodegradáveis — utilizadas para recobrimento do solo e contenção superficial de partículas, e a revegetação por hidrossemeadura e por estaquia direta, que consiste no plantio de mudas ou fragmentos vegetativos de espécies nativas com alto potencial de enraizamento (Figura 30). Quando houver disponibilidade de material lenhoso local, sugere-se o emprego de fascinas vegetadas, contribuindo para o reforço da coesão do terreno e a estabilização inicial das margens. As contenções baseadas em bioengenharia são indicadas para trechos com baixa energia de fluxo e margens moderadamente degradadas, proporcionando elevada integração paisagística, promoção de serviços ecossistêmicos e baixo impacto ambiental.

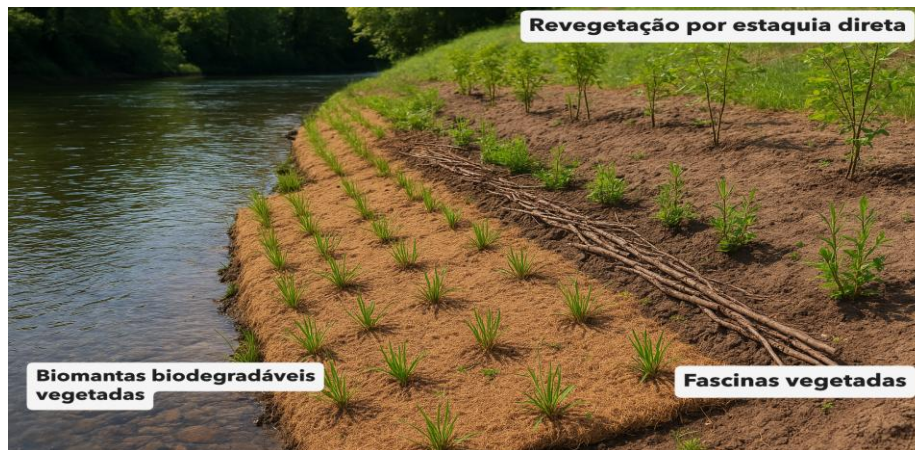


Figura 30. Representação esquemática das técnicas de bioengenharia para recuperação e estabilização das margens.

A segunda tipologia corresponde às contenções híbridas, que combinam elementos de bioengenharia com estruturas de suporte leve de natureza semirrígida. Nesse tipo de intervenção, são empregadas biomantas em associação com materiais estruturais de suporte, como gabiões tipo colchão (estruturas metálicas preenchidas com pedras de granulometria controlada e baixa altura), sacarias de solo-cimento (bolsas geotêxteis preenchidas com mistura de solo estabilizado), ou esteios de madeira cravados no solo como elementos de reforço (Figura 31). As contenções híbridas são adequadas para trechos com moderada a alta energia de fluxo, margens parcialmente estabilizadas ou com tendência à erosão localizada, e regiões onde se busca um equilíbrio entre desempenho hidráulico e mitigação ambiental. A presença de vegetação associada favorece a estabilidade superficial, enquanto os elementos estruturais conferem resistência mecânica adicional.



Figura 31. Representação esquemática das técnicas híbridas para recuperação e estabilização das margens.

Por fim, a terceira tipologia corresponde às contenções estruturais, que envolvem o uso de materiais e técnicas de alta rigidez e durabilidade, sendo destinadas a trechos críticos com elevada instabilidade. Nessa categoria, são incluídas estruturas de gabiões em cravação superficial ou profunda, revestimentos em enrocamento com uso de geotêxtil para controle de filtragem e dissipação de energia, bem como contenções em solo-cimento armado, eventualmente reforçadas com geogrelhas ou ancoragens (Figura 32). Essas soluções apresentam robustez elevada e são indicadas para locais com margens erodidas, alta concentração de energia hidráulica, variações abruptas de nível d'água ou pressões antrópicas significativas.



Figura 32. Representação esquemática das técnicas estruturais para recuperação e estabilização das margens.

Critérios de Dimensionamento

O pré-dimensionamento das contenções considerou:

Altura de proteção (H): definida como a altura que será aplicada a contenção na margem adjacente ao espigão ou do solo exposto. Em razão das incertezas inerentes aos modelos digitais de elevação e do estágio conceitual do estudo, adotou-se, para o pré-dimensionamento, uma altura média de $H = 3,5$ m para todas as contenções. Trata-se de um valor de referência

prudencial, compatível com os níveis característicos do corpo hídrico e com a borda livre mínima prevista, assegurando estabilidade e coerência com as tipologias definidas (inclinação e base). Esse parâmetro deverá ser refinado no projeto básico a partir de topobatimetria e verificações em campo, mantendo-se os fatores de segurança estabelecidos.

Inclinação da face da contenção (β): para garantir estabilidade e reduzir efeitos de socavamento, adotou-se:

- $\beta = 1:2$ (vertical:horizontal) para contenções vegetativas
 - $\beta = 1:1,5$ para contenções híbridas
 - $\beta \leq 1:1$ para contenções rígidas.
-
- Revestimento superficial: em todas as soluções, a cobertura foi prevista com vegetação nativa de porte herbáceo a arbustivo (gramíneas, leguminosas rasteiras e cipós), com espaçamento de 30 a 50 cm e densidade $\geq 80\%$ da superfície.
 - A base das contenções foi dimensionada como proporção da altura, visando garantir a estabilidade ao deslizamento e à rotação:
 - B vegetadas: $\geq 1,5$ m (mínimo para faixa de plantio)
 - B semirrígidas: $0,45 \times H$
 - B rígidas: $0,5 \times H$ (mínimo), com berço escavado ou base ancorada
 - Fundações (F_d): recomendou-se profundidade mínima de 0,8 m em áreas de baixa energia e de até 1,2 m em trechos de maior instabilidade, com travamento em solo resistente ou fundação com brita graduada (para gabiões ou enrocamento).
 - Comprimento das contenções. Adotou-se duas abordagens complementares: (i) nos subtrechos com ocorrência de solo exposto, o comprimento das contenções foi obtido por medição direta em imagens de satélite, com apoio de SIG; (ii) nos subtrechos onde há espigões previstos, mas não foi identificada área de solo exposto, o comprimento de referência das contenções foi definido como 30% do comprimento total do espigão correspondente, assegurando integração estrutural e continuidade hidráulica.

Integração com os Espigões

As contenções devem se sobrepor lateralmente aos pontos de engaste dos espigões, garantindo transição hidráulica suave e evitando erosão retrogressiva. A integração é feita com:

- Sobreposição mínima de 1,5 m entre base do espigão e início da contenção;
- Amarração estrutural com geotêxteis (para gabiões e enrocamento);
- Continuidade de cobertura vegetal nas soluções vegetativas.

As contenções marginais devem ser implantadas em todos os subtrechos do Rio São Francisco no município de Bom Jesus da Lapa (BA) que apresentaram áreas com solo exposto, conforme identificado nas análises geoespaciais do relatório técnico. Nesses setores, as contenções devem ser associadas aos espigões retos previamente dimensionados (Tabela 3), com o objetivo de garantir a estabilidade das margens, controlar processos erosivos laterais e assegurar a transição hidráulica entre as estruturas transversais e o talude natural. Recomenda-se a integração entre espigões e contenções com fundações adequadas ao nível de instabilidade local e revestimento vegetativo compatível com a tipologia adotada.

Nos subtrechos onde estão previstos espigões do tipo chevron (Tabela 4), implantados sobre bancos de areia em zonas de bifurcação, recomenda-se a aplicação de proteção adicional do leito fluvial nas proximidades das margens adjacentes. Essa medida tem por finalidade evitar a intensificação de processos erosivos decorrentes da concentração de energia hidráulica induzida pelo redirecionamento do escoamento. Recomenda-se que a proteção seja executada com materiais semipermeáveis ou estruturais, conforme o grau de instabilidade local, garantindo a preservação da calha ativa e a funcionalidade hidrossedimentológica do trecho.

A seguir, apresenta-se as tabelas síntese com as contenções marginais propostas, detalhando suas principais características conforme as especificações adotadas, sendo a Tabela 6 as contenções associadas aos espigões retos e a Tabela 7 as contenções associadas aos trechos de solo exposto.

Tabela 6. Síntese das contenções marginais propostas por subtrecho associadas a espigões retos em que não há solo exposto, conforme as especificações adotadas.

Trecho	Morfologia do trecho	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento da Contenção por espigão	Fundação (m)	Revestimento	Integração com espigões
1	Reto	Estrutural	3,5	$\leq 1:1$	2	30	0,8 – 1,2	Gabiões/enrocamento + geotêxtil	Sobreposição $\geq 1,5$ m + amarração com geotêxtil
2	Bifurcação braço direito	Híbrida	3,5	1:1,5	2	16	0,8 – 1,2	Biomanta + gabião colchão/solocimento	Sobreposição $\geq 1,5$ m + continuidade da vegetação

Trecho	Morfologia do trecho	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento da Contenção por espigão	Fundação (m)	Revestimento	Integração com espigões
3	Reto	Estrutural	3,5	$\leq 1:1$	2	29	0,8 – 1,2	Gabiões/enrocamento + geotêxtil	Sobreposição $\geq 1,5$ m + amarração com geotêxtil
4	Bifurcação braço direito	Híbrida	3,5	1:1,5	2	20	0,8 – 1,2	Biomanta + gabião colchão/solocimento	Sobreposição $\geq 1,5$ m + continuidade da vegetação
4	Bifurcação braço esquerdo	Híbrida	3,5	1:1,5	2	18	0,8 – 1,2	Biomanta + gabião colchão/solocimento	Sobreposição $\geq 1,5$ m + continuidade da vegetação

Trecho	Morfologia do trecho	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento da Contenção por espigão	Fundação (m)	Revestimento	Integração com espigões
5	Curvo	Híbrida	3,5	$\leq 1:1,5$	2	31	0,8 – 1,2	Biomanta + gabião colchão/solocimento	Sobreposição $\geq 1,5$ m + continuidade da vegetação
8	Reto	Estrutural	3,5	$\leq 1:1$	2	44	0,8 – 1,2	Gabiões/enrocamento + geotêxtil	Sobreposição $\geq 1,5$ m + amarração com geotêxtil

Tabela 7. Síntese das contenções marginais propostas por subtrecho associadas a solo exposto, conforme as especificações adotadas.

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
1	Não	Reto	1	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	422	Biomantas + revegetação
2	Não	Bifurcação	2	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	78	Biomantas + revegetação
3	Sim	Reto	3	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	512	Biomantas + revegetação
4	Não	Curvo	4	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	45	Biomantas + revegetação
4	Não	Curvo	5	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	122	Biomantas + revegetação

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
4 e 5	Não	Reto	6	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	487	Biomantas + revegetação
5	Não	Reto	7	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	276	Biomantas + revegetação
5	Sim	Curvo	8	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	1009	Biomantas + revegetação
5	Não	Reto	9	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	39	Biomantas + revegetação
5	Não	Reto	10	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	153	Biomantas + revegetação
5 e 6	Sim	Curvo	11	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	404	Biomantas + revegetação

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
6	Sim	Reto	12	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	284	Biomantas + revegetação
7	Não	Curvo	13	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	52	Biomantas + revegetação
7	Sim	Bifurcação	14	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	73	Biomantas + revegetação
7	Sim	Bifurcação	15	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	287	Biomantas + revegetação
8	Sim	Reto	16	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	138	Biomantas + revegetação
8	Sim	Reto	17	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	62	Biomantas + revegetação

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
8	Sim	Reto	18	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	102	Biomantas + revegetação
8	Sim	Reto	19	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	630	Biomantas + revegetação
8	Não	Reto	20	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	175	Biomantas + revegetação
9	Não	Reto	21	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	597	Biomantas + revegetação
9	Sim	Curvo	22	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	470	Biomantas + revegetação
9	Sim	Curvo	23	Vegetativa	3,5	1:2	≥ 1,5	209	Biomantas + revegetação

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
9	Sim	Curvo	24	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	180	Biomantas + revegetação
9 e 10	Sim	Curvo	25	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	1146	Biomantas + revegetação
10	Sim	Bifurcação	26	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	490	Biomantas + revegetação
11	Não	Reto	27	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	94	Biomantas + revegetação
12	Não	Bifurcação	28	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	108	Biomantas + revegetação
12	Não	Bifurcação	29	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	302	Biomantas + revegetação

Trecho	Associado a Espigão	Morfologia do Trecho	Identificação da Contenção	Contenção – Tipologia	Altura de Proteção (m)	Inclinação (β)	Base (m)	Comprimento solo exposto (m)	Revestimento
12	Não	Bifurcação	30	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	120	Biomantas + revegetação
12	Não	Bifurcação	31	Vegetativa	3,5	1:2	$\geq 1,5$	290	Biomantas + revegetação

6.1.5. Compatibilização Técnica entre os Dimensionamentos Preliminares e as Soluções Estruturadas por Alternativa

Com base nos dimensionamentos preliminares propostos, ressalta-se que, embora as três alternativas técnicas apresentadas tenham sido elaboradas de forma sistemática e fundamentada, sua aplicação integral e homogênea ao longo de todo o trecho de intervenção não é tecnicamente recomendável. As especificidades hidrossedimentológicas, geomorfológicas e operacionais de cada subtrecho impõem restrições quanto à aplicabilidade de determinados materiais ou soluções construtivas, sobretudo no que se refere à estabilidade de margens, profundidade de fundação e variabilidade do escoamento. Assim, ainda que as alternativas estejam estruturadas como cenários distintos, a proposta técnica aqui apresentada defende a adoção combinada do maior número possível de soluções previstas, desde que adequadas às características locais e compatíveis com as exigências técnicas de segurança hidráulica e funcionalidade estrutural.

Dessa forma, propõe-se que, nas etapas seguintes de detalhamento executivo, sejam priorizadas intervenções que incorporem os materiais e métodos especificados nas alternativas, respeitando a viabilidade técnica de cada aplicação. Essa abordagem flexível, pautada na adaptabilidade e na engenharia de campo, visa conciliar robustez técnica, desempenho hidráulico e sustentabilidade ambiental, assegurando a efetividade das intervenções ao mesmo tempo em que otimiza o uso dos recursos propostos. O presente dimensionamento, portanto, deve ser compreendido como diretriz preliminar, estruturada a partir das melhores práticas da engenharia fluvial, passível de aperfeiçoamento conforme o avanço dos estudos complementares e das validações em campo.

6.1.6. Medidas Mitigadoras

Para garantir a durabilidade das intervenções de engenharia propostas, é fundamental atuar não apenas na calha do rio, mas também nas causas do problema, que incluem os processos de erosão nas margens. Nesse contexto, a adoção do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e do Programa de Educação Ambiental (PEA) transcende a simples mitigação de impactos da obra, tornando-se uma ferramenta estratégica para o sucesso do projeto. Ao promover a estabilização e a revegetação das margens, o PRAD reduz o aporte de sedimentos para o rio, combatendo diretamente o assoreamento e, ao mesmo tempo, protegendo as fundações das contenções e o engaste dos espigões. Essa ação aumenta significativamente a

vida útil e a resiliência de toda a intervenção. O PEA complementa essa estratégia, assegurando a conservação das áreas recuperadas através do engajamento comunitário. Essa parte da proposta encontra-se nos Anexos I, II e III.

7. Estimativa de Custos

A Tabela 8 apresenta o resumo da estimativa de custos elaborada para as três alternativas analisadas, considerando a seção retangular genérica adotada no dimensionamento conceitual. Os valores englobam custos diretos, parcelas incidentes — incluindo serviços preliminares, mobilização e desmobilização e administração local —, além da provisão de riscos/contingência e do BDI.

Tabela 8. Resumo da estimativa de custo para cada alternativa.

Grupo / Item	ALT 1 (R\$)	ALT 2 (R\$)	ALT 3 (R\$)
Espigões	51.619.852,35	161.870.148,32	199.775.458,68
Diques	11.841.844,40	11.841.844,40	11.841.844,40
Contenção de margens	2.410.281,30	2.410.281,30	2.410.281,30
PRAD + PEA	746.894,31	746.894,31	746.894,31
TOTAL CUSTOS DIRETOS	66.618.872,36	176.869.168,33	214.774.478,69
Serviços preliminares e canteiro (3–8%)	5.329.509,79	14.149.533,47	17.181.958,30
Mobilização e desmobilização (2–6%)	3.997.132,34	10.612.150,10	12.886.468,72
Administração local (4–8%)	5.329.509,79	14.149.533,47	17.181.958,30
TOTAL SERVIÇOS	14.656.151,92	38.911.217,03	47.250.385,31
Contingência (Classe 3/4)	20.318.756,07	53.945.096,34	65.506.216,00
TOTAL CD+S+Contingência	101.593.780,35	269.725.481,71	327.531.080,00
BDI (c/ contingência)	31.306.676,70	83.117.376,14	100.930.486,06
TOTAL (c/ contingência)	132.900.457,05	352.842.857,84	428.461.566,06

(vide planilha detalhada no Anexo IV)

A planilha detalhada no Anexo IV reúne as composições de custo estruturadas para cada cenário, acompanhadas do memorial de cálculo dos quantitativos, do BDI e das premissas adotadas.

As referências utilizadas foram as bases SICRO (abril/2025) e SINAPI (julho/2025). O BDI foi calculado em 30,82%, conforme memorial específico (aba 7). Para a provisão de riscos, adotou-se contingência de 25% (Classe 3/4), em função do escopo ainda pouco definido, da complexidade logística inerente ao transporte fluvial e da ausência de dados geotécnicos consolidados, em conformidade com o Sistema de Classificação para Estimativa de Custos aplicado à engenharia, contratação e construção para processos industriais (ACE, 2016).

Os quantitativos foram obtidos a partir de uma seção retangular de referência, conforme modelo HEC-RAS, suficiente para subsidiar esta etapa de anteprojeto. Nas fases posteriores deverá ser avaliada a adoção de seção trapezoidal ou com redução consecutiva na altura, com relação H:V adequada, a ser definida a partir de estudos técnicos específicos. Ressalta-se que esta estimativa possui caráter conceitual, uma vez que todos os dados utilizados até o momento foram secundários, o que limita sua precisão.

A consolidação dos custos demandará levantamentos primários de batimetria e geotecnia, indispensáveis para definir dimensionamento e fundações dos diques e contenções marginais; estudos hidrossedimentológicos 1D/2D, fundamentais para avaliar o desempenho hidráulico e a estabilidade dos espigões; e análises detalhadas de logística de jazidas e fretes, considerando transporte fluvial e disponibilidade de materiais. Ademais, a implantação de espigões provoca o estreitamento do canal e, conseqüentemente, o aumento da velocidade do escoamento nas proximidades da extremidade da estrutura. Esse efeito hidráulico concentra esforços sobre a ponta do espigão e sua vizinhança imediata, podendo induzir processos erosivos significativos que comprometam a estabilidade da própria obra. Por essa razão, a avaliação do potencial de erosão local e do dimensionamento adequado das fundações deve ser considerada já na fase de projeto, de modo a garantir a segurança e a durabilidade da intervenção. Por fim, também será necessário aprofundar investigações sobre materiais e técnicas de bioengenharia aplicadas às contenções vegetativas, de forma a estabelecer parâmetros construtivos e operacionais mais próximos da realidade de campo.

8. Avaliação e Seleção da Alternativa Mais Adequada

Esta seção apresenta a análise comparativa e a seleção da alternativa técnica mais adequada para as intervenções de controle de assoreamento e melhoria da navegabilidade no trecho do Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa (BA). A escolha foi fundamentada em uma metodologia de Análise Multicritério (SWOT), sob ótica de viabilidade técnica, durabilidade, risco e custo.

8.1. Apresentação Resumida das Alternativas

As três alternativas propostas foram concebidas para solucionar os problemas de assoreamento e erosão marginal, cada uma delas com abordagem distinta em termos de materiais e níveis de intervenção. A Alternativa 1, focada no uso de SBN, emprega espigões permeáveis de baixo impacto, como feixes vegetais e enrocamento solto, além de técnicas de bioengenharia para a estabilização de margens, sendo caracterizada pelo baixo impacto ambiental. Já a Alternativa 2 adota abordagem híbrida, com espigões semirrígidos de enrocamento ou solo-cimento, buscando equilíbrio entre contenção, durabilidade e integração ambiental, com performance hidráulica adequada e manutenção reduzida. Por fim, a Alternativa 3 propõe o uso de estruturas convencionais de alta resistência, como gabiões, colchões Reno e enrocamento pesado, representando uma solução que aborda robustez técnica e durabilidade.

8.2. Metodologia de Análise Multicritério (SWOT)

A análise multicritério consiste em um conjunto de técnicas de apoio à tomada de decisão, utilizadas para solucionar problemas complexos a partir da comparação de alternativas com base em múltiplos aspectos, sejam eles qualitativos ou quantitativos. Desta forma, a decisão é pautada em múltiplos critérios de acordo com sua relevância para o problema. A escolha da técnica a ser empregada considera o contexto do estudo, os *stakeholders* e a finalidade, com o objetivo de selecionar uma ou múltiplas opções por meio do ranqueamento. A metodologia simula um procedimento decisório específico, apresentando um conjunto de etapas para se identificar uma solução.

Para a avaliação da melhor alternativa, a técnica de análise multicritério adotada utiliza a matriz SWOT. SWOT é um acrônimo formado pelas palavras Strengths (pontos fortes); Weaknesses (pontos fracos); Opportunities (oportunidades); e Threats (ameaças), que definem a análise

como avaliação das forças e fraquezas, oportunidades e ameaças que fomenta a análise para a decisão estratégica (Hazzan, 2016).

O objetivo, ao utilizar esta técnica, é identificar as quatro categorias (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças) para comparar as alternativas, permitindo um diagnóstico direcionado à realidade. Para isso, as forças e fraquezas são definidas como Fatores Internos, enquanto as oportunidades e ameaças são consideradas Fatores Externos conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Fatores de análise e seus respectivos níveis de importância.

Fator Avaliado	Descrição do Fator	Importância (I)
Custo de Implantação	Avalia o custo total estimado para a execução da alternativa.	3 (Alta)
Viabilidade Técnica (Durabilidade e Manutenção)	Analisa a robustez dos materiais, a durabilidade das estruturas e a necessidade de manutenção a longo prazo.	3 (Alta)
Impacto Ambiental e Integração	Mede o alinhamento com SBN, o impacto visual e a capacidade de integração.	2 (Média)
Risco de Execução e Incertezas	Considera os riscos associados à complexidade da obra e à ausência de dados primários detalhados.	2 (Média)

Fator Avaliado	Descrição do Fator	Importância (I)
Impacto na Economia Local	Considera estímulo de curto prazo gerado durante a fase de obras e os ganhos de longo prazo para a logística e o comércio regional	3 (Alta)
Complexidade Construtiva	Avalia a dificuldade de implantação e a necessidade de equipamentos especializados.	3 (Alta)

O processo de ranqueamento das alternativas é realizado de forma quantitativa. Para cada fator analisado, os valores atribuídos à sua magnitude (M) e importância (I) são multiplicados. A soma de todos esses produtos resulta em um valor final de ranqueamento (R) para cada alternativa, que serve como base para a análise comparativa. Ao final, a alternativa que obtiver a maior pontuação é apontada pelo método como a opção mais viável.

A metodologia é expressa pela seguinte fórmula:

$$R = \sum(M \times I) \qquad \text{Equação 3}$$

Em que:

- R = Valor de ranqueamento;
- M = Magnitude;
- I = Importância. Matriz SWOT e Ranqueamento das Alternativas

Nas Tabelas 10, 11 e 12 são apresentadas as matrizes SWOT para cada alternativa.

Tabela 10. Matriz SWOT – Alternativa 1.

Alternativa 1							
Forças	Magnitud e (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)	Fraquezas	Magnitude (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)
Viabilidade Técnica	1	3	3	Custo de Implantação	-1	3	-3
Impacto Ambiental	3	2	6	Complexidade Construtiva	-3	3	-9
Oportunidades				Ameaças			
Impacto na Economia Local	1	3	3	Risco de Execução	-3	2	-6
R	-6						

Tabela 11. Matriz SWOT – Alternativa 2.

Alternativa 2							
Forças	Magnitud e (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)	Fraquezas	Magnitude (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)
Viabilidade Técnica	2	3	6	Custo de Implantação	-2	3	-6
Impacto Ambiental	2	2	4	Complexidade Construtiva	-2	3	-6
Oportunidades				Ameaças			
Impacto na Economia Local	2	3	6	Risco de Execução	-1	2	-2
R	2						

Tabela 12. Matriz SWOT – Alternativa 3.

Alternativa 3							
Forças	Magnitude (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)	Fraquezas	Magnitude (M)	Importância (I)	Pontuação (M X I)
Viabilidade Técnica	3	3	9	Custo de Implantação	-3	3	-9
Impacto Ambiental	1	2	2	Complexidade Construtiva	-2	3	-6
Oportunidades				Ameaças			
Impacto na Economia Local	3	3	9	Risco de Execução	-1	2	-2
R	3						

8.3. Apresentação da Alternativa Mais Adequada

A Tabela 13 apresenta a compilação dos resultados da Análise SWOT.

Tabela 13. Pontuação final e ranqueamento das alternativas.

Alternativa	Resultado SWOT (R)	Posição
Alternativa 2 (Híbrida)	3	1 ^a
Alternativa 3 (Rígida)	2	2 ^a
Alternativa 1 (Bioengenharia)	-6	3 ^a

8.3.1. Justificativa

A análise das alternativas de intervenção evidencia diferenças significativas em termos de investimento inicial, durabilidade, facilidade de manutenção e desempenho esperado. A Alternativa 1 é composta por espigões com predominância de materiais naturais e técnicas de bioengenharia. Apesar de ter o menor custo inicial (R\$ 132,9 milhões), a Alternativa 1 apresenta alta dependência de manutenção, está sujeita a falhas por cheias e, maior vulnerabilidade a danos em função da variabilidade hidrossedimentológica do rio. Por esses fatores, deve ser entendida como solução transitória, quando se considera o horizonte de longo prazo.

As Alternativas 2 e 3 apresentam-se como opções mais consistentes e tecnicamente adequadas. Ambas utilizam espigões de maior robustez, que garantem maior resistência estrutural, maior estabilidade frente a eventos extremos e significativa redução da necessidade de recomposições. Esses fatores contribuem diretamente para o aumento da vida útil da intervenção, reduzindo o esforço de manutenção preventiva e corretiva.

A Alternativa 2, com custo total estimado em R\$ 352,8 milhões, apresenta bom equilíbrio entre investimento inicial, viabilidade construtiva e resultados esperados. A modularidade e repetitividade das unidades construtivas favorecem a padronização e o controle de qualidade, além de reduzir riscos de falhas localizadas. Por sua vez, a Alternativa 3, com investimento de R\$ 428,4 milhões, também oferece alto desempenho técnico e maior custo.

Considerando aspectos de tecnologia, custo, durabilidade e manutenção, recomenda-se priorizar a Alternativa 2 ou a Alternativa 3. Ambas representam soluções estruturais de médio e longo prazo, mais vantajosas que a Alternativa 1. A Alternativa 2 se destaca pelo melhor custo-benefício, enquanto a Alternativa 3 quando optar-se pela ampliação das margens de segurança construtiva.

9. Cronograma Preliminar

O cronograma de execução (Tabela 14) foi estruturado com base no custo direto das obras e na complexidade de implantação em um trecho de 26 km do Rio São Francisco. Considerou-se um prazo de aproximadamente 24 meses, distribuído em dois ciclos de estiagem, de forma a compatibilizar a execução com as restrições sazonais do regime hidrológico. As atividades foram organizadas em etapas principais: mobilização inicial, implantação dos espigões em duas fases, construção de diques, execução das contenções marginais por técnicas de bioengenharia e desmobilização final.

Tabela 14. Cronograma previsto.

Período (mês)	Atividade Principal	Observações
1-2	Mobilização / Canteiro	Instalação de canteiro, acesso fluvial, aquisição de insumos
3-10	Execução Espigões (1ª fase)	~50% dos espigões → prioridade em trechos críticos
11-12	Pausa (período chuvoso)	Atividades leves: manutenção de canteiro, revegetação inicial



Período (mês)	Atividade Principal	Observações
13-18	Execução Espigões (2ª fase)	Restante dos espigões, fechamento de trechos estratégicos
19-21	Execução Diques	Construção dos diques, aproveitando janelas secas
19-22	Contenção Marginal	Bioengenharia (biomantas, fascinas, revegetação) → paralela aos diques
23	Ajustes finais	Plantio complementar, inspeções, medições
24	Desmobilização	Retirada de equipamentos e encerramento administrativo

A estimativa assume a existência de duas frentes de serviço simultâneas, garantindo uma produção média mensal compatível com o volume total de obras. A distribuição financeira adotada foi proporcional à representatividade dos serviços no custo direto: espigões (60%), diques (20%), contenções (10%) e mobilização/desmobilização (10%).

Ressalta-se que o presente cronograma possui caráter conceitual, adequado para comparações preliminares entre alternativas. Nas próximas fases (projeto básico e executivo) será necessário detalhar:

- Sequenciamento construtivo por trecho e tipologia de intervenção.
- Capacidade de produção compatível das frentes de serviço, considerando logística fluvial, acessibilidade e disponibilidade de equipamentos.
- Interferências sazonais, com ajuste fino do cronograma conforme séries históricas de vazão.
- Planos de manutenção em caso da alternativa de bioengenharia durante e após o período chuvoso.

Esses aprofundamentos serão fundamentais para consolidar a viabilidade técnico-operacional e reduzir incertezas de prazo e custo.

10. Recomendações Para Próxima Etapa (Projeto Básico)

Para a etapa do Projeto Básico, é imprescindível a contratação de estudos primários de campo para refinar o diagnóstico e o dimensionamento das estruturas. As prioridades incluem levantamentos topobatimétricos em alta resolução para criar um Modelo Digital de Terreno (MDT) e um Modelo Digital de Profundidade (MDP), investigações geotécnicas para caracterizar os solos e definir a capacidade de suporte para as fundações, e estudos hidrossedimentológicos para calibrar modelos e compreender a dinâmica fluvial.

Com base nesses dados, deverão ser executadas modelagens computacionais hidráulicas e sedimentológicas (1D/2D) para simular o comportamento do rio com as intervenções propostas. Esta etapa é crucial para validar o posicionamento e as dimensões dos espigões, avaliar os impactos da redução da seção do canal, como o aumento da velocidade e o potencial de erosão, e definir com maior precisão a altura dos diques marginais.

No detalhamento das soluções de engenharia, recomenda-se a aplicação combinada das Alternativas 2 e 3, utilizando soluções rígidas em pontos de maior vulnerabilidade e híbridas nos demais trechos para otimizar a relação custo-benefício. Adicionalmente, um estudo aprofundado sobre a logística de materiais, incluindo disponibilidade, custo e transporte, deve ser realizado.

Por fim, são necessários estudos ambientais e sociais complementares para validar em campo as áreas de influência (ADA, AID, AII) por meio de diagnósticos participativos. É fundamental também iniciar um diálogo com as comunidades ribeirinhas, agricultores e outros usuários do rio para alinhar o projeto aos interesses locais, minimizando conflitos e potencializando benefícios.

11. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA SERTÃO. *Imagens aéreas mostram cheia do Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa*. 2020. Disponível em: <https://agenciasertao.com/2020/03/09/imagens-aereas-mostram-cheia-do-rio-sao-francisco-em-bom-jesus-da-lapa/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ARAUJO, J. F. et al. Itiruçu e Bom Jesus da Lapa: diversidade climática do semiárido baiano e as consequências no atendimento da demanda pelas cisternas de água de chuva. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais – GESTA*, v. 10, n. 2, p. 141–158, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v17.20571>.

ATLAS BRASIL. *Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações*. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019.

BORGES, Ana Lúcia; SOUZA, Luciano da Silva. Atributos físicos e químicos de solos cultivados com bananeira, sob irrigação, no Projeto Formoso, Bom Jesus da Lapa, Bahia. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 42). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/641749/1/Boletim42web.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

BRAGA, C.C., de MELO, M.L.D., MELO, E.C.S. Análise de agrupamento aplicada à distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília-DF. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.1857-62, 1998.

BREIMAN, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

BULHÕES, P. M. et al. *Avaliação da qualidade da água do rio são francisco na área urbana de um município do sertão alagoano*. Brasília: CONFEA, 2018.

CENTRAL DA LAPA. Unidades Básicas de Saúde de Bom Jesus da Lapa. Disponível em: <https://www.centraldalapa.com/item/unidades-basicas-de-saude-lapa/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

CENTRAL DA LAPA. *Cheia histórica do Rio São Francisco provoca alagamentos em Bom Jesus da Lapa*. 2022. Disponível em: <https://www.centraldalapa.com.br/cheia-rio-sao-francisco-2022/>. Acesso em: 18 jul. 2025.

CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. *Projeto Formoso: impactos socioeconômicos e ambientais no município de bom jesus da lapa-BA*. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/projeto-formoso-impactos-socioeconomicos-e-ambientais-no-municipio-de-bom-jesus-da-lapa-ba.pdf/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

COSTA, P. L. et al. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Bom Jesus da Lapa–BA. *Revista Ifes Ciência*, v. 12, n. 3, p. 1025–1040, 2019. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/458/412>. Acesso em: 01 jul. 2025.

DINIZ, João Alberto Oliveira; LIMA, Josias Barbosa de. *O aquífero de dunas da região do Médio São Francisco – BA*. [S.l.]: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://www.cprm.gov.br/publique/media/aq_dunas_sao_francisco.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.

DRUSCH, M., DEL BELLO, U., CARLIER, S., COLIN, O., FERNANDEZ, V., GASCON, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>

DRZ GEOTECNOLOGIA E CONSULTORIA. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Bom Jesus da Lapa (BA)*. 2018. Disponível em: <https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/2017//box/uploads/2018/09/P2-4-DIAGN%C3%93STICO-BOM-JESUS-DA-LAPA-APROVADO.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2025.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga*. Brasília: MMA, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18306/1/Caatinga.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2025.

GIULIETTI, A. M. et al. *Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade na Caatinga*. [S.l.]: Embrapa CPATSA, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18265/1/Caatingaaa.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

HAZZAN, O., HEYD-METZUYANIM, E., EVEN-ZAHAV, A., & DORI, Y. J. *Application of Management Theories for STEM Education - The Case of SWOT Analysis* (1st ed.). Cham: Springer international Publishing. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68950-0>, 2017

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Indicadores demográficos e econômicos municipais*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/bom-jesus-da-lapa/panorama>. Acesso em: 18 jul. 2025.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Boletins de eventos extremos de calor*. 2023. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/83288>. Acesso em: 29 jun. 2025.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Dados históricos da estação de Bom Jesus da Lapa – BDMET*. 2020. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/BA/83344>. Acesso em: 18 jul. 2025.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Índice de Vulnerabilidade Social – IVS*. 2010. Disponível em: <https://ivs.ipea.gov.br/>. Acesso em: 05 jul. 2025.

LI, S., LI, X., & WANG, S. (2022). Comparative assessment of Sentinel-2, Landsat-8 and CBERS-4A for water quality monitoring in inland lakes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09621-6>

LOUIS, J., DEBAECKER, V., PFLUG, B., MAIN-KNORN, M., BIENIARZ, J., MÜLLER-WILM, U., CADAU, E., & GASCON, F. (2016). Sentinel-2 Sen2Cor: L2A Processor for Users

MAPBIOMAS. *Coleção 8 da Série de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil*. 2025. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

MCFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 207–217. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

MENESES, Amós Cardoso de. Classificação climática para o município de Bom Jesus da Lapa-BA pelas metodologias de Thornthwaite e Köppen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (LIII : 2024 : [local não informado]), 2024. *Anais Engenharia de Água e Solo (EAS-7)*. São Paulo: CONBEA, 2024. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2024/anais-2024/engenharia-de-agua-e-solo-eas-7/3937-classificacao-climatica-para-municipio-de-bom-jesus-da-lapa-ba-pelas-metodologias-de-thornthwaite-e-koepfen/file>. Acesso em: 18 jul. 2025.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (Brasil). Relatório final - Grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. Ministério da Integração Nacional, 2004. Disponível em: https://web.archive.org/web/20160809043148/http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1839.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

NOTÍCIAS DA LAPA. *Imagens da enchente em Bom Jesus da Lapa*. 2022. Disponível em: <https://agenciasertao.com/2022/01/30/em-bom-jesus-da-lapa-nivel-do-rio-sao-francisco-chegou-ao-maior-nivel-desde-1992/>

SILVA, J. M. C. et al. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Universidade Federal de Pernambuco; Embrapa CPATSA, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18306/1/Caatinga.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

SILVA, Neivan de Dias da. *História de Bom Jesus da Lapa: religiosidade e romaria*. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2012. Disponível em: <https://www.uece.br/mpgntwp/wp-content/uploads/sites/71/2012/02/neivandediasdasilva.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2025.

SILVA, V. DE P. R. DA ., PEREIRA, E. R. R., & ALMEIDA, R. S. R.. (2012). Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 27(2), 163–172. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000200005>

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – Bom Jesus da Lapa*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

12. Lista de Anexos

Anexo I: Plano De Recuperação De Áreas Degradadas Na Área De Preservação Permanente do Rio São Francisco Em Bom Jesus Da Lapa (BA)

Anexo II: Planilha Orçamentária

Anexo III: Planilha Orçamentária - Memorial PRAD

Anexo IV: Mapa de Delimitação da área de estudo no município de Bom Jesus da Lapa (BA)

Anexo V: Mapa de Setorização do trecho fluvial de estudo em 18 trechos e 3 canais distintos ao longo do Rio São Francisco, no município de Bom Jesus da Lapa

Anexo VI: Mapa de Localização dos principais pontos de assoreamento identificados ao longo do trecho estudado do Rio São Francisco

Anexo VII: Mapa de Identificação de bancos de areia e áreas com solo exposto na calha e margens do Rio São Francisco

Anexo VIII: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 1

Anexo IX: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 2

Anexo X: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 3

Anexo XI: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 4

Anexo XII: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 5

Anexo XIII: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 6

Anexo XIV: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 7

Anexo XV: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 8

Anexo XVI: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 9

Anexo XVII: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 10

Anexo XVIII: Mapa de Localização dos espigões sugeridos - Trecho 11 e 12

Anexo XIX: Mapa de Localização dos diques marginais - 1

Anexo XX: Mapa de Localização dos diques marginais - 2

Anexo XXI: Mapa de Localização dos diques marginais - 3