



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FABIANA PERES DE FREITAS

MECANISMOS EVOLUTIVOS DE BACIAS DE DRENAGEM EM DIFERENTES
ESCALAS DE TEMPO – RIO JAPUÍBA (ANGRA DOS REIS, RJ)

Rio de Janeiro

2025

FABIANA PERES DE FREITAS

MECANISMOS EVOLUTIVOS DE BACIAS DE DRENAGEM EM DIFERENTES
ESCALAS DE TEMPO – RIO JAPUÍBA (ANGRA DOS REIS, RJ)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de Doutora em Geografia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Telma Mendes da Silva .

Rio de Janeiro

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

P866m Peres de Freitas, Fabiana
MECANISMOS EVOLUTIVOS DE BACIAS DE DRENAGEM EM
DIFERENTES ESCALAS DE TEMPO - RIO JAPUÍBA (ANGRA
DOS REIS, RJ) / Fabiana Peres de Freitas. -- Rio de
Janeiro, 2025.
256 f.

Orientadora: Telma Mendes da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, 2025.

1. Processos geológicos-geomorfológicos. 2. Bacia
de Drenagem. 3. Mecanismo Evolutivo. 4. Relevo
tecnogênico. I. Mendes da Silva, Telma, orient. II.
Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

FABIANA PERES DE FREITAS

MECANISMOS EVOLUTIVOS DE BACIAS DE DRENAGEM EM
DIFERENTES ESCALAS DE TEMPO – RIO JAPUÍBA (ANGRA
DOS REIS, RJ)

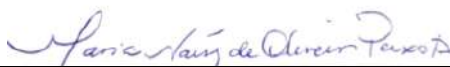
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do título de Doutora em Geografia.

Aprovada em: 07/04/2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Telma Mendes da Silva (PPGG/UFRJ) – Orientadora



Prof^a. Dr^a. Maria Náise de Oliveira Peixoto (PPGG/UFRJ)



Prof^a. Dr^a. Anice Esteves Afonso (PPGG/UERJ-FFP)



Prof^a. Dr^a. Laura Delgado Mendes (Instituto Multidisciplinar/UFRRJ)



Prof^a. Dr^a. Simone Lisboa dos Santos da Silva (Instituto de Geografia/UERJ)

“Dedico este trabalho às duas pessoas mais incríveis do mundo:
Ísis e Rafael. Sem vocês, nada seria possível.”

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta etapa, é um momento de profunda gratidão. Uma jornada que não teria sido possível trilhar sem o apoio, o amor e a inspiração de pessoas muito especiais em minha vida.

Primeiramente, meus **filhos**, Ísis e Rafael. Vocês são a luz da minha vida, a razão do meu sorriso e a força que me impulsiona a seguir em frente. Cada desafio, cada obstáculo, foi superado com o pensamento em vocês, na alegria de poder proporcionar um futuro melhor. O amor incondicional de vocês me ensinou o verdadeiro significado da palavra "superação".

Ao meu amado **companheiro**, Marcelo. Meu companheiro de todas as horas, que me incentivou, me apoiou e me amou incondicionalmente durante toda esta jornada. Seu amor, sua paciência e sua fé em mim foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha querida **orientadora**, Telma Mendes. Sua sabedoria, sua orientação e sua paciência foram imprescindíveis para a realização deste trabalho. Agradeço por cada ensinamento, por cada correção e por cada palavra de incentivo. Sua trajetória e seu conhecimento me contagiaram e me inspiraram a buscar sempre mais.

À minha **irmã**, Paola Bruna. Nossa ligação é um presente que a vida me deu. Seu apoio, seu carinho e suas palavras de conforto me fortaleceram nos momentos mais difíceis. Saber que tenho você ao meu lado me dá a segurança para enfrentar qualquer desafio.

Aos meus amados **pais**, Sr. Iran e Sra. Yolanda. O amor e a educação que vocês me deram foram a base para tudo que conquistei na vida. Vocês são o meu exemplo de força e perseverança.

Aos meus queridos **amigos**, Ricardo Vaz Leite, Dicler Costa, Bernard Wolman, Rosemary Braga e Rosa Caloeiro, que me apoiaram, me incentivaram e me fizeram rir durante toda esta jornada. Agradeço por cada abraço, por cada palavra de conforto e por cada momento de descontração. A amizade de vocês é um tesouro que levarei para o resto da vida.

Aos meus queridos **alunos**, que me inspiram diariamente a ser uma profissional melhor e a buscar sempre mais conhecimento. Especialmente a turma 3003, do ano de 2024, do Colégio Estadual Almirante Álvaro Alberto. Agradeço por cada pergunta, por cada sorriso e por cada momento de aprendizado compartilhado. Vocês são a razão de ser da minha paixão pela educação.

Ao Laboratório de Radiocarbono (LAC), do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, coordenado atualmente pela Prof^a. Dr^a. Kita Chaves Damasio Macario e com o apoio da professora Fabiana Monteiro de Oliveira.

A todos vocês, que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho, deixo o meu sincero agradecimento. Esta tese é fruto do esforço e da dedicação de muitas pessoas, e sou grata a cada um de vocês por fazerem parte da minha história.

EPÍGRAFE

“A vida é feita de desafios, mas é superando cada um deles que encontramos a força para seguir em frente.”
Conceição Evaristo (Em: Roda Viva. TV Cultura, 2021).

RESUMO

Freitas, Fabiana Peres. **Mecanismos evolutivos de bacias de drenagem em diferentes escalas de tempo – Rio Japuíba (Angra dos Reis, RJ)**. Rio de Janeiro, 2025. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2025.

A compreensão da evolução de uma bacia de drenagem requer expressar qualitativa e quantitativamente as formas, os processos e suas inter-relações. A análise do arranjo dos sistemas fluviais, elucida questões geomorfológicas, já que os cursos d'água são agentes ativos na modelagem da paisagem. A pesquisa busca investigar os mecanismos evolutivos através da integração de diferentes metodologias, considerando a análise do controle tectono-estrutural, a dinâmica sedimentar quaternária propondo um modelo evolutivo para a bacia do rio Japuíba, além do reconhecimento de terrenos tecnogênicos. A análise detalhada da bacia, localizada em Angra dos Reis e formada pelos rios Japuíba e Cabo Severino, com predomínio de serras escarpadas em contato com planícies fluviomarinhas, foi realizada a partir da divisão em três sub-bacias (Banqueta-Japuíba, Cabo Severino e Japuíba do Meio) e revelou características distintas, moldadas por processos geológicos e antrópicos ao longo do tempo. A sub-bacia Banqueta-Japuíba destaca-se pela alta influência tectônica, evidenciada por valores elevados do Índice de Atividade Tectônica (IAT), tendo o relevo declives abruptos que aumentam o risco de erosão e de deslizamentos. A morfodinâmica rochosa coluvial, com vales confinados e parcialmente confinados, confere à sub-bacia alta susceptibilidade a alterações. Enquanto, as alterações antropogênicas que predominam são equiformas tecnogênicas. A sub-bacia Cabo Severino apresenta também controle tectônico-estrutural, com valores muito altos de IAT. O relevo exibe um sistema de drenagem maduro devido à erosão intensa. A morfodinâmica é semelhante à Banqueta-Japuíba, mas com menor quantidade de cotovelos de drenagem e um trecho não confinado, tornando-a um pouco mais susceptível a alterações. As alterações antropogênicas incluem equiformas, cicatrizes, depressões, elevações e superposições tecnogênicas. A sedimentação quaternária é pequena, haja vista ambientes de alta energia erosiva. A sub-bacia Japuíba do Meio, por sua vez, apresenta influência tectônica alta, porém menos intensa que as anteriores. O relevo exibe menor risco de erosão e deslizamentos, com áreas de acúmulo de sedimentos. A morfodinâmica aluvial antropizada, com estilo fluvial não confinado, evidencia forte influência humana na modificação do canal e dos processos fluviais.

As alterações no terreno são numerosas, com a presença de equiformas, cicatrizes, depressões, elevações e superposições tecnogênicas, reflexo da maior ocupação populacional. A sub-bacia apresenta a maior área de sedimentação quaternária, com atividade sedimentar recente e contínua, além de ser o trecho da bacia que mais sofre com assoreamento devido à ação humana. A análise evolutiva da bacia em distintas escalas de tempo, longa e curta, permitiu compreender a dinâmica fluvial e as interferências antrópicas. Na escala de tempo longa, a compartimentação tectônica-estrutural e a sedimentação quaternária demonstraram forte influência na conformação da bacia, bem como na distribuição e retenção de sedimentos de idade quaternária. Na escala de tempo curta, os processos erosivos atuais e a classificação dos estilos fluviais, indicam diferentes graus de morfodinâmica dos canais fluviais e a crescente influência da ação humana. A investigação da geometria e dos processos geomorfológicos demonstraram como a bacia fora impulsionada por eventos climáticos, tectônicos, pela variação da cobertura vegetal e atividade humana. Inclusive, a crescente degradação dos sistemas fluviais, tem gerado impactos significativos nas taxas dos processos geomórficos da paisagem. Essa problemática exige uma gestão ambiental mais eficiente, que passe pela compreensão das características e comportamentos do relevo e do sistema fluvial.

Palavras-chave: bacia de drenagem; escalas de tempo curta e longa; processos geológico-geomorfológicos; feições de relevo tecnogênicas; Angra dos Reis.

ABSTRACT

Freitas, Fabiana Peres. **Mecanismos evolutivos de bacias de drenagem em diferentes escalas de tempo – Rio Japuíba (Angra dos Reis, RJ)**. Rio de Janeiro, 2025. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2025.

Understanding the evolution of a drainage basin requires expressing qualitatively and quantitatively the forms, processes and their interrelationships. The analysis of the arrangement of river systems elucidates geomorphological issues, since watercourses are active agents in landscape modeling. The research seeks to investigate the evolutionary mechanisms through the integration of different methodologies, considering the analysis of tectono-structural control, the quaternary sedimentary dynamics proposing an evolutionary model for the Japuíba river basin, in addition to the recognition of technogenic terrains. The detailed analysis of the basin, located in Angra dos Reis and formed by the Japuíba and Cabo Severino rivers, with a predominance of steep mountain ranges in contact with fluvial-marine plains, was carried out from the division into three sub-basins (Banqueta-Japuíba, Cabo Severino and Japuíba do Meio) and revealed distinct characteristics, shaped by geological and anthropogenic processes over time. The Banqueta-Japuíba sub-basin stands out for its high tectonic influence, evidenced by high values of the Tectonic Activity Index (IAT), with abrupt slopes that increase the risk of erosion and landslides. The colluvial rock morphodynamics, with confined and partially confined valleys, gives the sub-basin high susceptibility to changes. On the other hand, the anthropogenic changes that predominate are technogenic equiforms. The Banqueta-Japuíba sub-basin stands out for its high tectonic influence, evidenced by high values of the IAT. The relief has steep slopes that increase the risk of erosion and landslides. The colluvial rock morphodynamics, with confined and partially confined valleys, gives the sub-basin high susceptibility to changes. Anthropogenic changes in the terrain are rare, with a predominance of technogenic equiforms, and quaternary sedimentation rates are lower, indicating the predominance of erosive processes and material transport. The Cabo Severino sub-basin also presents tectonic-structural control, with very high values of IAT. The relief exhibits a mature drainage system due to intense erosion. The morphodynamics are similar to the Stool, but with fewer drainage elbows and a non-confined section, making it a little more susceptible to changes. Anthropogenic changes include equiforms, scars, depressions, elevations, and

technogenic superpositions. Quaternary sedimentation is small, given environments of high erosive energy. The Japuíba do Meio sub-basin, in turn, has a high tectonic influence, but less intense than the previous ones. The relief exhibits a lower risk of erosion and landslides, with areas of sediment accumulation. The anthropized alluvial morphodynamics, with an unconfined fluvial style, show a strong human influence on the modification of the channel and fluvial processes. The changes in the terrain are numerous, with the presence of equiforms, scars, depressions, elevations and technogenic superpositions, reflecting the greater population occupation. The sub-basin has the largest area of Quaternary sedimentation, with recent and continuous sedimentary activity, in addition to being the stretch of the basin that suffers the most from siltation due to human action. The evolutionary analysis of the basin in different time scales, long and short, allowed us to understand the fluvial dynamics and anthropogenic interferences. On the long time scale, tectonic-structural compartmentalization and Quaternary sedimentation showed a strong influence on the conformation of the basin, as well as on the distribution and retention of Quaternary age sediments. On the short time scale, the current erosive processes and the classification of fluvial styles (confined, partially confined and unconfined) indicate different degrees of morphodynamics of fluvial channels and the growing influence of human action, especially in the Japuíba do Meio sub-basin. The investigation of geometry and geomorphological processes demonstrated how the basin was driven by climatic events, tectonics, by the variation of vegetation cover and human activity. In fact, the increasing degradation of river systems has generated significant impacts on the rates of geomorphic processes in the landscape. This problem requires a more efficient environmental management, which involves understanding the characteristics and behaviors of the relief and river system.

Keywords: Drainage basin; short and long-time scales; geological-geomorphological processes; technogenic landforms; Angra dos Reis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Região RH I – Baía da Ilha Grande. Fonte: Mapa das Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro (INEA, 2020).	29
Figura 2: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Japuíba (Município de Angra dos Reis, RJ).	30
Figura 3: Compartimentação Geomorfológica para os municípios a Sul do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SILVA, 2002), realçado a partir do Modelo Digital de Elevação.....	33
Figura 4: Diagramas esquemáticos da rotina metodológica adotada: A - Etapas de Gabinete; B – Campo; C - Laboratórios e D - Integração dos dados coligidos.	53
Figura 5: Perfis esquemáticos de knickpoints. A – Mudança de declividade ao longo do perfil que leva a variação de energia do fluxo d’água e no qual começa a predominar processos deposicionais; B – Mudança brusca de declive ao longo do perfil, marcando um nível encachoeirado.....	60
Figura 6: Parâmetros para o cálculo do índice Relação Declividade/Extensão (RDE): h1 e h2 representam os valores de altimetria das isolinhas.....	61
Figura 7: Fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT) que quantifica o deslocamento de um rio. Observa-se na figura diferentes valores deste parâmetro morfométrico que demonstram trechos de maior ou menor assimetria ao longo da bacia de drenagem.	63
Figura 8: Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), que quantifica o deslocamento do canal de um rio em função de causas tectônicas.	64
Figura 9: Visão panorâmica do trecho da bacia do rio Japuíba e de seus contrastes morfológicos: a Serra da Bocaina ao fundo e a planície fluviomarinha.....	75
Figura 10: Padrões de relevo da bacia hidrográfica do rio Japuíba, sendo possível identificar a localização dos seguintes padrões de relevo: escarpas serranas, morro alto, morro baixo, planície de inundação/várzea e terraço fluvial.	78
Figura 11: Mapa de Padrões de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Japuíba. Modificado de: CPRM (2019).	82
Figura 12: I - Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Japuíba; II - Recorte do mapa tectônico da região Sudeste do Brasil, segundo Heilbrom et al. (2004); A-A’, B-B’ e C-C’- perfis topográficos transversais a bacia do rio Japuíba.	84
Figura 13: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação dos Lineamentos do relevo (A) e Lineamentos de drenagem (B)	87
Figura 14: Rosetas de lineamentos. A – Roseta de frequência de relevo e B – Roseta de frequência de drenagem.	88
Figura 15: A – Mapa de densidade de lineamento de relevo da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação dos lineamentos do relevo e a falha mapeada em B reconhecida por FC-4. B – Mapa de integração em ambiente SIG das principais descontinuidades do continente com as falhas de transferência identificadas. Fonte: SOUSA (2008).	89
Figura 16: Imagem da bacia do rio Japuíba na década de 1960, onde é possível observar a pouca ocupação urbana.	92
Figura 17: Imagem da bacia do rio Japuíba no ano de 2018, onde é possível observar o adensamento urbano na planície do rio Japuíba.	92
Figura 18: Mapa de cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica do rio Japuíba.	94
Figura 19: Rede de drenagem da bacia do rio Japuíba com marcações das feições de cotovelos.	99

Figura 20: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severiano. Os círculos em cor vermelha marcam a localização dos principais NBLs.	100
Figura 21: Perfil Longitudinal do rio Japuíba. Os círculos em cor vermelha marcam a localização dos principais NBLs.	101
Figura 22: Imagem do rio Cabo Severiano em seu trecho retilíneo.	102
Figura 23: Perfil longitudinal do rio Japuíba com linha de melhor ajuste pontilhada na cor vermelha.	103
Figura 24: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severino com linha de melhor ajuste pontilhada na cor vermelha.	103
Figura 25: Perfil de elevação e RDE_{trecho}/RDE_{total} do rio Japuíba.	108
Figura 26: Perfil de elevação e RDE_{trecho}/RDE_{total} do rio Cabo Severino.	109
Figura 27: Mapa de feições geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação das classes de anomalias derivadas do índice da Relação Declividade-Extensão (< 2 ; > 2 e < 4 ; > 8 e < 10 ; > 10).	110
Figura 28: Modelos representativos de curvas hipsométricas normalizadas (OHMORI,1993).	112
Figura 29: Representação em curva dos valores da Integral Hipsométrica da bacia do rio Japuíba. A linha tracejada em cor vermelha corresponde a cota média da bacia.	115
Figura 30: Representação em curva dos valores das Integrais Hipsométricas: A – rio Banqueta-Japuíba; B – rio Japuíba; C – rio Cabo Severino. A linha tracejada vermelha, corresponde a cota média das sub-bacias. D – Comparação das curvas hipsométrica do rio Japuíba na cor azul. A curva em verde representa a sub-bacia Cabo Severino, em cor lilás a sub-bacia Banqueta-Japuíba e a curva vermelha a sub-bacia do Japuíba do Meio.	116
Figura 31: Mapa ilustrativo com representação da linha de base da escarpa (cor vermelha) e dos trechos de linhas retilíneas da base de escarpa em cor verde (T1, T2, T3, ...) utilizados para realização do cálculo de Sinuosidade de Escarpa Montanhosa (Smf).	118
Figura 32: Feições morfotectônicas (lineamento de cristas, facetas triangulares e deslocamento de cristas) reconhecidas no divisor ao sul da bacia do rio Japuíba.	120
Figura 33: Mapa de classificação da intensidade tectônica-estrutural (IAT) das sub-bacias de drenagem do sistema fluvial Japuíba.	123
Figura 34: Mapa de sedimentação quaternárias da bacia do rio Japuíba.	125
Figura 35: Diferentes níveis de terraços localizados à margem esquerda do rio Japuíba.	125
Figura 36: Mapa dos diferentes níveis de terraços identificados na planície fluvio-marinhas do rio Japuíba. A – imagem Google Earth Pro com delimitação da bacia; B – Mapa dos níveis de terraços identificados em trecho do médio-baixo curso do rio Japuíba e C – Perfil transversal ao fundo de vale (A-A') com identificação dos níveis de terraços.	127
Figura 37: Imagem aérea de um trecho do médio-baixo curso da bacia do rio Japuíba. Observa-se a presença de meandros abandonados no nível do terraço baixo – T2.	128
Figura 38: Imagem de um trecho do médio-baixo curso da bacia do rio Japuíba obtida em sobrevoo. Observa-se a presença dos diferentes níveis de terraços fluviais (terraço alto - T1)	129
Figura 39: Imagem aérea de um trecho do médio-baixo curso e da confluência do rio Banqueta com o rio Japuíba. Observa-se a presença do terraço baixo - T2 e da planície de inundação.	130
Figura 40: Mapa da bacia do rio Japuíba (A) e Imagem Google Earth Pro (B) com a localização dos pontos de coleta das amostras: Ponto 1 - nível de terraço mais elevado (T1); Ponto 2 – nível de terraço baixo (T2).	132

Figura 41: Visão panorâmica dos terraços fluviais T1 e T2 onde foram realizados perfis sedimentográficos e coletadas as amostras para datação por C ₁₄ . A – Ponto 1; B – Ponto 2.	134
Figura 42: Perfil sedimentográfico do terraço superior (T1) localizado à margem esquerda	135
Figura 43: Fotografia ilustrativa do nível de paleossolo localizado na base do perfil sedimentográfico com presença de vestígios de troncos de árvores fossilizados.	136
Figura 44: Vestígios de troncos com preservação das fibras da madeira. Em A o tronco retirado do perfil para análise e B pedaço do tronco ainda no testemunho.	136
Figura 45: Paleossolo com vestígios de troncos de árvores onde foi coletada a amostra 03.	137
Figura 46: Fotografia ilustrativa do perfil sedimentográfico do terraço elevado (Perfil T1) com exposição dos paleossolos reconhecidos e onde foram coletadas as amostras 05 e 04.	138
Figura 47: Detalhes do pedaço do tronco com fibra de madeira preservada encontrado no paleossolo do T1 (Amostra 04).	138
Figura 48: Perfil sedimentográfico no terraço T2 com destaque para a ocorrência de Paleossolo.	139
Figura 49: Perfil sedimentográfico do Terraço T2 localizado à margem esquerda do rio Japuíba.	141
Figura 50: Fotografia do perfil sedimentográfico realizado no T2 com indicação da localização do paleossolo onde foi retirada a amostra 1.	142
Figura 51: Modelo evolutivo esquemático da bacia do rio Japuíba para o trecho de maior concentração da planície fluvial quaternária atual e na qual foram identificados distintos níveis de terraços fluviais (Figuras 35 e 36).	149
Figura 52: Visão panorâmica de um trecho do baixo-médio curso da bacia do rio Japuíba.	150
Figura 53: Imagens do Google Earth Pro com modificações intensas no leito do rio Japuíba em três momentos distintos: A - corresponde ao dia 03/07/2021; B - corresponde ao dia 25/04/2022 e C - Imagem do dia 31/03/2024.	152
Figura 54: Desenho esquemático dos segmentos de uma bacia de drenagem Continuum vertente-canal.	154
Figura 55: Hipsometria da bacia do rio Japuíba e seus respectivos segmentos de vales identificados para valoração de seu grau de morfodinâmica fluvial: A – Segmento de vale foz - Manguezal antropizado; B – Segmento de vale aluvial; C – Segmento de vale coluvial; D – Segmento de vale rochoso; Modificado de: SILVA (2015).	156
Figura 56: Médias pluviométricas mensais da estação Bracuí para série temporal analisada (1990 a 2022).	160
Figura 57: Totais pluviométricos dos dez anos mais chuvosos e respectivas médias mensais da série temporal analisada.	161
Figura 58: Totais pluviométricos dos dez anos mais secos e respectivas médias mensais da série temporal analisada.	161
Figura 59: Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para série temporal analisada (1990 a 2022).	164
Figura 60: Mapas de hipsometria (A) e de padrões de relevo (B) com classificação dos tipos de vale fluvial dos rios Japuíba e Cabo Severino.	167
Figura 61: Perfil Longitudinal do rio Japuíba com representação das configurações dos tipos de vales.	168
Figura 62: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severino com representação das configurações dos tipos de vales.	169

Figura 63: Mapa dos padrões de relevo com identificação dos estilos fluviais (@River Styles) dos rios Japuíba e Cabo Severino.....	178
Figura 64: Imagens extraídas do Google Earth Pro (06/03/2023) com a classificação dos estilos fluviais e a localização dos seus respectivos perfis de elevação. A – Cabeceiras íngreme; B – Vale Confinado Garganta; C – Vale Confinado Sinuoso; D – Vale Parcialmente Confinado Sinuoso; E – Vale Parcialmente Confinado Retilíneo; F – Vale Não Confinado Sinuoso; G – Vale Não Confinado Retilíneo; H – Vale Não Confinado Meandros Arenosos; I – Vale Não Confinado Retilinizado.....	179
Figura 65: Confluência dos rios Banqueta-Japuíba e Cabo Severino, trecho de vale classificado como não confinado sinuoso, com a presença de meandros e barras fluviais e barras laterais.	181
Figura 66: Imagens Google Earth Pro do trecho do vale não-confinado sinuoso com presença de barras fluviais laterais para os períodos mais secos e mais úmidos previamente definidos do trecho em destaque: meses mais secos - A (setembro/2014) e B (julho/2016) e meses mais úmidos - C (dezembro/2010) e D (janeiro/2013).	183
Figura 67: Trecho do baixo curso do rio Japuíba, após confluência com o rio Cabo Severino, com a presença de curvas meândricas com diversas ilhas barras fluviais, demonstrando a intensidade do assoreamento.....	184
Figura 68: Imagens Google Earth Pro do trecho em destaque do vale não-confinado meandros arenosos com presença de barras fluviais laterais para os períodos mais secos e mais úmidos previamente definidos: meses mais secos - A (setembro/2014) e B (julho/2016) e meses mais úmidos - C (dezembro/2010) e D (janeiro/2013).....	185
Figura 69: Imagem do Google Earth Pro do trecho do baixo curso do rio Japuíba classificado como vale confinado retificado.	186
Figura 70: Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Japuíba para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021. Fonte: MapBiomias (2021)....	191
Figura 71: Organização cognitiva do mapeamento do relevo tecnogênico utilizado no reconhecimento de feições de relevo tecnogênico da bacia do rio Japuíba segundo metodologia proposta por Moura et al. (2023).....	193
Figura 72: Mapa do 1º nível de classificação de feições de relevo tecnogênicos propostas por Moura et al. (2023) para a	198
Figura 73: Mapa dos tipos de feições de relevo tecnogênicas - 2º nível de classificação (Tipos de formas).....	201
Figura 74: Fotografia de um exemplo de tecnoforma de acumulação constituída por aterro para construção do conjunto habitacional na área da planície fluviomarinha do rio Japuíba.	203
Figura 75: Imagem que mostra a tecnoforma de acumulação derivada do descarte de entulho de construções, localizada planície de inundação do rio Japuíba.	204
Figura 76: Imagem Google Earth Pro de 16/01/2024 com exemplo da tecnoforma de acumulação - aterro para construção da pista de pouso e decolagem do aeroporto regional Japuíba.....	205
Figura 77: Imagem fotográfica da área de ocupação irregular nas encostas de morros baixos, próximo a estrada da Banqueta. Exemplo do tipo de feição de relevo tecnogênico tecnoforma de acumulação - terrenos construídos.	206
Figura 78: Vista panorâmica da BR-101 cortando parte do bairro e do rio Japuíba. Esta rodovia forma uma barragem para o escoamento dos fluxos d'água, quando da ocorrência de altos índices pluviométricos, contribuindo com as cheias e inundações em direção à montante.	207

Figura 79: Imagem do Google Earth Pro de 19/02/2024 com exemplo do tipo geotecnoforma de acumulação com depósito do deslizamento.	208
Figura 80: Imagem Google Earth Pro de 03/01/2024 com exemplificação do tipo geotecnoforma de acumulação - estuário assoreado.	210
Figura 81: Imagem fotográfica panorâmica do trecho de baixo curso do rio Japuíba, ilustrando acentuada carga sedimentar, com redução significativa do leito fluvial, formando barras laterais. Observa-se a atividade de extração pela presença de caminhão que é o coletor desse recurso mineral.	211
Figura 82: Imagem Google Earth Pro de 23/12/2023. Feição de tecnoforma de escavação - área de extração de saibro em feição de colina nos arredores da Estrada Campo Belo, bairro de Areal (pertencente à grande Japuíba).	212
Figura 83: Imagem Google Earth Pro de 23/12/ 2023 exemplificando o tipo tecnoforma de escavação por terraplanagem.	213
Figura 84: Fotografia para ilustrar o exemplo de Tecnoforma de escavação - retificação do baixo curso do rio Japuíba.....	215
Figura 85: Fotografia ilustrativa do tipo tecnoforma de escavação em área de construção de lagos artificiais para a criação de peixes.	216
Figura 86: Visão panorâmica, a partir da BR-101, do Bairro Japuíba de uma cicatriz de deslizamento - Geotecnoforma de escavação induzida em encosta íngreme desmatada.	217
Figura 87: Imagem fotográfica exemplificando o tipo equiforma tecnogênica de modificação – áreas agrícolas.	218
Figura 88: Imagem aérea exemplificando o tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície na área de planície de inundação do rio Japuíba e utilizada para pecuária. ...	219
Figura 89: Fotografia ilustrativa da Equiforma tecnogênica de modificação em superfície - barragem do rio Banqueta-Japuíba.....	220
Figura 90: Fotografia do tipo de equiforma tecnogênica de modificação em profundidade - túnel da linha férrea do trem da Mata Atlântica. Esse túnel possui 136 metros de comprimento fazendo uma curva para a esquerda, e sua inauguração data do ano de 1927. Possui acabamento externo, porém o interior é escavado na rocha e não possui qualquer revestimento.	222

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentagem das classes de feições morfológicas dos municípios da região da Costa Verde.	32
Tabela 2: Bacias hidrográficas do município de Angra dos Reis.	96
Tabela 3: RDE_{total} dos rios Japuíba e Cabo Severino.	105
Tabela 4: Valores de RDE_{trecho} e RDE_{total} do rio Japuíba.	106
Tabela 5: Valores de RDE_{trecho} e RDE_{total} do rio Cabo Severino.	107
Tabela 6: Relação classes de RDE e os trechos dos rios Japuíba e Cabo Severino, segundo a classificação de Santos e Mendes (2021).	108
Tabela 7: Índice FSTT da Bacia Hidrográfica do rio Japuíba.	111
Tabela 8: Índice FABD das sub-bacias.	112
Tabela 9: Valores utilizados para o cálculo da Integral Hipsométrica da bacia do rio Japuíba, segundo a metodologia de Strahler (1952).	113
Tabela 10: Valores da cota Média e de IH, e classificação do estágio evolutivo das sub-bacias do sistema fluvial do rio Japuíba.	115
Tabela 11: Valores de Sinuosidade da escarpa montanhosa (Smf) encontrados para as principais frentes de escarpas da bacia hidrográfica do rio Japuíba.	119
Tabela 12: Relação entre classes de índices morfométricos e Categorias de Intensidade Tectônica (CIT).	121
Tabela 13: Valores dos Índices morfométricos classificados de acordo com as Classes de Intensidade Tectônica (CIT) propostas por El Hamdouni et al. (2008).	121
Tabela 14: Classes do Índice de Atividade Tectônica (IAT).	121
Tabela 15: Índice de Atividade Tectônica (IAT) das sub-bacias estudadas.	122
Tabela 16: Médias pluviométricas mensais da série de 1990 a 2022 da estação Bracuí (Angra dos Reis, RJ) e resultados dos índices de anomalia pluviométrica (IAC) utilizados para a definição dos períodos mais seco e mais úmido da bacia do rio Japuíba.	158
Tabela 17: Classificação da Intensidade de Anomalia de Chuva (IAC) da série de 1990-2022 da estação Bracuí.	162
Tabela 18: Valores areais e percentuais dos tipos de vale do rio Banqueta-Japuíba.	165
Tabela 19: Valores areais e percentuais dos tipos de vale do rio Cabo Severino.	169
Tabela 20: Valores do Índice de Sinuosidade (IS) para os trechos do rio Banqueta-Japuíba.	170
Tabela 21: Valores do Índice de Sinuosidade (IS) dos trechos do rio Cabo Severino.	171
Tabela 22: Características da forma em planta do canal fluvial e composição do leito, segundo as diferentes configurações do vale – rio Banqueta-Japuíba.	173
Tabela 23: Características da forma em planta do canal fluvial e composição do leito, segundo as diferentes configurações do vale – rio Cabo Severino.	173
Tabela 24: Classificação dos estilos fluviais e atributos do rio Banqueta-Japuíba – análise da capacidade de ajustes.	175
Tabela 25: Classificação dos estilos fluviais e de atributos do rio Cabo Severino – análise da capacidade de ajustes.	176
Tabela 26: Valores percentuais da cobertura vegetal e de uso e ocupação da terra na bacia do rio Japuíba ao longo dos anos estudados.	190

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de terrenos tecnogênicos para mapeamento geológico-geomorfológico.	49
Quadro 2: Discriminação dos parâmetros-chave avaliados para realização de mapeamento dos estilos fluviais.	67
Quadro 3: Classificações das intensidades das anomalias negativas e positivas de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).	70
Quadro 4: Classificação de terrenos tecnogênicos proposta por Peloggia et al. (2014).	73
Quadro 5: Formas de relevo tecnogênico e aspectos da expressão no terreno e morfogênese.	74
Quadro 6: Classificação geomorfológica das Unidades Morfoestruturais, Unidades Morfoesculturais e Unidades Geomorfológicas da área de estudo.	77
Quadro 7: Classificação da densidade de drenagem. Adaptado de Carvalho et al. (2007).	105
Quadro 8: Coordenadas e descrição das amostras coletadas nos Pontos 1 e 2.	133
Quadro 9: Idades das amostras de paleossolos datadas por ¹⁴ C pelo laboratório de Radiocarbono da UFF.	145
Quadro 10: Relação entre os segmentos do continuum vertente-canal e morfodinâmica fluvial. Modificado de: SILVA (2015).	155
Quadro 11: Chave de classificação para relevos tecnogênicos, segundo proposta de CEN/SBCR (2022) e Moura et al. (2023).	195
Quadro 12: Categorias de classificação dos depósitos tecnogênicos e suas respectivas descrições, baseadas em Fanning; Fanning (1989) e organizado por Toyama et al. (2019).	196
Quadro 13: Classificação do tipo de material discriminado segundo as feições que se apresentam no terreno na bacia do rio Japuíba, segundo proposta de Toyama et al. (2019).	197
Quadro 14: Distribuição das feições tecnogênicas e suas respectivas porcentagens de ocupação na bacia do rio Japuíba.	200
Quadro 15: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - aterro com área construída.	203
Quadro 16: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação –	204
Quadro 17: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - aterro.	205
Quadro 18: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação –	206
Quadro 19: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - rodovia BR-101.	207
Quadro 20: Caracterização morfológica do tipo geotecnoforma de acumulação - depósito de deslizamento.	209
Quadro 21: Caracterização morfológica do tipo Geotecnoforma de acumulação - estuário assoreado.	210
Quadro 22: Caracterização morfológica do tipo geotecnoforma de escavação extração/subtração de areia.	211
Quadro 23: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de escavação - extração de saibro.	212
Quadro 24: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de escavação por terraplanagem.	213
Quadro 25: Caracterização morfológica exemplificando o tipo tecnoforma de escavação - retilinização do rio Japuíba.	215

Quadro 26: Caracterização morfológica da tecnoforma de escavação para desenvolvimento da piscicultura.	216
Quadro 27: Caracterização morfológica do tipo geotecnofoma de escavação - deslizamentos induzidos.	217
Quadro 28: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica modificada em superfície com área utilizada para agricultura.....	218
Quadro 29: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície na área utilizada com pecuária.	219
Quadro 30: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície - barragem do rio Banqueta-Japuíba.....	220
Quadro 31: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em profundidade.....	222
Quadro 32: Síntese das informações derivadas dos índices morfométricos.....	225
Quadro 33: Características da organização dos rios e leito fluviais das sub-bacias de drenagem: presença de anomalias, característica morfodinâmica (segundo SILVA, 2015) e de estilo fluvial.	228
Quadro 34: Níveis de alterações e formas de relevo antropogênicas identificadas nas sub-bacias analisadas.	230
Quadro 35: Quadro-síntese das informações produzidas para diferentes escalas de tempo analisadas.	232

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACWC	<i>Australian Water Conservation Commission</i>
AGEVAP	A Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ASI	Agência Espacial da Alemanha e da Itália
APA	Área de Proteção Ambiental
CEPERJ	Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro
CERHI	Comitê Estadual de Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento de Desastres
C-MAS	Acelerador de Massas por Carbono 14
ESRI	Environmental Systems Research Institute Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais
GTD	Grupo de Trabalho Direcionado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Nacional de Estudos Ambientais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
LAC-UFF	Laboratório de Rádio Carbono
MAS	Acelerador de Massas
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	Agência Nacional da Aeronáutica e Espaço
NIMA	Agência Nacional de imagem e mapa
PMAR	Prefeitura Municipal de Angra dos Reis
PNRH	Programa Nacional de Recursos Hídricos
PRH-BIG	Plano de Recursos Hídricos da Baía da Ilha Grande
RHI	Região Hidrográfica I
RCSB	Rifte Continental do Sudeste do Brasil
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
SBCR	Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Objetivos.....	26
1.2 Justificativa	26
1.3 Localização da área de estudo	27
2. BACIAS DE DRENAGEM E A COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM.....	34
2.1 Estudos tectônicos na conformação da paisagem e das bacias de drenagem.....	39
2.2 Análise de bacias hidrográficas através da metodologia dos estilos fluviais.....	41
2.3 A ação da agência humana e as alterações no terreno	45
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
3.1 Materiais.....	56
3.2 Elaboração de mapas	56
<i>Mapa de localização e delimitação da bacia</i>	<i>56</i>
<i>Mapa da rede de drenagem com identificação dos padrões de drenagem</i>	<i>56</i>
<i>Mapa de lineamentos de drenagem e de relevo</i>	<i>57</i>
<i>Mapa de densidade de lineamentos</i>	<i>57</i>
<i>Mapa de declividade.....</i>	<i>57</i>
<i>Mapa de relevo sombreado</i>	<i>57</i>
3.3 Compilação de mapas temáticos pré-existentes	58
<i>Mapa Geomorfológico.....</i>	<i>58</i>
<i>Mapa Geológico</i>	<i>58</i>
<i>Mapa de cobertura vegetal.....</i>	<i>58</i>
3.4 Elaboração de perfis de relevo	58
3.5 Análises de componentes tectônico-estruturais	59
<i>Análise da rede de drenagem</i>	<i>59</i>
<i>Cálculo de parâmetros morfométricos</i>	<i>60</i>
3.6 Análise da dinâmica dos processos atuais ao longo da calha.....	67
<i>Coleta de dados pluviométricos</i>	<i>69</i>
3.7 Levantamento e confecção de perfis sedimentográficos e coleta de amostras	70
3.8 Análises de laboratório - Datação de ¹⁴C	70
3.9 Reconhecimento das formas de relevos tecnogênicas.....	71
4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DA BACIA DO RIO JAPUÍBA	75
4.1 Cenário atual dos estudos socioambientais desenvolvidos na bacia do rio Japuíba ..	95
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	97

5.1. Análise da rede de drenagem e inferências tectono-estruturais	97
<i>Padrões de drenagem</i>	97
<i>Perfil longitudinal de rios</i>	100
<i>Cálculo e análise de parâmetros morfométricos</i>	103
<i>Densidade de drenagem (Dd)</i>	104
<i>Relação Declividade-Extensão</i>	105
<i>Análise da assimetria da bacia de drenagem</i>	111
<i>Sinuosidade de escarpa montanhosa (Smf)</i>	116
<i>Índice de atividade tectônica relativa (IAT)</i>	120
5.2 Retenção da sedimentação quaternária e reconstituição estratigráfica	124
Distribuição da sedimentação quaternária na bacia do rio Japuíba	124
Reconstituição evolutiva quaternária da bacia do rio Japuíba	143
5.3 Dinâmica dos processos atuais ao longo dos rios Japuíba e Cabo Severino	153
5.4 Reconhecimento dos Relevos Tecnogênicos	188
5.4.1 Elevações e superposições tecnogênicas	202
5.4.2 Cicatrizes e depressões tecnogênicas	210
5.4.3 Equiformas Tecnogênicas	217
6. INTEGRAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÕES FINAIS	225
7. CONCLUSÕES	235
REFERÊNCIAS	240
ANEXO A – Artigo Submetido para a Revista Continentes	254
ANEXO B – Trabalho submetido ao 13º SINAGEO	255

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre bacias hidrográficas devem estar voltadas, principalmente, para o entendimento do mecanismo evolutivo deste sistema, ou seja, como os processos evolutivos se alteram por processos naturais, bem como aqueles vinculados à influência humana e que leva ao aumento acelerado das taxas de erosão e/ou deposição que podem ocorrer em distintos segmentos de uma bacia hidrográfica.

Segundo Gomez e Jones (2010) investigações dos parâmetros físicos podem se concentrar na geometria dos acidentes geográficos e nos materiais de que são compostos, buscando apreender os processos que os moldam. A colocação do autor corrobora com a ideia de que se deve concentrar na análise conjunta da geometria, dos materiais e dos processos, através de uma análise integrada, pois os processos geomorfológicos são impulsionados pelo regime climático e/ou pela tectônica, mas também influenciados por fatores locais, como por exemplo, a cobertura vegetal e a atividade humana, dentre outros. E todas as mudanças nas formas de relevo ocorrem em diferentes escalas no espaço e no tempo.

Para entender a evolução de uma bacia de drenagem, é necessário expressar qualitativamente e/ou quantitativamente as manifestações nas formas e nos processos, bem como suas inter-relações. No que tange à análise quantitativa, vários parâmetros físicos podem ser investigados e empregados, como os parâmetros morfométricos relativos às características específicas do sistema fluvial. O importante é reconhecer que nenhum desses parâmetros deve ser compreendido como um simplificador da complexa dinâmica evolutiva de uma bacia.

A compreensão da evolução da paisagem deve estar atrelada à análise do arranjo dos sistemas fluviais, pois estes possuem características que auxiliam no entendimento da evolução, seja no seu arranjo ou na distribuição dos canais. Assim, investigações científicas sobre sistemas fluviais têm importante função e aplicação na geomorfologia, assertiva essa já mencionada por Christofolletti (1980), quando afirma que:

a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.102).

As alterações humanas, por sua vez, refletem direta ou indiretamente nos sistemas hidrográficos. Mudanças nos canais fluviais promovem (re)adaptações nas formas do canal e nos processos fluviais devido a ajustes decorrentes das novas condições impostas. Neste contexto, a utilização do recorte espacial de bacias hidrográficas corresponde a unidades geomorfológicas básicas e fundamentais para estudos ambientais.

A bacia hidrográfica do rio Japuíba, analisada na presente pesquisa, está localizada no município de Angra dos Reis, a sul do estado do Rio de Janeiro, na região conhecida como Costa Verde (CEPERJ, 2019). Aspectos geológico-geomorfológicos apontados na literatura sobre a evolução dessa região do Sudeste do Brasil ressaltam que a ruptura do Gondwana e todos os eventos até a consolidação do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) implicaram em mudanças significativas no relevo e, conseqüentemente, nos sistemas de drenagens que se estendem a essa região (RICCOMINI *et al.*, 2010). Reativações de estruturas brasileiras foram responsáveis por soerguimentos e abatimentos de blocos crustais, levando à reorganização do relevo e dos sistemas de drenagens e, portanto, gerando novas condições da dinâmica hidroerosiva, principalmente, por alterações de níveis de base locais. Somam-se a isso, os sistemas de grabéns que foram formados por abatimentos crustais na região (ZALÁN; OLIVEIRA, 2005; RICCOMINI *et al.*, 2010).

A bacia de drenagem estudada é formada pelos rios Japuíba e Cabo Severino, onde ocorre o predomínio de feições de serras escarpadas, resultantes de episódios tectônicos cenozoicos e que se encontram em contato abrupto com planícies fluviomarinhas. Segundo a divisão de relevo proposta pelo RADAMBRASIL (1983), as nascentes d'água estão situadas no Planalto reverso do Alto do Rio Pirai, depois o rio segue pelas Escarpas Serranas e Planície Litorânea até alcançar a baía de Angra dos Reis.

Silva (2015), ao propor uma classificação das bacias de drenagem para o município de Angra dos Reis, através de características das classes de amplitude altimétrica e das respectivas feições morfológicas encontradas para cada bacia, classificou a bacia do rio Japuíba como sendo uma bacia de “compartimentação serrana extrema”.

“Bacias classificadas como do tipo serrana extrema se refere àquelas que apresentam mais de 80% de sua área ocupada por serras escarpadas com valores de topos bem elevados e mudança abrupta entre estas feições serranas e os compartimentos adjacentes, ou seja, não há presença de serras de transição/reafeiçoadas até atingirem os compartimentos rebaixados de planícies fluviais e fluviomarinhas.” (SILVA, 2015, p. 125).

Sendo assim, a bacia em estudo é caracterizada por uma morfodinâmica que tem capacidade de remover e transportar eficientemente sedimentos de áreas mais à montante, além de possuir presença de vales estreitos e profundos, que propiciam elevada corrente dos fluxos d'água ao longo dos fundos de vale.

Há florestas do bioma Mata Atlântica ainda bem preservadas no alto curso. Entretanto, em seu baixo curso, encontra-se em precárias condições de preservação. A ocorrência de focos de poluição hídrica, promovidos pelo descarte irregular de esgoto residencial desde o médio-

baixo curso, levou a interferências negativas no ambiente, além do desmatamento nos segmentos de alto curso, que acabam por ameaçar mananciais de água e colocam em risco a biodiversidade local.

A questão central da pesquisa busca compreender a complexa interação de processos em diferentes escalas temporais que atuaram na configuração da bacia hidrográfica do rio Japuíba, no que tange a fatores tectono-estruturais, dinâmica sedimentar quaternária, conformação dos estilos de vales e interferências humanas.

Procurando aprofundar a investigação evolutiva dessa bacia, classificada por Silva (2015) como dentro do tipo “serrana extrema”, a presente pesquisa teve como meta investigar os mecanismos evolutivos considerando desde o controle tectono-estrutural, passando pela dinâmica sedimentar quaternária e chegando às interferências humanas. Desse modo, as diferentes etapas da pesquisa ocorreram através da integração de distintas metodologias de análise visando apreender elementos que permitam compreender como ocorreu/ocorre a evolução dessa bacia hidrográfica.

1.1 Objetivos

O objetivo geral da presente pesquisa de doutorado consistiu em investigar o mecanismo evolutivo da bacia hidrográfica do rio Japuíba, localizada no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro, a partir da integração de distintas abordagens metodológicas sobre a evolução da paisagem. Desde àquelas vinculadas ao papel da influência tectono-estrutural no mecanismo erosivo-deposicional da bacia (incluindo, assim, o estudo da deposição quaternária) até aquelas voltadas à compreensão da dinâmica atual (incluindo a perspectiva de análise antropogênica de alterações e, o uso da metodologia dos estilos fluviais possibilitando uma avaliação da dinâmica fluvial recente da bacia) e finalizar com a proposta de um modelo evolutivo para a bacia do rio Japuíba.

E tendo como objetivos específicos:

- Investigar as influências tectônicas na conformação da paisagem.
- Avaliar a sedimentação quaternária e a reconstituição sedimentográfica, propondo um modelo evolutivo para a bacia do rio Japuíba.
- Investigar a dinâmica dos processos atuais, por meio da metodologia dos estilos fluviais.
- Identificar interferências humanas que caracterizem as alterações antropogênicas.

1.2 Justificativa

Inicialmente é importante ressaltar que a presente tese teve como desafio a integração de diferentes metodologias para subsidiar o entendimento do mecanismo evolutivo de uma bacia de drenagem, chegando à proposição de modelos evolutivos. As metodologias aplicadas possuem distintas perspectivas temporais, desde àquelas que se atrelam a investigar aspectos geológicos que são referências escalares de longo tempo até a busca de abordagens que procuram avaliar dinâmicas mais recentes, ligadas ao tempo atual de uso e ocupação que dizem respeito ao Antropoceno.

Em relação à bacia estudada ela foi selecionada pelo fato de ser bastante representativa como uma bacia que drena para o litoral sul do estado do Rio de Janeiro e que já vem sendo foco de pesquisa pelo grupo da Profa. Dra. Telma Mendes da Silva há alguns anos. Desse modo, a bacia do rio Japuíba foi caracterizada, dentro da tipologia de bacias de drenagem proposta na tese de Simone Lisboa Santos Silva (2015), como sendo uma bacia ***de compartimentação serrana extrema*** caracterizada por apresentar mais de 80% da área ocupada por compartimentos serranos, resultando na ocorrência de morfologias bem elevadas com encostas escarpadas. Tais compartimentos serranos de vertentes escarpadas apresentam, também, contato brusco com feições suaves de planícies fluviais e/ou fluviomarinhas dispersas ao longo

dos setores de médio e baixo cursos fluviais da bacia; e, nesse tipo de bacia os fluxos d'água e sedimentos atingem rapidamente os fundos de vale, e, quando associado à condição de intensa ocupação do setor de baixo curso e acabam intensificando os processos de inundação quando ocorrem as chuvas intensas - essas tão comuns principalmente nos meses de chuvas intensas no município.

Além disso, a importância desse tipo de bacia de drenagem para o município de Angra dos Reis d, visto que Silva (2015) constatou que as bacias classificadas dentro dessa categoria são as mais presentes no município. Sendo que dentre as 16 bacias analisadas por Silva (2015), 5 são serranas extremas, 4 são serranas abruptas, 3 serranas extremamente abruptas, 2 são diversificadas e apenas 1 é quaternária. Portanto, é importante o aprofundamento da investigação do mecanismo evolutivo dessas bacias para que possa ter conhecimento da dinâmica evolutiva atual e, assim, subsidiar medidas de conservação e planejamento adequados.

Destaca-se que vem ocorrendo, nos últimos anos, modificações significativas no que se refere ao uso da terra no município como um todo, sendo extremamente necessário que haja uma fiscalização rigorosa pelos órgãos competentes no cumprimento das leis de cunho ambiental para que ocorra adequação de uso e de preservação de recursos naturais da bacia, como foi proposto nas diretrizes da Lei Municipal Nº 1.888¹, de dezembro de 2007, criada com o intuito de proteger e conservar a Bacia Hidrográfica do rio Japuíba.

E, por fim, é importante ressaltar a relação existente entre a gestão de recursos hídricos e o processo de ocupação e uso da terra, pois a bacia do rio Japuíba é a principal fonte de abastecimento hídrico do município de Angra dos Reis, o que sublinha sua importância estratégica. Isso significa que a qualidade e a disponibilidade da água nessa bacia impactam diretamente a vida da população, as atividades econômicas (como o turismo) e a saúde ambiental do município. Uma vez que o modo como a terra é ocupada e utilizada dentro da bacia do rio Japuíba tem consequências diretas e significativas sobre os recursos hídricos

1.3 Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Japuíba (BH Japuíba) está situada no município de Angra dos Reis, na região da Costa Verde, no sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). É constituída por dois rios principais: o rio Japuíba e o rio Cabo Severino (Figura 2) e a área total drenada

¹ A Lei Municipal nº 1.888, de 20 de Dezembro de 2007, determina a criação da Área de Proteção Ambiental – APA da Bacia Hidrográfica do Rio Japuíba, com objetivos básicos e a finalidade de proteger e conservar os mananciais, regular o uso dos recursos hídricos e o parcelamento do solo, garantindo o uso racional dos recursos naturais e protegendo remanescentes de floresta atlântica e o patrimônio ambiental e cultural da região.

pela bacia é de, aproximadamente, 38,4 km². Pela figura 1 pode-se observar a localização da bacia que está inserida na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (RH I – que engloba os municípios de Parati e Angra dos Reis) (AGEVAP, 2008). A conformação hipsométrica da bacia apresenta altitudes mais elevadas no setor à montante e no divisor da margem esquerda em comparação ao divisor da margem direita que é bem mais rebaixado nos setores médio e inferior da bacia (Figura 2).

Figura 1: Localização da Região **RH I** – Baía da Ilha Grande. Fonte: Mapa das Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro (INEA, 2020).

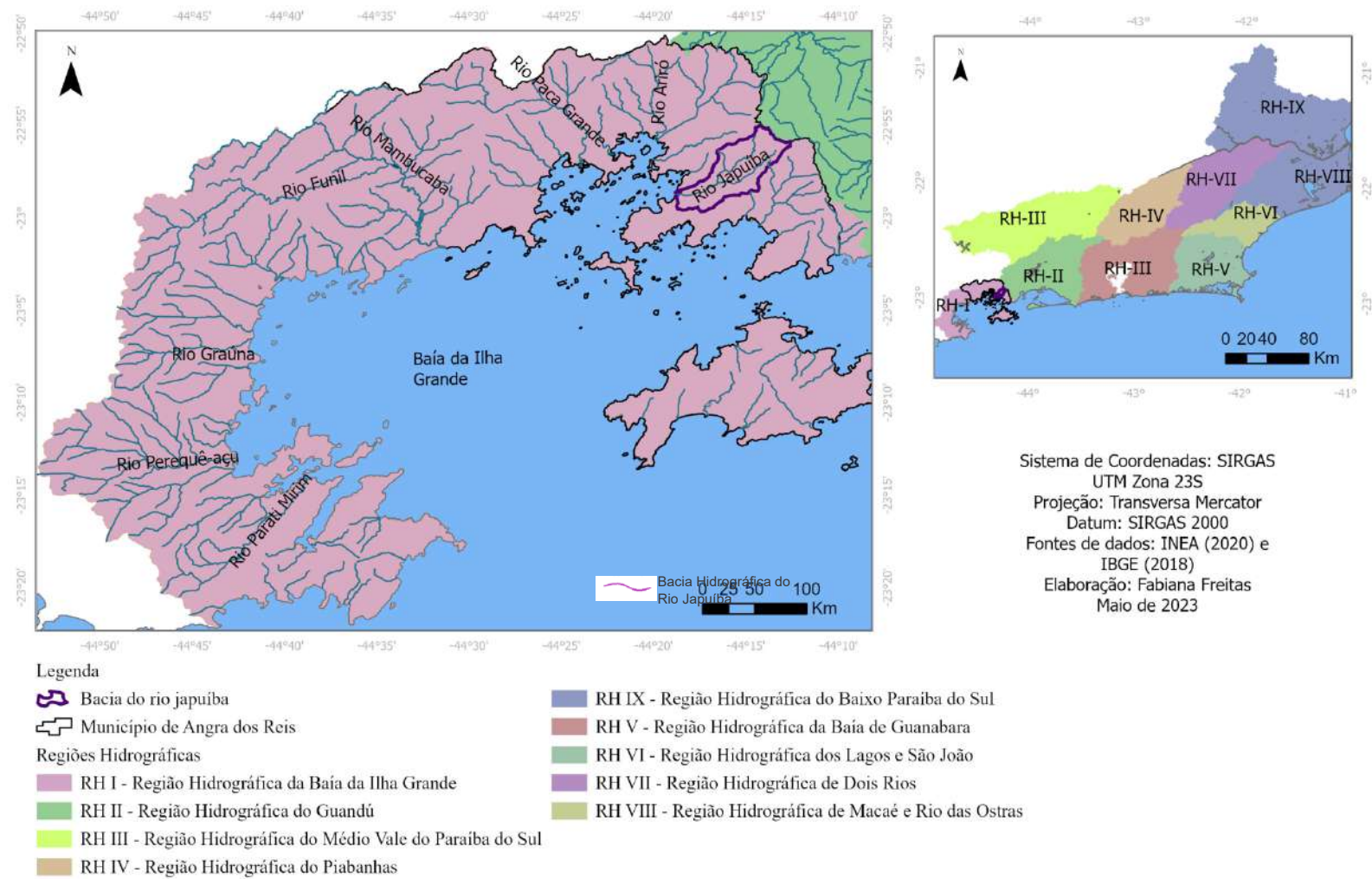
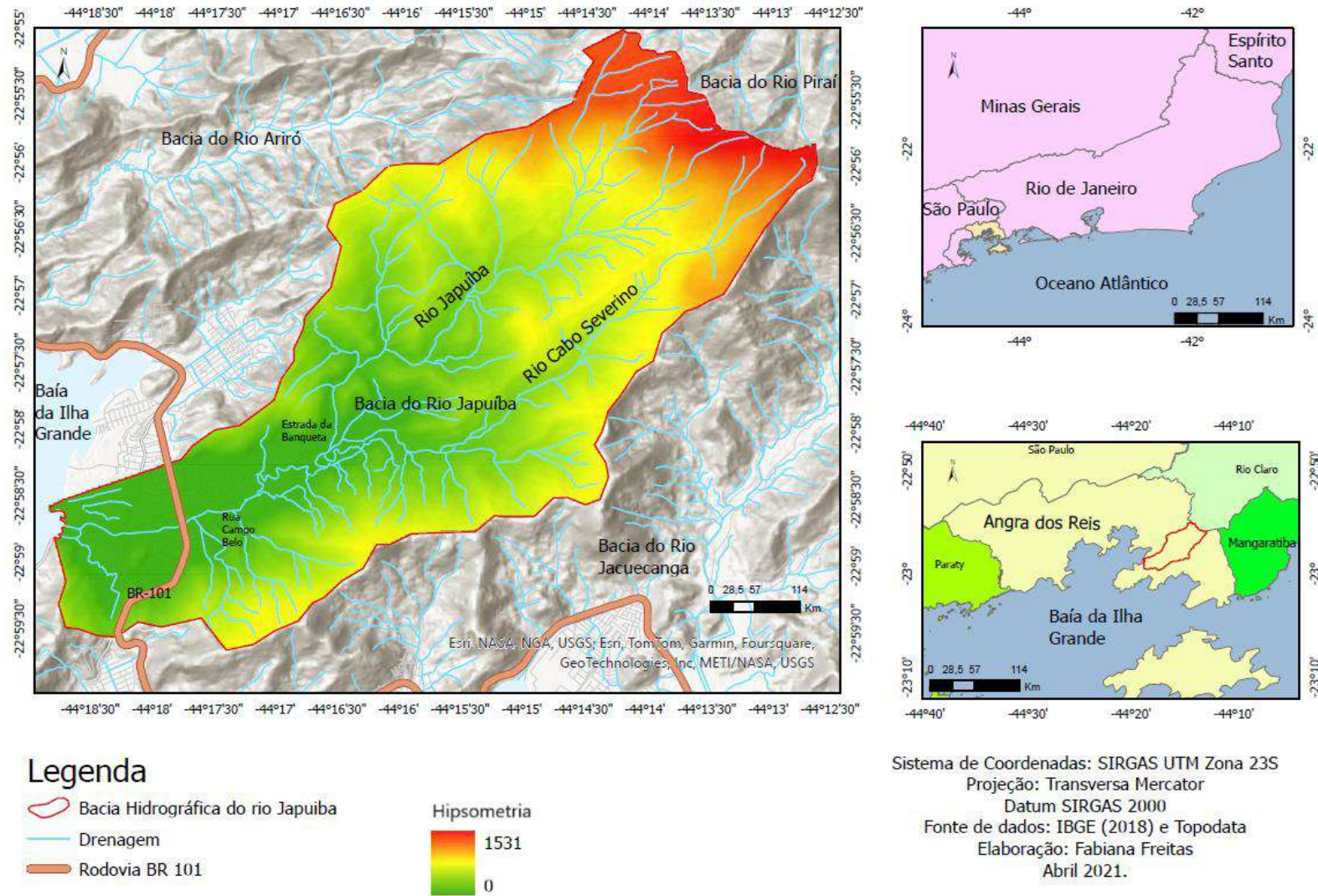


Figura 2: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Japuíba (Município de Angra dos Reis, RJ).



A bacia abrange os bairros Japuíba, Banqueta, Campo Belo, Areal e Nova Angra, formando a Unidade de Planejamento do rio Japuíba dentro do Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (PMAR, 2019). A principal via de acesso é pela BR-101 que corta toda a região da Costa Verde, passando próxima à foz do rio Japuíba. Para adentrar ao médio curso da bacia é necessário seguir pela estrada da Banqueta ou pela rua Campo Belo. A estrada da Banqueta é asfaltada em quase toda a sua extensão e segue pela margem direita do rio até cruzar o rio Japuíba. Já a rua Campo Belo tem asfalto apenas em seu início, no bairro Areal, sendo uma via de difícil acesso e que, também, possibilita visualizar a planície do rio Japuíba. Existe ainda a presença de uma antiga linha férrea do extinto trem da Mata Atlântica que passa pelo médio curso da bacia do rio Japuíba.

Destaca-se a presença da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Japuíba (APA Japuíba – PMAR, 2007), Unidade de Conservação da Natureza de Uso Sustentável garantida pela Lei nº 9.995/00 (BRASIL, 2000). A APA Japuíba foi criada pela Lei Municipal nº 1.888/07 (PMAR, 2007) e tem a finalidade de organizar o uso da área rural da bacia hidrográfica, estabelecendo critérios de uso do solo e dos recursos naturais com objetivos básicos e a finalidade de proteger e conservar os mananciais, regular o uso dos recursos hídricos e o parcelamento do solo, garantindo o uso racional dos recursos naturais e protegendo remanescentes de floresta atlântica e o patrimônio ambiental e cultural da região.

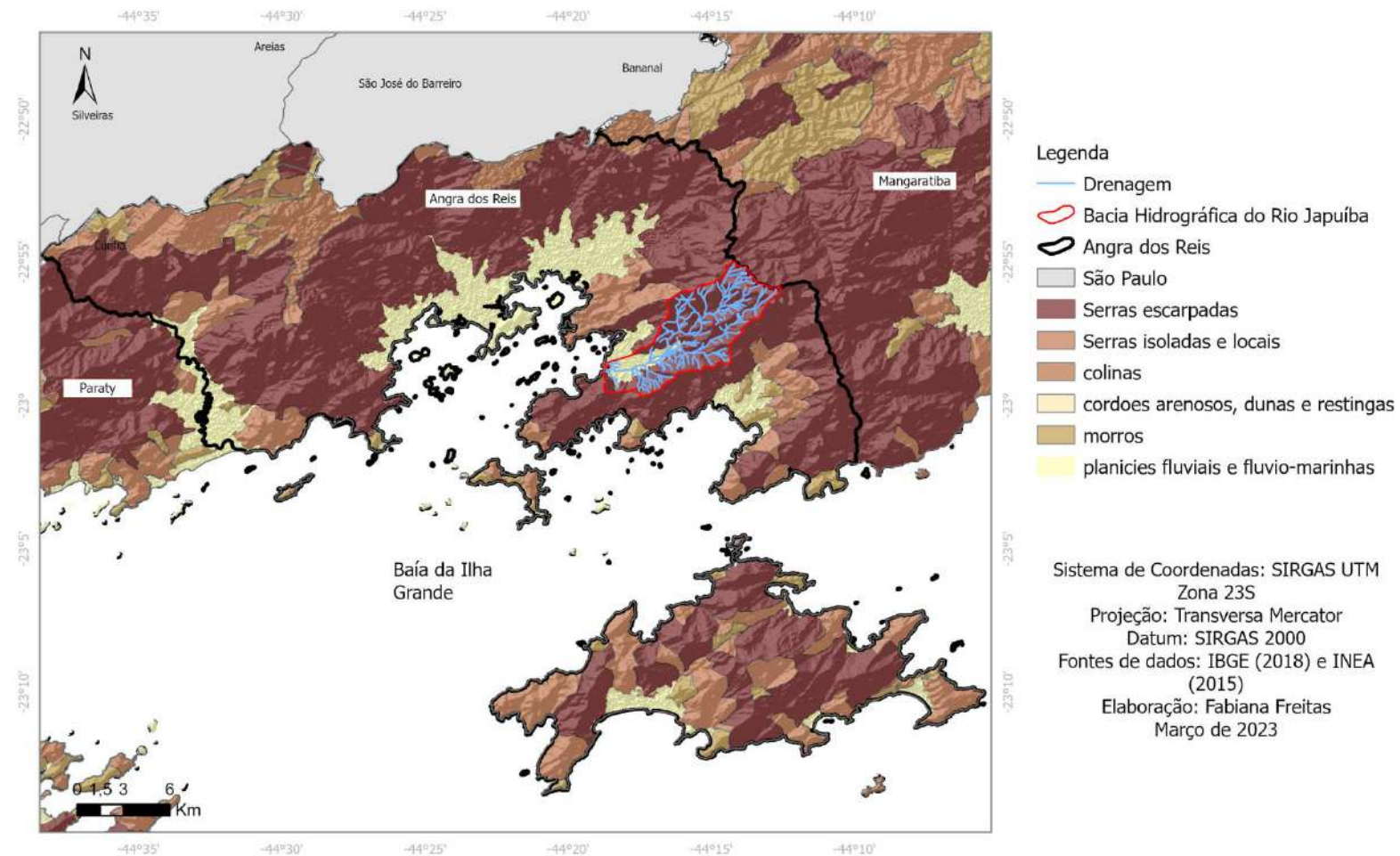
Angra dos Reis possui uma conformação geológico-geomorfológica com presença de áreas escarpadas em contato abrupto com planícies fluviomarinhas em restritos trechos do litoral, conforme mostram a tabela 1 e a figura 3. Essa característica geomorfológica contrastante, já mencionada anteriormente, pode ser observada pela análise da tabela 1, e que ao se somarem aos elevados índices pluviométricos desencadeados, principalmente, durante os meses de verão, decorrentes da interação entre eventos meteorológicos e a conformação do relevo local, contribui ainda mais com a geração e a gravidade de eventos geomorfológicos. Segundo Soares (2006), a topografia bastante sinuosa, em conjunto com os sistemas meteorológicos que atingem a área, os tipos de solos dominantes e o modo de uso deles, contribuem para definição de áreas de riscos a deslizamentos e inundações.

Tabela 1: Percentagem das classes de feições morfológicas dos municípios da região da Costa Verde.

MUNICÍPIO	PLANÍCIES	COLINAS	MORROS	SERRAS
Parati	8,29%	3,58%	14,86%	73,26%
Angra dos Reis	7,45%	4,81%	3,56%	84,17%
Mangaratiba	14,54%	0,22%	2,81%	82,43%
Rio Claro	0,00001%	32,77%	24,20%	43,04%

Fonte: SILVA *et al.* (2012).

Figura 3: Compartimentação Geomorfológica para os municípios a Sul do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SILVA, 2002), realçado a partir do Modelo Digital de Elevação.



2. BACIAS DE DRENAGEM E A COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM

Várias definições de bacias hidrográficas foram propostas ao longo do tempo e percebe-se grande aceitação científica na definição de bacia hidrográfica como recorte extremamente importante de estudo evolutivo e de planejamento socioambiental.

Segundo Barrella *et al.* (2001), a bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, onde setores mais altos do relevo correspondem aos divisores de água, onde as águas das chuvas escoam superficialmente, formando riachos e rios, ou infiltram no solo para abastecimento do lençol freático e formação de nascentes.

Assim como Christofolletti (1969), autores como Lima; Zakia (2000) agregam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia e matéria através de agentes climáticos e perdem energia e matéria através do escoamento até a desembocadura em lagos e/ou oceano. Isso pode ser descrito por variáveis interdependentes que oscilam em torno de um padrão. Portanto, mesmo que seja perturbado por processos naturais ou atividades humanas, seguirá em busca de seu “equilíbrio dinâmico”. Christofolletti (1980) discute o conceito de equilíbrio em sistemas fluviais, afirmando que um rio está em equilíbrio quando a energia disponível é suficiente para transportar a carga de sedimentos que lhe é fornecida. Enfatizando que esse equilíbrio é dinâmico, ou seja, envolve ajustes contínuos do canal às variações nas condições de contorno. Sendo que qualquer mudança na recepção ou liberação de energia levará a mudanças compensatórias, que tendem a minimizar o impacto das mudanças e restaurar o equilíbrio dinâmico.

O método sistêmico, por sua vez, apresenta um enfoque interdisciplinar e constitui um método para estudos de objetos integrados e de seus mecanismos de funcionamento e hierarquias. A abordagem sistêmica, como salientou Christofolletti (1969), serve, deste modo, à compreensão do funcionamento integrado de seus elementos componentes e considera a bacia hidrográfica como unidade geomorfológica fundamental de evolução da paisagem. Segundo Petts; Amoros (1996), os rios devem ser vistos como sistemas tridimensionais dependentes de transferências longitudinais, laterais e verticais de energia, material e biota. Esses autores destacam essa abordagem como a mais adequada para tratar dos hidrossistemas.

Pesquisas que utilizam a unidade espacial de análise "Bacia Hidrográfica" (BH), são caracterizadas por ser um recorte espacial delimitado por divisores de águas e por definir a área que irá drenar para determinados eixos dos cursos d'água. Estas unidades geomorfológicas possuem ampla aceitação e a partir da Lei Federal 9.433 de 1997, passou a constituir a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH, propondo que as pesquisas e o planejamento

ambiental devem-se ocorrer no âmbito das Bacias Hidrográficas. A bacia hidrográfica como um recorte espacial é uma referência geográfica importante e bem delimitada, sendo um sistema complexo que apresenta de forma integrada elementos naturais, socioeconômicos e culturais.

Christofolletti (1969) classifica a BH como um sistema não-isolado do tipo aberto, pois troca constantemente energia e matéria com outros sistemas. Apresenta-se como um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água ou por um sistema fluvial.

Bacias de drenagem são resultantes de processos superficiais e tectônicos, mas ainda de processos que atuam a partir de diferentes atributos tridimensionais do relevo, englobando vertentes, cabeceiras de drenagem, planícies alveolares, planícies de inundação embutidas, formações superficiais da paisagem, coberturas pedológicas, padrões de canais, entalhamento de canais, tipos e formas dos vales, além da geometria e tipologia das formas de relevo (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Destaca-se, ainda, a importância para apreensão dos mecanismos de evolução da paisagem, vinculados a processos de dissecação e modelagem do relevo. Sendo a grande variedade de respostas de seu processo evolutivo decorrentes da variação de fatores externos e internos, indicando uma complexidade temporal e espacial. A compreensão desses mecanismos é possível através da análise da conformação dos sistemas de drenagem em escala local ou regional. Portanto, ambientes fluviais constituem-se como sistemas morfológicos em que forma e processos estão sempre se reajustando, em função de uma interferência externa e/ou interna; ou seja, por mecanismos de processo-respostas distintos às interferências da entrada de energia no sistema (SILVA; PAES, 2018). A possibilidade de respostas diferenciadas é referenciada na literatura geomorfológica como formas distintas de retroalimentação (*feedback*) a uma determinada entrada (*input*) de energia, e que podem ser responsáveis pela contínua modificação das feições morfológicas em uma bacia de drenagem. Onde um ***feedback positivo*** (amplificador), ao ocorrer, intensifica ou acelera o próprio processo ou outro relacionado. Já um ***feedback negativo*** (regulador/estabilizador) tende a diminuir ou compensar a ação de outro processo, buscando um estado de equilíbrio ou estabilidade. O *feedback* é o mecanismo pelo qual o rio tenta alcançar ou manter seu equilíbrio dinâmico diante de perturbações. De forma que as complexidades dessas retroalimentações não se limitam ao canal, mas afetam toda a bacia, desde as encostas até a foz.

Summerfield (1991) faz referência à utilização da análise do arranjo da rede de drenagem como parâmetro de investigação da existência de controle tanto de estruturas

geológicas antigas como da tectônica ativa (neotectônica) na paisagem, sendo importante, também, considerar a diferença de resistência dos substratos (litologia) e de aspectos climáticos.

Para Etchebehere *et al.* (2005) os cursos d'água representam os elementos mais apropriados para este tipo de análise por se ajustarem rapidamente a deformações crustais, mesmo àquelas muito sutis, gerando modificações perceptíveis em seus parâmetros morfométricos. Nesse sentido, técnicas morfométricas que analisam atributos relacionados aos perfis ou ao traçado dos cursos d'água apresentam um potencial relativamente elevado para a detecção e avaliação de deformações.

Segundo Florenzano (2008), uma leitura morfométrica da paisagem é representada por variáveis relacionadas a medidas de altura, comprimento, largura, superfície, volume, inclinação (declividade), curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas. Valores relacionados a essas variáveis são, em grande parte, obtidas por meio de índices morfométricos, sendo alguns que auxiliam, inclusive, na análise morfotectônica. Como indica Andrades Filho (2010), índices morfométricos podem auxiliar na identificação de terrenos com efeito tectônico, embora outras causas possam também estar envolvidas.

Estudos baseados em análises de parâmetros morfométricos são bastante aceitos no contexto dos estudos geomorfológicos contemporâneos. Até o ano de 1950, os geomorfólogos operavam, quase que inteiramente, em base descritiva e estavam preocupados, principalmente, em traçar relações da história da evolução do relevo com características extraídas de aspectos geológicos (SILVA, 2014). Horton (1945) impulsionou estes estudos, sob a crescente percepção de que a análise descritiva clássica tinha valor prático muito limitado, inclusive para engenharia e na aplicação militar e, assim, alguns geomorfólogos iniciaram a aplicação da análise quantitativa na descrição relevo.

Leopold; Maddock Jr. (1953) corroboram com a aplicação de análises quantitativas e afirmaram que a aproximação qualitativa na geomorfologia deveria ser realmente construída, mas seria desejável analisar alguns dos aspectos quantitativamente através de índices definidos para descrever as propriedades lineares e areais de uma bacia hidrográfica. Segundo Christofolletti (1980), algumas delas são medições diretas, como por exemplo, o comprimento do rio principal e a área da bacia; outros índices referem-se às relações entre medidas de alguns componentes da bacia, como por exemplo, a densidade de drenagem (relação entre comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia) e a densidade de canais (relação entre o número de canais e a área da bacia). De acordo com Christofolletti (1980), os trabalhos elaborados por Robert E. Horton serviram de base para inúmeras outras pesquisas, a partir do estabelecimento de leis sobre o desenvolvimento dos rios e de suas bacias de drenagem, em

uma abordagem de caráter quantitativo ou morfométrico. A análise morfométrica objetiva estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes; e correspondem a um conjunto de procedimentos que caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999) que, por sua vez, evidenciam situações e valores que extrapolam as questões hidrológicas e geomorfológicas.

Nesse caminho, Marques (2012) afirma que trabalhos como Horton (1945) e Strahler (1952) direcionaram para a análise morfométrica e abriram novos horizontes para a geomorfologia, permitindo obtenção de resultados pautados na atribuição de valores numéricos referentes à ordenação dos canais fluviais e ao estudo topográfico. Avançando um pouco mais, Hack (1973) afirma que redes de drenagem teriam propriedade geométrica regular e poderiam, também, serem descritas quantitativamente.

Para Strahler (1952) estudos dinâmico-quantitativos requerem, primeiro, uma análise morfológica completa da ordem em que os elementos da paisagem estão distribuídos regionalmente. Esse estudo prévio da morfologia pode contribuir de forma primordial para a interpretação dos dados morfométricos obtidos com a aplicação dos índices morfométricos.

Segundo Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser dividida em quatro itens: o primeiro trata da ordenação ou hierarquização da rede de drenagem; o segundo refere-se a análise linear da rede de drenagem e compreende as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento; a análise real da bacia hidrográfica é o terceiro item, englobando vários índices que utilizam medições em áreas planimétricas, além das lineares; e, por fim, a análise hipsométrica que compreende a análise da distribuição altimétrica na bacia.

Dentro dos estudos da atuação de atividade tectônica na paisagem, os índices morfométricos ganham destaque. Barbosa (2013), cita como principais índices aplicados aos estudos morfométricos: Índice de Gravidade Fluvial (IGF), desenvolvido por Hack (1973), também conhecido como Relação Declividade-Extensão (RDE); índice Concavidade do Perfil Fluvial (CPF), desenvolvido por Shepard (1979); e índice Secção Transversal do Vale (STV), desenvolvido por Meyer (1986). Além desses destacam-se, também: índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV) desenvolvido por Bull e McFadden (1977); Fator Assimétrico (FA), metodologia proposta por Hare e Gardner (1985); Fator Simetria Topográfica Transversa (FSTT), proposta por Cox (1994); Integral Hipsométrica (IH), desenvolvida por Strahler (1952); Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (Smf), definido por Bull; Wallace (1985) e Índice de Atividade Tectônica Relativa (IAT), proposto por El Hamdouni *et al.* (2008). Ainda segundo

Barbosa (2013), a validade desses índices como indicadores da existência de atividade tectônica em uma determinada bacia e sua capacidade de detectar as possíveis anomalias, introduzidas no sistema fluvial, ocorre devido às mudanças de nível de base locais induzidas tectonicamente.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos mais comuns realizados em análises ambientais e visa elucidar diferentes questões para a compreensão da dinâmica ambiental evolutiva local e, até mesmo, regional. Christofolletti (1999) caracteriza a análise morfométrica como um conjunto de procedimentos, que descrevem aspectos geométricos e de composição dos sistemas geomorfológicos, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica. Os parâmetros morfométricos permitem caracterizar os elementos físicos de forma quantitativa, atribuindo valores que descreveram a intensidade dos processos atuantes em bacias hidrográficas, possibilitando subsidiar o entendimento das transformações ocorridas.

Etchebehere *et al.* (2005), Martinez (2005) e Martinez *et al.* (2011) vêm aplicando e divulgando a retomada da utilização de parâmetros morfométricos em estudos sobre o (re)arranjo da rede de drenagem em inúmeras regiões do Brasil. Dentre esses parâmetros os mais utilizados são: densidade de drenagem; relação entre declividade e extensão; fator de simetria topográfica transversa; integral hipsométrica; sinuosidade de escarpa montanhosa e índice de atividade tectônica. Além destes parâmetros, investigações sobre orientações da rede de drenagem, correlacionadas a outras variáveis, tais como lineamentos e anomalias de drenagem, corroboram para uma análise morfotectônica mais confiável, visto que a rede de drenagem é um indicador particularmente sensível de movimentações tectônicas recentes.

Investigações sobre aspectos evolutivos de uma bacia de drenagem podem, ainda, serem realizadas a partir da confecção e análise de perfis longitudinais dos canais fluviais, permitindo traçar considerações quanto ao papel de deformações crustais no mecanismo evolutivo da bacia. Apesar de o Brasil estar localizado no interior da Placa Sul-Americana, o entendimento dos campos de tensão dominantes em seu ambiente geotectônico ainda representa um desafio para a pesquisa. Uma das razões é que, conforme Guedes *et al.* (2006) apontam, a maior parte do território é classificada como assísmica, ou seja, não exhibe falhas ativas ou planos de falhas recentes em sua superfície.

Um dos aspectos mais utilizados para a avaliação de influência tectônica no terreno é a análise dos padrões de drenagem, uma técnica que tem sido comumente utilizada por geomorfólogos e geólogos. Pode-se mencionar trabalhos pioneiros de Zernits (1932), Horton (1945), Strahler (1952), Howard (1967) e Rivereau (1969). Estas contribuições serviram como

ponto de partida para diversas outras abordagens analíticas aplicáveis no estudo conformação da rede de drenagem e para definição da influência do substrato geológico no terreno; sendo útil para apreensão de feições morfoestruturais e morfotectônicas.

Outra importante ferramenta para o estudo da evolução de uma bacia hidrográfica é a sedimentografia de terraços fluviais, onde os contrastes nas características morfológicas e sedimentares entre os diversos níveis de terraços fluviais e a planície atual de um rio indicam a ocorrência de mudanças nas condições ambientais regionais (PAZZAGLIA, 2013). Portanto, o estudo desses registros sedimentares como terraços e planícies fluviais, acoplados à cronologia absoluta, são importantes ferramentas para a compreensão da resposta de uma bacia hidrográfica às mudanças ambientais (climáticas e tectônicas).

2.1 Estudos tectônicos na conformação da paisagem e das bacias de drenagem

O arcabouço geológico sobre o qual o relevo se desenvolve exerce sobre ele uma série de influências de ordem litológica e estrutural, sendo estas últimas, em muitos casos, consideradas como “herança estática” de eventos geodinâmicos pretéritos. A partir do início da década de 1990, trabalhos que visam revelar o papel da tectônica cenozoica no relevo brasileiro passaram a ampliar os conhecimentos da geomorfologia estrutural no Brasil. Como as desenvolvidas por Hasui (1990) e Saadi (1993), que buscam revelar o papel da tectônica cenozoica sobre o relevo brasileiro, procuraram identificar morfologias relacionadas à neotectônica e passaram, assim, a alavancar os conhecimentos da geomorfologia estrutural no Brasil. Mas recentemente, modelos morfométricos aplicados na análise da evolução do relevo adjacente às margens continentais ditas “passivas” ou do tipo atlântica, auxiliaram no entendimento do papel da tectônica intraplaca perante a morfodinâmica continental.

Os esforços tectônicos no Brasil ocorrem essencialmente em função da interação de dois processos: as forças de empurrão, exercidas principalmente pela abertura da Cordilheira Meso-Atlântica (*ridge push*); e os esforços compressionais, transmitidos a partir do limite oeste da placa, na fossa Peru-Chile (COBLENTZ; RICHARDSON, 1996). A nível regional, além do empurrão da cordilheira, deve-se considerar também o “puxão” decorrente da subducção da Placa de Nazca (*slab pull*) e, em nível local, as forças associadas às margens continentais e às áreas elevadas (COBLENTZ; RICHARDSON, 1996).

Embora alguns eventos tectônicos tenham sido importantes nos processos geradores de alteração do relevo, intervalos de relativa calma tectônica (quiescência) fossem fundamentais para que forças erosivas denudacionais esculpisse o relevo nas distintas condições climáticas existentes no Brasil. De maneira geral, a alternância entre eventos tectônicos e fases de quiescência, durante o Mesozoico e o Paleógeno, bem como eventos neotectônicos, a partir do

Neógeno (23,5 Ma. até os dias atuais), culminaram no que hoje compõe a paisagem da porção costeira do sul e sudeste do Brasil (HEILBRON *et al.*, 2007). Essa morfologia é dominada pela interação entre grandes estruturas montanhosas, a Serra do Mar, e as planícies costeiras fluviomarinhas, moldadas por processos tectônicos e erosivos.

A influência tectônica na modelagem da paisagem pode ser investigada a partir da identificação de componentes tectônicos e estruturais no terreno; e essa investigação pode ser realizada empregando distintos métodos de análise, tais como: estudo de sismos atuais, que permite a determinação das tensões aplicadas que estão atuando nas áreas sismogênicas; estudos a partir do uso de sensoriamento remoto, através do reconhecimento de alinhamentos de relevo, anomalias da rede de drenagem, dentre outros; mapeamentos de feições morfotectônicas; análise e medidas de estruturas em campo; cálculo e análise dos parâmetros geomorfométricos.

Holbrook; Schumm (1999) afirmam que a rede de drenagem é um forte indicador de movimentação tectônica e que canais fluviais respondem de forma diferenciada, como por exemplo, os rios orientados transversalmente à estrutura de deformação sofrem desvios em torno de zonas de soerguimento ou em direção a zonas de subsidência e avulsões ou migrações laterais ocorrem em canais orientados paralelamente à estrutura de deformação. Para Bishop (1995) existe uma reorganização dos canais de drenagem ao longo do tempo e esta pode acontecer por mecanismos derivados de movimentos crustais, podendo acontecer de três formas: captura fluvial, decapitação de cabeceiras (*beheading*) ou desvio de rios (*diversion*). Esses são processos importantes no mecanismo da (re)distribuição de água e de sedimentos em uma bacia de drenagem e, portanto, na própria evolução da paisagem.

As referências sobre a ocorrência de movimentos recentes na crosta brasileira têm sido feitas desde meados do século por autores como Freitas (1951; 1957), Ruellan (1944) e Almeida (1967), entre outros. De Martonne (1943) e Ruellan (1944) foram os primeiros a destacar o controle tectônico das falhas sobre o relevo das serras do Mar, da Mantiqueira e do Vale do Paraíba. Por sua vez, Hasui (1990) foi o primeiro a abordar de modo regional o quadro tectônico no Brasil destacando que a tectônica estaria sendo ditada por processos relacionados com a deriva da Placa Sul-Americana para oeste, remontando a meados do Mioceno, e que o regime tectônico ainda prevalece atualmente.

Segundo Heilbron *et al.* (2007), a atual configuração da paisagem no Sudeste brasileiro resulta de uma evolução morfotectônica desencadeada a partir do processo de separação do continente sul-americano, no Mesozoico, decorrente de um regime distensivo. Dessa forma, corroborando com Hasui *et al.* (1990) que afirmava que esse regime foi responsável por um soerguimento regional, no Mesozoico-Paleógeno, seguido de grandes desnivelamentos de

blocos através de falhas predominantemente NE responsáveis pela individualização das serras ancestrais do Mar e da Mantiqueira e pela geração dos grábens neogênicos. Conforme afirma Heilbron *et al.* (2007), durante o Neógeno houve a compartimentação da região em grandes domínios morfológicos com características transpressivas (contração), transtensivas (extensão) ou direcionais, que refletem a deformação. Esta deformação associa-se ao regime tectônico intraplaca de caráter transcorrente responsável pela atual tectônica.

Na ciência geomorfológica são muitas as técnicas utilizadas que buscam investigar aspectos tectônico-estruturais no relevo como as voltadas à identificação de assimetrias de bacias, análises de perfis longitudinais de canais fluviais, perfis de relevo transversais e longitudinais a uma bacia de drenagem, dentre outros, e que subsidiam a investigação da existência de controles tectônicos na história evolutiva local através da compreensão da ocorrência de processos geomorfológicos modeladores pretéritos e atuais. Nos últimos anos, a avaliação da forma geométrica do perfil associada ao cálculo do Índice de Gradiente (ou Relação Declividade Extensão - RDE) foi retomada na literatura brasileira e vem demonstrando ser uma metodologia bastante útil no reconhecimento de anomalias do relevo. A identificação de evidências de atividade tectônica pode ser realizada por técnicas morfométricas que exploram atributos relacionados aos perfis ou ao traçado dos cursos d'água que apresentam um potencial relativamente elevado para a detecção e avaliação de deformações. Entre os indicadores morfométricos para a identificação de setores com influência tectônica estrutural pode-se considerar : a) Fator Simetria Topográfica Transversa (**FSTT**), segundo a metodologia de Cox (1994); b) Fator Assimetria de Bacia de Drenagem (**FABD**), segundo Hare; Gardner (1985); c) Integral Hipsométrica (**IH**), de Strahler (1952); d) Sinuosidade de escarpa montanhosa (**Smf**), segundo Bull; Wallace (1985); e) Índice de atividade tectônica (**IAT**), segundo El Hamdouni, que se trata de uma compilação de outros índices anteriormente citados.

Segundo Andrades Filho; Rossetti (2015), este tipo de investigação auxilia na reconstituição do arcabouço estrutural, por permitir o reconhecimento de estruturas tectônicas, como falhas, fraturas e dobras, desenvolvidas em diferentes momentos do passado geológico. Além disso, a aplicação de índices morfométricos proporciona a identificação de estruturas, muitas vezes imperceptíveis em campo, por exemplo em áreas com carência de exposições de rochas ou com presença de cobertura vegetal exuberante.

2.2 Análise de bacias hidrográficas através da metodologia dos estilos fluviais.

Segundo Fryirs; Brierley (2013), a trajetória de evolução das bacias de drenagem é influenciada pelas condições limites impostas por controles regionais, derivados da geologia e

da própria conformação do relevo, mas, ainda, por controles locais, como a configuração das vertentes do vale fluvial, da declividade do terreno e dos tipos de padrões de canal que acabam por definir o comportamento interno dos canais fluviais. A fisiografia dos rios possui, portanto, uma variabilidade ao longo de toda a bacia fluvial, visto que processos e formas de leito refletem sua trajetória evolutiva, incluindo a dinâmica atual.

Há, assim, ampla variedade no dinamismo dos rios, o que resultou em diversas tentativas de elaboração de metodologias de classificação de canais fluviais (PIÉGAY, 1997; SCHUMM *et al.*, 2000; SOUZA, 2014; ALMEIDA, 2017; dentre outras). Destaca-se a metodologia proposta por Brierley; Fryirs (2005) de estilos fluviais que vem, nos últimos anos sendo muito bem aceita pela comunidade científica nacional e internacional. Esta metodologia baseia-se em investigar o comportamento fluvial, sendo os estilos fluviais correspondentes a uma classificação de canais fluviais que permite a identificação de segmentos de rio que possuem características geomorfológicas e hidrodinâmicas similares (LIMA; MARÇAL, 2013). Essa classificação pauta-se na análise da geometria apresentada em planta do canal e, ainda, pela reunião de uma série de características morfológicas do leito e do próprio canal como aspectos que traduzam a presença de feições erosivas e/ou deposicionais e, portanto, caracterizando a dinâmica diferenciada de trechos dos canais fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

O arcabouço conceitual e metodológico denominado “estilo fluvial” foi proposto por Brierley; Fryirs (2005) em cooperação com a *Australian Water Conservation Commission* (ACWC). Os procedimentos específicos do método são registrados pelo Departamento de Conservação de Terra e Água de *New South Wales* e *Macquarie University* (*River Styles®*). Segundo esses autores, o estilo do rio representa um método de classificação de seções de rios que apresentam um conjunto comum de características geomórficas e hidrodinâmicas. Essa classificação é a base para distinguir entre características (a estrutura topográfica dos rios, incluindo formas em planta e geometria do canal) e comportamentos (características hidráulicas do rio, tipos de transporte e materiais de sedimentação, e sua relação entre planície e canal fluvial). A morfologia dos canais é tratada de forma hierárquica, sendo que fenômenos de escala local estão subordinados a fenômenos de escala regional. Segundo Lima; Marçal (2013) a abordagem dos estilos fluviais orienta a otimização do uso da informação geográfica, ajudando a distinguir aspectos potencialmente relevantes que representam informação adicional no contexto do ambiente estudado.

A utilização desse sistema de classificação permite identificar a relação entre processos e formas fluviais observando que rios fazem parte do todo da paisagem, ou seja, fazem parte de um sistema físico que possui uma história evolutiva e que podem ser utilizados para aquisição

de dados e para uma interpretação voltada à caracterização de compartimentos que possuam diferentes dinâmicas e, portanto, teria potencial para subsidiar medidas de restauração de rios. Consequentemente, um rio pode apresentar diferentes estilos fluviais, confirmando que cada segmento do seu curso pode interagir de maneira particular com a paisagem em seu entorno.

A metodologia dos estilos fluviais é dividida em quatro estágios de análise, sendo eles: i) identificação e classificação dos estilos fluviais ao longo do rio; ii) avaliação da condição geomorfológica; iii) avaliação do potencial de recuperação da bacia; e iv) gestão do rio, priorizando uma gestão eficiente pautada no monitoramento e na avaliação da bacia.

Segundo a proposta dos estilos fluviais, para a compreensão das mudanças ocorridas no ambiente fluvial é necessário avaliar a evolução e comportamento fluvial, podendo assim subsidiar o planejamento ambiental e as possibilidades de recuperação, mantendo a diversidade das paisagens fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2009; SOUZA, 2014). Brierley *et al.* (2011) refletem sobre a ideia de que alguns elementos como mudanças climáticas, urbanização e uso extensivo do solo vem sujeitando os sistemas fluviais a elevados níveis de degradação. Com esse panorama de mudanças nos ambientes fluviais, a proposta dos estilos fluviais permite um modelo geomorfológico em escala de detalhe adequado para que se desenvolvam ações na gestão dos recursos hídricos, pois compreende o comportamento e evolução do sistema fluvial, colaborando para uma melhor logística do manejo fluvial. E, assim, representando um mecanismo para a implantação de práticas de gestão eficientes e programas de reabilitação de rios efetivos e sustentáveis a longo prazo, com base em uma perspectiva ecossistêmica integrada (MARÇAL *et al.*, 2017).

Segundo Almeida (2017), a proposta dos estilos fluviais contempla determinadas escalas de análises e interpretação do comportamento fluvial: a escala de bacia hidrográfica (controles e características gerais da bacia); a escala de unidades de paisagem (controles topográficos sobre as características e comportamento fluvial); a escala de estilos fluviais (trechos com arranjos morfológicos e processuais homogêneos, utilizados na classificação dos estilos fluviais); a escala de unidades geomórficas (arranjos erosivos e tipos de materiais disponíveis); e a escala das unidades hidráulicas (características do fluxo e sua interação superfície-subsuperfície-substrato).

Conforme Corrêa *et al.* (2009) a identificação e interpretação das unidades geomórficas possibilita a interpretação dos processos que refletem a dimensão as características dos estilos fluviais. Sendo assim, a caracterização dos trechos do rio se dá pelo confinamento do vale, quantidade de canais e estabilidade lateral. E, então, englobando essas características é possível se classificar o rio a partir da ocorrência de extravasamento do fluxo: a) **vale confinado**,

caracterizados por canais que estão fortemente restringidos lateralmente pelas margens do vale, fluindo em um vale estreito e encaixado, onde as encostas ou formações rochosas atingem diretamente ou estão muito próximas de ambas as margens do canal e a planície de inundação é inexistente ou extremamente limitada, com presença de menos de 10% em ambas as margens (Fryirs; Brierley, 2010; b) **parcialmente confinado**, apresentando uma **restrição lateral intermitente ou unilateral**, ou seja, o canal pode estar confinado em uma margem e ter uma planície de inundação desenvolvida na outra margem, ou bolsões descontínuos de planície de inundação ao longo de ambas as margens, onde esse confinamento do vale pode variar entre 10% e 90% ao longo do trecho (FRYIRS; BRIERLEY, 2010); c) **não confinado**, caracterizam-se por canais que fluem através de amplas planícies aluviais, com pouca ou nenhuma restrição lateral imposta pela topografia do vale e grande liberdade para migrar lateralmente e desenvolver suas feições geomorfológicas típicas de planície de inundação. A planície de inundação ocorre em mais de 90% em ambas as margens do trecho fluvial (FRYIRS; BRIERLEY, 2010; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; SOUZA, 2014; MAIA, 2016; ALMEIDA, 2017).

Sintetizando, os estilos fluviais em uma bacia hidrográfica consistem em um conjunto de atributos, informações físicas e ambientais de um trecho fluvial e a partir dessas informações é possível caracterizar o comportamento de um rio. Os estilos fluviais permitem captar e identificar as relações existentes dos processos e formas nos quais o rio está inserido atualmente, subsidiando o entendimento de que essas relações estão internamente/diretamente associadas no contexto da paisagem e da bacia, fazendo-se perceber que o rio ocupa um papel importante no sistema físico (BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Vale ressaltar a distinção entre os estilos fluviais gera subsídios para políticas públicas porque: **determina o estilo do rio, pois a** forma do vale e o grau de confinamento são controles primários na morfologia e nos processos de um rio; **interpreta o "comportamento" do rio, o** confinamento influencia diretamente a capacidade do rio de ajustar-se a mudanças na vazão e carga de sedimentos e finalizando, compreender o grau de confinamento de um trecho de rio permite prever sua resposta a intervenções e planejar ações de manejo mais eficazes e sustentáveis.

Nesta pesquisa, a metodologia dos estilos fluviais foi utilizada para evidenciar a dinâmica mais contemporânea da bacia de drenagem em estudo, visando traçar articulações dos padrões de rios encontrados ao controle tectônico-estrutural, à dinâmica da sedimentação quaternária e às transformações antropogênicas ocorrentes na bacia. Ao combinar essas análises, foi possível construir uma narrativa de como o rio mudou ao longo do tempo. É possível diferenciar as mudanças naturais (tectônicas e/ou climáticas) das induzidas por

atividades humanas, compreendendo a sequência de eventos e a natureza dos ajustes (reversíveis ou irreversíveis).

2.3 A ação da agência humana e as alterações no terreno

O ser humano não é um mero observador dos processos naturais, ao contrário, ele é um agente geomorfológico significativo, capaz de rivalizar ou até mesmo superar a intensidade e a escala de alguns processos naturais, de forma que as atividades e decisões dos seres humanos causam modificações físicas na superfície da Terra. Segundo Nir (1983), Hooke (1994), dentre outros autores, a agência humana refere-se à capacidade dos seres humanos de agir, intervir e exercer influência sobre o ambiente e os sistemas naturais.

No contexto geomorfológico, a agência humana significa que suas ações não são apenas impactadas pela natureza, mas também modelam e remodelam a paisagem. Isso inclui como são as políticas ocupacionais, a construção de infraestrutura, uso dos recursos naturais e as atividades que serão implementadas, desde as mais simples às mais complexas, como desmatamento, agricultura, urbanização, mineração, construção de represas, aterros e canais. Além disso o avanço tecnológico, onde o uso de ferramentas e tecnologias amplificam a capacidade humana de alterar o ambiente. Cada uma dessas ações tem um propósito humano (moradia, alimento, transporte, energia), mas inevitavelmente geram consequências no ambiente físico.

Dentro desse contexto, o termo Antropoceno foi proposto por Paul Crutzen e Eugene Stoermer (2000), como uma nova época geológica caracterizada pela influência humana sobre o funcionamento do Sistema-Terrestre. O Antropoceno ainda é tratado pela comunidade que estuda as ciências naturais de uma maneira informal ao considerar diversos assuntos como mudanças climáticas globais, acidificação dos oceanos, biodiversidade, alteração dos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio e fósforo, além da produção e acumulação de novos materiais antropogênicos.

O viés estratigráfico (geocronológico), desenvolvido no âmbito das Geociências, implicou em dificuldades significativas, particularmente no que se refere à questão da diacronia do registro antropogênico e da intensidade e abrangência das transformações ambientais associadas. Também é complexo o debate acerca das implicações para a sociedade, e para a relação desta com a natureza, do reconhecimento de se estar vivendo em um tempo geológico gerado pela própria humanidade. A discussão tem se aprofundado ao redor do caráter necessariamente interdisciplinar desse novo campo, o que se reflete na demanda de colaboração por pesquisadores de diferentes áreas fora das Ciências da Terra. Todavia, o amplo

desenvolvimento teórico dessa discussão, nas décadas de 2000 e 2010, no campo específico das Geociências e em nível internacional (p. ex., STEFFEN *et al.*, 2011; RUDDIMAN, 2013; WATERS *et al.*, 2014), de certo modo deixou de lado algumas contribuições antecessoras de grande importância, como o conceito de Tecnógeno ou “Quinário” (TER-STEPANIAN, 1988), que havia fornecido a base para os estudos da atuação geológica e geomorfológica da humanidade, que no Brasil se desenvolveram a partir da década de 1990, nomeados como “Geologia do Tecnógeno”, “Abordagem Geotecnogênica” e “Antropogeomorfologia”.

Em âmbito nacional, se produziu uma interessante amálgama entre tais concepções pioneiras e novas proposições derivadas, internacionalmente, do campo do Antropoceno, propiciando nos últimos anos o refinamento das concepções originais da década de 1990, a revisão das fontes e o avanço no sentido da compatibilização dos diversos conceitos.

Voltando aos anos 1960, Ab’Saber (1969) havia mencionado que o método de estudo do Quaternário deve levar em consideração a compartimentação topográfica, o estudo das formações superficiais e da fisiologia da paisagem e que estes aspectos serviriam de base para o estudo da dinâmica e evolução das paisagens. A consideração dos estudos do Antropoceno, relacionados as questões geomorfológicas, tem se mostrado compatível e se soma a esta metodologia, pois envolve três níveis de análise: processos, registro estratigráfico e a configuração (modelado) da paisagem.

Já nas últimas décadas, surge na literatura brasileira autores que buscam agregar esta análise mais recente de transformação na paisagem natural por via da história de modificação da paisagem e da articulação a seus registros deixados no terreno. Nessa linha de investigação, destaca-se a síntese das discussões realizadas nas décadas de 1990 e 2000 na obra de Peloggia; Oliveira (2005) que atribuem a denominação geotecnogênese ao conjunto dos níveis de ação transformadora, e que pode ser dividida tanto para uma finalidade analítica, através da investigação da tecnogênese dos processos, como para uma avaliação da morfotecnogênese (construção de novas feições de relevo diretamente ligadas à ação e o uso do solo) com análise de uma tecnogênese de depósitos (a partir da análise estratigráfica).

É interessante notar que o conhecimento produzido pela análise de terrenos tecnogênicos pode se fundamentar tanto na observação da realidade em campo quanto na denominada cartografia retrospectiva/evolutiva (BRUSDEN, 2003; CUNHA; QUEIROZ, 2012; PASCHOAL *et al.*, 2013; 2016); onde se utilizam mapas históricos para comparação e análise da dinâmica de uso e ocupação da terra, que são úteis na apreensão das alterações da paisagem. Peloggia (2019) afirma que o método fundamental nesse estudo é a análise

morfoestratigráfica, que permite a correlação entre as formas de relevo tecnogênicas e seus processos de formação com o registro deposicional correlativo.

E, desse modo, foi introduzida a classificação integrada que associa a natureza da ação humana, a natureza dos processos tecnogênicos e o movimento associado à remoção do material geológico. Segundo Peloggia (2019), a geotecnogênese é produzida basicamente por três tipos de processos: agradação (acumulação de material geológico); degradação (retirada ou movimentação de material) e transformação no local (alteração das características dos materiais ou sua movimentação). Dentre os processos de agradação ou degradação, importa distinguir aqueles de caráter induzido daqueles produzidos diretamente. Enquanto o primeiro tipo refere-se a transformações ambientais antropogênicas, ou seja, que implicam em alterações de intensidade nos processos de erosão e sedimentação, resultando na formação de registros que, de outra forma, não existiriam; o segundo tipo resulta de ações diretas, artificiais, de mobilização e deposição de materiais. Os processos de transformação *in situ*, por sua vez, relacionam-se com a incorporação a solos ou depósitos preexistentes de novas substâncias, à modificação de suas características físicas (por compactação, p. ex.) ou revolvimento, fenômenos que podem ocorrer também por ação direta ou indireta, intencional ou não. Isso implica na formação de quatro tipos básicos de superfícies tecnogênicas: escavadas; de acumulação ou preenchimento; erodidas ou movimentadas ou de subsidência e, ainda, de sedimentação induzida.

A complexidade da ocorrência dos processos em contextos reais resulta, todavia, na ocorrência de superfícies mistas envolvendo dois ou mais dos tipos básicos. O nível de análise essencialmente estratigráfico engloba a questão da descrição, nomenclatura e classificação das camadas e feições geradas pela agência humana, ou seja, os registros tecnogênicos, afirmando alguns conceitos centrais como terrenos artificiais, depósitos tecnogênicos, geodiversidade tecnogênica.

Mudanças na forma física da superfície da Terra, causadas por atividades humanas, implicaram na criação de uma forma especial de relevo denominada “terreno tecnogênico” (PELOGGIA, 2019). Esta ação pode ser considerada como parte das mudanças ambientais que ocorreram desde que os humanos passaram a interferir no planeta. O conceito de terreno tecnogênico é em verdade resultante da conjunção entre a proposta dos terrenos artificiais (*artificial ground*, ROSEMBAUM *et al.*, 2003; FORD *et al.* 2010) do Serviço Geológico Britânico com as ideias desenvolvidas no Brasil a partir da década de 1990 (OLIVEIRA, 1990; PELOGGIA, 2014, 2017, 2018 e 2019).

Segundo Peloggia *et al.* (2014), é possível classificar os terrenos tecnogênicos usando, como critério, o tipo de movimentação do material geológico: remoção, deposição ou deslocamento *in situ*. Este procedimento permite definir quatro categorias genéticas principais de formas tecnogênicas, conforme mostrado no quadro 1. Para cada uma das classes, a particularidade das camadas ou feições tecnogênicas (depósitos, solos ou formas de exposição ou mobilização dos substratos) define tipos particulares de terrenos, que englobam desde aqueles totalmente artificiais, mas incluem também depósitos de caráter induzido e remobilizado.

Quadro 1: Classificação de terrenos tecnogênicos para mapeamento geológico-geomorfológico.

CLASSIFICAÇÃO DE TERRENOS TECNOGÊNICOS PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO					
CLASSE	CATEGORIA GEOLÓGICA		TIPO		CAMADA OU FEIÇÃO TECNOGÊNICA
TERRENO TECNOGÊNICO DE AGRAÇÃO	Formações superficiais antropogênicas	Depósitos Tecnogênicos	Terreno produzido	Terreno aterrado	Depósitos tecnogênicos construídos
				Terreno acumulado	Camadas tecnogênicas culturais (de ocupação, construção ou destruição) acumuladas sucessivamente
			Terreno preenchido		Depósitos tecnogênicos construídos recobrindo terreno escavado
			Terreno tecnogênico sedimentar	Aluvial	Depósitos tecnogênicos induzidos de fundos de vale
				Coluvial	Depósitos tecnogênicos induzidos de vertentes
			Terreno tecnogênico de escorregamento		Depósitos tecnogênicos induzidos criados por movimento de massa
			Terreno tecnogênico remobilizado		Depósitos tecnogênicos formados por remobilização de depósitos tecnogênicos preexistentes
			Terreno tecnogênico misto		Depósitos tecnogênicos construídos, induzidos ou remobilizados formando pacote indiferenciado
TERRENO TECNOGÊNICO MODIFICADO		Solos Tecnogênicos	Terreno de composição alterada		Solos naturais com incorporação de contaminantes químicos ou material orgânico
			Terreno geomecanicamente alterado		Solos naturais compactados ou revolvidos
TERRENO TECNOGÊNICO DE DEGRADAÇÃO	Substrato Exposto ou movimentado		Terreno erodido		Cicatrizes de erosão criadas por processos induzidos
		Terreno escorregado		Cicatrizes de escorregamento por processos induzidos	Cicatrizes de escorregamentos criados por processos induzidos
		Terreno movimentado ou afundado		Depressões de subsidência por processos induzidos	Depressões de subsidência criadas por processos induzidos
		Terreno escavado		Superfície de escavação	Superfícies de escavação
TERRENO TECNOGÊNICO COMPLEXO	Paisagem Tecnogênica		Terreno Complexo		Terrenos formados pela agregação ou sobreposição complexa de depósitos ou solos tecnogênicos ou superfícies de exposição de substrato.
A ocorrência de processos posteriores que afetem a configuração ou composição dos terrenos tecnogênicos (como erosão, movimentação de massa, presença de água subterrânea ou formação de solos por pedogênese) deverá ser acrescida ao tipo de terreno com termos descritivos apropriados.					

Fonte: Peloggia (2015; 2017); Vitorino *et al.* (2016).

De acordo com Peloggia (2018), novos processos geodinâmicos produzidos pela humanidade, a produção de novos materiais sintéticos equivalentes a minerais e rochas e a formação de camadas tecnogênicas permitem a reconstrução do conhecido modelo do ciclo das rochas, ou ciclo geológico, com a inserção desses elementos.

Os estudos dos terrenos tecnogênicos, no campo da “geomorfologia antrópica”, devem levar em conta aspectos sociais, demográficos e econômicos das sociedades. Para James; Marcus (2006), os estudos de Geomorfologia Antropogênica tiveram grande impulso na década de 1950 com a contribuição do simpósio *Man's role in changing of the face of the Earth*, em 1955. A combinação entre o rápido crescimento da degradação ambiental nos Estados Unidos e na Europa, o aumento do progresso técnico e tecnológico, e a multiplicação dos impactos humanos em ambientes geológicos e geomorfológicos contribuíram para a temática do simpósio que teve como finalidade mostrar os impactos humanos no planeta. Segundo os autores, este simpósio, deixou um grande legado para os estudos da relação homem/natureza na geografia tais como: abordagem espacial com ênfase no estudo da paisagem; visão unificada da degradação ambiental como reflexo do crescimento populacional e aumento das taxas de consumo. Nesse sentido, os pesquisadores começaram a defender a necessidade de estudos aprofundados sobre a ação morfogenética da humanidade.

Atualmente o SBCR (2023), com base na ideia de que o relevo tecnogênico manifesta a variedade de formas, materiais e processos que atuam na superfície terrestre devido à ação humana, afirma que o arcabouço teórico-metodológico para seu mapeamento se estrutura nos significados morfogenético e morfodinâmico presentes nas formas de relevo. A singularidade dessa ação humana é crucial para definir o relevo contemporâneo a partir dos materiais e processos resultantes das atividades humanas em diversos contextos socioculturais e históricos. Dessa forma, entender como a morfologia original é apropriada e modificada torna-se essencial para compreender os fatores que originam novos processos morfodinâmicos e a formação de depósitos e formas relacionadas, ou seja, as formas de relevo tecnogênicas.

O ser humano, ao alterar as formas do relevo, interfere no sistema hidrográfico e gera depósitos correlativos, e, desse modo, pode ser considerado como um agente geológico-geomorfológico. As ações causadas pela ação antrópica têm gerado consequências negativas em para o ambiente, fazendo, p. ex., que ambientes fluviais percam suas características e necessitem de ações e pesquisas que promovam a reabilitação dos mesmos e melhoria no uso dos recursos hídricos (FRYIRS *et al.*, 2009). Com isso, o sistema fluvial do qual o rio faz parte é alterado, tornando-se um ambiente degradado em função de ações antrópicas, alterando o

equilíbrio e enfraquecendo as comunidades biológicas (FRYIRS; BRIERLEY, 1999; BRIERLEY *et al.*, 2002; BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

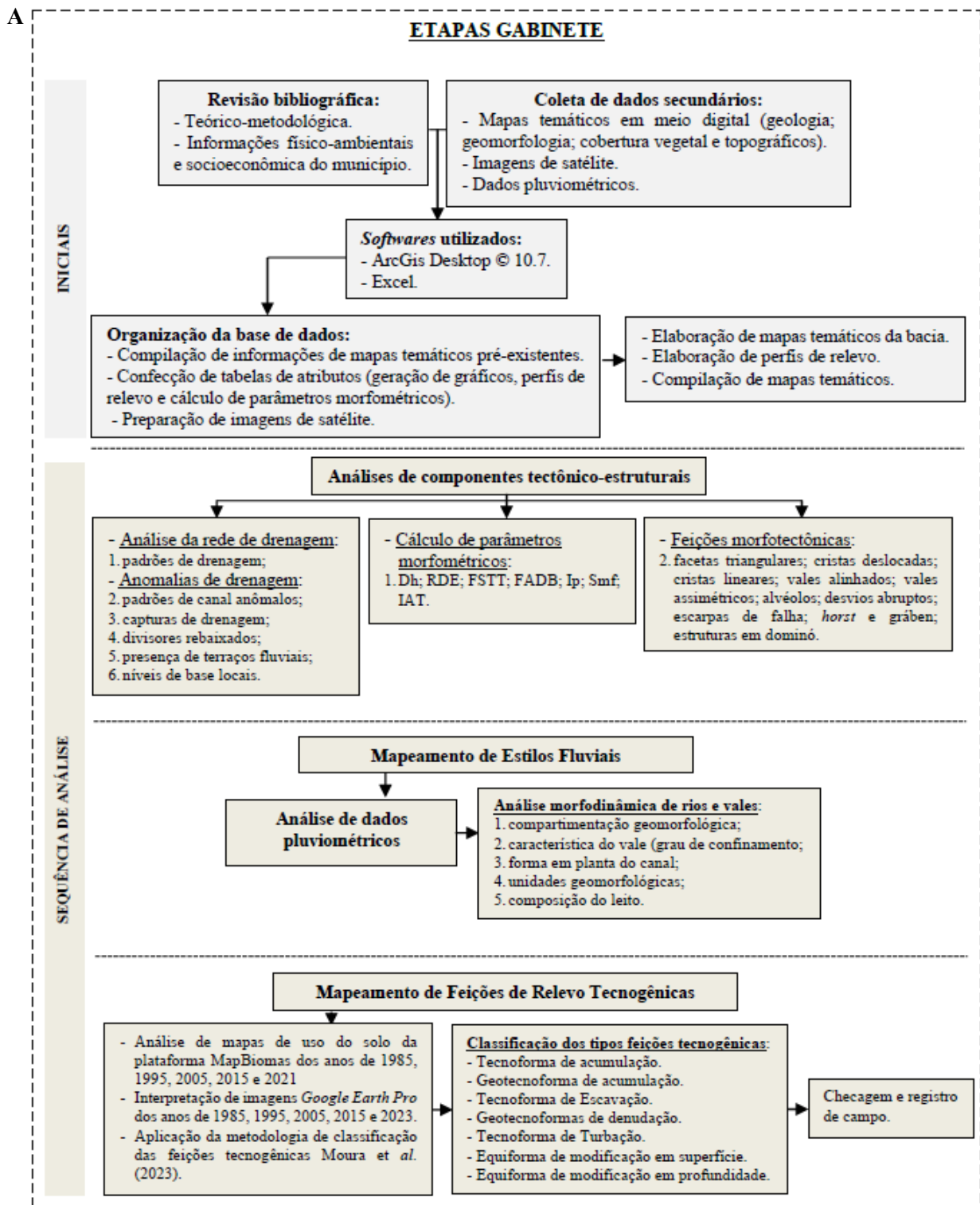
Dentro do processo de evolução de uma bacia hidrográfica, os estudos das alterações tecnogênicas também podem contribuir na gestão através da avaliação do potencial de recursos e adequação de terras para a expansão urbana, bem como no monitoramento do sistema processo-resposta em geomorfologia e suas mudanças durante e após o desenvolvimento urbano. Sendo assim, o estabelecimento de uma análise teórica e empírica na formulação de estratégias para gestão podem ajudar na previsão de alterações que possam surgir no futuro em função do crescimento de áreas urbanas.

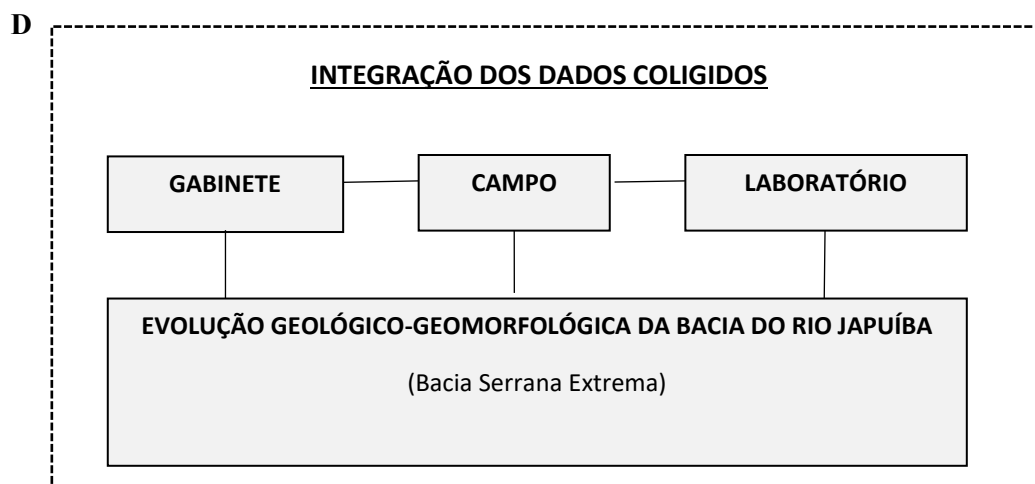
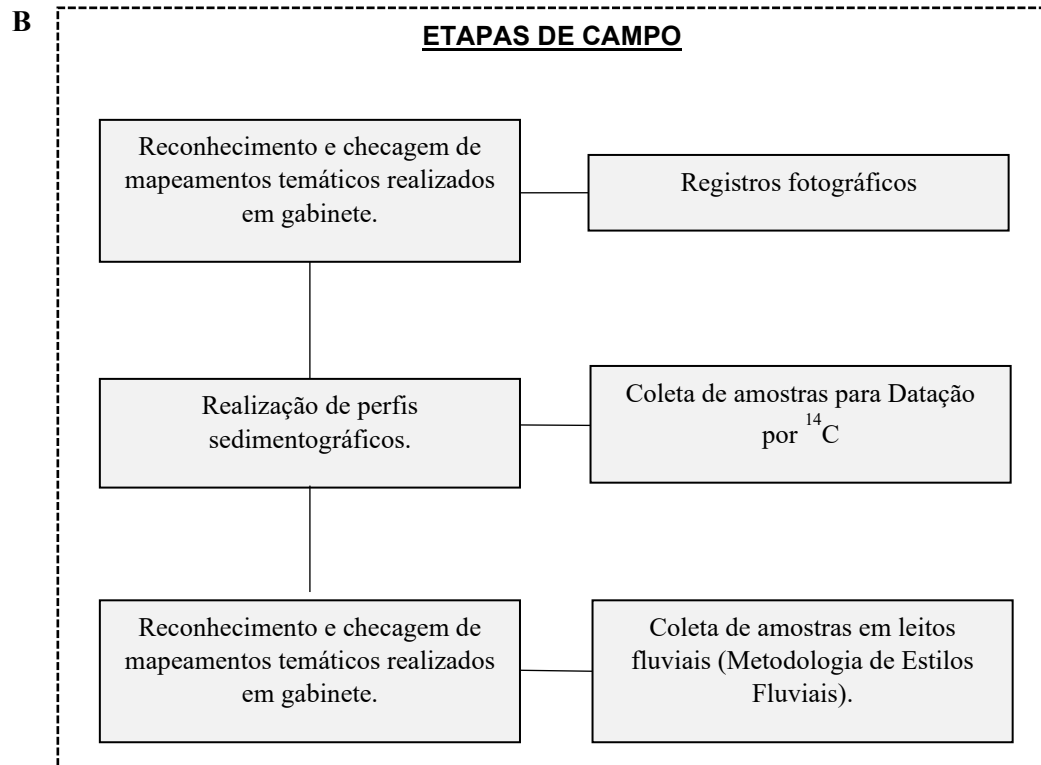
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa estão ligados à integração de métodos e técnicas já utilizados pela ciência geomorfológica no que se refere à investigação evolutiva de bacias de drenagem, no entanto, até então, tem sido empregada isoladamente e, nesta pesquisa, buscamos integrá-los de forma a subsidiar um melhor entendimento dos mecanismos evolutivos da paisagem.

Tais procedimentos estão subdivididos em etapas de gabinete e campanhas de campo. As etapas realizadas são apresentadas no esquema sequencial da rotina metodológica adotada e apresentado na figura 4.

Figura 4: Diagramas esquemáticos da rotina metodológica adotada: **A** - Etapas de Gabinete; **B** – Campo; **C** - Laboratórios e **D** - Integração dos dados coligidos.





Em seguida serão discriminadas as **etapas de gabinete** realizadas:

- **Revisão bibliográfica** sobre a temática que norteia as investigações realizadas referentes a bacias de drenagem e mecanismos evolutivos, métodos e técnicas aplicadas na investigação de análises sobre evolução geológico-geomorfológica de bacias e levantamento sistemático de informações físico-ambientais e socioeconômicas do município em que se insere a bacia em análise para realização de uma caracterização geral da área de estudo.
- **Coleta sistemática de dados secundários**, como mapas em meio digital de geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e de informações contidas em bases topográficas (curvas de nível, pontos cotados, rede de drenagem, toponímias) para construção do banco de dados e confecção de produtos cartográficos, além da coleta de imagens de satélite para tratamento em *softwares* específicos e dados pluviométricos.
- **Organização da base de dados** através da compilação e extração de informações de mapas temáticos referentes ao recorte espacial da bacia de drenagem em estudo (bacia do rio Japuíba) com uso da plataforma ArcGis©Pro (ESRI, 2021), nível de licença *ArcInfo*. Os recursos disponibilizados por estes *softwares* auxiliaram na confecção dos produtos cartográficos apresentados na pesquisa, sendo utilizado para confecção, edição e análise dos produtos cartográficos, auxiliando, sobretudo, na definição de estratégias em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG para mensuração de índices geomorfométricos, extração dos lineamentos, dentre outros aspectos que serão devidamente apontados mais adiante.

As **etapas de campo** foram necessárias para elucidação dos seguintes aspectos:

- Reconhecimento geral da área de estudo com checagem de mapeamentos realizados em gabinete. Campo realizado em 15 de outubro de 2020, para reconhecimento da área e seleção de áreas para as próximas etapas de campo.
- Checagem em campo de áreas apontadas pelas atividades de gabinete como as mais prováveis da existência da influência tectono-estrutural, com marcação dos pontos visitados com auxílio GPS para plotagem nos mapas realizados em gabinete. Esta etapa de campo foi realizada em 19 de janeiro de 2021.
- Identificação e seleção de terraços fluviais para levantamento e perfis sedimentográficos em paredes expostas, seguindo a metodologia descrita por Selley (1968) e coleta de amostras de paleohorizontes “A” para datação por ¹⁴Carbono. Esta etapa foi realizada no dia 30 de junho de 2022.
- Reconhecimento e checagem em campo dos padrões de estilo fluviais identificados em gabinete. Etapa realizada em 05 de dezembro de 2022 e 17 de julho de 2023.

- Registros fotográficos dos principais aspectos geológicos e geomorfológicos. Esses registros foram realizados ao longo dos campos realizados nos dias: 15 de outubro de 2020, 19 de janeiro de 2021, 30 de junho de 2022, 05 de Dezembro de 2022 e 24 de Fevereiro de 2024.

3.1 Materiais

A base de dados estruturada na presente pesquisa reuniu os seguintes materiais:

- **Base Cartográfica Digital do estado do Rio de Janeiro** na escala de 1:25.000 disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018).
- **Recortes do Modelo Digital de Elevação (MDE)** da Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial (*Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM), administrado e lançado no ano 2000 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) dos Estados Unidos, em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI). Os dados são de domínio público, armazenados e disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS).
- Ferramentas disponíveis e gratuitas do *software* livre *Google Earth™* ampliando as suas possibilidades de análise do relevo a partir desses recursos, como na aplicação da metodologia de Estilos fluviais.
- Imagem Landsat-8, sensor OLI, cena 218/076, bandas 4, 3 e 2, com resolução espacial de 15 metros na passagem do dia 28/06/2021. Disponível no Catálogo de Imagens DGI do INPE (2021).

3.2 Elaboração de mapas

Mapa de localização e delimitação da bacia

O mapa de localização da bacia hidrográfica foi elaborado através da delimitação manual com a base digital do IBGE (2018) utilizando os *shapefiles* de curvas de níveis e hidrografia e referenciado geograficamente no sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000.

Mapa da rede de drenagem com identificação dos padrões de drenagem

A identificação dos padrões de drenagem da bacia do rio Japuíba, foi realizada a partir da delimitação de polígonos correspondentes a cada padrão, utilizando ferramentas de edição do ArcGis©Pro. Os padrões identificados foram associados à classificação proposta por Howard (1967).

Mapa de lineamentos de drenagem e de relevo

O mapa de orientação da drenagem foi elaborado sobre a base hidrográfica da bacia, onde foram traçadas linhas contínuas na direção dos cursos d'água utilizando ferramentas de edição do programa ArcGis©Pro. Em seguida, foi gerado o diagrama de roseta com a utilização do programa *Open stereo*. Por meio da roseta quantitativa foi possível observar a predominância das orientações da drenagem.

Já ao que se refere aos lineamentos do relevo a extração foi também realizada no *software* ArcGis©Pro, decalcando as feições lineares do relevo sombreado oriundas da aplicação de ângulos de iluminação azimutal de 50°, 100°, 200° e 315° sob o Modelo Digital de Elevação (MDE), em uma escala visual de 1:110.000.

Todos os lineamentos foram identificados segundo a proposta de Liu (1984) que estabelece como lineamentos do relevo: linhas de segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, vales, trechos de rios e lagos, depressões alongadas e ainda feições lineares separando terrenos através da diferença de textura e feições tonais lineares.

Optou-se pela extração manual, com o objetivo de se diferenciar lineamentos de relevo e de drenagem, apesar de existirem *softwares* de extração automática de lineamentos, como o PCI Geomática, mas que, no entanto, não fazem esta distinção.

Mapa de densidade de lineamentos

Considerando os lineamentos identificados, se construiu o mapa de densidade de lineamentos, com auxílio da função *Line Density* (reproduzindo o procedimento realizado para se obter a densidade de drenagem), o qual permitiu ampliar o entendimento de modo conjunto dos principais vetores que estruturam os lineamentos presentes na área de estudo.

Mapa de declividade

A declividade foi obtida a partir do comando *Slope* presente na caixa de ferramentas do ArcGis©Pro. Sendo a mesma obtida em porcentagem e desdobrada a partir da ferramenta *Reclassify* nos seguintes intervalos: < 5%; 5 a 10%; 10 a 15%; 15 a 30%; 30 a 45%; 45 a 75%; e > 75%.

Mapa de relevo sombreado

O relevo sombreado foi obtido nas direções de incidência solar de 50°, 100°, 200° e 315°, com os respectivos azimutes 90, 60, 50, 45 a partir do comando *HillShade*. A manipulação desses produtos em diferentes ângulos azimutais permite uma melhor apreensão da estruturação geomorfológica de uma dada área sob diferentes ângulos, o que amplia a percepção da trama

estrutural que se apresenta. Entende-se, também, que diferentes ângulos azimutais permitem identificar diferentes estruturas.

Modelo Digital de Elevação (MDE) e elaboração mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico foi elaborado com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) disponível no site do projeto TOPODATA, utilizando as folhas 22°45'S e 23°45'S. Inicialmente foi feito um mosaico utilizando a ferramenta mosaico em *Raster Dataset*, no *Data Management Tools*. Após esta etapa, foi utilizada a ferramenta *fill* para corrigir imperfeições, e, em seguida, utilizado o relevo sombreado na direção de incidência solar 315° e azimuth 45° com transparência de 55%. De posse dessa informação, foi atribuído o padrão de cores *elevação* para representar as diferentes classes de altitude no MDE. O mapa hipsométrico é o resultado da sobreposição do relevo sombreado sobre o MDE.

3.3 Compilação de mapas temáticos pré-existent

Mapa Geomorfológico

O mapa Geomorfológico foi extraído dos dados, em formato *shapefile*, do Mapa de Padrões de Relevo disponibilizado pelo CPRM (2019), na escala 1:25.000, através do *software* ArcGis©Pro.

Mapa Geológico

Para o recorte do mapa geológico foram utilizadas as cartas geológicas de Volta Redonda SF 23-Z-A-V e Angra dos Reis SF 23-Z-C-II, disponibilizadas pelo CPRM (2007), em escala de 1:100.000. Sendo as duas folhas unidas em um único arquivo através da ferramenta *Merge*, no *ArcToolbox*.

Mapa de cobertura vegetal

Foi extraído da base cartográfica contínua do Rio de Janeiro (IBGE, 2018) na escala de 1:25.000, através do ArcGis©Pro.

3.4 Elaboração de perfis de relevo

Foram feitos perfis topográficos com uso da ferramenta *3D Analyst* do ArcGis©Pro em três seções transversais ao rio principal para representar desde o comportamento dos divisores opostos como desníveis ao longo da bacia; além da confecção de perfis longitudinais aos canais fluviais principais.

Os perfis foram obtidos a partir da geração de um gráfico, onde o eixo das coordenadas corresponde às altitudes (m) e o eixo das abscissas a extensão do perfil (km). Esse gráfico foi produzido no ArcGis©Pro, utilizando o MDE da Folha de Angra dos Reis e as ferramentas *Data Management Tools (Create -> Feature Class -> Edit -> Create -> Polyline)*, *3D Analyst Tools (Functional Surface -> Interpolate Shape)* e *Create Chart*.

3.5 Análises de componentes tectônico-estruturais

Este subitem refere-se a busca de identificação de efeitos tectônicos na drenagem e na topografia.

Análise da rede de drenagem

a. Padrões de drenagem

A análise dos padrões de drenagem foi feita com base em Howard (1967). O estudo desenvolvido por ele apresenta a classificação dos padrões de drenagem e discute a relação entre os diferentes tipos de padrões de drenagem com os aspectos geológicos. O autor classificou sete tipos de **Padrões Básicos** e dezessete **Padrões Básicos Modificados**. Sendo os seguintes os padrões básicos: dendrítico; paralelo; treliça; radial; anelar, multibasinal e contorcido. E os padrões básicos modificados como sendo: subdendrítico; pinado; anastomótico; distributário; subparalelo; colinear; subtreliça; treliça direcional; treliça recurvado; treliça de falha; treliça de junta; angular; composto, palimpsesto; centrípeta; glacialmente perturbado; cárstico; termocárstico; e baía alongada.

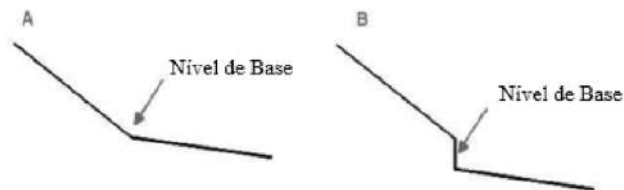
b. Mapeamento de níveis de rupturas de declive (*knickpoints*)

Os níveis de base locais podem ser evidenciados por níveis rochosos encachoeirados, que influenciam diretamente na dinâmica erosiva de uma bacia de drenagem. O conceito de nível de base local ou *knickpoints* foi introduzido por Powell (1875) partindo da premissa da existência de um ponto limite para o potencial erosivo de um rio. Para este mesmo autor, o nível dos oceanos corresponderia ao nível de base geral e, com isso, definiu-se que as terras continentais seriam rebaixadas até o nível altimétrico do litoral. Knopf (1924), refere-se ao nível de base local como uma mudança abrupta na conformação, em perfil, de uma forma côncava do perfil para uma curva convexa na parte superior (à montante).

Para a identificação de níveis de base ao longo do sistema fluvial é importante a análise do perfil longitudinal dos cursos fluviais. Normalmente, as rupturas de declives identificadas nestes perfis constituem níveis de base locais ou temporários originados por influências

tectônico-estruturais ou resistência litológica (Figura 5). Além desta observação dada pela análise dos perfis longitudinais dos canais fluviais, a disposição das curvas de nível também auxilia na identificação dessas feições.

Figura 5: Perfis esquemáticos de knickpoints. **A** – Mudança de declividade ao longo do perfil que leva a variação de energia do fluxo d'água e no qual começa a predominar processos deposicionais; **B** – Mudança brusca de declive ao longo do perfil, marcando um nível encachoeirado.



Fonte: Modificado de Silva; Santos (2010).

Cálculo de parâmetros morfométricos

a. Densidade de Drenagem

A Densidade de drenagem (**Dd**) é a relação entre o comprimento total de canais e a área da bacia e, para seu cálculo, deve-se considerar todos os rios, tanto os perenes como os temporários (HORTON, 1945).

Para caracterização da rede de drenagem, foram determinados o comprimento do canal principal, o comprimento total dos canais, o comprimento vetorial do canal principal, a densidade de drenagem e a ordem da bacia. Segundo Christofolletti (1969), valores elevados de **Dd** indicam áreas com pouca infiltração e melhor estruturação dos canais. A densidade de drenagem (**Dd**) foi obtida por meio da Equação:

$$Dd = Lt / A$$

Onde **Lt** = comprimento total dos canais e **A** = Área da bacia.

Quanto maior a densidade da drenagem, maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório.

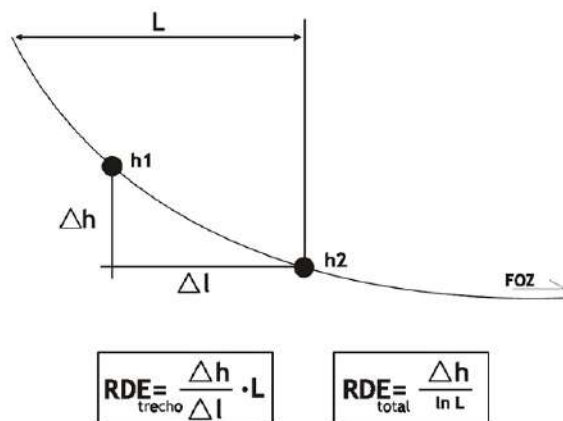
b. Relação declividade-extensão

A Relação declividade-extensão (**RDE**) pode ser calculada ao longo de toda extensão de um canal fluvial como foi proposto por Hack (1973) com intuito de identificar áreas com anomalias. Etchebehere *et al.* (2005) relatam que o **RDE** pode ser aplicado tanto a toda extensão da drenagem (**RDE_{total}**) como em trechos do canal (**RDE_{trecho}**), o que possibilita uma avaliação

regional (RDE_{total}) de uma dada área ou apenas de segmentos de drenagens (RDE_t), que procuram demonstrar uma relação local e pode ser aplicando à análise tectônica de detalhe.

Na fórmula apresentada para obtenção do RDE_{trecho} (Figura 6), Δh é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água (cabeceira e a foz), $\ln$ corresponde ao logaritmo natural do canal e L é a distância entre a cabeceira e a foz.

Figura 6: Parâmetros para o cálculo do índice Relação Declividade/Extensão (RDE): $h1$ e $h2$ representam os valores de altimetria das isolinhas.



Modificado de: Etchebehere *et al.* (2005).

De forma similar, para o RDE_{total} , Δh é a diferença altimétrica entre dois pontos do canal em que o índice está sendo calculado, Δl corresponde à projeção horizontal do segmento em evidência e L é o comprimento total do curso de água a montante do ponto para o qual o índice está sendo calculado.

Para Andrades Filho (2010), o índice **RDE** é um indicador sensível de mudanças na declividade do canal fluvial, que podem estar associadas às diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato rochoso e/ou à atividade tectônica. Sendo assim, seguindo a proposta desse autor que foi adaptada para o território brasileiro, os resultados serão classificados em quatro classes: $< 2,0$ = trechos que se encontram bastante retrabalhados/erodidos; trechos com influência intermediária de controles tectônicos sendo diferenciados os com valores que variam de 2 a 4 e os de 4 a 6, respectivamente, de anomalias 3^a. e 2^a. ordens; e valores > 6 = interpretados como anomalias de 1^a. ordem, ou seja, trechos de rios com forte influência tectônica, mas, normalmente, com ocorrência isolada.

Na presente pesquisa, foi utilizada a classificação em seis (06) classes de forma comparativa, segundo Santo e Mendes (2021). Nesta metodologia, são mantidas as duas primeiras classes da proposta de Andrades Filho (2010), com os mesmos intervalos, e o grupo

de valores acima de 6 com uma divisão que permite uma diferenciação das anomalias de primeira e segunda ordem, como na proposta original de ETCHEBEHERE et al. (2006) mas, principalmente, também admite a observação de condições anômalas intermediárias. Com base nisso, as classes foram definidas como: menores que 2; maiores que 2 e menores que 4; maiores que 4 e menores que 6; maiores que 6 e menores que 8; maiores que 8 e menores que 10; e maiores que 10.

“Para corroborar com as classes definidas foi associado todo o conhecimento de campo sobre as deformações geológicas da área (falhas, comumente, subverticais e com amplitude de rejeitos bastante variáveis) já reconhecidas em afloramentos no substrato arenítico Neógeno, além de traçar relações com lineamentos morfoestruturais mapeados para a bacia. Como o RDE mostra-se bastante sensível a deformações expressas, principalmente, em falhas normais, e por considerar que este índice permite extrapolar a interpretação do comportamento de forma mais regional, o RDE auxilia bastante nesse sentido e, quando associados a outros índices morfométricos, é possível a identificação de áreas onde a intensidade das deformações tectônicas são mais intensas e áreas onde são menos intensas, considerando que em toda área havia registros de feições em afloramento indicativas de deformação. Andrades Filho (2010) conseguiu discriminar áreas intensamente influenciadas, áreas muito influenciadas e áreas pouco influenciadas por controles tectono-estruturais e, assim, demonstrando que o RDE é um índice de valor na investigação de áreas com conhecimento incipiente do papel da tectônica na evolução geomorfológica de uma bacia de drenagem.” (SILVA; PAES, 2018, p.13)

Os cálculos do **RDE_{total}** e **RDE_{trecho}** foram realizados em uma planilha do Excel com os dados extraídos dos perfis longitudinais dos rios Japuíba e Cabo Severino. Desse modo, foi possível identificar áreas intensamente influenciadas, áreas muito influenciadas e áreas pouco influenciadas por controles tectono-estruturais.

c. Cálculo da assimetria de bacias de drenagem

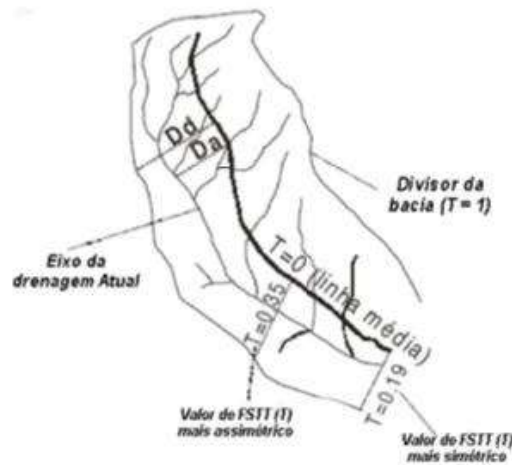
Foi investigada segundo a metodologia de Cox (1994), que desenvolveu uma técnica para quantificar o deslocamento de canais devido a causas tectônicas através do cálculo de assimetria de bacia de drenagem por meio do Fator de Simetria Topográfica Transversa (**FSTT**) – Figura 7.

Este autor propôs o cálculo através da seguinte fórmula:

$$FSTT = Da/Dd$$

para se chegar ao valor de assimetria de uma bacia, onde: **Da** representa a razão da distância entre a linha média da bacia e o canal e **Dd** à distância da linha média da bacia ao divisor dela.

Figura 7: Fator de Simetria Topográfica Transversa (**FSTT**) que quantifica o deslocamento de um rio. Observa-se na figura diferentes valores deste parâmetro morfométrico que demonstram trechos de maior ou menor assimetria ao longo da bacia de drenagem.



Modificado de: Cox (1994).

Com o valor desta razão é possível registrar a direção de deslocamento lateral do canal fluvial, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior será a influência tectônica na bacia de drenagem.

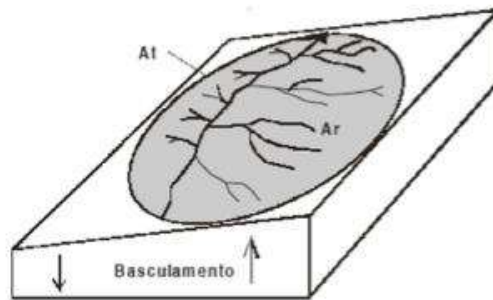
Um outro parâmetro que também busca definir a assimetria de bacias de drenagem refere-se ao Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (**FABD**), proposto por Hare; Gardner (1985), que se baseia no fato de que a migração preferencial do canal caracteriza assimetria do perfil topográfico transversal ao seu eixo. Essa migração é causada por processos fluviais internos, ou seja, pela ocorrência de fluxos subsuperficiais e/ou impulsionados por forças tectônicas. Sendo assim, este parâmetro indica a condição de basculamento da bacia para a margem esquerda ou direita de acordo com a migração do canal principal reconhecida.

O cálculo deste índice é alcançado pela aplicação da seguinte expressão matemática:

$$FA = 100 \times \left(\frac{Ar}{At} \right)$$

Onde: **Ar** é a área da bacia à direita do rio (olhando em direção à jusante) e **At** é a área total da bacia) (Figura 8).

Figura 8: Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (**FABD**), que quantifica o deslocamento do canal de um rio em função de causas tectônicas.



Modificado de: Hare; Gardner (1985).

Segundo Hare; Gardner (1985) a interpretação do **FABD** deve ser feita de acordo com a seguinte classificação:

- valores = 50 significa que não há basculamento;
- valores <50 significa que há basculamento da margem esquerda (o rio migra em direção a margem direita);
- valores >50 significa que há basculamento da margem direita (o rio migra em direção a margem esquerda).

d. Integral hipsométrica

A Integral Hipsométrica (**IH**) é um índice que descreve a frequência acumulada das altitudes de uma determinada área do terreno (STRAHLER, 1952). Portanto, a análise desse índice indica uma determinada porção do terreno que ainda não esteve sujeita a intensos processos erosivos, configurando-se como indicador para diferentes estágios evolutivos.

A obtenção deste índice é realizada considerando o polígono referente a bacia hidrográfica e o MDE, que para área de estudo estará em projeção UTM, datum SIRGAS 2000. Através do *software* utilizado ArcGIS©Pro serão extraídas as elevações mínima, média e máxima, contidas nos atributos do MDE. Estes dados serão exportados para uma planilha no *software* Excel e, por fim, o cálculo de IH, utilizando a fórmula:

$$IH = (elev.média - elev.mínima) \div (elev.máxima - elev.mínima)$$

Segundo Strahler (1952), o IH é uma maneira simplificada de representar o ciclo geomorfológico de uma bacia de drenagem, podendo caracterizar uma fase do relevo com maiores elevações até uma fase em que o relevo estaria em fase de aplainamento (fase de

equilíbrio). Esse autor destaca ainda que os **valores altos da integral hipsométrica (próximos a 1 ou acima de 0,6)** indicam que a maior parte da área da bacia se encontra em altitudes elevadas. Isso sugere que a bacia está em um **estágio de vigor erosivo**. Nesses estágios, a erosão fluvial ainda não atuou intensamente para rebaixar e dissecar o relevo, e as áreas elevadas (interflúvios) são bem preservadas. A curva hipsométrica é mais convexa para cima. Consequentemente, os **valores intermediários da integral hipsométrica (em torno de 0,5)** indicam um **estágio de equilíbrio**. Neste ponto, a bacia apresenta um equilíbrio entre as áreas altas e as áreas baixas, e a rede de drenagem está bem desenvolvida, tendo dissecado significativamente o relevo. A curva hipsométrica tende a ter um formato de "S", com uma concavidade no meio. Por último, os **valores baixos da integral hipsométrica (próximos a 0 ou abaixo de 0,3)** indicam um **estágio avançado de retrabalhamento**, onde a maior parte da área da bacia se encontra em altitudes baixas, e o relevo foi amplamente rebaixado e aplainado pelos processos erosivos. A curva hipsométrica é mais côncava para cima

e. Sinuosidade de escarpa montanhosa (Smf)

A Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (**Smf**) é um índice geomórfico definido por Bull; Wallace (1985) que reflete o balanço entre as forças erosivas e tectônicas, prevendo que as frentes montanhosas submetidas a soerguimento tectônico são relativamente retilíneas, assumindo assim valores baixos; uma vez reduzido ou cessado o processo de soerguimento, os processos erosivos que incidirão sobre a frente montanhosa em questão haverão de torná-la irregular, elevando os valores de **Smf** (FERREIRA, 2001).

Para obtenção do índice de Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (**Smf**) será utilizada a base de declividade do TOPODATA e do MDE. Na primeira etapa, com auxílio do MDE e da base de declividade, serão identificadas as feições denominadas frentes de relevo e, para cada feição, serão delimitados dois segmentos vetoriais através do software ArcGis©Pro e será aplicada a seguinte fórmula:

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

Onde: *Lmf* corresponde comprimento da escarpa montanhosa ao longo do sopé da montanha, na zona de ruptura de declive e *Ls* corresponde comprimento da linha retilínea da escarpa montanhosa.

f. Índice de atividade tectônica relativa

O Índice de Atividade Tectônica (**IAT**) é um parâmetro que procura valorar a atividade neotectônica em uma determinada área, por meio da combinação dos índices descritos anteriormente (**RDE**, **FA**, **IH** e **Smf**), transformando esses índices morfométricos em valores categóricos de intensidade tectônica e visando traduzi-los para uma mesma escala. Os autores El Hamdouni *et al.* (2008) elaboram este índice buscando classificar os valores alcançados para os quatro índices em três Classes de Intensidade Tectônica (**CIT**), onde: valor 1 indicaria alta atividade tectônica; valor 2 representaria média atividade tectônica e valor 3 indicaria baixa atividade tectônica.

Sendo assim, para o **RDE**, drenagens que apresentassem mais de 50% de anomalias teriam valores **CIT**=1, quando menores ou iguais a 50% o valor de **CIT** seria de 2 e quando não apresentam anomalias seria atribuído **CIT**=3.

Valores de **FA** entre 0 e 7 corresponderiam a **CIT**=3, valores entre 7 e 15 corresponderia a **CIT**=2 e valores entre 15 e 50 correspondem a **CIT**=1.

Para **IH**, valores maiores que 0,4 correspondem a **CIT**=1, entre 0,4 e 0,5 a **CIT**=2 e maiores que 0,5 o valor seria de **CIT**=3.

Sendo assim, os valores de **IAT** foram classificados em quatro classes distintas, de acordo com a média do somatório dos **CIT**. O cálculo do índice é feito pela seguinte fórmula:

$$IAT = \frac{S}{n}$$

Onde, *S* é a média aritmética das diferentes classes dos índices geomórficos e *n* é número de índices geomórficos aplicados.

Segundo El Hamdouni *et al.* (2008) valores de:

- **IAT** = 1 (classe 1) tem média dos CIT entre 1 e 1,5 e indica atividade tectônica muito alta.
- **IAT** = 2 (classe 2) tem valores médios de CIT entre 1,5 e 2 e indica atividade tectônica alta.
- **IAT** = 3 (classe 3) tem valores médios de CIT entre 2 e 2,5 e indica atividade tectônica moderada.
- **IAT** = 4 (classe 4) tem valores da média dos CIT maior que 2,5 e indica baixa atividade tectônica.

3.6 Análise da dinâmica dos processos atuais ao longo da calha fluvial

Esta investigação será baseada no arcabouço conceitual e metodológico para mapeamento dos estilos fluviais (*River Styles*) desenvolvido por Brierley; Fryirs (2005). Essa concepção metodológica está baseada na avaliação hierarquizada de “parâmetros-chaves”, que levam ao reconhecimento dos principais controles e do comportamento do canal ou de trechos destes e, assim, chegando à definição da tipologia dos estilos fluviais (Quadro 2).

Pelo quadro 2 observa-se a discriminação dos parâmetros analisados que dizem respeito às classes referentes de: **característica do vale** (confinado; parcialmente confinado e não confinado); **compartimento do relevo** (escarpas serranas; morro; colinas; planícies fluviais); **formas do canal na visão em planta** (único ou ramificado; sinuoso ou retilíneo; estabilidade do leito); **unidades geomorfológicas** no/ao longo do leito fluvial (existência de planícies fluviais, níveis de base locais, soleiras, corredeiras, depressões e barras fluviais) e **composição do leito** (rochoso; blocos e matacões; arenoso) (LIMA; MARÇAL, 2013).

Quadro 2: Discriminação dos parâmetros-chave avaliados para realização de mapeamento dos estilos fluviais.

Característica do vale	Compartimento de relevo	CARACTERÍSTICA DO CANAL			ESTILO FLUVIAL	COMPORTAMENTO DO RIO
		Forma planta	Unid. Morfol.	Mat. Leito		
Confinado	escarpas serranas	canal único; retilíneo; estável	s/planície; alta declividade; NBLocais; corredeiras	cascalhos; matacões e blocos rochosos	cabeceira íngreme	Canal com alto controle litológico; heterogeneidade de unidades morfológicas; elevada remoção de materiais. Sem ajuste lateral.
Confinado	escarpas serranas	canal único; retilíneo; estável	s/planície; alta declividade; NBLs; corredeiras; soleiras (<i>riffles</i>) e depressões (<i>pools</i>)	rochas; matacões	Garganta	Leito rochoso; NBLocais... Ambientes de elevado poder erosivo e transporte de sedimentos, que aumentam com a declividade do talvegue e do confinamento do vale.
Parcialmente confinado	base de Escarpa/Morro/ Colina	canal único; baixa sinuosidade; segmentos de baixo fluxo ao redor de blocos, barras	canal consiste em blocos rochosos arredondados; barras fluviais, NBL e depressões	rochas; matacões	córregos pedregosos	A incisão fluvial proporciona a formação de um conjunto heterogêneo de unidades geomorfológicas compostas por blocos rochosos de diversos tamanhos e que são retrabalhados durante eventos extremos.
Confinado/ alvéolo	escarpas serranas	canal único; retilíneo; estável	alvéolos descontínuos; afloramentos rochosos; barras fluviais e depressões	rocha; areia	alargamento em vales confinados	Situados em vales estreitos com movimentação de sedimentos arenosos por transporte de fundo. Ocorrem soleiras e depressões, barras fluviais em trechos que há abertura de vale e maior disponibilidade de sedimentos.
Confinado	escarpas serranas	canal único; sinuoso condicionado pelo vale estreito	ilhas vegetadas, blocos rochosos arredondados, corredeiras, soleiras e depressões	rocha; Areias	vales sinuosos	Sinuosidade do vale amortece o fluxo, gerando ambientes de acumulação local, onde blocos e matacões servem como substrato para formação de barras fluviais vegetadas. Variação de competência fluvial (eventos de cheia/estíagem) com a entrada

						e saída de sedimentos equilibrada.
Não confinado	planície fluvial	canal único; alta sinuosidade; instável e alta capacidade de ajuste lateral	barras de pontal; meandros; barras longitudinais e terraços.	Areia	meandros arenosos	Margens ativas, evidenciando processos de erosão nas margens côncavas e migração lateral do leito. Na margem convexa ocorrem ambientes de deposição formando barras de pontal.
Não Confinado	planície Fluvial	canal único; retificado; ocorrência de talvegue sinuoso ao longo da calha maior	margens íngremes; calha retangular; ocorrência de talvegue sinuoso durante períodos de baixa vazão	Areia	retificação	Retificação de trecho que resulta em encurtamento no comprimento do canal, aumentando a declividade e remoção de feições morfológicas do canal para deixar livre a vazão. No entanto, incisão e entulhamento ocorrem no leito de acordo com o regime hídrico.

Adaptado de: Brierley; Fryirs (2005) e Lima; Marçal (2013).

As características do fundo de vale que definem o “grau de confinamento” referem-se à ocorrência de planícies de inundação ao longo das margens do canal fluvial, e se estas apresentam-se contínuas, descontínuas ou ausentes ao longo do fundo de vale. Quando existem planícies presentes e contínuas em mais de 90% do trecho analisado define-se como **não confinado**, sendo canais em que há maior capacidade de ajuste e, portanto, com margens bastante instáveis. Neste tipo de vale há como característica morfológica de leito a presença de barras e ilhas fluviais. Canais ou trechos fluviais onde ocorrem planícies descontínuas, irregulares e assimétricas, ocupando entre 10% e 90% nomeia-se de **parcialmente confinado**. Este são os casos de rio que apresenta grande variação na sua morfologia de fundo e em sua dinâmica erosiva, alternando áreas de alta e baixa energia, com presença soleiras e depressões. Já a classificação como **vale confinado** é reconhecida a partir da ausência de planícies aluviais ou estas serem extremamente descontínuas e estarem presentes em, apenas, menos de 10% do trecho analisado e, neste caso, o leito dos canais está bastante escavado em substrato rochoso.

Foi utilizado nesta pesquisa a base da hidrografia extraída da base cartográfica do estado do Rio de Janeiro na escala de 1:25.000, disponibilizada em arquivo digital pelo IBGE (2018), para realizar a extração da hidrografia dos dois canais principais da bacia, os rios Japuíba e Cabo Severino, no *software Google Earth Pro*. Os perfis longitudinais foram analisados em conjunto com o mapa geomorfológico disponibilizado pela CPRM (2019) e a forma em planta dos canais, obtidas através das imagens de satélite do *Google Earth Pro*, para auxiliar a definição do grau de confinamento dos canais (configuração do vale) da bacia: **confinado**, **parcialmente-confinado** e **não confinado**. A fim de calcular qualitativamente o nível de confinamento foi observada a presença ou ausência de controles nas margens do fundo de vale e existência de planícies fluviais ocasionais, segundo a metodologia de Brierley e Fryirs (2005).

A vetorização dos canais inseridos em cada estilo foi realizada no próprio *Google Earth Pro* por meio da ferramenta ‘adicionar caminho’ com a utilização das imagens dos períodos chuvosos (dezembro de 2010 e janeiro de 2013) e secos (julho de 2014 e julho de 2016), definidos: o mês mais seco (julho de 2016); o período mais seco do ano mais seco (julho de 2014); o mês mais úmido (janeiro de 2013) e do período mais chuvoso do ano mais úmido (2010). Os arquivos foram gerados no formato .kml e convertidos, através da ferramenta ‘kml to layer’ no *software* ArcGis©Pro, para o formato *shapefile*. Essas etapas foram realizadas visando a elaboração do mapa de estilos fluviais.

Coleta de dados pluviométricos

Para uma melhor compreensão de mecanismos recentes de erosão e/ou assoreamento das calhas fluviais da bacia foi realizado uma análise comparativa dos mapeamentos de estilos fluviais em diferentes estações do ano com valores do índice pluviométrico local. Para tanto, foram coletados dados pluviométricos da estação Areal do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN – dentro da bacia de estudo, disponibilizados pelo portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2021) para construção de gráficos e histogramas pluviométricos de modo a complementar a análise das modificações ocorridas nos leitos fluviais.

Foi utilizada a série histórica de 32 anos de dados de precipitação pluviométrica (1990 a 2022) para a realização do cálculo do Índice de Anomalia de Chuva mensal e anual e a determinação dos períodos de baixa e alta precipitação pluviométrica considerando as médias temporais das precipitações locais. O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) é calculado conforme as equações 1 e 2 desenvolvidas por Rooy (1965).

$$\text{IAC positivo} = 3 * \frac{[(N - \bar{N})]}{\bar{M} - N} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{IAC negativo} = 3 * \frac{[(N - \bar{N})]}{\bar{X} - \bar{N}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde N refere-se à precipitação total (anual ou trimestral); $\bar{N}$ é a média total (anual, trimestral ou mensal); $\bar{M}$ média dos 10 maiores valores de precipitação e $\bar{X}$ a média das 10 menores precipitações. Vale ressaltar que para o cálculo do IAC anual foram selecionados os 10 maiores e menores valores de precipitação anual, para o IAC trimestral - os 10 maiores e menores valores de precipitação trimestral e mensal - os 10 maiores/ menores valores de precipitação mensal. Dessa maneira, de acordo com a metodologia utilizada por Freitas (2004 e 2005) e Araújo et al. (2007), os valores do Índice de Anomalia de Chuva classificados como normais por Rooy (1965) foram inseridos nas classificações de umidade baixa (quando o valor

do IAC é positivo) e seca suave (quando o valor do IAC é negativo). No entanto, as demais classificações determinadas por Rooy (1965) foram mantidas, assim como suas denominações (Quadro 3).

Quadro 3: Classificações das intensidades das anomalias negativas e positivas de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

IAC	CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE
$\geq 4,00$	Umidade extremamente alta
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
0,00 a 1,99	Umidade baixa
-1,99 a 0,00	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca alta
$\leq -4,00$	Seca extremamente alta

Fonte: Adaptado por Freitas (2004, 2005); Araújo et al. (2007).

3.7 Levantamento e confecção de perfis sedimentográficos e coleta de amostras

Nas feições de terraços fluviais foram selecionados locais representativos do contexto geomorfológico geral para realização de perfis sedimentográficos nas paredes expostas do terraço, segundo método de Selley (1968).

O perfil sedimentográfico constitui uma representação gráfica da sucessão vertical de camadas deposicionais que ocorre em um afloramento e pode representar as características dos sedimentos tais como granulometria, composição mineralógica, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero, em uma escala de apresentação adequada (LEITE, 2021). A elaboração destes perfis tem por meta auxiliar no entendimento da dinâmica erosivo-deposicional da bacia de drenagem nos últimos milhares de anos e, assim, subsidiar a evolução geomórfica-estratigráfica quaternária. Ao longo dos perfis foi também realizada a coleta de amostras de paleohorizontes A para realização de datação ^{14}C .

Os perfis sedimentográficos foram desenhados através da plotagem das informações reunidas em campo no *software Sedlog*, desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação, *Royal Holloway University of London* e disponibilizado no site <https://www.cs.rhul.ac.uk/>. No desenho foi também possível inserir as demais observações encontradas em campo no perfil.

3.8 Análises de laboratório - Datação de ^{14}C

A datação de ^{14}C encontrados em paleohorizontes “A” em etapas de campo será processada no Laboratório de Radiocarbono (LAC), com base na técnica de Espectrometria de

Massa com Aceleradores (AMS) do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, coordenado atualmente pela Prof^a. Dr^a. Kita Chaves Damasio Macario.

Em seguida será apresentada uma rápida explicação do mecanismo de datação de depósitos quaternários por ^{14}C -MAS feito pelo Laboratório de Radiocarbono (LAC-UFF):

“O gás carbônico (CO_2) que existe na natureza possui uma fração muito pequena de carbono radioativo (^{14}C). Isto permite que os pesquisadores determinem as idades de materiais de centenas de anos até cerca de 50 mil anos, através da detecção das partículas emitidas quando o ^{14}C decai. O processo é chamado método convencional de datação por ^{14}C . Mas, para ser utilizado é preciso que o material a ser datado tenha uma massa de ao menos alguns gramas, e o tempo necessário para datação pode ser de muitos dias. No entanto, a técnica do AMS é uma alternativa recente e mais eficaz, e precisa ser utilizada com o auxílio de um acelerador de partículas, como o existente no Instituto de Física da UFF” (<http://www.uff.br/?q=noticias/16-05-2016/instituto-de-fisica-da-uff-inaugura-laboratorio-pioneiro-na-america-latina>).

Os estudos de Geomorfologia e de Geologia do Quaternário exigem a incorporação de idades numéricas para posicionar com precisão os eventos e quantificar processos deposicionais e/ou erosivos. Dentro deste contexto, Corrêa *et al.* (2016) afirmam que a amostragem de matérias a serem datadas deve ser convenientemente planejada de acordo com os objetivos da pesquisa e realizada com a colaboração de pesquisador com experiência. Uma adequada amostragem no campo é essencial para a obtenção de resultados que acompanhem, com precisão, a estratificação dos materiais e possibilitem uma coleta fidedigna à geomorfologia local.

3.9 Reconhecimento das formas de relevos tecnogênicas

Os relevos tecnogênicos são produzidos pela ação da agência geológica humana sobre a superfície do planeta, e resultam da mobilização ou transformação *in situ* de materiais constituintes do manto de intemperismo, do solo superficial, do substrato rochoso ou de depósitos sedimentares (PELOGGIA *et al.*, 2014). Entre os processos de aggradação e degradação, deve-se distinguir aqueles de natureza induzida daqueles produzidos. Enquanto o primeiro se refere às transformações antropogênicas, envolvendo mudanças na intensidade dos processos de erosão e sedimentação; o segundo é direto e artificial, com mobilização e depósito de materiais. Os processos de transformação *in situ* apresentam modificações em suas características físicas provocadas por fenômenos de forma direta ou indireta, intencional ou não, ligados à incorporação em solos ou depósitos de novas substâncias.

A classificação de terrenos tecnogênicos proposta por Peloggia *et al.* (2014) (Quadro 4) estabelece critérios para a identificação das evidências de terrenos tecnogênicos e forneceu treze tipos de terrenos mapeáveis, agrupadas em quatro classes principais.

Esta classificação proposta por Peloggia *et al.* (2014) foi uma das bases para iniciar os debates realizados pelo Grupo de Trabalho Direcionado (GTD) do Subsistema Relevo Tecnogênico, composto por diversos professores brasileiros, para elaboração do manual de mapeamento geomorfológico lançado pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR, 2022). A proposta deste GTD está apresentada Nota Técnica da Revista Brasileira de Geografia de 2023 pelo Comitê Executivo Nacional que vem organizando as discussões entre todos os GTDs que compõem o SBCR. Neste documento acabou existindo uma releitura e reorganização das formas de ação da agência humana sobre os terrenos e, desta forma, sendo a morfologia avaliada em dois níveis (Quadro 5). O 1º. Nível (características associadas ao aspecto morfográfico) referente às categorias da forma que é subdividido em quatro classes de relevo tecnogênicos - **Elevações e superposições** (resultantes do acréscimo de materiais no terreno); **Cicatrizes e depressões** (retirada de materiais do terreno); **Corrugações** (morfologias associadas a terrenos revolvidos pela movimentação direta de materiais *in situ*); e **Equiformas** (esta classe refere-se à modificações em superfície ou de materiais em profundidade). O 2º. Nível (características associadas a aspecto morfogenéticos) é referente aos tipos de formas de intervenção e subdividida entre **Tecnoformas** (criadas diretamente pela agência humana) e **Geotecnoformas** (referentes àquelas induzidas): a categoria de **elevações/superposições** podem ser encontradas tanto as **Tecnoformas de acumulação** quanto **Geotecnoformas de acumulação**; as cicatrizes/depressões se subdividem em **Tecnoformas de escavação** ou **Geotecnoformas de denudação**; as **Corrugações** são diretamente relacionadas a ação direta de intervenção no terreno e, portanto, são formadas somente pelas **Tecnoformas de Turbação**; e, por fim, as **Equiformas** seriam subdivididas nos tipos **modificadas em superfície** ou **modificação em profundidade**.

Quadro 4: Classificação de terrenos tecnogênicos proposta por Peloggia *et al.* (2014).

CLASSIFICAÇÃO DE TERRENOS TECNOGÊNICOS		
Classe	Tipos	Camadas ou características tecnogênicas
Terrenos tecnogênicos de agradação	Terrenos produzidos (1,2)	Depósitos tecnogênicos construídos.
	Terrenos preenchidos (2)	Depósitos tecnogênicos construídos recobrimdo terrenos escavados.
	Terreno tecnogênico sedimentar aluvial	Depósito tecnogênicos sedimentares induzidos do tipo aluvial.
	Terrenos tecnogênicos sedimentar coluvial	Depósitos tecnogênicos induzidos do tipo coluvial.
	Terrenos remobilizados	Depósitos tecnogênicos remobilizados.
Terrenos tecnogênicos degradados	Terrenos erodidos	Cicatrices de erosão resultantes por processos induzidos.
	Terrenos remobilizados ou marcados por cicatrizes de escorregamentos	Cicatrices de escorregamento resultantes de processos induzidos.
	Terreno abatido ou remexido/movimentado (2)	Depressões de subsidência devido a processos induzidos.
	Terreno escavado ou retrabalhado	Superfície de escavação.
Terrenos tecnogênicos modificados	Terrenos quimicamente modificados	Horizontes de solo contaminados.
	Terrenos mecanicamente modificados	Horizontes de solo compactados e revolvidos.
Terrenos tecnogênicos complexos	Terrenos sobrepostos	Perfis tecnogênicos compostos.
	Terrenos complexos	Perfis tecnogênicos complexos.

(1) No sentido original atribuído por Sherlock (1922) *apud* Peloggia *et al.* (2014).(2) De acordo com a classificação de terrenos artificiais do Serviço Geológico Britânico, *apud* Peloggia *et al.* (2014).

Quadro 5: Formas de relevo tecnogênico e aspectos da expressão no terreno e morfogênese.

FORMAS DE RELEVO TECNOGÊNICAS			
MORFOLOGIA		EXPRESSÃO NO TERRENO	MORFOGÊNESE
Categorias (1º Nível)	Tipos (2º Nível)		
ELEVAÇÕES E SUPERPOSIÇÕES TECNOGÊNICAS	Tecnoformas de Acumulação	Formas associadas a depósitos tecnogênicos construídos	Acréscimo direto de material
	Geotecniforma de Acumulação	Formas associadas a depósitos tecnogênicos induzidos	Acréscimo induzido de material
CICATRIZES E DEPRESSÕES TECNOGÊNICAS	Tecnoforma de Escavação	Cicatrizes tecnogênicas escavadas	Retirada direta de material
	Geotecniforma de Denudação	Cicatrizes ou depressões tecnogênicas induzidas	Movimentação ou erosão induzida de material
CORRUGAÇÕES TECNOGÊNICAS	Tecnoforma de Turbação	Formas associadas a terreno revolvido	Movimentação direta de material dentro do próprio sítio
EQUIFORMAS TECNOGÊNICAS	Equiforma Tecnogênica de Modificação em Superfície	Formas associadas a solos tecnogênicos	Modificação direta ou indireta na composição ou estrutura física do terreno em superfície
	Equiforma Tecnogênica de Modificação em Profundidade	Maciço tecnoturbado	Modificação direta na composição ou estrutura física do terreno em profundidade

Fonte: CEN/SBCR (2022).

O reconhecimento das feições de relevo tecnogênicas foi realizado a partir da interpretação das imagens do *Google Earth Pro* dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015, 2021 e 2023. Em complementação, foram também utilizadas imagens disponibilizadas pelo MapBiomas de mesmos anos, com o intuito de identificar os diversos usos do solo que serviram como base, juntamente com o mapa de unidades de relevo do CPRM (2019), para identificação das feições tecnogênicas.

4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DA BACIA DO RIO JAPUÍBA

Esta etapa da pesquisa constituiu-se da reunião de informações coligidas em busca de uma caracterização geral dos aspectos físico-ambientais e da dinâmica ambiental local. Foi realizada através do levantamento de traços fisiográficos importantes, como aspectos geomorfológicos, geológicos, climáticos e vegetacionais, além de um breve histórico de ocupação.

O aspecto mais marcante na paisagem da bacia estudada é a presença da imponente Serra do Mar, que nesta faixa continental entra em contato abrupto com a planícies fluvio marinhas quaternárias do rio Japuíba, onde a amplitude altimétrica pode ultrapassar 1.000m (Figura 9).

Figura 9: Visão panorâmica do trecho da bacia do rio Japuíba e de seus contrastes morfológicos: a Serra da Bocaina ao fundo e a planície fluvio marinha.



Foto: T.M. Silva (out./2011).

A bacia do rio Japuíba tem suas nascentes na Serra da Bocaina e está localizada na divisa dos Municípios de Angra dos Reis, Mangaratiba e Rio Claro, todos pertencentes ao estado do Rio de Janeiro. É caracterizada por apresentar um relevo acidentado, contendo áreas montanhosas e escarpadas. Segundo a definição do Plano de Recursos Hidrográficos da Baía da Ilha Grande (PRH-BIG, 2019) corresponde à região hidrográfica da bacia do rio Japuíba, que possui litoral, em parte, rochoso, outros trechos rochosos submersos e, ainda, planícies

costeiras, constituídas por várzeas, manguezais e trechos de terrenos mais estáveis de planícies (topos de antigas planícies e terraços fluviais) ocupados por áreas urbanizadas e pastagens. Praias e cordões arenosos são pouco desenvolvidos no encontro com o mar e acompanham, em geral, sopés de escarpa ou planícies estreitas. Pode-se observar, também, zonas de planaltos residuais em algumas regiões mais distantes da parte costeira, como nas proximidades da nascente do rio Japuíba.

Segundo Dantas (2001), a bacia do rio Japuíba encontra-se distribuída entre as seguintes Unidades (Quadro 6): a) Cinturão Orogênico do Atlântico e b) Coberturas Sedimentárias Quaternárias. Localmente, podem ser observadas Unidades Morfoesculturais de planalto residual, Escarpas Serranas e Planícies Fluviomarinhas. A nascente do rio Japuíba está inserida no Planalto Reverso do Alto Vale do Rio Pirai, sendo uma subdivisão do planalto da Bocaina; já a nascente do rio Cabo Severino, afluente do rio Japuíba, está inserida na Unidade Geomorfológica Escarpa da Serra da Bocaina onde o *front* da escarpa é marcado por uma face íngreme, voltada para o oceano e constitui-se como imponente alinhamento serrano que se apresenta como uma muralha, alçada por tectônica a mais de 1.000m de altitude. Esse escarpamento mergulha diretamente em direção a Baía da Ilha Grande por meio de costões rochosos, produzindo uma paisagem pontilhada de ilhas, cabos, sacos e enseadas que configuram o litoral sul fluminense.

O baixo curso do rio Japuíba está inserido na Unidade Geomorfológica Baixada da Baía da Ilha Grande. Segundo Dantas (2001), as baixadas litorâneas apresentam uma porção distal à linha de costa, com amplo predomínio da dinâmica fluvial, e outra porção proximal à costa, onde a dinâmica marinha assume maior relevância. Na Baía da Ribeira, que integra a Baía da Ilha Grande, e onde deságua o rio Japuíba, tem em sua porção da planície o predomínio da dinâmica fluvial que chega até a cota de 20 m; e se estreita junto aos fundos de vales, sendo composta por sedimentos mais grosseiros. A jusante, em direção à transição com o domínio fluviomarinho, a planície se torna mais larga e espraçada, com presença de sedimentos mais finos e canais fluviais tipicamente meandantes, com amplas áreas sujeitas a inundações, onde são frequentes os manguezais. Uma feição comum nessas planícies é a presença de colinas do embasamento pré-cambriano “afogadas” em meio aos sedimentos, resultante do recuo da escarpa da Serra da Bocaina e dos processos de agradação e espraçamento das planícies. O quadro 6 apresenta a classificação do relevo da bacia do rio Japuíba.

Quadro 6: Classificação geomorfológica das Unidades Morfoestruturais, Unidades Morfoesculturais e Unidades Geomorfológicas da área de estudo.

UNIDADE MORFOESTRUTURAL	UNIDADE MORFOESCULTURAL	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	PADRÃO DE RELEVO
Cinturão Orogênico do Atlântico	Planalto Residual	Planalto Reverso do Alto Vale do Rio Pirai	Domínio Serrano Colinas
	Escarpas Serranas	Escarpa Serra da Bocaina	Escarpa de Borda de Planalto; Colinas; Rampa de colúvio/depósito de tálus; Rampa de alúvio e colúvio; Morros Altos; Morros Baixos; Cristas Isoladas e Serras Baixas; Ilhas Costeiras.
Coberturas Sedimentares Quaternárias	Planícies flúvio-marinhas	Baixada da Baía da Ilha Grande	Planície de Inundação Várzea Planície Fluvio-marinha (brejos) Planície Fluvio-marinha (mangues)

Fonte: DANTAS (2001).

Os padrões de relevo escarpas de borda de planalto, morros altos, morros baixos, colinas, cristas isoladas, rampa de colúvio/depósito de tálus, rampa de alúvio e colúvio e ilhas costeiras encontram-se na Unidade Geomorfológica Escarpa Serra da Bocaina (Quadro 6). A Unidade Geomorfológica Planalto Reverso do Alto Vale do Rio Pirai divide-se nos padrões de relevo dos domínios serranos e das colinas. Já o baixo curso e a foz do rio Japuíba estão inseridos na Unidade Morfoestrutural Coberturas Sedimentares Quaternárias. Sendo classificado como uma Unidade Morfoescultural de Planície Fluvio-marinha e identificado como Unidade Geomorfológica da Baixada da Baía da Ilha Grande, com os padrões de relevo Planícies de Inundação várzea, brejos e mangues. Esses padrões de relevo estão representados na imagem da figura 10 e no mapa de padrão de relevo (Figura 11).

Figura 10: Padrões de relevo da bacia hidrográfica do rio Japuíba, sendo possível identificar a localização dos seguintes padrões de relevo: escarpas serranas, morro alto, morro baixo, planície de inundação/várzea e terraço fluvial.



Foto: T.M. Silva (out./2011).

A região da Costa Verde, localizada no sul do estado do Rio de Janeiro, apresenta um relevo complexo e acidentado, caracterizado pela presença marcante da Serra do Mar e sua abrupta transição para a planície litorânea. Essa dinâmica geomorfológica é resultado de uma longa história geológica e tectônica, influenciada por processos erosivos e deposicionais, além da atuação de fatores locais como a cobertura vegetal e a atividade humana.

Segundo Dantas (2001), a escarpa da Serra do Mar se estende amplamente pelo território fluminense, apresentando diversas feições morfológicas, desde a Serra da Bocaina, na divisa com São Paulo, até a serra do Imbé, próxima ao norte do estado. Conforme afirmam Asmus e Ferrari (1978), tanto os maciços costeiros quanto as escarpas das cadeias montanhosas da Serra do Mar resultaram do soerguimento e da inclinação de blocos falhados escalonados com orientação WSW-ENE. Almeida e Carneiro (1998) propõem que a escarpa da Serra do Mar é produto de um extenso retrocesso erosivo de uma antiga escarpa de falha originada junto à Falha de Santos, a partir do Paleoceno. As configurações morfológicas diversificadas dos escarpamentos são principalmente influenciadas por fatores litoestruturais, conforme os autores anteriormente citados. Desse modo, observa-se desde uma imponente barreira montanhosa até um degrau escarpado mais erodido devido à ação diferencial de processos tectônicos e erosivos ao longo do Cenozoico. Suas vertentes são íngremes, por vezes rochosas, e frequentemente cobertas por depósitos de tálus e colúvios. Os gradientes são elevados, e os topos são aguçados ou formam cristas alinhadas. A densidade de drenagem é alta, e o padrão de drenagem é predominantemente dendrítico a paralelo ou retangular. Apesar de apresentar alta suscetibilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, estes geralmente não são significativos onde a área é preservada com a manutenção da cobertura florestal existente, especialmente em terrenos mais íngremes e elevados. Contudo, as porções inferiores das

escarpas serranas são frequentemente desmatadas devido à expansão urbana no entorno da região da Costa Verde.

Dantas (2001) a subdivide a Escarpa da Serra da Bocaina em seis subunidades: escarpas das serras da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba; escarpas das serras das Araras e Paracambi; escarpas das serras do Couto e dos Órgãos; espigão das serras de Santana e Botija; escarpas das serras de Macaé, Macabu e Imbé; e a escarpa reversa da serra do Desengano. A Unidade Geomorfológica Escarpas das Serras da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba consiste em um imponente alinhamento serrano que se destaca como uma muralha montanhosa, elevada tectonicamente a mais de 1.000 metros de altitude. Esse escarpamento mergulha diretamente nas águas das baías da Ilha Grande e de Sepetiba por meio de costões rochosos, criando uma paisagem com diversas ilhas, cabos, sacos e enseadas que caracterizam o litoral sul fluminense, segundo Dantas (2001). Essa escarpa se estende continuamente desde a serra de Parati – um grande esporão que se projeta da escarpa principal da Serra da Bocaina e marca a divisa com o estado de São Paulo. Representa um importante segmento da cadeia montanhosa da Serra do Mar, que prossegue a oeste, no litoral norte de São Paulo.

A escarpa da Serra da Bocaina se caracteriza como um relevo de transição entre as áreas planas das estreitas baixadas fluviomarinhas que ocupam as reentrâncias do litoral sul fluminense e a zona de colinas e montanhas do planalto da Bocaina. Rios de planalto descem abruptamente a escarpa em direção ao fundo das enseadas e reentrâncias da baía da Ilha Grande, como os rios do Funil, Mambucaba, Bracuí e Ariró. Rios menores drenam exclusivamente a escarpa da Serra da Bocaina, como os rios Parati-Mirim, Perequê-Açu, da Barra Grande e do Frade, entre outros. Essa unidade é caracterizada por uma majestosa barreira orográfica, com altitudes em sua linha de cumeada variando entre 1.400 e 1.700 metros a oeste do rio Mambucaba, e entre 1.000 e 1.200 metros entre o rio Mambucaba e o colo da estrada Angra dos Reis-Lídice. Nesse trecho, destaca-se o Pico do Frade (1.589 metros). Vales estruturais com direção W-E (rios Pequeno, da Barra Grande e Mazomba) e SW-NE (Rio do Saco) indicam um controle estrutural relativo no processo de dissecação diferencial da escarpa, que ainda apresenta um aspecto monolítico, apesar da ocorrência de colos bastante rebaixados em trechos específicos. Acima da cota de 100 metros, toda a escarpa a oeste do rio Mambucaba pertence ao Parque Nacional da Serra da Bocaina. No entanto, as baixas vertentes desse escarpamento sofreram forte impacto devido à construção da rodovia Rio-Santos (BR-101) na década de 1970. A implantação da rodovia acelerou o crescimento urbano das antigas vilas de pescadores e a proliferação de condomínios de alta renda, impulsionada pelo desenvolvimento de atividades turísticas e do setor industrial ligado à indústria naval e às usinas nucleares, em detrimento das

atividades portuária e pesqueira. Consequentemente, os processos de movimentos de massa, comuns na região, foram intensificados pela abertura da rodovia e pela expansão da malha urbana de Angra dos Reis.

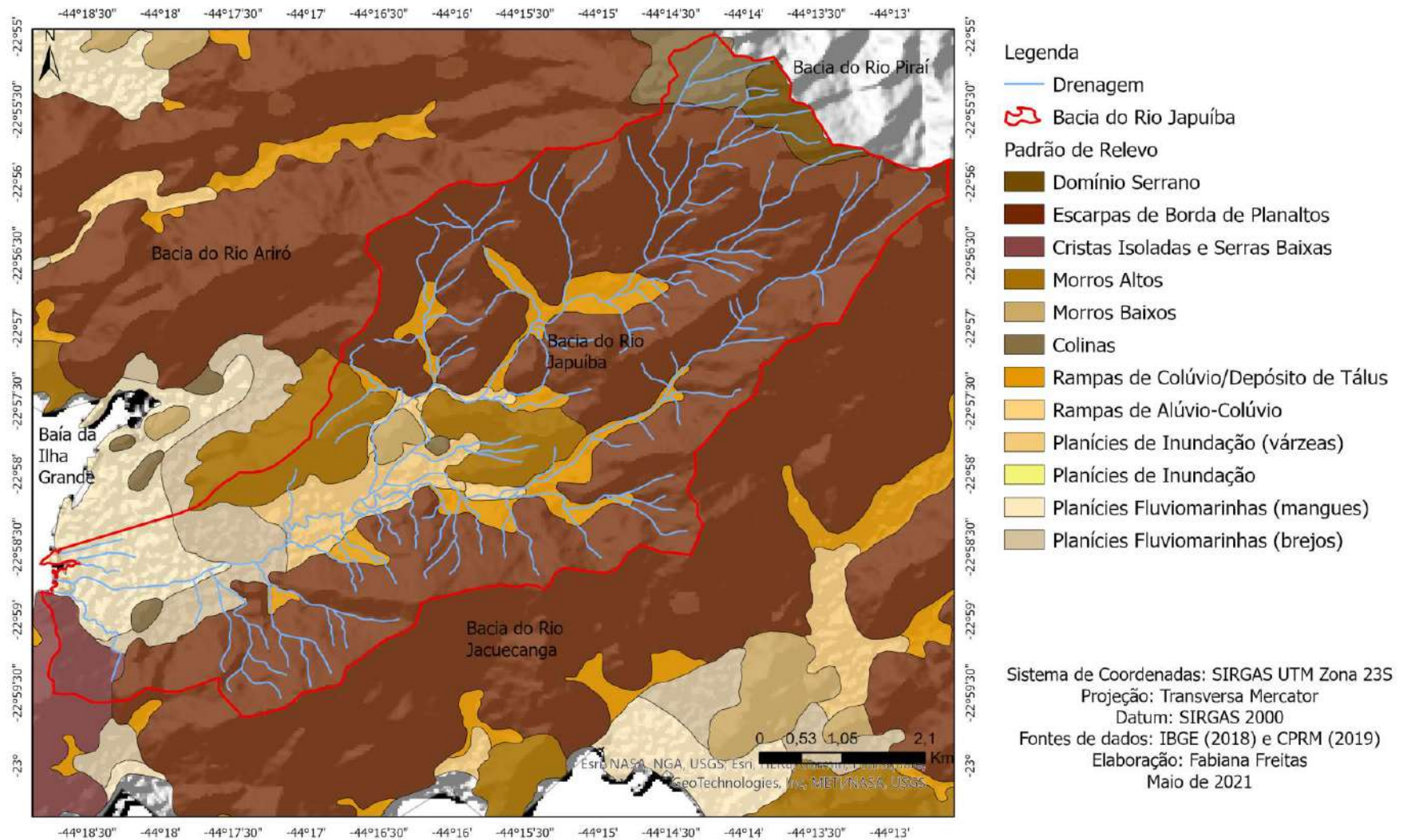
Segundo o mapeamento Geomorfológico do estado do Rio de Janeiro (DANTAS, 2001), a Unidade Morfoescultural Planícies fluviomarinhas abrange um conjunto de baixadas aluviais, planícies fluviomarinhas e fluviolagunares que preenchem extensas áreas deprimidas próximas ao litoral, como as baixadas de Sepetiba, da Guanabara e Campista. Incluem também os baixos cursos dos principais rios que deságuam diretamente no oceano, como os rios São João, Macaé e Itabapoana. Essas baixadas são caracterizadas pela sedimentação na interface entre ambientes continentais e marinhos ou de transição. As planícies fluviomarinhas se originaram das flutuações do nível relativo do mar desde o Pleistoceno Superior. Desde então, registraram-se pelo menos dois máximos transgressivos associados a períodos interglaciais: a penúltima transgressão, datada de aproximadamente 120.000 anos A.P. (Pleistoceno Superior), e a última, datada de aproximadamente 5.100 anos A.P. (Holoceno) (Martin & Suguio, 1989; Martin et al., 1997). Entre os dois máximos transgressivos, encontram-se testemunhos de antigos cordões arenosos e terraços fluviais de idade pleistocênica, não erodidos pela transgressão holocênica.

A Unidade Geomorfológica Baixadas da Baía da Ilha Grande consiste em pequenas áreas de acumulação fluviomarinha comprimidas pelas vertentes íngremes da escarpa da serra da Bocaina, situando-se no côncavo de enseadas e reentrâncias do litoral recortado do sul fluminense, geralmente associadas a desembocaduras fluviais. Essas estreitas planícies fluviomarinhas ocorrem ao longo do litoral sul fluminense, entre as localidades de Parati e Muriqui, sendo frequentemente interrompidas por extensos costões rochosos que mergulham diretamente nas baías da Ilha Grande ou de Sepetiba. Essas planícies fluviomarinhas geralmente apresentam, junto à linha de costa, significativas áreas de manguezais e, na retaguarda, extensas áreas de brejos e baixadas aluviais, como observado no fundo das baías de Parati, da Ribeira e de Mangaratiba. Também são encontrados pequenos cordões arenosos, como os da desembocadura do rio Mambucaba, ou na praia do Sul, situada na vertente oceânica da Ilha Grande. Entre as mais importantes planícies fluviomarinhas do litoral sul fluminense, destacam-se, na baía de Parati, as baixadas dos rios Perequê-Açu, Pequeno e da Barra Grande, onde se situam os núcleos urbanos de Parati e São Roque; a baixada do rio Mambucaba, onde se localiza a vila operária de Mambucaba; na baía da Ribeira, as baixadas dos rios Bracuí, Ariró e Japuíba, onde se situam o núcleo urbano de Frade e a periferia de Angra dos Reis; na baía de Mangaratiba, as baixadas dos rios Ingaíba e do Saco. Registram-se também baixadas menores, onde se situam os núcleos urbanos de Monsuaba, Jacuecanga e Muriqui, este último na Baía de

Sepetiba. Com a implantação da rodovia Rio-Santos (BR-101), verificou-se um rápido aumento da expansão da malha urbana sobre essas baixadas e de empreendimentos imobiliários com fins turísticos, descaracterizando a vegetação original dessas planícies e aterrando áreas de mangue.

A ocupação da planície fluviomarinha (mangue) de Japuíba, na periferia de Angra dos Reis, é um exemplo relevante dessa situação, configurando-se como uma área de risco de enchentes e degradação ambiental.

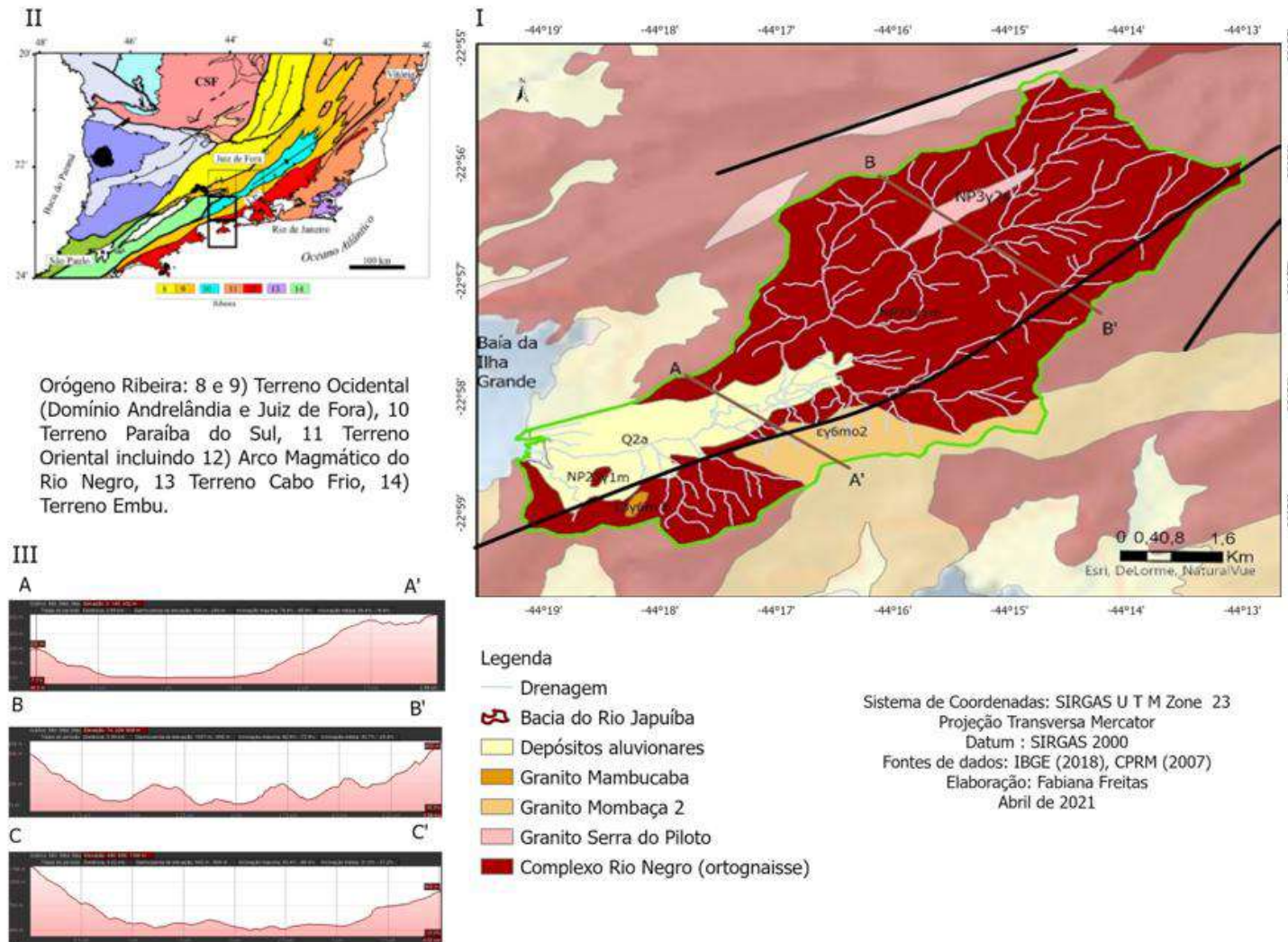
Figura 11: Mapa de Padrões de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Japuíba. Modificado de: CPRM (2019).



De acordo com o Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía de Ilha Grande (INEA, 2015), grande parcela das rochas existentes na bacia tem relação com o sistema orogenético da Faixa da Ribeira. Segundo Heilbron *et al.* (2004), o referido sistema foi formado entre as Eras Proterozoica (de 2,5 bilhões a 541 milhões de anos atrás) e Paleozoica (de 542 a 241 milhões de anos atrás), durante a Orogênese Brasileira - evento marcado por sucessivas colisões continentais, resultando em um empilhamento dos terrenos Orientais e Ocidentais. Na figura 12-I está representada a geologia da bacia do rio Japuíba compilada do mapeamento geológico do CPRM (2019), onde pode-se constatar significativa presença do granito Mambucaba ($\epsilon\gamma 6mo2$), granito Serra do Piloto (NP3 γ 2s), granito Mombaça ($\epsilon 3\gamma 6m b$), depósitos aluvionares (Q2a) e unidade Rio Negro (NP23 γ 1m). Segundo o PRH-BIG (2019) observa-se o predomínio de rochas como granitos, biotita granito, granito porfirítico e ortognaisses que afloram nos costões, cachoeiras e paredões rochosos das escarpas. Também foram mapeadas pelo CPRM (2019), falhas de contornos, relacionadas as intrusões graníticas, originados devido à tectônica mesozoica-cenozoica (de 241 a 65 milhões de anos atrás) na região da Ilha Grande.

Através do perfil topográfico A-A' (Figura 12-III), é possível identificar a planície do rio Japuíba e a diferença topográfica para o Complexo rio Negro com um declive mais suave do que outros pontos da bacia. O perfil topográfico B-B', localizado na área de falha, é possível identificar o relevo bastante escarpado, com vale linear a falha e característico de bacias com intenso controle tectônico. O perfil C-C', localizado à montante da bacia, observa-se maiores altitudes nos divisores da margem direita da bacia, com a presença de escarpas, enquanto próximo à margem esquerda ocorre a presença de altitudes menores.

Figura 12: **I** - Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Japuiba; **II** - Recorte do mapa tectônico da região Sudeste do Brasil, segundo Heilbrom et al. (2004); **A-A'**, **B-B'** e **C-C'** - perfis topográficos transversais a bacia do rio Japuiba.



Em termos de declividade, a bacia do rio Japuíba apresenta grande variabilidade, com declividades bastante baixas, principalmente, nas áreas das planícies que contornam a Baía da Ilha Grande, e valores superiores a 70° que ocorrem, principalmente, nos trechos escarpados. Na figura 13 pode-se observar o predomínio de declividades entre as classes de 21° a 30° (32,1%) e de 11° a 20° (29,1%), seguido de declividades menores do que 10° (22,5%), especialmente, nas proximidades da foz do rio. Existem, ainda, pequenos trechos com declividades entre 41° a 59° (1,1%), correspondente às feições muito escarpadas.

Estudos morfotectônicos referentes ao controle estrutural, desenvolvidos por Gontijo (1999) e Hiruma (2007), na Serra da Bocaina apontaram para a relação existente entre estruturas tectônicas reativadas na evolução do relevo. Os lineamentos de relevo identificados para a bacia em estudo (Figura 13) sugerem que falhas normais deram origem as escarpas voltadas para o litoral, com *fronts* lineares e escalonados, sendo as linhas de cristas orientadas preferencialmente para ENE, NE e NNE. A presença de lineamentos sugere ainda falhas com componentes direcionais e imprimem no relevo feições formadas ao longo do traço do lineamento, onde a falha desloca feições topográficas, movendo lateralmente uma sequência de cristas.

Segundo Silva; Gontijo-Pascutti (2002), os lineamentos de drenagem na área do município de Angra dos Reis, tanto para a porção continental quando para a linha de costa, são coincidentes com as orientações das estruturas rúpteis observadas em medidas no mapa de lineamentos, com direções que variam entre NE e ENE. Na bacia em estudo pode ser observado pela roseta de frequência dos lineamentos de relevo (C) da figura 14 que estas direções são mesmo as preferenciais.

Segundo Winge (2001) um lineamento pode ser uma feição isolada ou um conjunto de feições topográficas, de drenagem ou de variação de tonalidade em imagem ou em mapa topográfico. Qualquer uma dessas feições podem se apresentar como um alinhamento e refletir elementos tectônico-estruturais, como direções de camadas, de xistosidade, de falha, de cinturão de cisalhamento e/ou de sistema de fraturas.

A figura 13 permite observar, ainda, a presença de um *trend* de lineamentos NW-SE cruzando a porção central da bacia e que coincide com a divisão na qual se inicia o domínio agradacional em direção a jusante, onde os canais do rio Japuíba convergem, e no trecho em que há presença de inflexões do canal principal bem marcadas. Essa característica acaba por definir e subdividir a bacia em dois compartimentos principais.

Segundo Corrêa; Fonseca (2010), os lineamentos não se restringem a apenas um tipo de movimento tectônico ao longo de toda sua extensão ou durante o decorrer dos diferentes ciclos ou fases tectônicas que afetaram uma determinada área. Dessa forma, a partir da extração dos

trechos retilíneos de relevo e da drenagem (Figura 13), pode-se obter o direcionamento das principais feições estruturais da área; e, assim, é possível estabelecer correlações entre as feições retilíneas na caracterização morfoestrutural da área com possíveis reativações neotectônicas. Os mesmos autores ressaltam que uma zona de falha pode dar origem a vários lineamentos paralelos a subparalelos, ou vice-versa, ou seja, várias fraturas associadas a uma zona de falha podem dar origem a apenas um lineamento distinguível nas imagens de satélites.

O mapa de lineamento de drenagem (Figura 13B) apresenta uma certa heterogeneidade com as maiores concentrações no médio vale e nas áreas da cabeceira dos rios Japuíba e Cabo Severino. O setor inferior da bacia apresenta redução na quantidade de lineamentos, que se destaca por uma quantidade muito pequena de lineamentos na margem direita.

Na observação da roseta de lineamentos de drenagem (Figura 14 B), percebe-se que a distribuição da frequência por intervalo angular é diferente no que se refere distribuição dos lineamentos de relevo (Figura 14 A), com a ocorrência de lineamentos em todas as direções, contudo percebe-se que há uma maior frequência de lineamentos no quadrante NW, principalmente nas direções NW e WNW, e apresenta, ainda, uma concentração de lineamentos na direção NE, coincidindo com os lineamentos de relevo. Isso denota que grande parte dos lineamentos de drenagem (do quadrante NW) foram possivelmente influenciados pelo *trend* de lineamentos NW-SE que cruza a porção central da bacia. Levando-se em conta o regime de tensão neotectônica, esta coincidência dos traços pode indicar possíveis reativações neotectônicas de antigos lineamentos.

Figura 13: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação dos Lineamentos do relevo (A) e Lineamentos de drenagem (B)

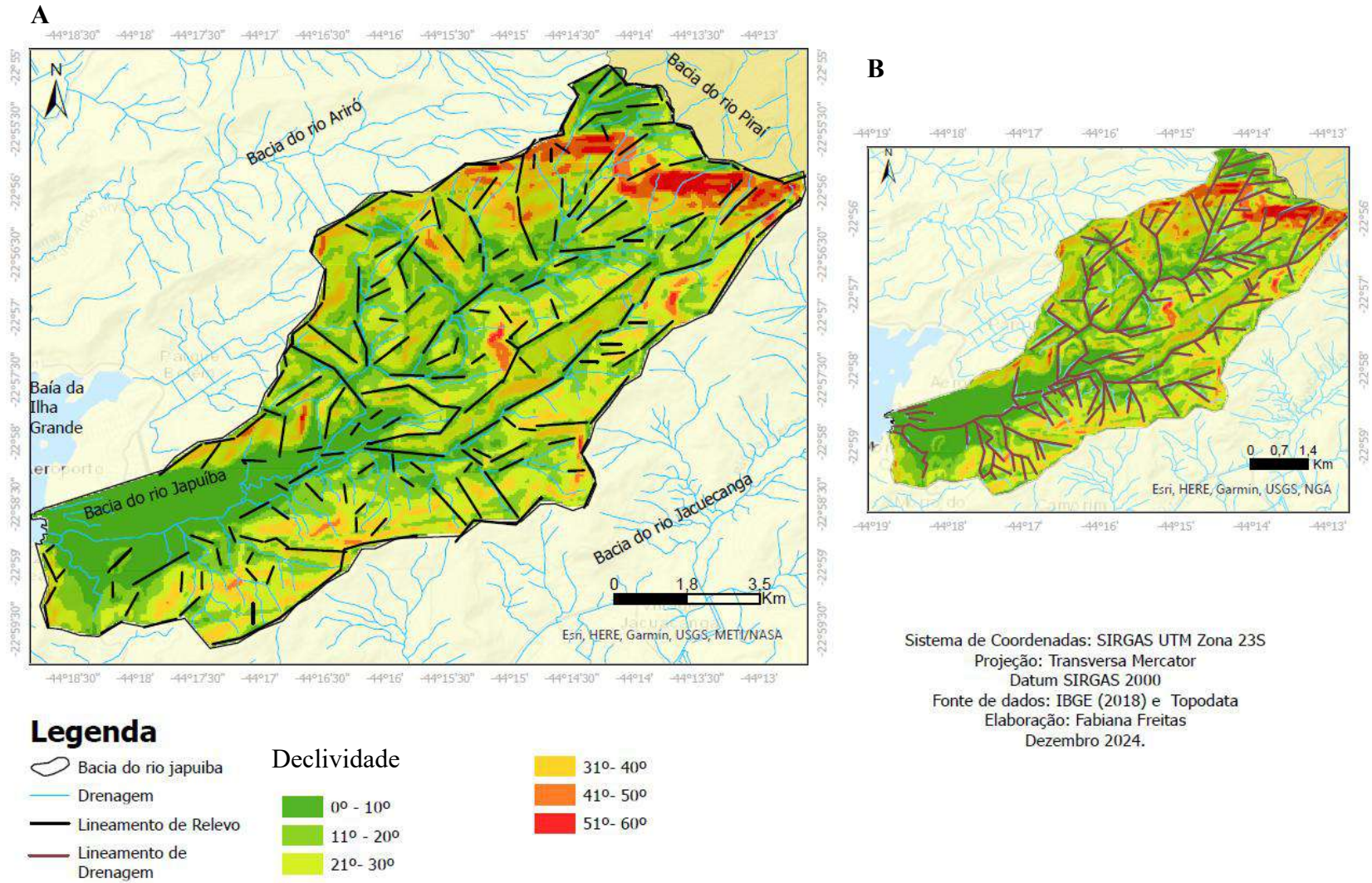
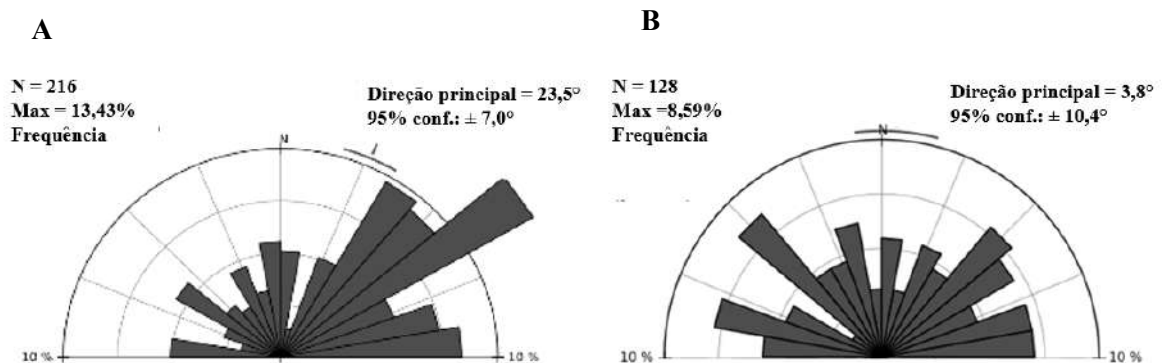


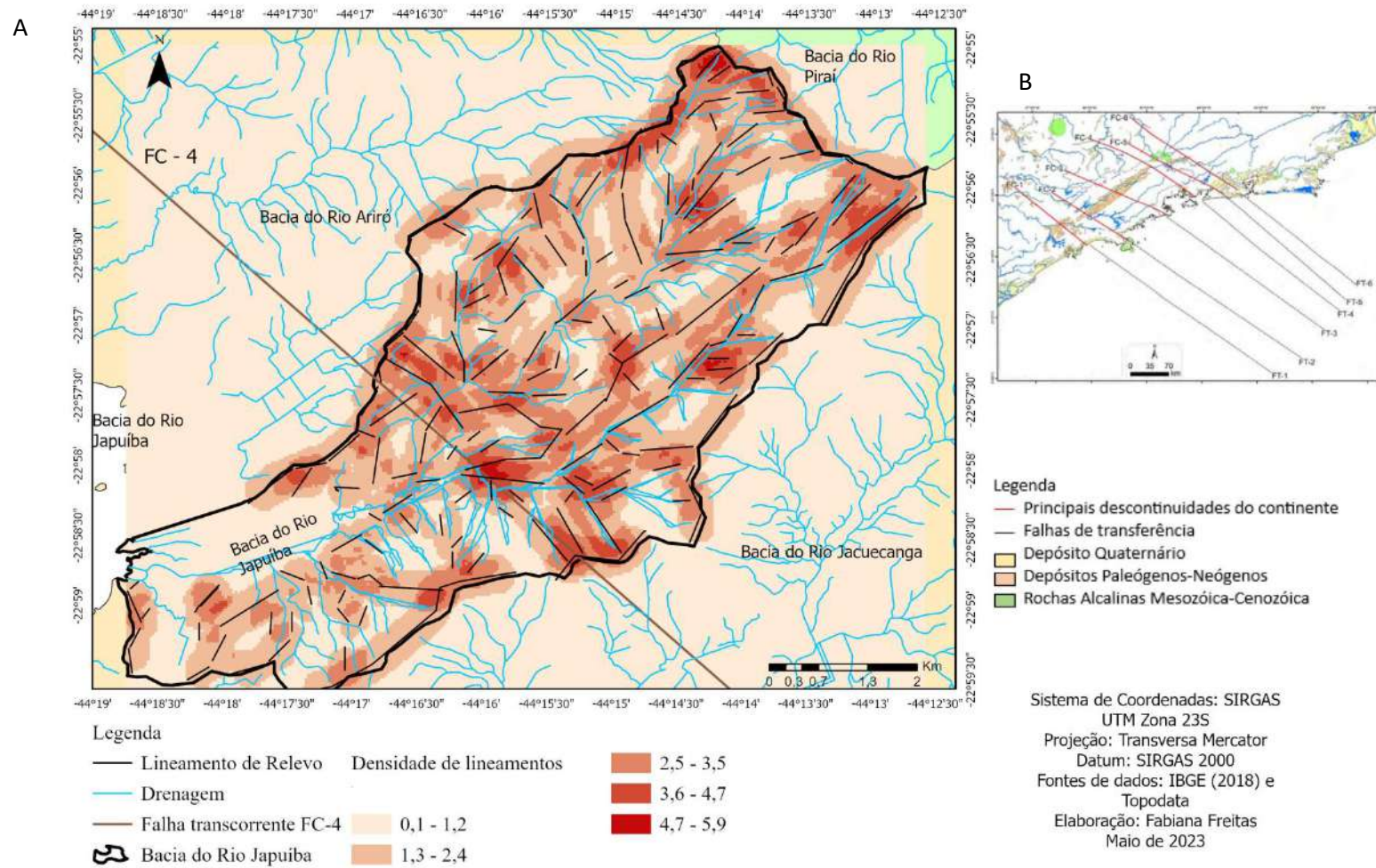
Figura 14: Rosetas de lineamentos. **A** – Roseta de frequência de relevo e **B** – Roseta de frequência de drenagem.



O trabalho realizado por Souza (2008) mapeia as falhas de transferência que cortam a bacia de Santos e, conseqüentemente, podem cruzar a Bacia do rio Japuíba. De acordo com os trabalhos de Gibbs (1984; 1990) e Zalán (1986a; 1986b), as falhas de transferência / falhas transcorrentes, cujos *trends* são praticamente perpendiculares à direção geral da faixa tectônica em que se situam, deslocam segmentos de falhas normais ou inversas no SE do Brasil. Desse modo, na bacia em estudo essas falhas deslocaram blocos para lados opostos, sendo a movimentação principal definindo um ambiente tectônico puramente distensivo. Segundo Souza (2008), os processos que levaram ao soerguimento das serras do Mar e da Mantiqueira, bem como a formação de um rifte nesta margem “passiva”, evoluiu para ampla bacia de margem “passiva”, a Bacia de Santos. As discontinuidades geradas são sistemas distensivos, com falhas normais sintéticas e antitéticas, falhas de transferência / transcorrentes e, localmente, inversas.

O mapa de densidade de lineamentos, apresentado pela figura 15B, corrobora com a intensa concentração de lineamentos coincidentemente onde ocorre a presença da discontinuidade continental (FC4) proposta por Souza (2008) (Figura 15A). Esta discontinuidade FC4 passa justamente pela Ilha Grande e, no interior, coincide com o alto estrutural referido como “Soleira de Queluz”, que separa as bacias de Taubaté e Resende. Esse alto estrutural foi controlado por sistemas de falhas NW (RICCOMINI, 1989). E, em direção à Bacia de Santos, a discontinuidade FC4 se projeta na falha de transferência FT-4 (Figura 15A). Em síntese, essa falha coincide com o lineamento reconhecido para a bacia em estudo e a compartimenta, delimitando a área com predomínio de planícies e onde ocorrem deslocamentos abruptos/inflexões no eixo de canais de drenagem principais (tanto no rio Japuíba quanto no rio Cabo Severino).

Figura 15: **A** – Mapa de densidade de lineamento de relevo da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação dos lineamentos do relevo e a falha mapeada em **B** reconhecida por FC-4. **B** – Mapa de integração em ambiente SIG das principais discontinuidades do continente com as falhas de transferência identificadas. Fonte: SOUSA (2008).



Em relação à composição pedológica, a bacia apresenta ocorrência de Cambissolos, Latossolos, Neossolos e solos indiscriminados de mangue, conforme informações do Relatório de Caracterização Física e Biótica (PRH-BIG, 2019) e do Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía de Ilha Grande (INEA, 2015). A diversidade desses solos contribui para a sustentação de uma rica fauna e flora, especialmente no alto curso da bacia, onde predominam significativas áreas de florestas do bioma Mata Atlântica. O estágio médio a avançado de regeneração dessa floresta secundária está, em geral, associado à existência do Parque Estadual Cunhambebe e da Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia Hidrográfica do Rio Japuíba.

Entretanto, em seu baixo curso, a situação de conservação da cobertura florestal – particularmente dos manguezais – e dos próprios recursos hídricos e solos é precária. Observa-se a presença de focos de poluição hídrica resultantes do descarte irregular de esgoto doméstico, o que interfere diretamente na qualidade da água e compromete a biodiversidade local.

A APA do rio Japuíba, criada pela Lei Municipal nº 1.888/2007 e modificada pela Lei Municipal nº 2.332/2010, tem como objetivos: proteger e conservar os mananciais; regular o uso dos recursos hídricos e o parcelamento do solo, garantindo o uso racional dos recursos naturais e proteger remanescentes de floresta atlântica. Trata-se de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável localizada no Bioma Mata Atlântica que engloba uma área total de 2.711Ha considerados ainda como bem preservados, onde se localizam as nascentes e os principais afluentes dos rios Japuíba e Cabo Severino, responsáveis pelo abastecimento de água à população pelos sistemas Banqueta, que atende entre 10 mil e 15 mil habitantes, totalizando cerca de 60% da população de Angra dos Reis.

Segundo o relatório do PRH-BIG, o clima predominante da área é do tipo tropical quente e úmido e está ligado à existência da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica. Com um índice de precipitação elevado, apresentando médias entre 2.000 mm/ano e 3.000 mm/ano e temperaturas médias anuais que se situam na faixa dos 20°C a 28°C, com máximas médias anuais variando de 35°C a 40°C e mínimas de 10°C a 15°C associadas à própria variabilidade altimétrica. O relevo acidentado da região exerce, portanto, grande influência nas características climáticas locais, contribuindo para variações de temperatura entre as localidades mais próximas ao mar e aquelas no alto da serra, além da topografia elevada funcionar como um “paredão” que retém a umidade provinda do oceano provocando intensificação das chuvas, podendo causar grandes volumes pluviométricos.

Outro fator que favorece a pluviosidade é a forte umidade do ar provocada pela presença da Mata Atlântica, que aliada às altas temperaturas desencadeiam os fortes eventos chuvosos. Essas condições naturais e o acelerado processo de ocupação desordenada, sem provimento

adequado de redes de escoamento de águas pluviais e esgotamento sanitário, agrava ainda mais o quadro de instabilidade e de degradação ambiental local. Segundo o PRH-BIG (2019), no município de Angra dos Reis há 75 áreas identificadas como de alto ou muito alto risco a movimentos de gravitacionais de massas e alagamentos, das quais 31 estão localizadas na Bacia do Japuíba e estão sujeitas a riscos geológico-geomorfológicos classificados como deslizamentos, corrida de detritos, rolamentos de blocos e rastejo.

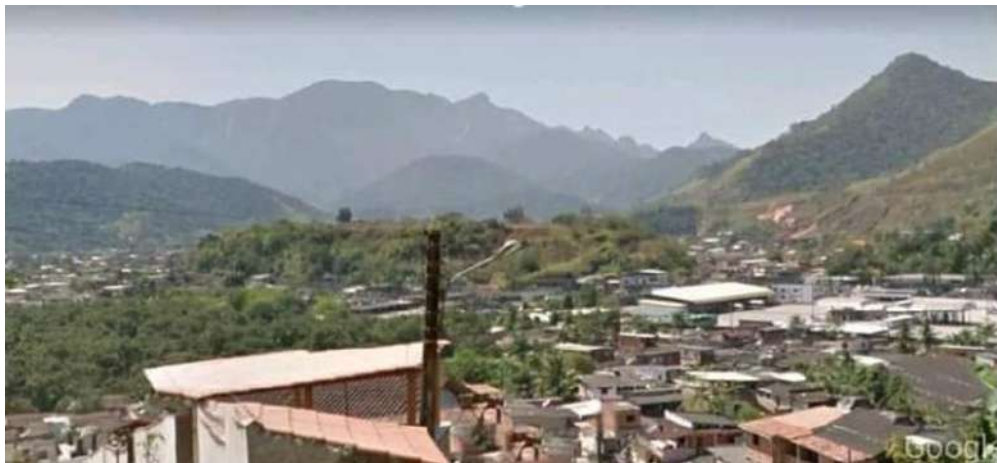
Braga (2005), afirma que sobre esses terrenos marcados pelos contrastes entre serras e planícies fluviais e fluviomarinhas, o quantitativo de população de Angra dos Reis se manteve praticamente estável até a metade da década 1940, com a maior parte residindo na área rural, pois as principais atividades econômicas estavam baseadas no setor primário, principalmente, a pesca e a agricultura. Já, ao final da década de 50, com a instalação do estaleiro Verolme, o município foi inserido nos projetos nacionais, desenvolvido a partir do Plano de Metas de Juscelino Kubitschek. E, assim, esse empreendimento abriu frente para novos projetos como a usina Nuclear, o Terminal Tebig da Petrobrás e a Rodovia Rio-Santos (BR-101) que deram impulso à ocupação municipal, inclusive, estendendo-se para a BH Japuíba, e gerando conflitos socioambientais. Essa ocupação intensiva foi resultado do fato de que ao terminar a maior parte das obras, muitos operários permaneciam no local à espera de novas oportunidades e, como não podiam pagar o valor do aluguel elevado no núcleo central, passavam a dirigir-se para o seu entorno, no caso à antiga fazenda Japuíba. Conforme pode-se observar nas imagens das figuras 16 e 17, a ocupação ocorreu de forma irregular e rápida, já que era necessário garantir o direito de morar e, assim, áreas de manguezais e de Mata Atlântica foram invadidas por uma população de baixo poder aquisitivo que construiu moradias em áreas sem nenhuma infraestrutura, conforme afirma Braga (2005).

Figura 16: Imagem da bacia do rio Japuíba na década de 1960, onde é possível observar a pouca ocupação urbana.



Fonte: Grupo Túnel do tempo Angra.

Figura 17: Imagem da bacia do rio Japuíba no ano de 2018, onde é possível observar o adensamento urbano na planície do rio Japuíba.



Fonte: Grupo Túnel do tempo Angra.

Já no início da década de 1980, a crise era iminente com a queda da produção industrial, aumento da inflação, disparo da dívida externa e, consequentemente, o aumento do desemprego. A cidade de Angra dos Reis e, juntamente, o bairro Japuíba, sentiram os efeitos dessa crise, já que nesse período o final das obras de Angra I, somado à redução do quadro de funcionários da indústria naval, agravaram as condições habitacionais no município. Um grande contingente de força de trabalho se direcionou para Japuíba à espera de um novo emprego, aumentando a

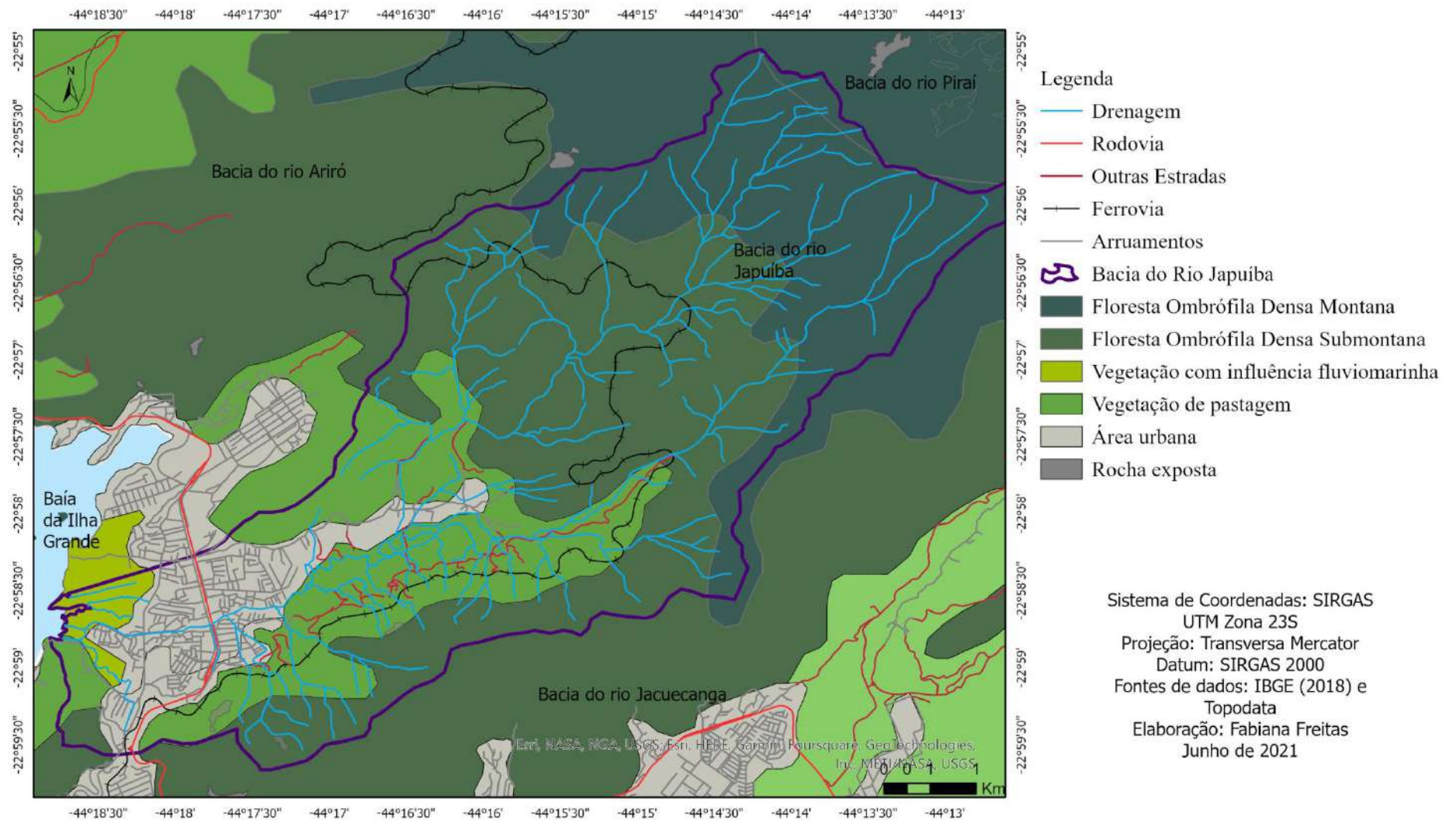
pressão demográfica sobre os recursos naturais ali existentes e modificando sistematicamente a situação ambiental.

No final da década de 1980, a especulação imobiliária passou a ver o baixo curso da bacia Japuíba como uma alternativa a construção de condomínios exclusivos, de marinas e toda uma gama de serviços visando atender casas de temporada, tendo destaque para a construção de um aeroporto para utilização de pequenas aeronaves particulares.

Atualmente, a planície do rio Japuíba se configura como uma área de intenso crescimento urbano (Figura 18), representando um novo núcleo central do município com a presença de várias instituições de ensino públicas e particulares, com uma grande base de armazenamento de água, além da captação e da barragem do rio Banqueta para o abastecimento da região central do município. É notável o aumento da quantidade de sítios e fazendas que são voltados para o turismo e o lazer e para uma pequena produção agropecuária. Mesclando a presença do moderno e do antigo com a presença da linha férrea do Antigo Trem da Mata Atlântica e instalações modernas como o atual aeroporto com voos comerciais para o Rio de Janeiro e São Paulo. Na referida bacia está localizada ainda a Unidade de Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil da Prefeitura Municipal de Angra dos Reis, na qual são processados agregados triturados de resíduos da construção civil.

Pela figura 18 observa-se que a bacia é fortemente marcada pela presença da floresta Submontana (31% da área total) e Ombrófila Densa (20% da área total), seguida pela presença área de pastagem (28%) e de mangue (4%) que estão sendo pressionadas pela área edificada que já ocupa 17% e que vem ampliando nos últimos anos, inclusive, sendo denominada como a Grande Japuíba. Há, ainda, uma cobertura vegetal de campos e macega e, ainda, rochas expostas derivada de processos de movimentos gravitacionais de massa; bem como ausência da vegetação de mangue devido a sua total destruição relacionada ao processo de ocupação na foz do rio Japuíba.

Figura 18: Mapa de cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica do rio Japuiba.



4.1 Cenário atual dos estudos socioambientais desenvolvidos na bacia do rio Japuíba

Os principais estudos coligidos sobre a bacia do rio Japuíba estão voltados para o uso e a ocupação dos solos e àqueles relacionados à questão de risco socioambiental no município de Angra dos Reis. Autores como Francisco (2004), Francisco; Carvalho (2004) e Sangalli *et al.* (2020) produziram trabalhos ligados à gestão sustentável de recursos hídricos e sua relação com o processo de ocupação.

Francisco (2004) avaliou a capacidade de suporte hídrico das regiões hidrográficas de Angra dos Reis, identificando a desigual distribuição espacial de população e das águas superficiais. No que tange a desigualdade municipal, a “região Japuíba”, formada pelos sistemas Cabo Severino e Banqueta, atualmente, se encontra em situação crítica, entrando em colapso nos períodos de estiagem durante o inverno. Dentre os parâmetros analisados pela autora, o mais afetado é a qualidade hídrica, apresentando um indicador de suporte sete vezes menor do que o da disponibilidade hídrica. E em relação à demanda hídrica da “região Japuíba”, de 14 mil m³/dia, é a maior do município, pois destina 80% da captação ao atendimento da população residente nos bairros aí situados, e na região vizinha “Centro”, segundo Francisco (2004).

Procurando discutir a necessidade de mudança de paradigma na gestão da água, dentro do contexto de escassez e declínio de qualidade dos recursos hídricos no município de Angra dos Reis, Francisco; Carvalho (2004) analisam a situação da disponibilidade de água e do crescimento populacional nas diversas escalas em que o assunto deve ser administrado, à luz da nova legislação, finalizando por enfatizar a importância das pequenas bacias hidrográficas no fornecimento de água para as cidades de médio e pequeno porte. As autoras classificam as bacias hidrográficas no município de Angra dos Reis situadas na faixa continental quanto às suas características fisiográficas e de localização como: a) bacias de média extensão (apresentam área variando entre 67 e 730km², com nascentes localizadas no planalto da Bocaina e a uma altitude superior a 1.500m); bacias de pequena extensão (área entre 12 a 70km², com as nascentes a uma altitude de 1.000m) e bacias muito pequenas (área inferior a 12km², e estão localizadas nas encostas próximas ao litoral e nos costões litorâneos), conforme apresentados tabela 2.

Tabela 2: Bacias hidrográficas do município de Angra dos Reis.

TIPO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	MÉDIA DE ALTITUDES MÁXIMAS (M)	FAIXA DE INCLINAÇÃO	ÁREA TOTAL MUNICIPAL (KM²)
A – Média extensão	1500	7° a 13°	272
B – Pequena extensão	1000	14° a 18°	154
C – Muito pequenas	300	7° a 17°	140

Modificado de: FRANCISCO; CARVALHO (2004).

Dentro dessa classificação, a bacia do rio Japuíba foi enquadrada dentro do “Tipo B - bacias de pequena extensão”, com área total de 38,4 km² e nascentes localizadas a altitudes de, aproximadamente 1.000m.

Segundo a Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (PMAR, 1999), do total de residências do município, cerca de 40% são abastecidas pelo sistema de Japuíba, único existente em parceria com a Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE). Os demais abastecimentos são realizados da seguinte forma: 40% por outros sistemas da prefeitura; 18% por sistemas particulares, pertencentes a condomínios, hotéis, vilas de funcionários de empresas (Furnas, Tebig, Verolme etc.); e os 2% restantes da população não usufruem de água distribuída pela rede municipal. As autoras chamam atenção ainda para o fato de que a taxa de crescimento demográfica do município, aliada a ocupação desordenada do solo, com ocupação das encostas e degradação da Mata Atlântica, podem afetar diretamente as condições ambientais e proporcionando um superávit hídrico no município.

Corroborando com esta linha de raciocínio, Sangalli *et al.* (2020) afirmam que o crescimento desordenado nas áreas urbanas em Angra, com aumento de 59,5% da população em 19 anos, tem ocasionado sérias alterações como a ocupação nas áreas de proteção ambiental, afetando diretamente a conservação do solo, preservação de florestas e recursos hídricos, sendo bacia do rio Japuíba, infelizmente, um exemplo claro deste processo. Através dos mapas de declividade, de uso e ocupação do solo e de restrições legais à ocupação urbana na bacia do rio Japuíba, a autora conclui que o relevo predominantemente acidentado da bacia já possui 65% de áreas ocupadas ilegalmente. A população acaba ocupando áreas com restrições, tais como encostas e áreas inundáveis, devido também à ação do turismo na cidade que privilegia os terrenos mais favoráveis à construção de condomínios de luxo, resorts e hotéis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da presente pesquisa de doutorado iniciam-se pelas análises que levaram a avaliação dos componentes tectônico-estruturais, investigados pela configuração dos padrões e anomalias de drenagem. Em seguida, será apresentada as informações coligidas a respeito da reconstituição paleoambiental da bacia, realizada através de levantamentos sedimentográficos em terraços fluviais e reconstituição dos eventos estratigráficos quaternários. O subitem seguinte refere-se às informações sobre a dinâmica dos processos atuais dos cursos principais do rio Japuíba, alcançadas a partir do estudo da conformação de vales e de estilos fluviais e, por fim, será apresentada a análise das alterações contemporâneas da paisagem realizada através do reconhecimento e mapeamento de feições de relevo tecnogênicas e que procuraram mostrar como a bacia de drenagem tem sido alterada pela ação da agência humana.

5.1. Análise da rede de drenagem e inferências tectono-estruturais

Padrões de drenagem

As estruturas tectônico-estruturais existentes em uma bacia hidrográfica geram modificações na configuração da paisagem, através de um conjunto de processos geodinâmicos endógenos e influenciam em diversos aspectos do terreno como, por ex., no padrão das formas dos canais fluviais. Segundo Guerra; Cunha (2001), uma bacia hidrográfica pode englobar diferentes padrões geométricos em seus rios e como a padronagem geométrica pode-se relacionar com o ambiente geológico e climático local torna-se possível, através do estudo desses padrões, interpretar a natureza dos terrenos, a disposição das camadas alinhadas e da existência de linhas de falha.

Para Horton (1945), os padrões de drenagem são referidos como básicos e modificados, onde padrões básicos referem-se àqueles em que suas propriedades são bem particulares e diferem fundamentalmente de outro padrão. Já padrões de drenagem modificados são aqueles que possuem alguma variação nas propriedades de um padrão básico.

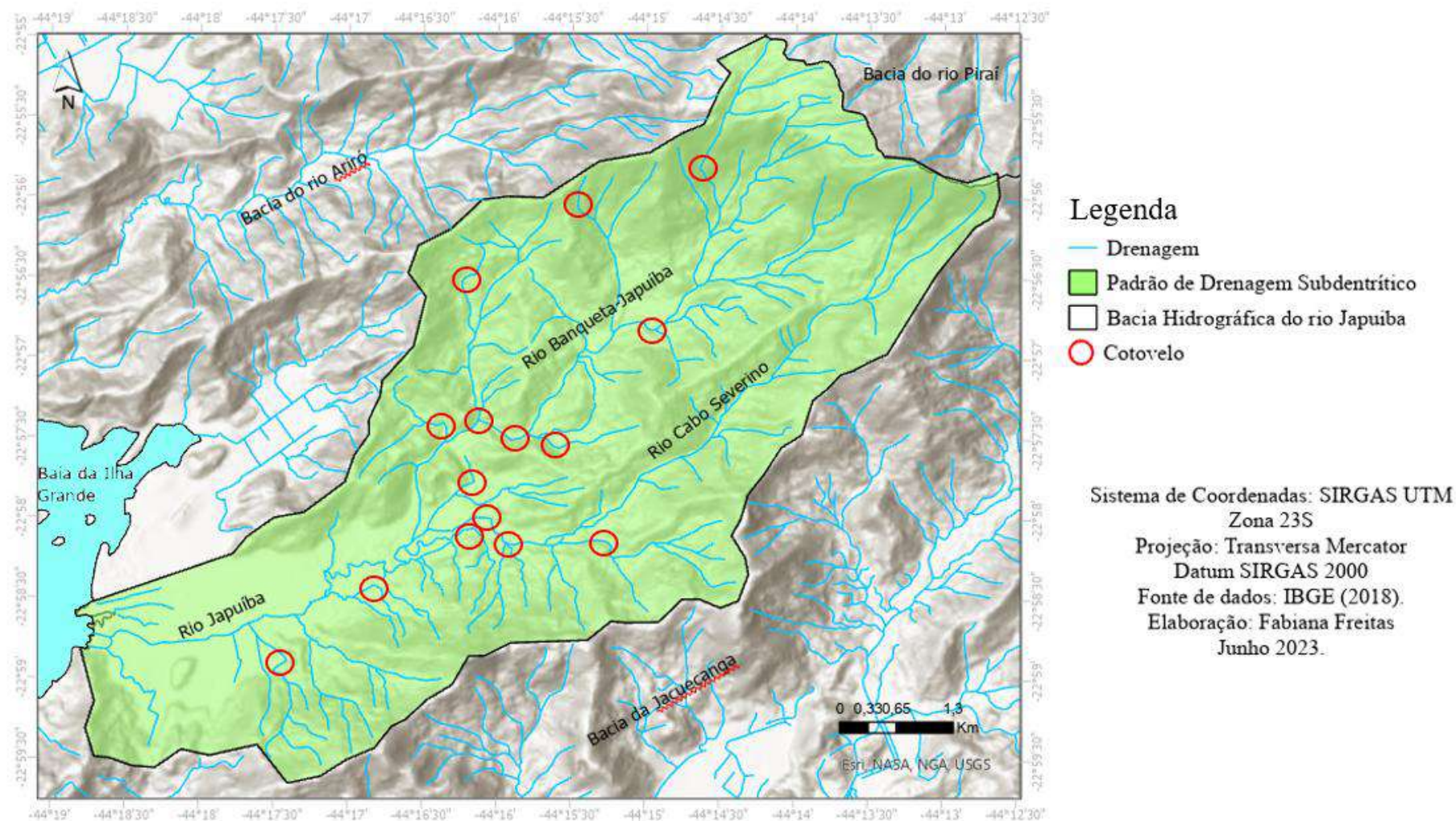
A bacia do rio Japuíba drena diretamente para a Baía da Ilha Grande e apresenta padrão de drenagem subdendrítico em toda sua extensão, porém é notável que a confluência entre os afluentes e o canal principal encontra-se próximo a 90°, portanto, indicando condicionamento dado pela estrutura geológica, como pode ser observado na figura 19. Segundo Christofolletti (1980), esse tipo de drenagem se localiza em áreas onde há a presença de vertentes com declividades acentuadas e presença de controles estruturais. Um exemplo de controle estrutural na bacia analisada refere-se à presença da

falha já mapeada (Figura 12) de orientação NE-SW e por onde o leito do rio Cabo Severino se encaixou.

As sub-bacias localizadas à margem, que confluem para o rio Japuíba propriamente dito, apresentam aspecto típico no arranjo da rede de drenagem dentro do padrão dendrítico, onde os ramos formados pelas correntes tributárias distribuem-se em várias direções e se unem formando ângulos agudos; no entanto, a existência de muitas mudanças abruptas, com inflexões no canal principal, são traços que mantêm a classificação como sendo de padrão subdendrítico.

Pode-se observar, pela análise do padrão de drenagem, a distinção entre as margens da bacia, onde na margem esquerda o controle tectono-estrutural é muito mais perceptível (Figura 19).

Figura 19: Rede de drenagem da bacia do rio Japuíba com marcações das feições de cotovelos.



Perfil longitudinal de rios

Segundo Christofolletti (1980), o perfil longitudinal de um rio mostra a variação de valores de declividade do leito, sendo a representação visual dada pela relação entre a altimetria e o comprimento da nascente à foz. A partir dessa observação, os perfis são úteis para a detecção de comportamentos distintos em processos de reajustes fluviais; além do fato que estes podem ser utilizados, em conjunto a análise de alguns parâmetros geomorfométricos, na apreensão de controles tectono-estruturais.

Em relação a conformação dos perfis longitudinais dos canais fluviais tem-se que: quando estes têm a forma parabólica e o perfil é típico côncavo para cima, com declividades maiores no segmento a nascente e com valores cada vez mais suaves em direção de jusante, o rio se apresenta em estágio de maior equilíbrio; enquanto conformações que apresentam muitas variações de declividades ao longo do perfil são interpretadas com perfis de rios que estão em pleno estágio erosivo buscando, ainda, o “equilíbrio” entre processos denudacionais, como afirma Christofolletti (1981).

Foram realizados perfis longitudinais para o rio afluente Cabo Severino e seu coletor rio o rio Japuíba (Figuras 20 e 21, respectivamente); onde observa-se que o rio Cabo Severino apresenta uma conformação mais côncava e, mesmo com presença de alguns níveis de base locais (NBLs), demonstra ser um perfil mais ajustado às condições de “equilíbrio”; enquanto o perfil referente ao rio Japuíba, apresenta o trecho mais a montante mais suavizado, localizado no Planalto Reverso da Alto Vale do rio Pirai, seguindo para jusante com elevada declividade, correspondente a escarpa da Serra da Bocaina, até suavizar à jusante do perfil.

Figura 20: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severiano. Os círculos em cor vermelha marcam a localização dos principais NBLs.

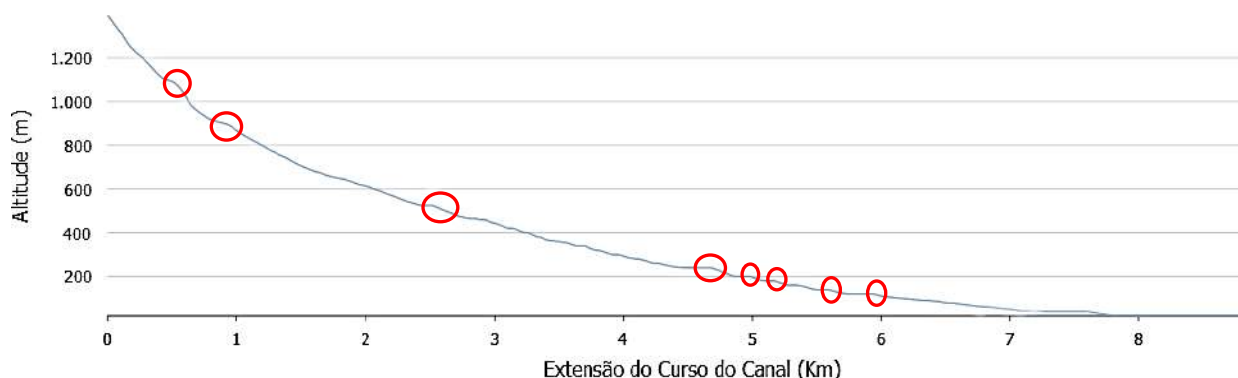
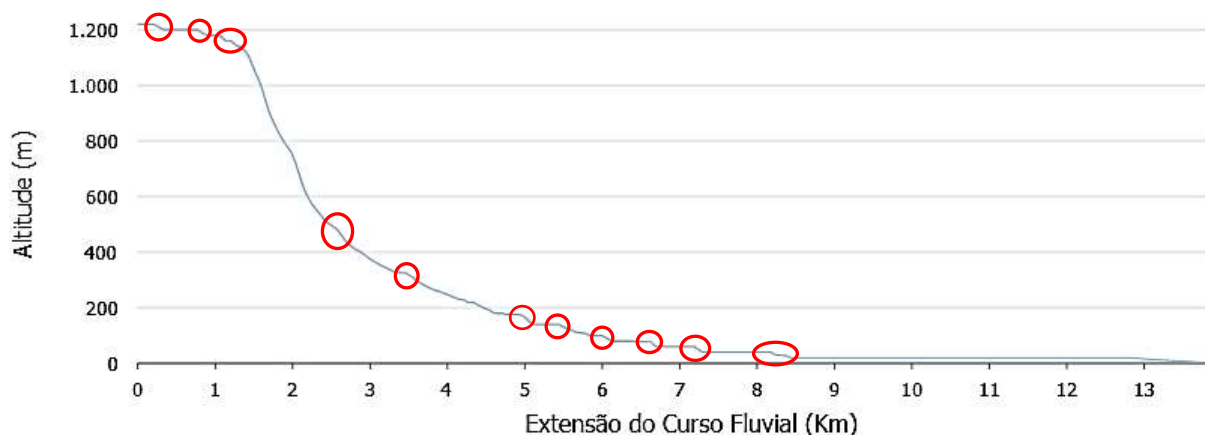


Figura 21: Perfil Longitudinal do rio Japuíba. Os círculos em cor vermelha marcam a localização dos principais NBLs.



De maneira geral, evidencia-se que há um trecho significativo à jusante, em ambos os perfis, que corresponde a área de acúmulo de sedimentos e que se materializa sob a forma de planícies fluviais ou fluviomarinhas; enquanto segmentos localizados em direção à montante indicam setores de declividades mais acentuadas e, portanto, onde é mais ativo o processo de dissecação.

Ambos os rios apresentam NBLs distribuídos ao longo de quase todo os perfis longitudinais, estando um pouco mais concentrados na porção do médio curso (antes de entrar no trecho das planícies); e mesmo que a situação topográfica de ambos os rios seja similar, com exceção do trecho localizado mais a montante, os ajustes desses rios são significativamente diferentes. O ajuste do rio Cabo Severino está muito ligado a influência dada pela ocorrência da falha NE-SW, por onde a calha fluvial se encaixou, sendo esta uma condição relevante e que está associada à existência de taxas erosivas mais intensas, levando à escavação acentuada do leito fluvial e com presença de muitos blocos, seixos e calhaus ao longo de seu curso (Figura 22).

Figura 22: Imagem do rio Cabo Severiano em seu trecho retilíneo.

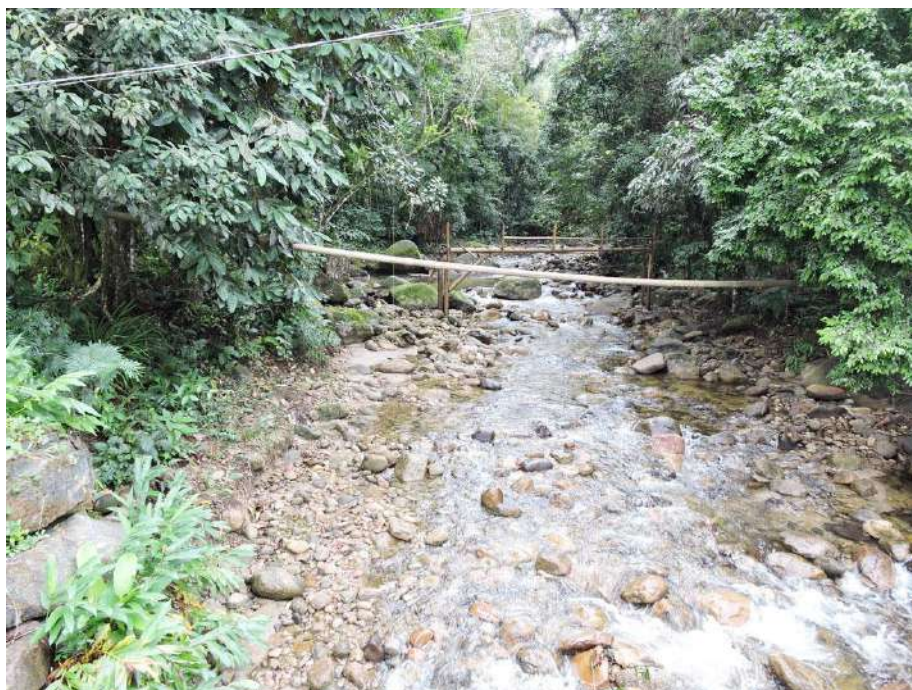
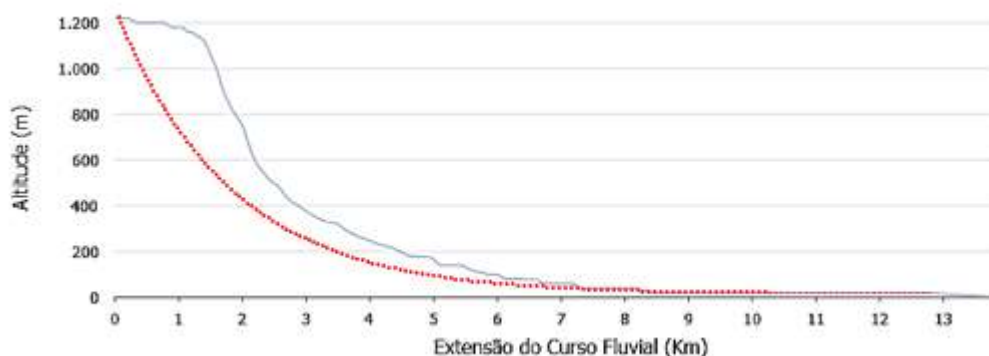


Foto: F.P. Freitas, jun./2022.

Ao se analisar os perfis longitudinais dos rios Japuíba e Cabo Severino, incluindo a curva de melhor ajuste dos pontos, foi possível verificar trechos em “equilíbrio”² e trechos anômalos. O afastamento da linha de melhor ajuste do perfil do rio está relacionado à ocorrência de anomalias de drenagem, que podem ser tanto positivas (quando se afasta no sentido inferior do rio e, portanto, indicando processo de ascensão do trecho do canal fluvial), quanto negativas (quando ultrapassa o perfil do rio e indica trechos em subsidência). Observa-se no rio Japuíba um afastamento positivo em relação a linha de melhor ajuste da sua nascente até a extensão de 8 km, a partir desse trecho o perfil do rio apresenta-se em condição de maior ajuste e, portanto, de maior “equilíbrio” (Figura 23).

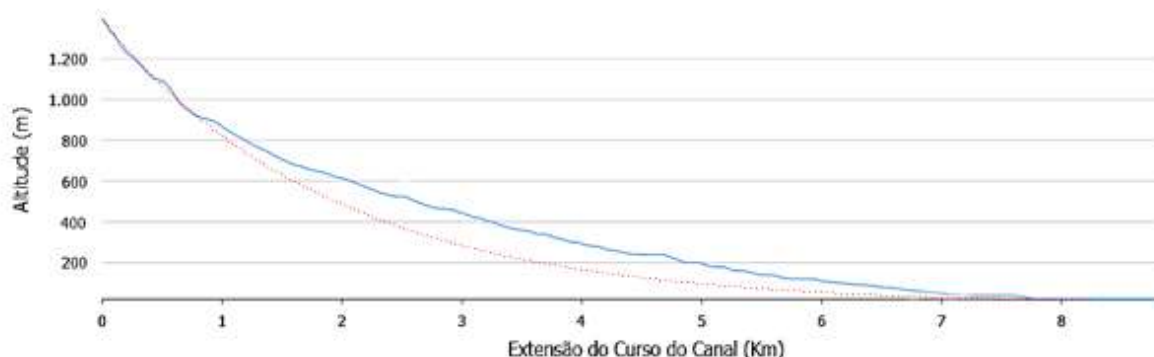
² Preferimos utilizar o termo “equilíbrio” entre aspas porque consideramos que não haja um total equilíbrio entre processos geológico-geomorfológicos na paisagem, mas sim uma condição em que taxas dos mecanismos erosivos e deposicionais sejam mais similares em uma determinada escala de tempo.

Figura 23: Perfil longitudinal do rio Japuíba com linha de melhor ajuste pontilhada na cor vermelha.



O rio Cabo Severino, por sua vez, apresenta pequena oscilação, pois começa em situação de “equilíbrio” e, em aproximadamente, 1 km extensão inicia o afastamento positivo até a extensão de 7800 m, quando o rio retorna à condição de “equilíbrio” (Figura 24).

Figura 24: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severino com linha de melhor ajuste pontilhada na cor vermelha.



Por mais uma vez, pode-se observar que estes rios possuem dinâmicas distintas. Enquanto o rio Japuíba possui maior influência de controle tectono-estrutural em seu alto e médios cursos, o rio Cabo Severino, apesar de possuir menor extensão, tem influência ao longo de todo curso fluvial, demonstrando o papel da tectônica em sua conformação.

Cálculo e análise de parâmetros morfométricos

Segundo Hack (1973), as redes de drenagem possuem propriedades geométricas que podem ser descritas quantitativamente e, assim, técnicas de análises morfométricas auxiliam no fornecimento de informações sobre litoestruturas, além de favorecer a compreensão sobre a dinâmica hidrológica da bacia.

Serão apresentados em seguida os parâmetros morfométricos calculados e tratados para subsidiar a análise evolutiva da paisagem da bacia do rio Japuíba e que serão articulados às demais análises realizadas.

Densidade de drenagem (Dd)

Para Christofolletti (1980), a densidade da rede de canais é reconhecida como uma das variáveis mais importantes em análises geomorfométricas de bacias de drenagem, subsidiando a avaliação do grau de dissecação topográfica em paisagens onde a atuação fluvial seja primordial. Para Laszlo (2016), o comportamento hidrológico de um dado local repercute na densidade de drenagem e, se as rochas tiverem características de pouca infiltração, permitem maior escoamento superficial, possibilitando, assim, da bacia ter um maior número de canais fluviais. A densidade de drenagem traduz, portanto, a relação entre fatores climáticos, geológicos e pedológicos e, ainda, condições e variabilidade dos eventos pluviométricos em uma dada área geográfica.

Corrêa e Fonseca (2010) destacam que a importância dos estudos hidrológicos reside em reconhecer, localizar e quantificar fluxos d'água em distintos setores das vertentes e de vales fluviais, classificando setores de distinta dinâmica topográfica e, portanto, da própria configuração do relevo. Carvalho *et al.* (2007) ressaltam que a densidade de drenagem é um bom indicador do grau de desenvolvimento da extensão e da forma de um sistema fluvial, pois expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e sua área total.

Seguindo a proposta de agrupamento de Carvalho *et al.* (2007), os resultados do cálculo da densidade de drenagem $D = \sum l/A$ podem ser agrupados em quatro classes diferentes: a) bacias pobremente drenadas; b) bacias regularmente drenadas; c) bacias bem drenadas; d) bacias com muito boa drenagem; e e) bacias muito bem drenadas (Quadro 7). Carvalho *et al.* (2007) corroboraram com Villela; Mattos (1975) e classificaram bacias que alcançam índices de 0,5km/km² como pobremente drenadas, enquanto valores de 3,5 km/km² (ou mais) indicariam bacias bem drenadas.

Quadro 7: Classificação da densidade de drenagem. Adaptado de Carvalho *et al.* (2007).

Tipo de bacias	Classes dos valores de drenagem
Bacias pobremente drenadas	$Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
Bacias regularmente drenadas	$0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com boa drenagem	$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com muito boa drenagem	$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
Bacias muito bem drenadas	$Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

Portanto, o valor de densidade de drenagem, $Dd = 2,89 \text{ km/km}^2$, encontrado para a bacia hidrográfica do rio Japuíba caracteriza-a como uma bacia com muita boa drenagem.

Relação Declividade-Extensão

O cálculo do índice Relação Declividade-Extensão (RDE) foi realizado a partir dos dados da planilha com valores de distância e de altitude dos pontos extraídos para elaboração dos perfis longitudinais dos rios. Para realização do cálculo do índice RDE_{total} dos rios Japuíba e Cabo Severino, foram utilizados os dados apresentados na tabela 3 de cotas altimétricas correspondente a nascente (h_1) e a foz (h_2); extensão/comprimento total do rio (L); valor do Logaritmo ($\ln$) em base 10 sobre a extensão total do canal fluvial - este cálculo foi realizado automaticamente através ferramenta disponibilizada no site <https://miniwebtool.com/br/log-calculator/>; valor da amplitude entre as cotas altimétricas da nascente e da foz ($\Delta h = h_1 - h_2$) e, ao final, o cálculo do valor de $RDE_{\text{total}} = \frac{\Delta h}{\ln L}$.

Tabela 3: RDE_{total} dos rios Japuíba e Cabo Severino.

	Valor da Cota da nascente h_1	Valor da cota da foz h_2	Extensão do canal L	Logaritmo 10 $\ln$	Amplitude Δh	RDE_{total}
rio Japuíba	1212 m	0 m	100 m	4.146	1212 m	10,6
rio Cabo Severino	1102 m	6 m	100 m	3.939	1096 m	2,8

Em seguida, foram calculados os valores de RDE por segmento de drenagem (RDE_{trecho}) dos rios Japuíba e cabo Severino (Tabelas 4 e 5), a partir da seguinte sequência: valores da cota superior (h_1) e da cota inferior (h_2); diferença entre estas duas cotas (Δh); valor em metros da projeção horizontal do segmento (ΔL) e o valor em metros da distância da curva que está sendo mensurada até o valor da curva correspondente a nascente do rio (L); cálculo do $RDE_{\text{trecho}} =$

$\frac{\Delta h}{\Delta L} \times L$; e o valor final de RDE obtido pela relação entre RDE_{trecho} e RDE_{total} ($RDE = \frac{RDE_{\text{trecho}}}{RDE_{\text{total}}}$),

sendo esta a relação que irá possibilitar identificar trechos sugestivos de drenagens anômalas.

Tabela 4: Valores de RDE_{trecho} e RDE_{total} do rio Japuíba.

Rio Japuiba	Cota superior h1	Cota inferior h2	Amplitude entre cotas Δh	Comprimento do segmento ΔL	Extensão Cabeceira L	RDE_{trecho}	$RDE = \frac{RDE_{\text{trecho}}}{RDE_{\text{total}}}$
Seg. 1	1212	1162	50	330	1020	154,5	14,6
2	1162	1112	50	140	1350	482,1	45,6
3	1112	1062	50	90	1490	827,8	78,3
4	1062	1012	50	100	1580	790,0	74,7
5	1012	962	50	80	1680	1050,0	99,3
6	962	912	50	50	1760	1760,0	166,4
7	912	862	50	120	1810	754,2	71,3
8	862	812	50	90	1930	1072,2	101,4
9	812	762	50	80	2020	1262,5	119,4
10	762	712	50	50	2100	2100,0	198,6
11	712	662	50	50	2150	2150,0	203,3
12	662	612	50	80	2200	1375,0	130,0
13	612	562	50	190	2280	600,0	56,7
14	562	512	50	200	2470	617,5	58,4
15	512	462	50	170	2670	785,3	74,3
16	462	412	50	310	2840	458,1	43,3
17	412	362	50	300	3150	525,0	49,6
18	362	312	50	380	3450	453,9	42,9
19	312	262	50	460	3830	416,3	39,4
20	262	212	50	510	4290	420,6	39,8
21	212	162	50	730	4800	328,8	31,1
22	162	112	50	840	5530	329,2	31,1
23	112	62	50	1970	6370	161,7	15,3
24	62	12	50	2060	8340	202,4	19,1
25	12	0	12	3600	10400	34,7	3,3
26	0	0	0	3600	14000	0	0

Tabela 5: Valores de RDE_{trecho} e RDE_{total} do rio Cabo Severino.

Rio Cabo Severino	Cota superior $h1$	Cota inferior $h2$	Amplitude entre cotas Δh	Comprimento do segmento ΔL	Extensão Cabeceira L	RDE_{trecho}	$RDE = \frac{RDE_{trecho}}{RDE_{total}}$
Seg. 1	1450	1400	50	74,6	37,4	25,1	9,0
Seg. 2	1400	1350	50	47	112	119,1	42,8
Seg. 3	1350	1300	50	102	159	77,9	28,0
Seg. 4	1300	1250	50	38	261	343,4	123,4
Seg. 5	1250	1200	50	75	299	199,3	71,7
Seg. 6	1200	1150	50	74	374	252,7	90,8
Seg. 7	1150	1050	50	150	448	149,3	53,7
Seg. 8	1050	1000	50	112	598	267,0	96,0
Seg. 9	1000	950	50	93	710	381,7	137,2
Seg. 10	950	900	50	93	803	431,7	155,2
Seg. 11	900	850	50	164	896	273,2	98,2
Seg. 12	850	800	50	140	1060	378,6	136,1
Seg. 13	800	750	50	130	1200	461,5	165,9
Seg. 14	750	700	50	210	1330	316,7	113,8
Seg. 15	700	650	50	280	1510	269,6	96,9
Seg. 16	650	600	50	280	1790	319,6	114,9
Seg. 17	600	550	50	280	2070	369,6	132,9
Seg. 18	550	500	50	320	2350	367,2	132,0
Seg. 19	500	450	50	290	2670	460,3	165,5
Seg. 20	450	400	50	400	2960	370,0	133,0
Seg. 21	400	350	50	390	3360	430,8	154,8
Seg. 22	350	300	50	500	3750	375,0	134,8
Seg. 23	300	250	50	450	4250	472,2	169,7
Seg. 24	250	200	50	700	4700	335,7	120,7
Seg. 25	200	150	50	680	5400	397,1	142,7
Seg. 26	150	100	50	860	6080	353,5	127,1
Seg. 27	100	50	50	1700	6940	204,1	73,4
Seg. 28	50	6	50	240	8640	1800,0	647,0

Os valores encontrados pela relação extraída de RDE_{trecho}/RDE_{total} apresentou anomalias tanto no alto curso, quanto nos médio e baixo cursos dos rios. Evidenciando que as anomalias presentes no rio Cabo Severino são mais significativas que as do rio Japuiba e, ainda, corroborando com a presença de uma linha de falha (Figura 12), onde o rio Cabo Severino se encontra encaixado em sua extensão do médio ao alto curso.

A tabela 6 apresenta as anomalias de acordo com os valores obtidos. O RDE do rio Japuiba apresenta índices menores em comparação ao rio Cabo Severino (Figuras 25 e 26). Os dois segmentos finais 25 e 26 do rio Japuiba (Tabela 6) apresentam resultado menores que 10;

sendo que o segmento 25 obteve $RDE = 3,3$ (Tabela 6), sendo classificado como anomalia moderada a baixa, e o segmento 26 apresentou $RDE = 0$ (Tabela 6), portanto sem anomalia.

Enquanto, praticamente, todos os trechos do rio Cabo Severino apresentam valores de RDE superior a 10, indicando anomalias altíssimas. O rio Cabo Severino apresenta um único segmento com RDE inferior a 10 (Tabela 6), que se enquadra na quinta classe com a presença de anomalias altas. Esses resultados indicam a presença de trechos que se encontram bastante dissecados e com influência de controles tectônico-estruturais.

Tabela 6: Relação classes de RDE e os trechos dos rios Japuíba e Cabo Severino, segundo a classificação de Santos e Mendes (2021).

CLASSES DE RDE	RIO JAPUÍBA	RIO CABO SEVERINO	CLASSIFICAÇÃO
< 2	Seg. 26	-	Sem anomalia
> 2 a < 4	Seg. 25	-	Anomalia moderada baixa
> 4 a < 6	-	-	Anomalia moderada alta
> 6 a < 8	-	-	Anomalia alta
> 8 a < 10	-	Seg. 1	Anomalia muito alta
>10	Todos os outros segmentos	Todos os outros segmentos	Anomalia altíssima

Figura 25: Perfil de elevação e $RDE_{\text{trecho}}/RDE_{\text{total}}$ do rio Japuíba.

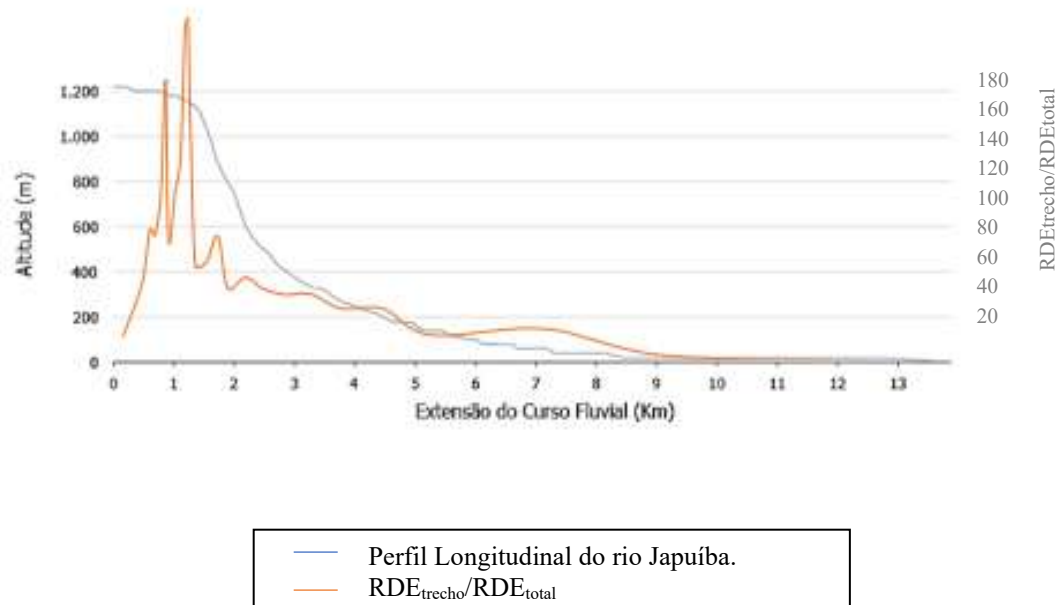
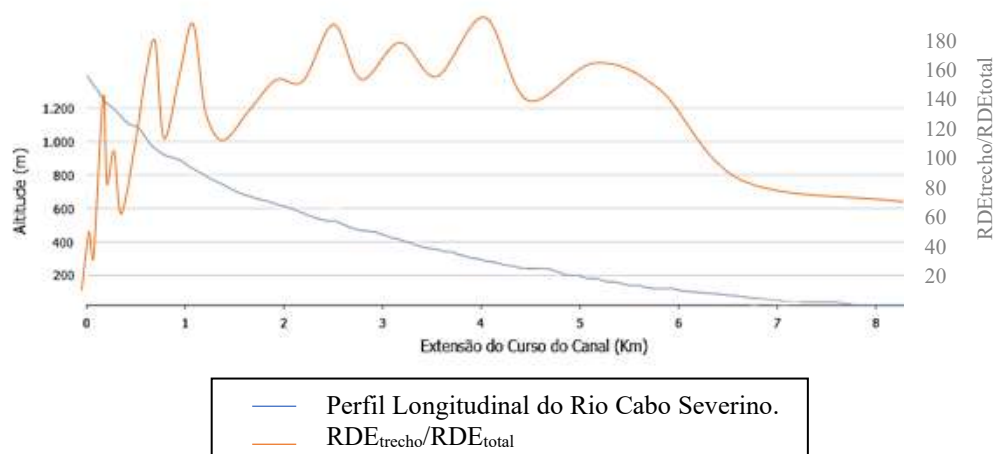


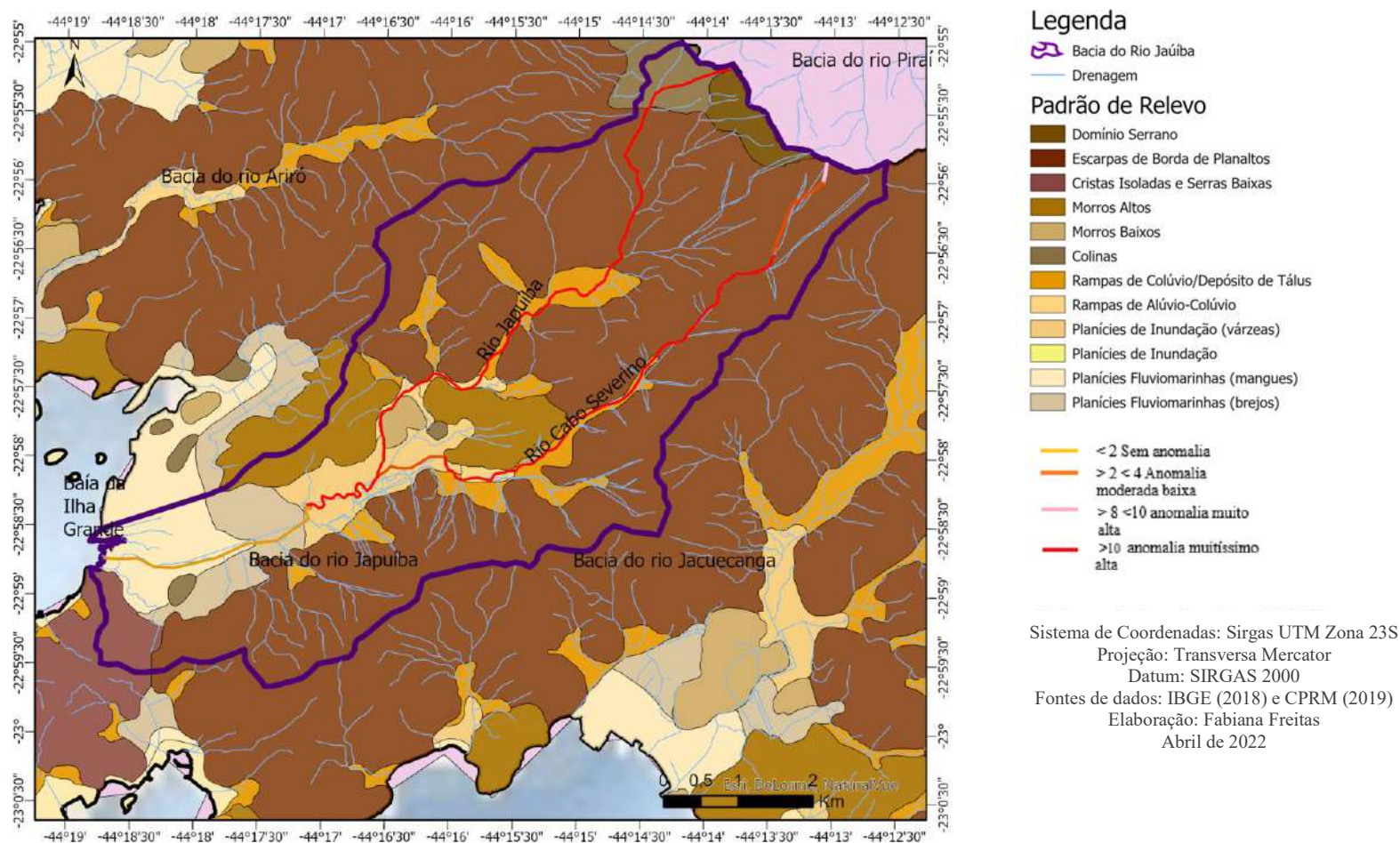
Figura 26: Perfil de elevação e RDE_{trecho}/RDE_{total} do rio Cabo Severino.



Ainda pela observação das figuras 25 e 26, pode-se notar que as anomalias do rio Japuíba são maiores próximas às cabeceiras, correspondendo ao setor da escarpa da Serra da Bocaina (Figura 25), enquanto há ausência de anomalia na área de planície. Já o rio Cabo Severino ocorre o oposto, a menor anomalia detectada se encontra justamente próximo a nascente (Figura 26), havendo aumento dos valores de RDE para os segmentos seguintes que sugerem uma dinâmica diferenciada associada a influência tectônica, vinculada a taxas de deformações crustais ao longo do curso fluvial.

Pela figura 27 observa-se nitidamente que tanto as cabeceiras da bacia do rio Japuíba, quanto de seu afluente rio Cabo Severino, estão localizadas em feições morfológicas de escarpas de bordas de planalto e domínio serrano, e onde os eixos de drenagem encontram-se bem encaixados. Na bacia do rio Japuíba há ainda ocorrência de morros (formas convexas de relevo com presença de encosta bem íngremes) e algumas feições de colinas (morfologias convexas, mas com topos suaves). Destaca-se, contudo, que o contato dessas feições com as planícies fluviais e/ou fluviomarinhas (feições de topografia plana - horizontal a sub-horizontal) ocorrem, quase sempre, de forma abrupta e, na maior parte das vezes, pode estar associado a lineamentos e presença de feições morfotectônicas nas vertentes que convergem para o eixo da bacia. Esta característica leva à produção intensa de fluxos d'água que aportam nestes segmentos de forma muito intensa. Nesta mesma figura, nota-se claramente o predomínio de anomalias > 10 para quase todo o eixo dos rios Japuíba e Cabo Severino; o que registram, portanto, forte influência do fator tectônico-estrutural na configuração da bacia e do traçado de seu canal coletor.

Figura 27: Mapa de feições geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Japuíba, com representação das classes de anomalias derivadas do índice da Relação Declividade-Extensão (< 2 ; > 2 e < 4 ; > 8 e < 10 ; > 10).



Análise da assimetria da bacia de drenagem

A análise do Fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT) auxiliou na interpretação do deslocamento lateral do canal principal em relação ao eixo central da bacia hidrográfica, individualizando trechos da bacia com comportamentos distintos e assim ampliando o nível de detalhamento analisado. Os valores obtidos para bacia hidrográfica do rio Japuíba corroboram com a dinâmica já observada em outros índices aplicados, como a Dd e o RDE.

Existem diferentes comportamentos da rede de drenagem, exibindo padrão específico no alto curso (área escarpada) e outro no baixo curso (área onde se tem feições de planícies). A aplicação do índice FSTT indica que o rio Japuíba, nos médio e alto cursos, possui valores mais elevados (Tabela 7), associando-se a um maior deslocamento lateral em relação ao traçado do eixo médio da bacia.

Tabela 7: Índice FSTT da Bacia Hidrográfica do rio Japuíba.

FSTT		
Baixo Curso	Médio Curso	Alto Curso
0,23	0,90	0,7

O FSTT do trecho de médio curso apresentou valor mais elevado (Tabela 7), indicando elevada assimetria pois, quanto mais próximo de 1 maior é o indicativo de deslocamento lateral do canal, e isto indica maior influência tectônica em sua conformação.

O FSTT do trecho superior (alto curso) apresentou valor de 0,7, indicando também o deslocamento lateral do canal, mas não com tanta intensidade quanto o trecho central, porém bem superior ao trecho inferior (baixo curso) que apresentou valor de 0,23.

Já o resultado apresentado pelo índice FABD foi avaliado conforme sugestão de Salamuni *et al.* (2004): onde valores iguais ou próximos a 50 revelam pouca ou nenhuma atividade tectônica; valores acima de 50 indicam provável basculamento para a margem direita da bacia; enquanto valores menores de 50 indicam provável basculamento da margem esquerda.

A bacia do rio Japuíba apresentou valor de FABD = 32,08, o que demonstra ocorrência de um soerguimento da margem esquerda, forçando o eixo do canal a se deslocar para a direita, com isso, corroborando com a participação do controle tectônica em sua evolução. Na figura 27 pode-se notar esse deslocamento do eixo da drenagem para a margem direita no setor após a confluência do rio Cabo Severino. Ao realizarmos o cálculo individualmente para as sub-bacias que compõem o sistema fluvial Japuíba (Tabela 8) observamos que os resultados encontrados coincidem com os da bacia como um todo. A sub-bacia do rio Banqueta-Japuíba apresenta FABD = 50,05, revelando um leve basculamento da margem esquerda; já as sub-bacias do rio Cabo Severino e sub-bacia do rio Japuíba do Meio (que se refere ao trecho da

bacia de maior presença da feição de planície fluvial, como pode ser observado na figura 33) apresentaram FABD com valores de 28,54 e 28,92, respectivamente, associam-se a basculamento em direção à margem direita.

Tabela 8: Índice FABD das sub-bacias.

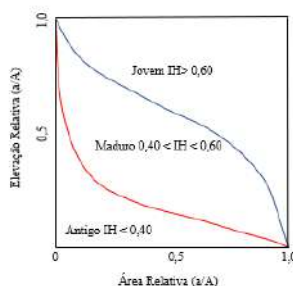
SUB-BACIA	ÁREA DA BACIA (do lado da margem direita – A_r)	ÁREA TOTAL DA BACIA (A_t)	FABD
Banqueta-Japuíba	8,95	17,9	50,1
Cabo Severino	2,94	10,3	28,54
Japuíba do Meio	2,95	10,2	28,92

Integral hipsométrica (IH)

A integral hipsométrica descreve a curva de distribuição da elevação do terreno em uma determinada bacia hidrográfica por meio da frequência acumulada das altitudes (STRAHLER, 1952). Ainda segundo este autor, estudos hipsométricos realizados mediante confecção de curvas hipsométricas e cálculo do índice de integral hipsométrica quantificam a distribuição das altitudes do terreno dentro de uma bacia hidrográfica e podem ser empregados na caracterização dos estágios de evolução geomórfica das paisagens. As curvas hipsométricas vem sendo, portanto, aplicadas em investigações sobre a influência da tectônica em bacias hidrográficas (OHMORI, 1993) e a evolução da paisagem (HANCOCK; WILLGOOSE, 2001).

Baseado em valores de IH, Strahler (1952) definiu três estágios evolutivos do relevo: a) curvas convexas com valores de $IH > 0,60$ representariam terrenos pouco rebaixados, com predomínio dos processos tectônicos e, portanto, superfícies mais jovens; b) curvas côncavas, com valores de $IH < 0,40$ sugerem terrenos rebaixados e mais antigos e c) curvas quase retilíneas (ou em forma de “S”), com valores de IH variando entre 0,40 e 0,60, refletiria “equilíbrio” entre processos tectônicos e erosivos e, assim, podendo ser relacionado a relevos em estágio de evolução intermediário a maduro. A figura 28, demonstra os modelos representativos de curvas hipsométricas normalizadas por Ohmori (1993), seguindo a classificação proposta por Strahler (1952).

Figura 28: Modelos representativos de curvas hipsométricas normalizadas (OHMORI,1993).



A curva hipsométrica aqui elaborada seguiu a metodologia descrita por Strahler (1952), cuja representação gráfica é composta no eixo das ordenadas (Y) por dados de altimetria e no eixo das abscissas (X) por dados percentuais da área ocupada por determinada altitude. Os valores que foram utilizados para o cálculo da integral hipsométrica (IH) estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Valores utilizados para o cálculo da Integral Hipsométrica da bacia do rio Japuíba, segundo a metodologia de Strahler (1952).

COTA MONTANTE (m)	COTA JUSANTE (m)	PONTO MÉDIO (m)	ÁREA TOTAL (km ²)	ÁREA ACUMULADA (km ²)	ÁREA ACUMULADA (%)	COLUNA 2 X COLUNA 3
1510	1500	1505	0,01	0,01	0,07	17,03
1500	1400	1450	0,01	0,02	0,08	18,71
1400	1300	1350	0,23	0,25	1,36	307,90
1300	1200	1250	0,32	0,58	1,94	405,71
1200	1100	1150	0,51	1,09	3,07	590,17
1100	1000	1050	0,63	1,72	3,78	664,60
1000	900	950	0,52	2,24	3,11	494,51
900	800	850	0,53	2,77	3,14	446,43
800	700	750	0,63	3,40	3,79	476,23
700	600	650	0,67	4,07	3,97	432,26
600	500	550	0,70	4,77	4,16	383,39
500	400	450	1,10	5,87	6,57	495,30
400	300	350	1,92	7,79	11,50	673,58
300	200	250	2,17	9,96	12,98	543,48
200	100	150	2,30	12,27	13,74	345,16
100	0	50	2,51	14,78	15,01	125,67
Total	0	752,5	16,74	88,34	100	6420,12

A integral hipsométrica só é possível de ser alcançada por meio da construção da curva hipsométrica, e sua interpretação consiste na compreensão da relação entre as áreas relativas de cada intervalo da altitude com a área da bacia (a/A), além da relação das altitudes máximas com as altitudes relativas dos intervalos (h/H). Apesar de o relevo apresentar pontos com diferentes altitudes, o desgaste do mesmo não é homogêneo, isso devido à maior ou menor resistência rochosa que compõe o substrato da bacia. Assim a elevação média (cota média) da bacia deverá ser calculada como base para definição de outras variáveis morfométricas. A cota média é o resultado da relação entre a amplitude altimétrica (Aa) e a integral hipsométrica (Ih), sendo a integral hipsométrica compreendida pela área formada entre a curva hipsométrica, o eixo (y) e o eixo (x). A integral hipsométrica foi calculada para a bacia do rio Japuíba seguindo as seguintes etapas:

$$\text{Elevação média} = \frac{\text{Coluna 2} * \text{Coluna 3}}{\text{Área total}}$$

$$\text{Elevação média} = \frac{6420,12}{16,74}$$

$$\text{Elevação média} = 383,48$$

$$IH = (\text{elev. média} - \text{elev. mínima}) \div (\text{elev. máxima} - \text{elev. mínima})$$

$$IH = \frac{(383,48 - 100)}{1510 - 300}$$

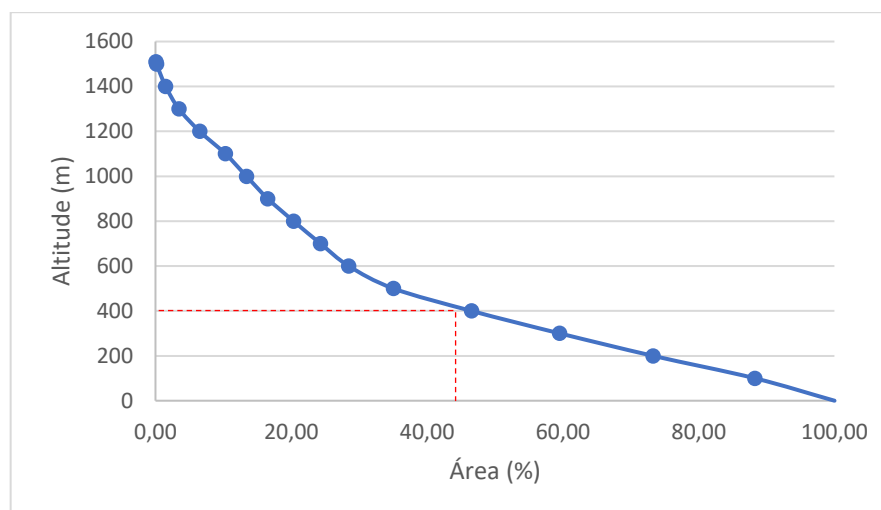
$$IH = 0,20$$

O cálculo da Integral Hipsométrica (IH) para a bacia do rio Japuíba resultou em um valor de 0,20. Esse baixo valor ($< 0,40$) sugere um relevo modelado por processos erosivos, ou seja, de intensa dissecação. No entanto, considerando a erosão remontante como mecanismo evolutivo predominante na bacia, é possível inferir que a taxa de erosão ainda apresenta-se elevada.

A Integral Hipsométrica, apresentada na figura 29, permite observar o volume total da área em associação com a altitude. Segundo Strahler (1952) e Chorley; Morley (1959) o espaço apresentado entre os eixos (Y) e (X) e a curva corresponde à integral hipsométrica e representa, em termos quantitativos, o rebaixamento erosivo da bacia.

A cota média é a relação entre a altitude e % areal da bacia, correspondendo à aproximadamente a área da metade da bacia (Figura 29). A cota média da bacia do rio Japuíba possui valor de 383,48 metros e foi definida através da divisão da Elevação Média pela área de cada cota, o que indica que 50% da área total da bacia encontra-se acima desse valor e a outra metade abaixo dele.

Figura 29: Representação em curva dos valores da Integral Hipsométrica da bacia do rio Japuíba. A linha tracejada em cor vermelha corresponde a cota média da bacia.



Outra característica importante é a ocorrência de maiores altitudes na porção norte da bacia o que levou a um maior entalhamento da rede de drenagem neste setor.

Além do **IH** calculado para a bacia do rio Japuíba, também foram realizados o **IH** para suas sub-bacias (rio Cabo Severino, rio Banqueta-Japuíba e rio Japuíba do Meio), a fim de definir qual(is) teria(m) maior influência tectônica. A tabela 10 apresenta os valores da **IH** para estas sub-bacias.

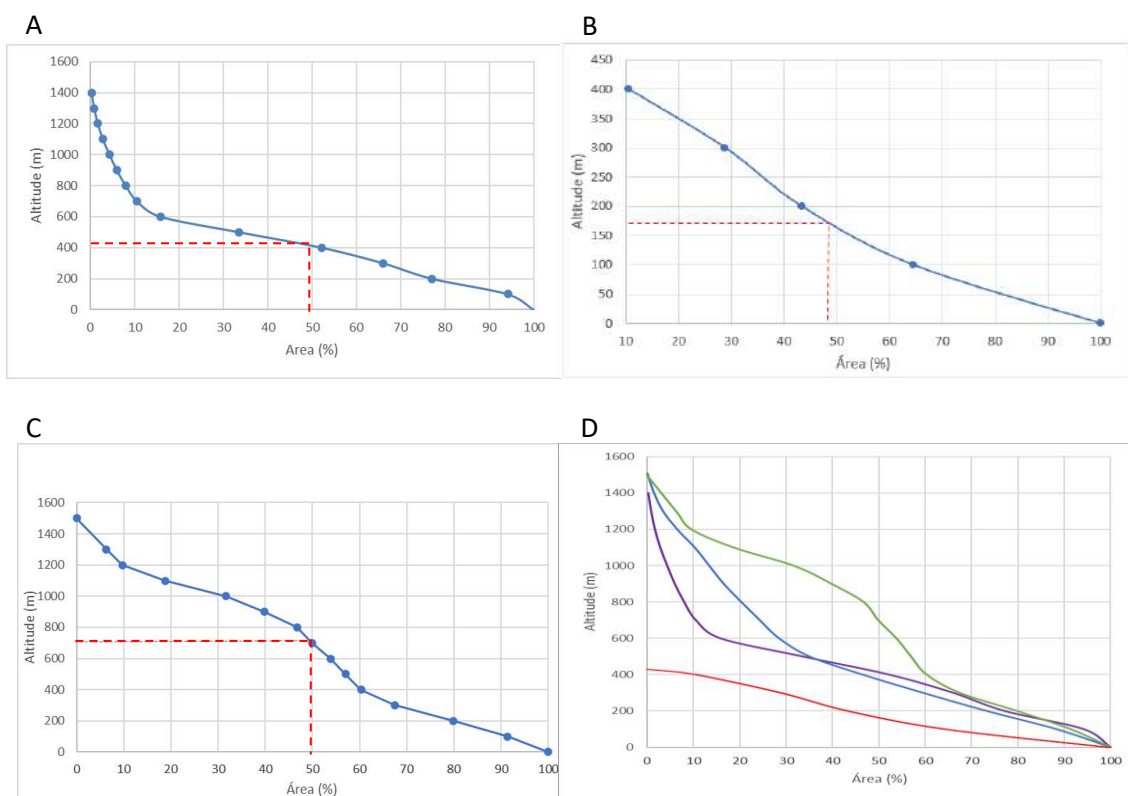
Tabela 10: Valores da cota Média e de **IH**, e classificação do estágio evolutivo das sub-bacias do sistema fluvial do rio Japuíba.

SUB-BACIA	COTA MÉDIA (m)	INTEGRAL HIPSOMÉTRICA - IH	CLASSIFICAÇÃO DA IH
Cabo Severino	701,95	0,46	“Equilíbrio” entre tectônica/denudação
Banqueta-Japuíba	401,46	0,27	Intenso processo de dissecação
Japuíba do Meio	179,58	0,45	“Equilíbrio” entre tectônica/denudação

A curva hipsométrica de formato côncavo, apresentado pela sub-bacia Banqueta-Japuíba (Figura 30A), sugere a existência de terrenos bem dissecados, demonstrando ter sido área de significativa ação erosiva nas encostas e no eixo fluvial. Enquanto a conformação das curvas correspondentes das sub-bacias Japuíba do Meio (Figura 30B) e Cabo Severino (Figura 30C) sugerem terrenos mais próximos ao “equilíbrio” entre a ocorrência de processos erosivos e de soerguimento. Na figura 30D estão plotadas as curvas hipsométricas das sub-bacias analisadas juntamente com a curva hipsométrica da bacia do rio Japuíba.

Em comparação com a curva hipsométrica da bacia principal, em cor azul (Figura 30D), a bacia do rio Banqueta-Japuíba apresenta curva côncava (lilás), valor da Integral Hipsométrica ($I_H = 0,27$), representando um relevo com um processo de dissecação superior às demais bacias. A curva da sub-bacia do rio do Japuíba do Meio em cor vermelha, de valor de $I_H = 0,45$, sugere, como já mencionado, equilíbrio entre processo de soerguimento e rebaixamento por dissecação do relevo. Para a sub-bacia do rio Cabo Severino, foi encontrado o valor de $I_H = 0,46$, que mesmo sendo considerada como de relevo em equilíbrio, essa sub-bacia se encontra encaixada em uma falha já mapeada (que pode sugerir uma reativação) e, portanto, estando em contínuo processo erosivo.

Figura 30: Representação em curva dos valores das Integrais Hipsométricas: A – rio Banqueta-Japuíba; B – rio Japuíba; C – rio Cabo Severino. A linha tracejada vermelha, corresponde a cota média das sub-bacias. D – Comparação das curvas hipsométrica do rio Japuíba na cor azul. A curva em verde representa a sub-bacia Cabo Severino, em cor lilás a sub-bacia Banqueta-Japuíba e a curva vermelha a sub-bacia do Japuíba do Meio.



Sinuosidade de escarpa montanhosa (S_{mf})

As feições de escarpas montanhosas apresentam-se como importantes indicativos de controles tectono-estruturais e/ou erosivos e, assim, constituem aspectos morfológicos relevantes e que podem subsidiar a compreensão do mecanismo evolutivo de uma determinada

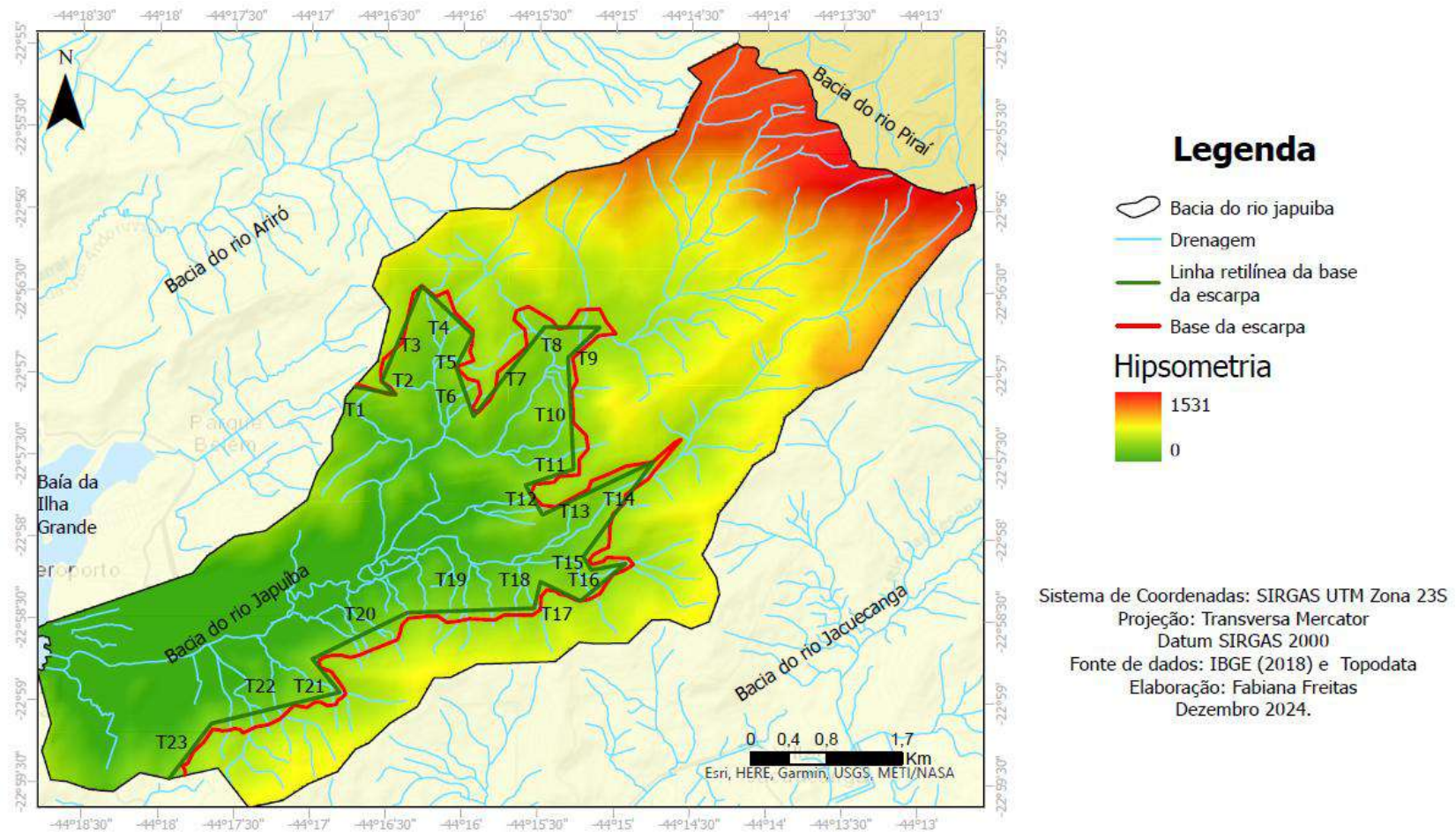
paisagem. O Índice de Sinuosidade de Frente de Escarpa (Smf), proposto por Bull; McFadden (1997), relaciona, portanto, a morfologia com ação de processos erosivos e/ou soerguimentos desencadeados à frente de uma escarpa. Sendo uma ferramenta útil no que se refere a buscar quantificar a relação existente entre força de processos tectônicos e força de processos denudacionais no *front* de uma escarpa. Quanto mais próximo de 1 for o resultado do Smf mais ativo serão os processos tectônicos; ao passo, de quanto mais distante de 1, mais ativo serão os processos denudacionais (SANTOS *et al.*, 2019).

Para a interpretação da Smf foram considerados: valores inferiores a 1,2 como indicativos de sinuosidade muito baixa; valores entre 1,2 e 1,5 são tidos como de sinuosidade baixa; enquanto aqueles acima de 1,5 como de sinuosidade moderada, uma vez que quando aparecem são associados a alinhamentos mais irregulares/sinuosos por efeito do próprio trabalho erosivo.

Os trechos escarpados (T) onde foram realizados cálculos dos índices Smf (T1, T2, T3...) correspondem a setores alçados do relevo e perfazem um total de 24 segmentos. Foi utilizada a cota 60 por ser a curva que representa de forma mais fidedigna a linha de base da escarpa, ou seja, a linha de contorno que define áreas de distintos valores de declividade.

A figura 31 representa os trechos avaliados correspondentes às linhas retilíneas da base da escarpa (Ls), e onde foram mensurados o comprimento da base de escarpa (Lmf) que foram utilizados para realizar o cálculo do Smf.

Figura 31: Mapa ilustrativo com representação da linha de base da escarpa (cor vermelha) e dos trechos de linhas retilíneas da base de escarpa em cor verde (T1, T2, T3, ...) utilizados para realização do cálculo de Sinuosidade de Escarpa Montanhosa (Smf).



A aplicação desse parâmetro morfométrico na bacia do rio Japuíba revelou uma sinuosidade muito baixa, denotando um menor retrabalhamento erosivo das escarpas e maior ímpeto tectônico promovendo maior retilidade. Os resultados coligidos foram organizados na tabela 11, que revela a maioria dos valores como tidos de sinuosidade muito baixa, sendo seguido de cinco trechos com sinuosidade baixa e apenas um trecho com sinuosidade moderada, corroborando o caráter morfotectônico de tais feições.

Tabela 11: Valores de Sinuosidade da escarpa montanhosa (**Smf**) encontrados para as principais frentes de escarpas da bacia hidrográfica do rio Japuíba.

TRECHO	COMPRIMENTO DA BASE DA ESCARPA (Lmf)	COMPRIMENTO DE LINHA RETILÍNEA DA BASE DA ESCARPA (Ls)	SINUOSIDADE DE ESCARPA MONTANHOSA (Smf)	QUALIFICATIVO DE SINUOSIDADE
1	528,3	510,3	1,04	Muito Baixa
2	259,2	257,2	1,01	Muito Baixa
3	1124,7	1086,1	1,04	Muito Baixa
4	1084,9	837,7	1,30	Baixa
5	357	300,8	1,19	Muito Baixa
6	618	500,4	1,24	Baixa
7	1836,7	1302,9	1,41	Baixa
8	1104,1	541,8	2,04	Moderada
9	476	446,2	1,07	Muito Baixa
10	1115,3	1045,7	1,07	Muito Baixa
11	790,4	633,9	1,25	Baixa
12	369,5	359,8	1,03	Muito Baixa
13	1477,8	1435,1	1,03	Muito Baixa
14	1547,5	1505,6	1,03	Muito Baixa
15	418,6	397,1	1,05	Muito Baixa
16	626,7	615,6	1,02	Muito Baixa
17	472	461,3	1,02	Muito Baixa
18	467,5	312,8	1,49	Baixa
19	1370	1164,2	1,18	Muito Baixa
20	374,1	354,9	1,05	Muito Baixa
21	1161,2	1043,6	1,11	Muito Baixa
22	523,6	501,5	1,04	Muito Baixa
23	1420	1189,1	1,19	Muito Baixa
24	442	382	1,16	Muito Baixa
Total	20633,3	17840,5	1,16	Muito Baixa

Os valores muito baixos de Smf encontrados para a bacia são correspondentes às feições morfotectônicas montanhosas, retratadas tanto pela expressiva retilinearidade em que se encontram o eixo do rio Cabo Severino como, também, pela ocorrência da maior parte das vertentes escarpadas, de orientação NE-SW, apresentarem feições morfotectônicas de facetas triangulares, como pode ser observado na figura 32.

Figura 32: Feições morfotectônicas (lineamento de cristas, facetas triangulares e deslocamento de cristas) reconhecidas no divisor ao sul da bacia do rio Japuiba.



Foto: P.S. Chrisóstimo, jan./2021.

Índice de atividade tectônica relativa (IAT)

O Índice de Atividade Tectônica (**IAT**) é um método que procura estimar a atividade tectônica em uma determinada área. Trata-se de buscar determinar o nível de atividade tectônica (ativo, moderado e inativo), a partir da classificação da atividade tectônica relativa a um conjunto integrado de índices geomórficos aplicados em uma determinada área (BULL; McFADDEN, 1977; EL HAMDOUNI *et al.*, 2008). O **IAT** relativo permite quantificar o soerguimento e erosão de uma área a partir de vários índices geomórficos, assim como o reconhecimento do comportamento espacial da atividade tectônica relativa. Para determinar os valores de **IAT**, foi necessário transformar índices morfométricos calculados anteriormente (**SL**, **AF**, **Smf** e **IH**) em valores categóricos de intensidade tectônica (**CIT**): valor 1 representa alta atividade tectônica; valor 2 representa média atividade e 3 representa baixa atividade tectônica (EL HAMDOUNI *et al.*, 2008). Essas classes de **CIT** foram definidas a partir da conjunção dos resultados de: RDE (**CIT** = 1 - apresenta mais de 50% dos trechos de drenagem anômalos; **CIT** = 2 - apresenta menos de 50% de trechos anômalos e **CIT** = 3 - quando não há anomalias; FA – **CIT** = 1 para $|FA-50| > 15$; **CIT** = 2 quando FA está entre $7 < |FA-50| \leq 15$ e **CIT** = 3 quando FA se encontra entre $0 \leq |FA-50| \leq 7$. No índice IH, tem-se a seguinte ponderação: **CIT** = 1 para $IH \geq 0,5$; **CIT** = 2 para $0,4 \leq IH < 0,5$ e **CIT** = 3 para $0 \leq IH < 0,4$. Com relação ao índice Smf, o CIT foi estipulado da seguinte forma: **CIT** = 1 para $1,0 < Smf \leq 1,1$; **CIT** = 2 para $1,1 < Smf \leq 1,5$ e **CIT** = 3 para $Smf > 1,5$ (Tabelas 12 e 13). E, assim, cada classe de CIT varia segundo a distinção dos valores encontrados dos índices morfométricos previamente calculados.

Tabela 12: Relação entre classes de índices morfométricos e Categorias de Intensidade Tectônica (CIT).

ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CLASSES	CIT	INTENSIDADE
RDE	0% de anomalias	3	Baixa
	Até 50% de anomalias	2	Moderada
	Mais de 50% de anomalias	1	Alta
FA	$0 \leq FA-50 \leq 7$	3	Baixa
	$7 < FA-50 \leq 15$	2	Moderada
	$ FA-50 > 15$	1	Alta
Smf	$Smf > 1,5$	3	Baixa
	$1,1 < Smf \leq 1,5$	2	Moderada
	$1,0 < Smf \leq 1,1$	1	Alta
IH	$0 \leq IH < 0,4$	3	Baixa
	$0,4 \leq IH < 0,5$	2	Moderada
	$IH \geq 0,5$	1	Alta

Tabela 13: Valores dos Índices morfométricos classificados de acordo com as Classes de Intensidade Tectônica (CIT) propostas por El Hamdouni *et al.* (2008).

ÍNDICE GEOMÓRFICOS	RESULTADOS ENCONTRADOS	CATEGORIAS DE INTENSIDADE TECTÔNICA
RDE	> 50%	CIT 1
FA – 50	17,92	CIT 1
Smf	1,2	CIT 2
IH	0,2	CIT 3

Os dados dispostos nas tabelas 12 e 13 representam as categorias de intensidade tectônicas (CIT) a partir dos índices RDE, FA, Smf e IH. Na classificação proposta por El Hamdouni *et al.* (2008) CIT de valores mais altos correspondem a áreas com menor incidência tectônica, enquanto CIT com valores mais baixos correspondem a locais com maior incidência de atividade tectônica.

O índice IAT é inversamente proporcional à atividade tectônica recente, pois quanto menor for a IAT, maior é a influência tectônica (Tabela 14). Com base na média do CIT obtida através da equação 7 ($IAT = \frac{S}{n}$; citada na p.45), foi possível a determinação do IAT da bacia do rio Japuíba que apresentou valor de 1,75 ($IAT = 1 + 1 + 2 + 3 \div 4$), sendo caracterizada como uma bacia de alta intensidade tectônica, retratado pela elevada declividade das escarpadas montanhosas.

Tabela 14: Classes do Índice de Atividade Tectônica (IAT).

VALORES DE IAT	CLASSES DE IAT
$1,0 < 1,5$	Muito Alta
$1,5 < 2,0$	Alta
$2,0 < 2,5$	Moderada
$> 2,5$	Baixa

É possível apontar a participação tectônica em distintos setores da bacia, relacionada aos aspectos reportados pelos índices morfométricos como por exemplo: a bacia do rio Japuíba apresenta clara assimetria, na qual a área da margem esquerda da bacia é significativamente menor que a da margem direita; e o Smf, trechos T14 a T24 (Figura 31), apresentam os menores índices e, conseqüentemente, maior influência tectônica, corroborando com a presença da falha NE-SW que o leito do rio Cabo Severino se encaixa.

A tabela 15 apresenta os índices morfométricos convertidos para valores médios de **CIT** e classes de **IAT**, relativos às três sub-bacias estudadas. A sub-bacia Cabo Severino apresenta média de **CIT** = 1,5, o que caracteriza uma possibilidade de atividade tectônica dentro do limite para a classe muito alta; enquanto os setores classificados como de alta atividade tectônica (**IAT** = 1,5 a 2,0) corresponde as sub-bacias Banqueta-Japuíba e Japuíba do Meio (1,75 e 1,75, respectivamente).

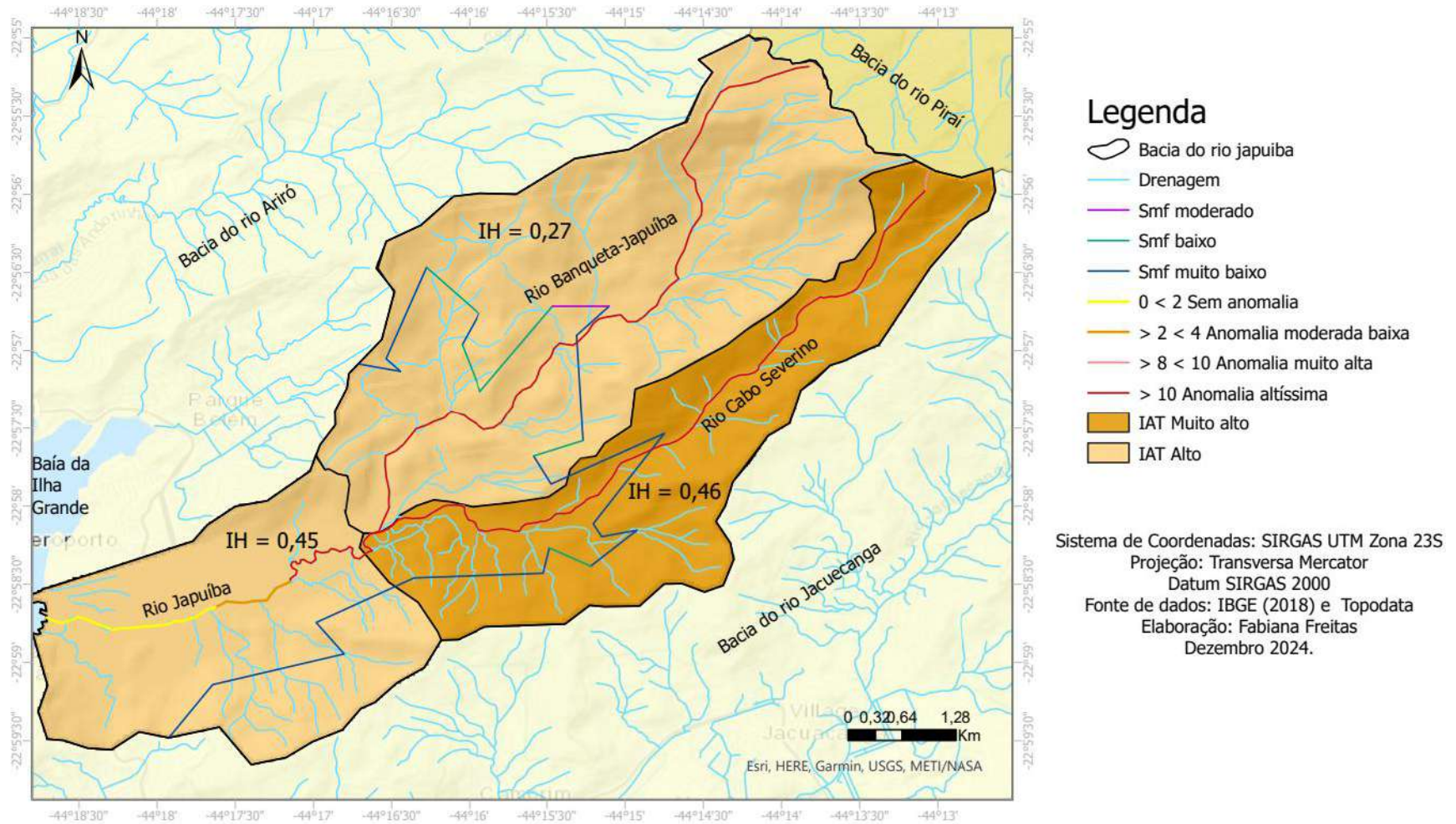
Tabela 15: Índice de Atividade Tectônica (**IAT**) das sub-bacias estudadas.

SUB-BACIAS	RDE	Smf	IH	FABD	MÉDIA DE CIT	CLASSES DE IAT
Banqueta-Japuíba	1	2	3	1	1,75	Alta
Cabo Severino	1	2	2	1	1,5	Muito Alta
Japuíba do Meio	1	3	2	1	1,75	Alta

A figura 33 espacializa a compartimentação tectônica para a bacia do rio Japuíba a partir dos dados encontrados. Tem-se como área de maior intensidade tectônica o setor da sub-bacia Cabo Severino com valores de **IAT** e **IH** muito alto, graus de anomalia a partir dos dados de $RDE > 10$, classificando-a como muitíssimo alta e **Smf** baixo a muito baixo. A sub-bacia do Cabo Severino, ocupa uma área de 10,3 km² (26,8%) do total areal da bacia do rio Japuíba. A sub-bacia Banqueta-Japuíba, que ocupa uma área de 17,9 km² (46,6%), apresenta classe de **IAT** alta, sendo classificada pelo **RDE** por um grau de anomalia > 10 e, portanto, grau muitíssimo alto; enquanto os valores de **Smf** foram de moderado a baixo. Já a sub-bacia do rio Japuíba do Meio, com uma área de 10,2 km² (26,6%), apresentou **IAT** alto, **IH** baixo e valores de **RDE** correspondentes a < 2 , portanto, sem anomalias de drenagem, e **Smf** também muito baixo, caracterizando este trecho do sistema fluvial Japuíba o de menor influência tectônico-estrutural, justamente por ser uma área de deposição da bacia.

Ressalta-se que grande parte desses resultados foram base para elaboração de um artigo intitulado “Índices morfométricos e dinâmica evolutiva da bacia hidrográfica do rio Japuíba – Angra dos Reis (RJ)”, submetido à Revista Continentes da UFRRJ e já aceito para publicação (Anexo 1).

Figura 33: Mapa de classificação da intensidade tectônica-estrutural (IAT) das sub-bacias de drenagem do sistema fluvial Japuiba.



5.2 Retenção da sedimentação quaternária e reconstituição estratigráfica

Este item está dividido em subitens para trazer uma discussão em distintos níveis de abordagens espaciais; desde a que busca avaliar a distribuição da sedimentação quaternária ao longo dos eixos de drenagem da bacia do rio Japuíba até a compreensão do pacote sedimentar na escala temporal através da reconstituição sedimentar de perfis sedimentográficos e da idade dos depósitos.

Distribuição da sedimentação quaternária na bacia do rio Japuíba

A compreensão da história deposicional dos sedimentos quaternários foi realizada a partir do reconhecimento da feição morfológica de planícies fluviais, com seus terraços³ e sua planície de inundação. A evolução dos terraços fluviais e a história de suas camadas deposicionais constituem-se importantes aliados na reconstituição das mudanças ambientais, atuando como indicadores ambientais de processos morfogenéticos que atuaram no Quaternário, sobretudo no Holoceno.

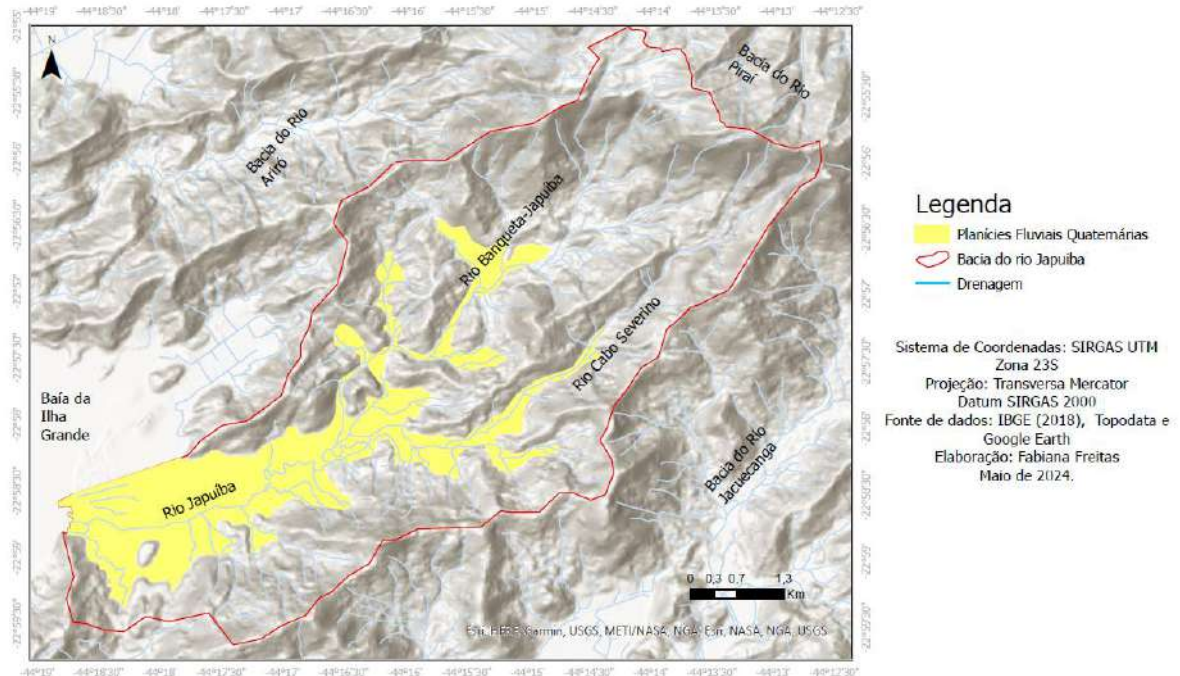
Os sedimentos fluviais presentes na planície do rio Japuíba podem ser entendidos como acumulações que devem ser em grande parte devidas a variações climáticas ao longo do Quaternário (MELO *et al.*, 2003), com fases de intensa denudação das encostas e consequente entulhamento dos vales. Os depósitos aparecem principalmente na forma de feições morfológicas de terraços fluviais, na planície de inundação e/ou na planície fluviomarinha, como pode ser observado na figura 34, bem como no mapa de padrão de relevo (Figura 11). A correspondência entre a **sedimentação quaternária** é evidente ao comparar os dois mapas

Pelo cálculo da área ocupada pelas feições de planícies fluviais quaternárias apresentada pela figura 34 a bacia do rio Japuíba possui um total de 7,88 km², ou seja, 20,55 % de sua área total ocupada por área de sedimentação quaternária. O rio Japuíba apresenta a maior área de sedimentação quaternária com 5,5 km² (69,8 %), seguido pelo rio Banqueta-Japuíba com 1,33 km² (16,88 %), enquanto o rio Cabo Severino apresenta a menor área de sedimentação com 1,05 km² (13,32 %). Ou seja, os dados mostram que ambos os trechos da rede de drenagem

³ Terraços fluviais são formados a partir de mudanças no gradiente do canal, na descarga ou na carga de sedimentos que podem levar o fluxo d'água do canal do rio a ter energia para encaixar em sua planície de inundação. Assim, a planície de inundação original é abandonada e deixada como um nível relativamente plano, conhecido como terraço fluvial, e que é separado da nova planície de inundação por uma parede que corta os depósitos existentes. Além de se formarem pelo corte e exposição do preenchimento aluvial de fundos de vales de rios, os terraços também podem ser escavados em rocha e, neste caso, são cobertos apenas por uma fina camada de sedimentos (SUMMERFIELD, 1991, p.224, tradução nossa).

(Japuíba e Cabo Severino) têm pouca capacidade de acomodação de sedimentos, ou seja, a bacia de acumulação mesmo está a jusante na sub-bacia Japuíba do Meio.

Figura 34: Mapa de sedimentação quaternárias da bacia do rio Japuíba.



Foram identificados três níveis topográficos associados à deposição sedimentar do rio Japuíba: nível de terraço mais elevado/alto (denominado de **T1**); nível de terraço inferior/baixo (**T2**) e a planície de inundação (Figura 35).

Figura 35: Diferentes níveis de terraços localizados à margem esquerda do rio Japuíba.

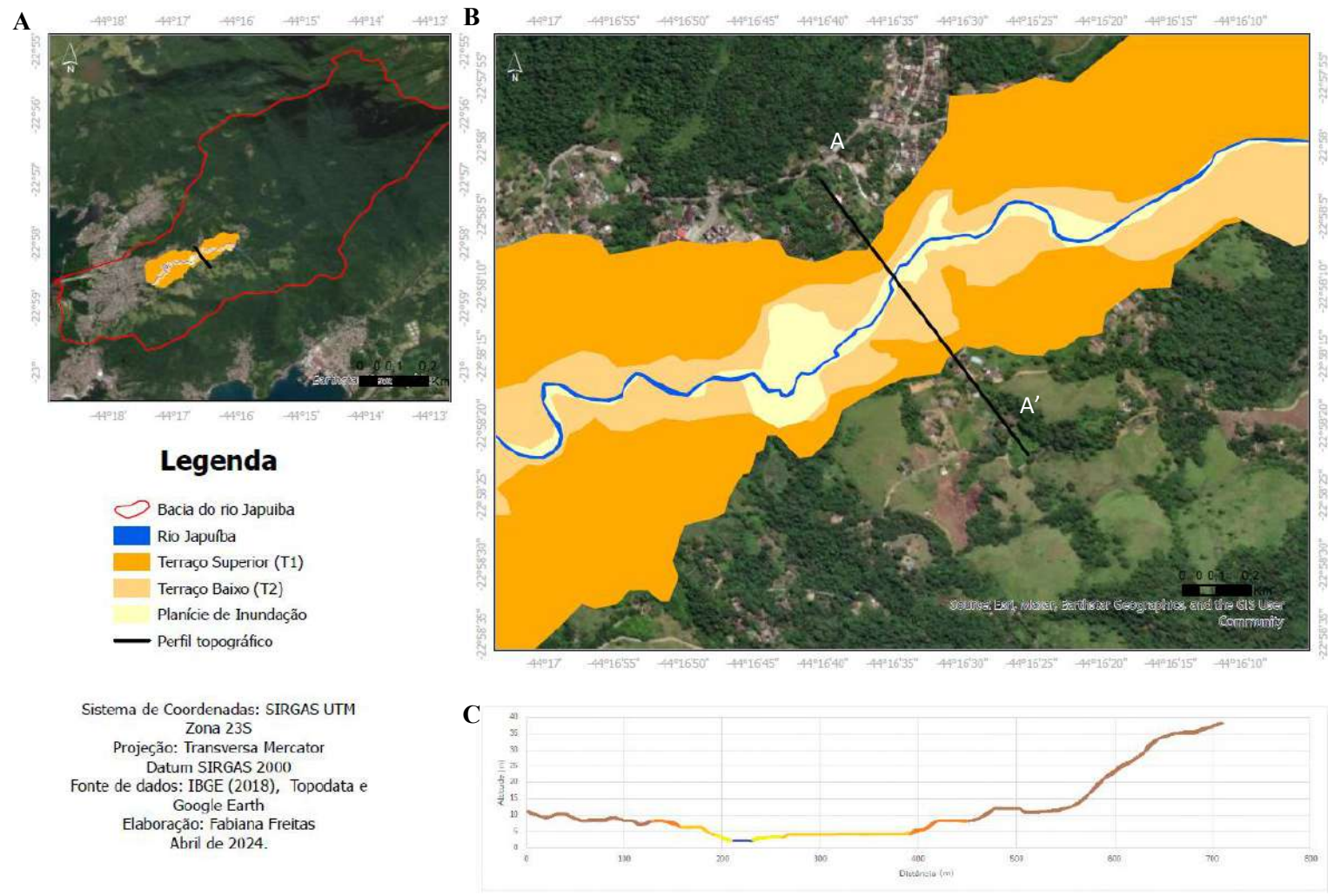


Foto: T.M. Silva, out./2022.

O trecho de maior retenção da sedimentação quaternária da bacia encontra-se em seu médio-baixo curso, como pode ser observado na figura 36A. E as unidades de relevo presentes em seu fundo de vale (terraço alto – **T1**; terraço baixo – **T2**) possuem pacote sedimentar pouco espesso; além da ocorrência de planície de inundação descontínua (Figura 36B).

Através do perfil transversal ao eixo do canal realizado (Figura 36C), pode-se também notar a distribuição dos níveis de terraços e a extensão diferenciada em cada margem do rio Japuíba.

Figura 36: Mapa dos diferentes níveis de terraços identificados na planície fluviomarinhas do rio Japuiba. **A** – imagem *Google Earth Pro* com delimitação da bacia; **B** – Mapa dos níveis de terraços identificados em trecho do médio-baixo curso do rio Japuiba e **C** – Perfil transversal ao fundo de vale (A-A') com identificação dos níveis de terraços.



O terraço superior (**T1**) foi identificado nas duas margens do canal fluvial, porém em maior extensão na margem esquerda do rio Japuíba, em sentido à jusante. Está a cerca de 6 a 10 metros da calha fluvial atual.

De acordo com Mello (1997), os terraços elevados encontrados nas bacias de drenagem do sudeste brasileiro constituem-se de uma superfície marcante formada pelo entulhamento sedimentar holocênico, com presença, muitas vezes, de meandros abandonados e paleocanais assim como podem ser observados na extensa área do terraço baixo (**T2**) da figura 37.

Figura 37: Imagem aérea de um trecho do médio-baixo curso da bacia do rio Japuíba. Observa-se a presença de meandros abandonados no nível do terraço baixo – T2.



Foto: S.L.S. Silva, dez./2009.

Na figura 38, pode ser observado no trecho do médio-baixo curso do rio Japuíba a presença dos terraços fluviais **T1** e **T2**, sendo possível identificar também uma pequena planície de inundação.

Figura 38: Imagem de um trecho do médio-baixo curso da bacia do rio Japuíba obtida em sobrevoo. Observa-se a presença dos diferentes níveis de terraços fluviais (terraço alto - T1 e terraço baixo - T2).



Foto: S.L.S. Silva, dez./2009.

A feição morfológica de terraço baixo (**T2**) varia entre 2 a 4m de altura e encontra-se espacialmente distribuída ao longo de quase todo o médio-baixo curso do rio Japuíba e de significativa extensão espacial. Ocorrem, principalmente, nos locais onde a sinuosidade do canal é maior, ou quando há mudanças bruscas na orientação do canal, como por exemplo em curvaturas anômalas.

Na figura 39 é possível observar a presença do terraço baixo (**T2**) e da planície de inundação. Neste trecho, ocorre a confluência do rio Banqueta-Japuíba com o rio Cabo Severino, e onde observa-se intenso assoreamento, marcado pela presença de bancos de areia e barras fluviais.

Figura 39: Imagem aérea de um trecho do médio-baixo curso e da confluência do rio Banqueta com o rio Japuíba. Observa-se a presença do terraço baixo - T2 e da planície de inundação.



Foto: S.L.S. Silva, dez./2009.

A feição de planície de inundação está topograficamente de 0,5 a 1,0 metro acima da calha fluvial. Contudo, encontra-se irregularmente distribuída ao longo de todo o vale do rio Japuíba, desde o alto curso até o baixo curso. No alto curso, estão distribuídas de forma bastante fragmentada, com pequenas extensões areais, geralmente alternadas entre as margens do canal e em trechos onde há sinuosidade do vale. No baixo curso apresentam-se de forma bastante antropizada com muitos trechos retinizados (CPRM, 2019).

Em relação à profundidade total da sedimentação quaternária na bacia, não foi possível a realização SEVs - seções elétricas verticais, cujas interpretações das curvas de eletrorresistividade permitem formular modelos para o pacote deposicional de uma dada área investigada. No entanto, em pesquisa desenvolvida por Silva (2010) foi possível identificar a profundidade do pacote sedimentar quaternário da bacia do rio Suruí (Magé, RJ) que tem situação semelhante a bacia do rio Japuíba. É uma bacia costeira localizada no recôncavo da Baía da Guanabara. Nela foram realizados perfis de eletrorresistividade (SEV.2) para detectar a profundidade dos sedimentos quaternários, sendo alcançados os seguintes resultados: uma

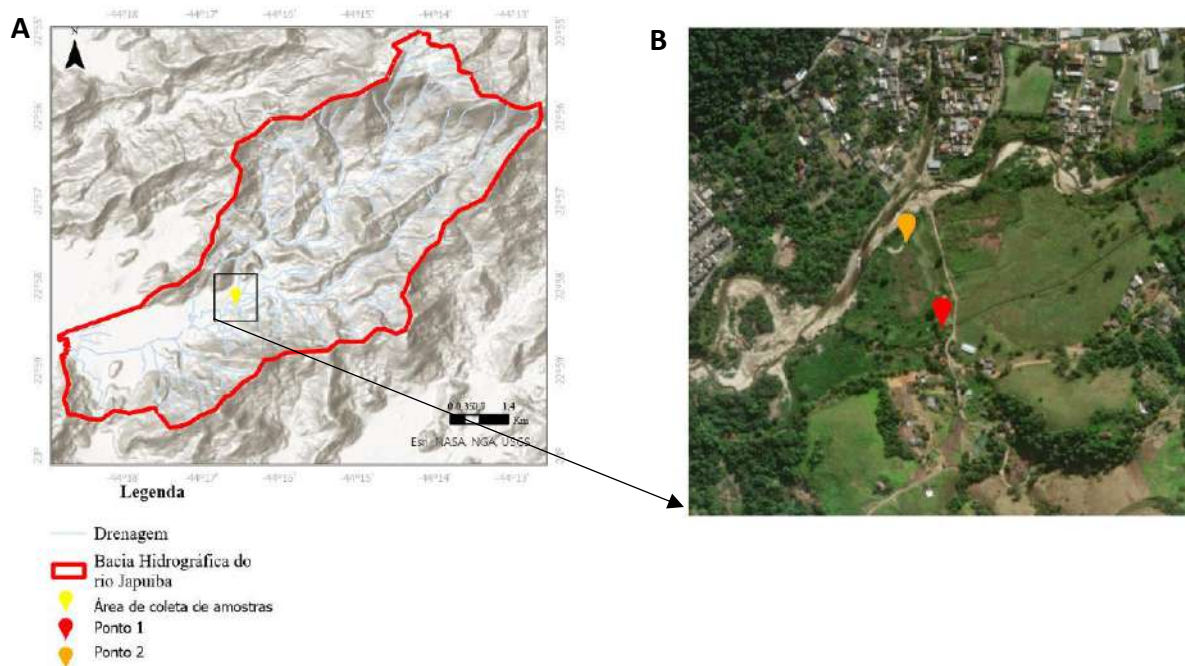
camada geolétrica de alto valor de eletrorresistividade (ρ : 4444 ohm.m) medindo 0,6m de espessura e profundidade, sendo interpretada como camada de solo superficial; uma segunda camada geolétrica com redução significativa da eletrorresistividade, passando para o valor de 657 ohm.m, com espessura de 5,75 m e alcançando profundidade de 6,39 m; sendo interpretada como camada de sedimentos mais grosseiros; a terceira camada geolétrica de menor valor de eletrorresistividade (ρ : 234 ohm.m) a uma profundidade de 11,5 m e com espessura de 5,11 m, sendo associada a uma camada saturada com presença de material argiloso; uma quarta camada geolétrica identificada os valores de eletrorresistividade (ρ : 2867 ohm.m) aumentando novamente e indicando uma camada de composição mais grosseira e associada uma condição de não-saturação, possuindo espessura de 29m e chegando a profundidade de mais de 40 m; e partir desta camada a eletrorresistividade aumenta consideravelmente (ρ : 9196 ohm.m), indicando já ter se atingido camada de litologia mais resistente rumo ao embasamento rochoso. Acredita-se que na bacia do rio Japuíba também deve haver uma profundidade do pacote sedimentar quaternário bastante similar devido às condições geomorfológicas bastante semelhantes entre as bacias de drenagem analisadas.

No próximo subitem iremos buscar contar um pouco da história sedimentar dessa acumulação fluvial, através do levantamento de perfis sedimentográficos e datação por C_{14} .

Dinâmica sedimentar dos níveis de terraços fluviais

A análise e evolução da dinâmica sedimentar da planície fluvial do rio Japuíba foram realizadas através do levantamento de perfis sedimentográficos nos dois diferentes níveis de terraços da bacia do rio Japuíba. A localização dos perfis realizados no médio-baixo curso fluvial pode ser visualizado na figura 40.

Figura 40: Mapa da bacia do rio Japuíba (A) e Imagem Google Earth Pro (B) com a localização dos pontos de coleta das amostras: Ponto 1 - nível de terraço mais elevado (T1); Ponto 2 – nível de terraço baixo (T2).



As amostras foram coletadas em pontos previamente selecionados em atividades de gabinete e trabalho de campo anteriores e nos quais identificou-se a presença de paleossolos (solos antigos) – pontos 1 e 2 da figura 40. Vale ressaltar que, devido às fortes chuvas que atingiram o município de Angra dos Reis em abril de 2022, grande parte dos terraços fluviais foram fortemente erodidos, com desbarrancamento e dificultando os locais de coleta.

Foram coletadas um total de cinco amostras, sendo quatro em paleossolos de argila orgânica preta com a presença de restos vegetais fossilizados e uma amostra com predomínio de argila cinza escura acastanhada, mas também siltosa, e com a presença de material oxidado (Quadro 8).

Quadro 8: Coordenadas e descrição das amostras coletadas nos Pontos 1 e 2.

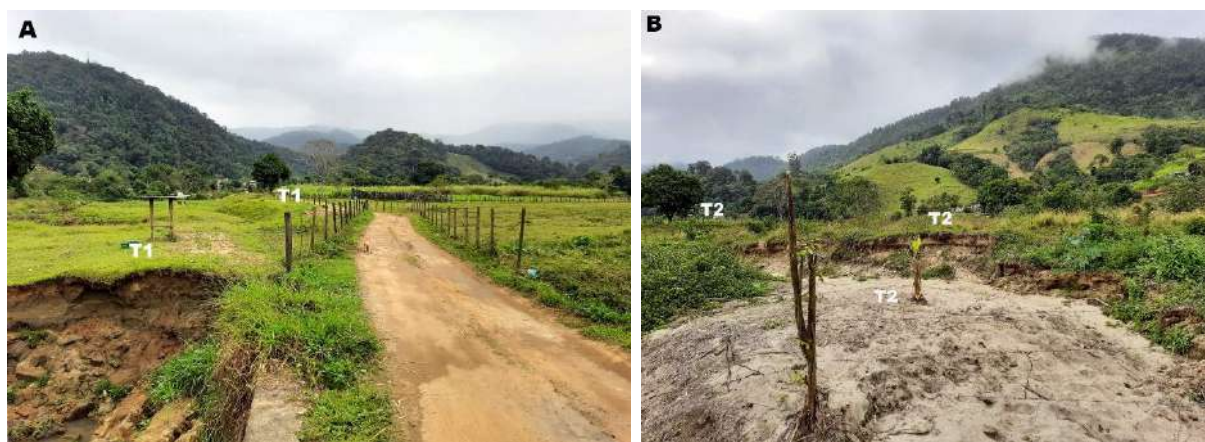
PONTOS	COORDENADAS	FEIÇÃO MORFOLÓGICA	AMOSTRAS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
1	22°58'09.98'' S 44°16'33.07'' W	Terraço fluvial T1 na margem esquerda do rio Japuíba	Amostra 1.5	Argila cinza escura acastanhada média, siltosa, com a presença de material oxidado (gramíneas).
			Amostra 1.4	Argila orgânica, preta, siltosa, compacta, com restos vegetais (galhos e troncos de árvores)
			Amostra 1.3	Argila orgânica, preta, siltosa, compacta, com restos vegetais (galhos e troncos de árvores).
			Amostra 1.2	Argila orgânica, preta, siltosa, compacta, com restos vegetais (galhos e troncos de árvores).
2	22°58'13.93'' S 44°16'29.90'' W	Terraço fluvial T2 na margem esquerda do rio Japuíba	Amostra 1.1	Silte castanho médio, com a presença de areia muito fina, bioturbado com poucos grânulos.

Passaremos agora para a descrição dos pontos (Pontos 1 e 2) onde foram realizados os perfis sedimentográficos e as coletas das amostras para datação por C₁₄.

Ponto 1 – Terraço Fluvial T1 (terraço superior)

O ponto 1 (Figura 41A) está localizado em nível de terraço fluvial mais elevado da planície fluvial estudada (**T1**), sendo constituído por material aluvionar e servindo de testemunho de um período em que a calha do rio Japuíba teve maior competência para entalhar sedimentos depositados em momentos anteriores de sedimentação do fundo de vale fluvial formando o referido terraço fluvial. Nesse ponto foram coletadas quatro amostras de paleossolos reconhecidos no perfil sedimentográfico realizado e uma amostra de argila cinza escura acastanhada, siltosa e com a presença de material oxidado.

Figura 41: Visão panorâmica dos terraços fluviais **T1** e **T2** onde foram realizados perfis sedimentográficos e coletadas as amostras para datação por C_{14} . **A** – Ponto 1; **B** – Ponto 2.



Fotos: F.P. Freitas, jun./2022.

No perfil sedimentográfico completo podem ser reconhecidas oito camadas (Figura 42), onde a camada basal corresponde a uma camada orgânica composta por argila orgânica, preta, siltosa, compacta, com restos vegetais, como galhos e troncos de árvores, e de onde foi coletada a amostra 02. A camada seguinte é composta por areia média, de tonalidade cinza amarelada, siltosa, moderadamente selecionada, subangulosa e com pequenas lâminas de argila preta siltosa. O terceiro nível de sedimentação é formado por outro nível de paleossolo, composto de argila orgânica, preta, siltosa, compacta, com restos vegetais (galhos e troncos de árvores), onde foi coletada a amostra 03. A quarta camada é composta por areia média, cinza, com níveis de argila orgânica, preta, subangulosa e moderadamente selecionada. A quinta camada apresenta presença de paleossolo constituído de argila orgânica, preta, siltosa, compacta, e restos vegetais como galhos e troncos de árvores, onde foi retirada a amostra 04. A sexta camada é composta de areia fina, cinza acastanhada média, siltosa, quartzosa, bem selecionada e com formato subarredondada. A sétima camada é formada por uma argila cinza escura acastanhada média, siltosa, com a presença de material oxidado, aparentemente, gramíneas, onde foi coletada a amostra 05, por se tratar também de material com grande quantidade de matéria orgânica. A camada superior (oitava camada) é composta por areia média, cinza escuro, com seixos finos a grosseiros, mal selecionados, com formato subangular, onde puderam ser observadas bioturbações.

Figura 43: Fotografia ilustrativa do nível de paleossolo localizado na base do perfil sedimentográfico com presença de vestígios de troncos de árvores fossilizados.



Foto: F.P. Freitas, jun./2022.

Nas figuras 44A e 44B é possível observar com detalhes vestígios do tronco fossilizado encontrado no primeiro nível, no mesmo nível da amostra de paleossolo.

Figura 44: Vestígios de troncos com preservação das fibras da madeira. Em **A** o tronco retirado do perfil para análise e **B** pedaço do tronco ainda no testemunho.



Fotos: F. P. Freitas, jun/2022.

Esse terraço apresenta uma sucessão de camadas argilo-arenosas que variam de areia média com lâminas de argilas a areia média com bioturbações, e ainda camadas intermediárias de areia fina, paleossolos e argila. Este tipo de sequência sedimentar é comum em áreas que oscilaram entre inundadas e com baixa energia. Nestes ambientes, o sedimento se deposita lentamente formando camadas finas e uniformes. Os pacotes de areia média presentes correspondem a um momento de energia oscilante; enquanto os paleossolos indicam períodos de estabilidade ambiental.

O nível de paleossolo sobrejacente (em aproximadamente 1,40 m) também possui grande presença de restos vegetais (Figura 45) e de onde foi coletada a amostra 03. Apresenta características semelhantes ao anterior com presença de argila orgânica preta, siltosa e compactada.

Figura 45: Paleossolo com vestígios de troncos de árvores onde foi coletada a amostra 03.



Foto: F.P. Freitas, jun./2022.

O nível de paleossolo seguinte (na profundidade de 1,10 m) (Figura 46) também contém presença de restos vegetais, porém de menores dimensões, mas ainda com fibras vegetais preservadas, conforme podem ser observadas nas figuras 47A e 47B e onde foi coletada a amostra 04.

Figura 46: Fotografia ilustrativa do perfil sedimentográfico do terraço elevado (Perfil T1) com exposição dos paleossolos reconhecidos e onde foram coletadas as amostras 05 e 04.



Foto: F. P. Freitas, jun./2022.

Figura 47: Detalhes do pedaço do tronco com fibra de madeira preservada encontrado no paleossolo do T1 (Amostra 04).



Foto: F. P. Freitas, jun./2022.

A amostra 05 foi coletada do paleossolo localizado no setor superior do perfil sedimentográfico, onde constatou-se a presença de material oxidado. Essa camada é caracterizada por argila cinza acastanhada siltosa e pode ser observada na figura 46.

Em resumo, o perfil sedimentográfico mostra as variações no nível de energia do ambiente de deposição, através da alternância entre depósitos de baixa energia (argilas,

paleossolos) e depósitos de alta energia (areias, seixos). Também é possível definir episódios de estabilidade e pedogênese, pois a ocorrência de múltiplos paleossolos (Unidades I, III e V) indica períodos em que a área esteve exposta subaereamente, permitindo a formação de solos e o desenvolvimento de vegetação. Em várias unidades a presença de matéria orgânica e restos vegetais, indicam ambientes ricos em vida vegetal e/ou condições de anoxia que favoreceram a preservação da matéria orgânica. De uma forma geral, o perfil registra uma sucessão de ambientes, que podem incluir ambientes terrestres (paleossolos), fluviais (areias, seixos), pantanosos (argilas com matéria orgânica e gramíneas oxidadas), ou transicionais.

A análise deste perfil sugere uma história geomorfológica dinâmica para a área, com flutuações em condições ambientais, como variações climáticas, deslocamento de canais fluviais, que levaram à deposição de diferentes tipos de sedimentos e à formação de solos em distintos momentos.

Ponto 2 – Terraço Fluvial T2

O nível de terraço fluvial mais baixo (Ponto 2) também está localizado na margem esquerda do rio Japuíba, sendo constituído por material aluvionar em nível mais alto do que a atual planície de inundação (Figura 48).

Figura 48: Perfil sedimentográfico no terraço **T2** com destaque para a ocorrência de Paleossolo.



Foto: F. P. Freitas, jun./2022.

O perfil sedimentográfico do afloramento no ponto 2 mostra a sequência de camadas de areia grossa, seixos finos, seixos médios, paleossolo siltoso com bioturbações, areia muito grossa e areia média com bioturbações (Figuras 49 e 50).

A camada I é composta por areia grossa de coloração cinza amarelada, siltosa, moderadamente selecionada e subangular (Figura 49). A camada II é composta de seixos finos, com matriz suportada, coloração cinza amarelada, moderadamente selecionada e subarredondada. O terceiro nível de sedimentação é formado por seixos médios com matriz suportada de areia grossa, coloração cinza médio, mal selecionada e subarredondada. A quarta camada é composta por um nível de paleossolo predominantemente siltoso, de cor castanho médio, com a presença de areia muito fina, bioturbado com poucos grânulos. Desse paleossolo foi retirada a amostra 01 (Figura 50). A quinta camada possui presença de areia muito grossa cinza amarelada média, mal selecionada, subarredondada e com raros grânulos. A camada superior composta por areia média cinza escura, com seixos finos a grossos, presença de bioturbações, mal selecionada e subarredondadas.

Figura 49: Perfil sedimentográfico do Terraço T2 localizado à margem esquerda do rio Japuíba.

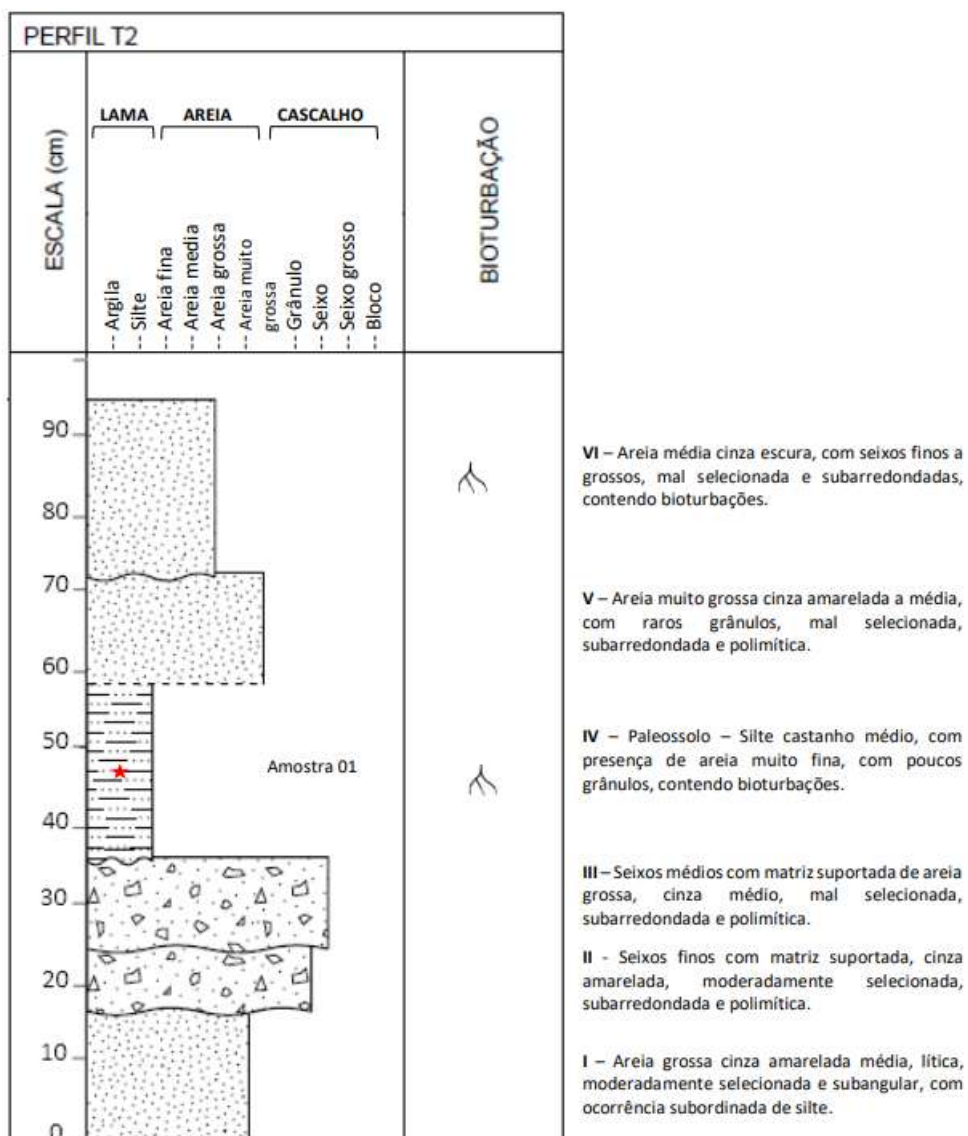


Figura 50: Fotografia do perfil sedimentográfico realizado no T2 com indicação da localização do paleossolo onde foi retirada a amostra 1.



Fotos: F. P. Freitas, jun./2022.

Esse perfil sedimentográfico representa, portanto, uma sucessão de sedimentos de granulometria distinta, variando de areia grossa a areia média e presença de bioturbação, apresentando ainda lentes de seixos e de paleossolo. Tal pacote deposicional é comum em áreas onde há oscilação de energia, onde sedimentos mais grosseiros se depositam rapidamente no fundo do leito formando material grosseiro e bastante heterométrico. Os pacotes de areia grossa e muito grossa, presentes no perfil (camadas II e II da Figura 49), corresponde a um episódio deposicional de alta energia. E o nível em que ocorre o paleossolo corresponde a um solo antigo que, segundo Nowatzki (2005), constitui um bom indicador da existência de um intervalo de não-deposição com tempo suficiente para o desenvolvimento de um horizonte “A” e, assim, indicando marcador temporal de um período de estabilidade no mecanismo evolutivo da paisagem.

Reconstituição evolutiva quaternária da bacia do rio Japuíba

O Quaternário corresponde a um curto intervalo de tempo geológico, abrangendo os últimos 2.58 milhões de anos da história do planeta. Este intervalo constitui objeto de estudo de uma grande gama de pesquisadores e especialidades, pois se destaca, entre outras diversas peculiaridades, por ser o período do surgimento e evolução da espécie humana e de significativas mudanças paleoambientais que modificaram taxas de intemperismo e de pedogênese, regimes fluviais, nível dos oceanos e distribuição espacial dos seres vivos e, portanto, o Período da configuração atual da paisagem. A partir dos estudos do Quaternário pode-se, portanto, determinar alguns prognósticos sobre o futuro, bem como estabelecer um elo entre o passado geológico recente e o presente (SUGUIO, 1999).

Dentro desse contexto, a análise da evolução do relevo durante o Quaternário através de seus depósitos correlativos refere-se a um procedimento metodológico de extrema relevância voltado para à elucidação de evidências dos processos formadores das feições de relevo. Por sua vez, as alterações do regime climático ao longo desse período possuem estreita relação com o desencadeamento dos processos morfogenéticos e, por conseguinte, constitui elemento fundamental para à compreensão evolutiva do modelado, seja em virtude do caráter de suas flutuações cíclicas ou de eventos episódicos de magnitude elevada, que envolvem a manifestação de um elevado grau de energia em um curto espaço de tempo (SUGUIO, 1999).

Sedimentos depositados durante o Quaternário e seus modelados de acumulação resultantes tornam-se registros dos processos geomórficos que exerceram controle sobre a evolução da paisagem, principalmente nos contextos geotectônicos da zona tropical, seja sob a forma de notáveis relevos deposicionais ou de uma sequência de estratos inumados que revele a história evolutiva da paisagem. Suguio (1999) chama a atenção que os depósitos quaternários possuem relação intrínseca com a topografia atual, sendo imprescindível a distinção entre as superfícies originadas por erosão de rochas mais antigas e aquelas elaboradas pela deposição de sedimentos quaternários. A geometria do relevo da área fonte influencia a produção e o transporte de sedimentos, de acordo com o nível de energia disponível. As diversas formas resultantes da deposição sedimentar são as respostas a esses processos desencadeados e correspondem à superfície contemporânea do terreno.

A evolução de uma bacia hidrográfica é, portanto, marcada por uma constante transformação, resultante da complexa interação entre processos geológicos e climáticos. As oscilações climáticas, ao alterarem o regime de chuvas, a temperatura e outros fatores, como a vegetação, exercem papel fundamental na modulação dos processos da bacia, como a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos. A morfologia de um vale depende de três mecanismos

fundamentais da evolução fluvial: a erosão, que molda o fundo e as laterais do vale; o transporte de sedimentos, que redistribui os materiais ao longo do leito do rio; e a deposição, que resulta na formação de concentrações de sedimentos e alteração das formas do fundo de vale. Essa dinâmica contínua, moldada pela interação entre forças internas e externas, torna a morfologia dos vales um local onde registros históricos podem ser identificados e relacionados às condições climáticas e/ou geológicas que uma bacia foi submetida ao longo do tempo.

Os mecanismos que levam à alteração dos vales fluviais são diversos, sendo que um deles está relacionado às oscilações entre fases climáticas secas e úmidas (PAZZAGLIA, 2010). Qualquer mudança de vazão e descarga experimentada pelo rio, em consequência das variações no regime de chuvas, é potencialmente registrada nos seus sedimentos, cuja granulometria apresenta correlação direta com a energia do fluxo. Assim, os terraços podem testemunhar diferentes momentos de evolução do vale como agradação e incisão (MATHER; STOKES, 2017).

Segundo Summerfield (1991) a formação dos terraços fluviais ocorrem através de processos complexos e graduais, resultantes da interação dos diversos processos listados a seguir: a) **Variação no nível de base** - alterações no nível de base geral, causadas por mudanças climáticas (glaciações, períodos interglaciais), movimentos tectônicos (soerguimento, subsidência) ou mudanças no regime fluvial, podem levar à incisão do rio em seu próprio leito; b) **Erosão vertical e lateral** – o rio aprofunda seu próprio leito e/ou amplia seu vale, cria um novo braço de canal, erode as margens e/ou forma meandros; c) **Deposição** - em períodos de menor energia, quando o rio deposita o material transportado formando planícies aluviais e d) **Ciclos de erosão e deposição** - a formação dos terraços fluviais é resultado da alternância de fases de erosão e deposição, controladas por alterações climáticas e/ou tectônicas. Durante períodos de deposição, o rio constrói planícies aluviais e quando ocorre uma nova fase de incisão, a planície aluvial anterior é abandonada, há o encaixamento da calha fluvial e formação de terraço fluvial.

Para investigação dessas etapas evolutivas é necessário, portanto, análises vinculadas à distribuição da sedimentação quaternária bem como à própria compreensão do pacote sedimentar, que podem ser investigados através do levantamento de perfis sedimentográficos e complementados pela datação de ^{14}C dos materiais encontrados nos perfis.

Ressalta-se que a identificação de paleossolos dentro de perfis sedimentográficos é particularmente importante por indicarem paisagens pretéritas e possíveis alterações nas condições climáticas. A análise das características de paleossolos, incluindo sua composição e posicionamento estratigráfico, pode fornecer pistas sobre vegetação, regime climático,

ocorrência de episódios extremos e até mesmo práticas humanas de uso da terra. Para Semmel (1989), a função básica dos paleossolos para a geomorfologia consiste em indicar as condições ambientais sob as quais as formas de relevo evoluíram. A análise dos perfis sedimentográficos realizados pode contribuir para reconstituição de paleopaisagens.

Segundo Ladeira e Santos (2005), níveis deposicionais, como a planície fluvial em estudo, recebem aportes periódicos de sedimentos, onde níveis de paleossolos se desenvolvem entre dois episódios deposicionais maiores, mas raramente correspondem a paleossolos muito evoluídos. Quando há ocorrência de paleossolos espessos e bem desenvolvidos significa existência de longos períodos de desenvolvimento de solo e de estabilidade da paisagem.

Os níveis de paleossolos encontrados nos perfis sedimentográficos da bacia do rio Japuíba e datados por ^{14}C demonstraram que a sedimentação quaternária é bastante recente, sendo encontrado o paleossolo mais antigo com idade de 2376 ± 71 AP (idade calibrada de 2465 - 2156 anos cal AP) (Quadro 9), logo holocênica. Acreditamos que por se tratar de um ambiente tropical úmido, a intensidade dos fluxos d'água derivados de episódios de chuvas constantes e intensas possibilitaram o transporte de quantidade elevada de materiais com formação da planície fluvial (Figura 34).

Quadro 9: Idades das amostras de paleossolos datadas por ^{14}C pelo laboratório de Radiocarbono da UFF.

LOCAL	AMOSTRA	DATAÇÃO ^{14}C (anos AP)	IDADE CALIBRADA (anos cal AP)
Ponto 1 – Terraço superior – T1	5	488 ± 64	558 – 323
	4	488 ± 25	508 – 334
	3	2376 ± 71	2465 – 2156
	2	1481 ± 49	1424 – 1184
Ponto 2 – Terraço Baixo – T2	1	442 ± 57	523 – 323

As cinco amostras coletadas nos pontos 1 e 2 obtiveram idades recentes (holocênicas) e algumas foram interpretadas com base na suposta dinâmica do regime climático local.

Foram obtidas as seguintes idades absolutas por ^{14}C para as quatro amostras do perfil sedimentográfico do terraço superior (**T1**) (Figura 42):

- **Amostra 2** - 1481 ± 49 anos AP (Idade calibrada 1424 – 1184 anos cal AP): como já descrito anteriormente esse nível de paleossolo está na base do perfil a aproximadamente a 1,8 m de profundidade e a datação foi processada a partir de fibras vegetais conservadas e argila orgânica. Acredita-se que possa corresponder a um momento em que a planície fluvial

estivesse em um regime de baixo fluxo fluvial, quase em um sistema de lago, onde até mesmo partículas mais finas como argila e silte foram acamados.

- **Amostra 3** - 2376 ± 71 anos AP (Idade calibrada 2465 – 2156 anos cal AP): essa idade corresponde a camada superior onde o paleossolo situado a 1,40 m também possuía presença de inúmeros restos vegetais. No entanto, a possível explicação para uma idade mais antiga que a da camada inferior deve estar associada à fonte dos restos vegetais datados que possivelmente tenham sido remobilizados de áreas onde havia vegetação e então depositados.
- **Amostra 4** - 488 ± 25 anos AP (Idade calibrada 508 – 334 anos cal AP): o material em que foi extraído a amostra contém restos vegetais de menores dimensões, mas ainda com fibras vegetais preservadas. Trata-se de um solo muito jovem e que, provavelmente, já possa ser associado às interferências antrópicas que ocorreram no período de colonização do Brasil e início de ocupação de Angra dos Reis, no século XVI.
- **Amostra 5** - 488 ± 64 anos AP (Idade calibrada 558 – 323 anos cal AP): essa amostra obteve uma idade muito próxima a amostra da camada subjacente e certamente mostra que nesse paleossolo a presença de material extremamente oxidado na camada de argila cinza acastanhada siltosa deve ter tido uma remobilização de material exposto de camadas anteriores e, assim, levando a obtenção de idade um pouco mais antiga.

A **amostra 1** refere-se ao perfil sedimentográfico 2 e corresponde a datação do único paleossolo encontrado no terraço inferior (**T2**), obteve idade de 442 ± 57 anos AP (Idade calibrada 523 – 323 anos cal AP). Esta camada é predominantemente siltosa, de cor castanha, com a presença de areia muito fina e bioturbado com poucos grânulos. Corresponde portando as camadas holocênicas superiores do perfil 1, demonstrando a existência de mecanismos holocênicos de deposição e pedogênese em ambos os níveis de terraços fluviais.

Acredita-se que as datações obtidas por ^{14}C tenham posicionado bem a sedimentação holocênica da planície do rio Japuíba e tenha contribuído para ressaltar a energia dos eventos extremos na localidade e que são responsáveis pela mobilização significativa de material em direção à jusante, com capacidade inclusive de remobilizar material provindo de áreas posicionadas bem à montante.

Correlações específicas quanto a variações de períodos úmidos e secos que levaram à deposição da planície fluvial e formação de paleossolos não foram possíveis, pois seriam necessárias análises palinológicas. No entanto, pode-se interpretar que durante o Holoceno houve uma dinâmica de abandono de planícies aluviais e formação de terraços que, se formaram

em condições mais úmidas do clima. Segundo Novello *et al.* (2018), o intervalo entre os séculos X e XIII correspondeu à Anomalia Climática Medieval (MCA – *Medieval Climatic Anomaly*) em que, a América do Sul, teria experimentado condições secas sem precedentes, porém o sudeste brasileiro teria apresentado uma anomalia mais úmida. O mesmo autor afirma que o evento global conhecido como Pequena Idade do Gelo (LIA – *Little Ice Age*), ocorrido entre os anos de 1650 e 1.850, causou grande resfriamento na Europa e América do Norte (MANN *et al.*, 2009), sendo que, em regiões tropicais como o Brasil, foi responsável pelo aumento da umidade em partes do país devido à maior intensidade das monções sul-americanas.

Após as informações coligidas podemos sintetizar as seguintes etapas evolutivas para a planície fluvial holocênica do rio Japuíba:

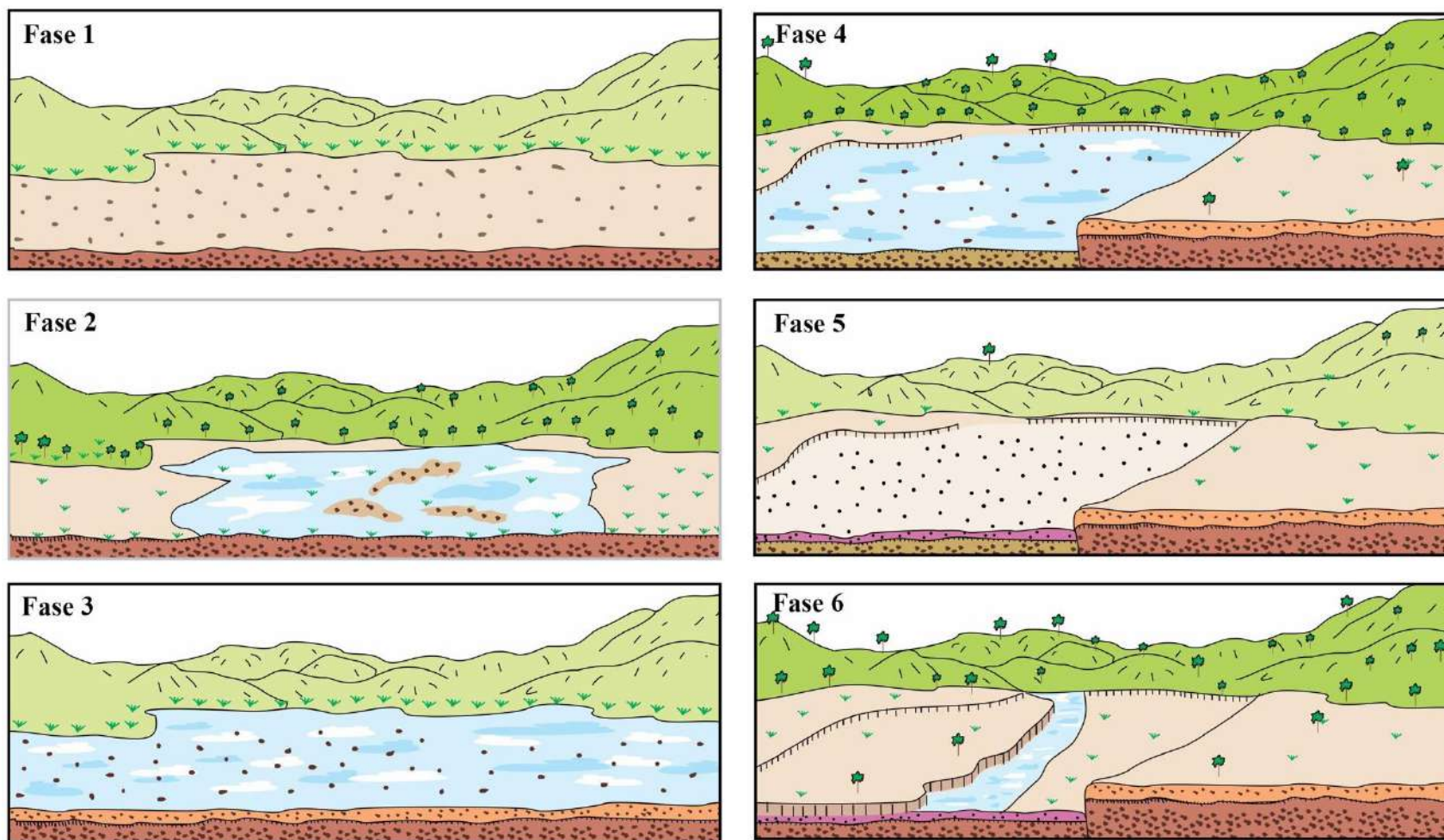
- **Fase 1** – encaixamento do leito fluvial do rio Japuíba resultante provavelmente pelos eventos tectônicos da área, como já colocada anteriormente como sendo bem significativos na conformação da bacia, e que pode ser identificada pelos índices morfométricos como, por exemplo, pelo índice de atividade tectônica relativa (IAT) bastante elevado de valor 1,75. Sendo assim, essa seria a fase inicial onde o leito fluvial passou por um período de canalização derivada da intensa energia erosiva, levando ao encaixamento fluvial e de erosão à montante, gerando grande transporte e, posterior, deposição resultando na formação da extensa planície fluvial nos trechos médio e baixo da bacia (Figura 51A).
- **Fase 2** – momento em o regime climático deve ter ficado mais úmido levando à expansão da mata e deposição fluvial, principalmente para os trechos médio e baixo da bacia e início da canalização do fluxo d'água⁴ sobre a extensa planície fluvial, com formação da extensa planície de inundação. Sobre os sedimentos ocorrência de pedogênese com formação de horizonte “A” (Figura 51B).
- **Fase 3** – Uma nova fase de regime climático mais seco, com ocorrência de episódios de enxurradas, gera erosão acentuada nas encostas e novos episódios de sedimentação soterrando o solo em formação e, assim, dando origem ao paleossolo mais antigo encontrado na área de sedimentação fluvial do médio-baixo rio Japuíba. Foram datadas argilas orgânicas que parecem ser cunhas sedimentares das distintas enxurradas sendo encontradas idade de 2.376 ± 71 anos A.P. (2465 – 2156 anos cal A.P.) (Figura 51C).
- **Fase 4** – Momento de concentração dos fluxos d'água (provavelmente com episódios de regime climático mais úmido) levam à ocorrência do encaixamento fluvial expondo a parede

⁴ Ressalta-se que a área por estar no contexto dos Trópicos Úmidos possui elevados índices pluviométricos, alguns com episódios de chuvas extremas, e que detonam elevada carga de material transportada e acumulada em trechos de declividades suaves da bacia.

do nível de terraço mais elevado da bacia (**T1**); bem como ocorrência de pedogênese tanto sobre a parte elevada do **T1** como sobre os depósitos da nova planície fluvial em formação (Figura 51D).

- **Fase 5** – Novos episódios de enxurradas geram, mais uma vez, grande aporte de material para o fundo de vale com formação de nova camada sedimentar. A contínua chegada de material acaba soterrando o horizonte “A” que estava em formação em período de maior umidade. A idade estabelecida por datação ^{14}C nos níveis orgânicos encontrados foi de 442 ± 57 anos A.P. (523 – 323 anos cal A.P.) (Figura 51E).
- **Fase 6** – Condições de maior umidade fazem com que haja canalização fluvial na “planície fluvial embutida” entre as paredes do terraço elevado (**T1**) expondo, assim, a parede do nível de terraço mais baixo (**T2**), bem como a planície de inundação (Figura 51F).

Figura 51: Modelo evolutivo esquemático da bacia do rio Japuíba para o trecho de maior concentração da planície fluvial quaternária atual e na qual foram identificados distintos níveis de terraços fluviais (Figuras 35 e 36).



A título de esclarecimento da elaboração do modelo esquemático apresentado pela figura 52 ressalta-se que foi balizado na reconstituição evolutiva a partir da imagem de campo documentada em 31 de outubro de 2011 (Figura 52).

Figura 52: Visão panorâmica de um trecho do baixo-médio curso da bacia do rio Japuíba.



Foto: T.M. Silva (out./2011).

Ressalta-se que, conjuntamente, à formação dos terraços fluviais está relacionada a migração lateral do canal, sendo algumas curvas de meandros ficando abandonadas e, atualmente, marcando a paisagem na parte superior do terraço baixo (Figura 37).

Nos terraços fluviais estudados não foram encontrados nenhum vestígio de participação de sedimentação marinha, tendo, portanto, a bacia apenas vinculada ao mecanismo de evolução continental. No entanto, procurando inserir a bacia em estudo no contexto das bacias de drenagem costeiras do SE brasileiro faremos uma breve discussão a partir de pesquisas desenvolvidas sobre a temática evolutiva que, infelizmente, são bem poucas dentro da literatura.

Uma das obras pesquisadas refere-se a Passos *et al.* (2019) que ressaltaram as planícies costeiras do sudeste brasileiro como sendo, em sua maioria, estreitas e formadas por depósitos marinho-praiais, estuarinos e fluviais de idade essencialmente holocênica, corroborando com a idade obtida para os paleossolos datados por ^{14}C para os sedimentos de terraços fluviais da bacia do rio Japuíba. Tais autores mencionam que esses ambientes foram formados e submetidos às oscilações eustáticas e climáticas durante o Quaternário superior. E, assim como constatado para bacia do rio Japuíba, ressaltam também o controle dado pela neotectônica na fisiografia costeira da região SE. Souza (2015) estudando a costa de Bertioga (SP) observou a presença de camadas guia em depósitos marinhos pleistocênicos e holocênicos atingindo alturas de até 7,5 m e compara o modelo evolutivo desta planície costeira com aqueles propostos para a maioria das planícies costeiras brasileiras, ressaltando a peculiaridade da presença de raras feições do evento transgressivo-regressivo (240–260 mil anos) afetado por pelo menos dois pulsos tectônicos no final do Pleistoceno e um pulso durante o Holoceno Médio a Superior, destacando, por mais uma vez, o papel da tectônica nas bacias da costa do Brasil SE.

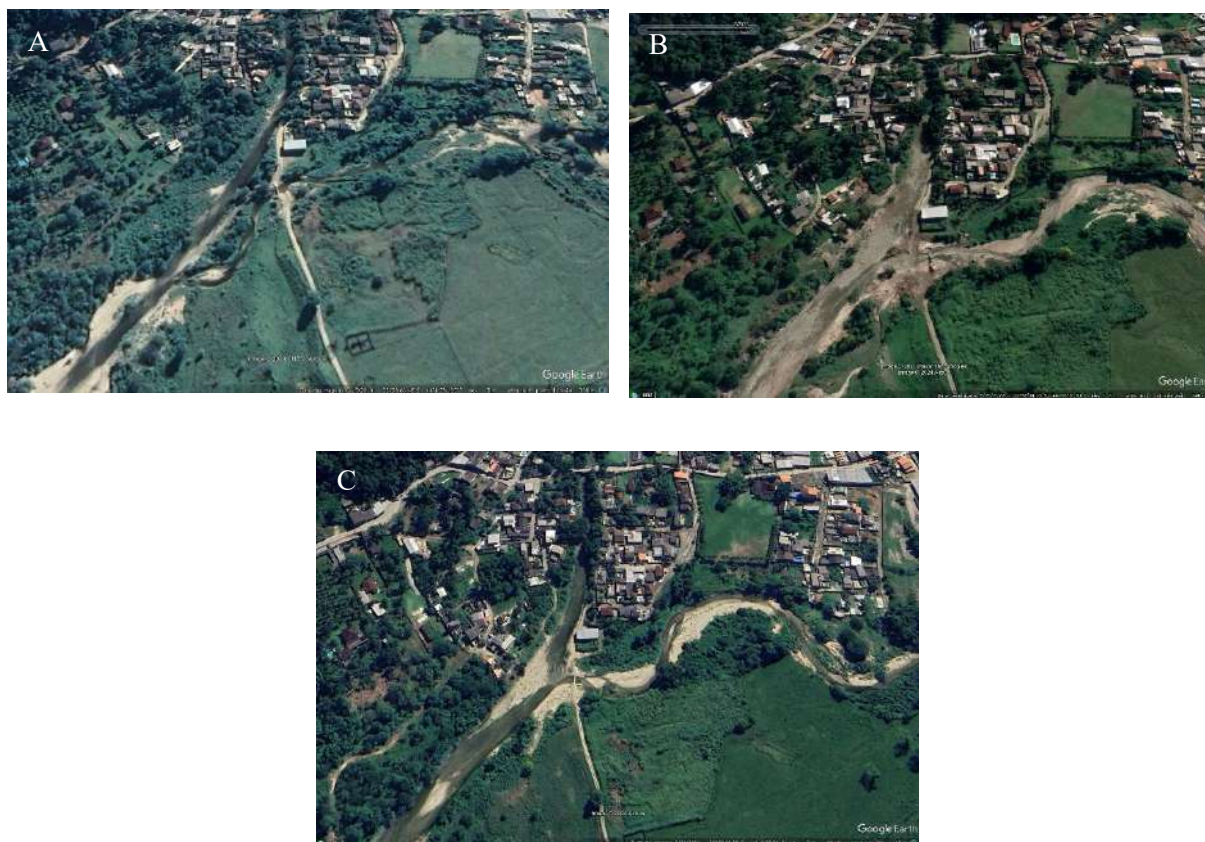
Finalizando a discussão, o trabalho realizado por Souza e Azevedo Sobrinho (2015) sobre as feições *beachrocks* em Ubatuba (SP) e variações do nível do mar em depósitos praias de bacias com situação semelhante à Japuíba também obtiveram idade holocênica (Datações AMS revelaram idades de 4820-4440 anos cal AP), demonstrando assim como é recente a evolução da costa do SE brasileiro.

Buscando demonstrar a intensidade da dinâmica local da bacia em estudo iremos exemplificar, a partir da análise de imagens *Google Earth Pro* recentes (Figura 53), a intensidade das transformações na conformação das feições morfológicas do canal fluvial em resposta aos eventos de chuva extremas. A comparação entre as imagens de 2021 (antes de um evento chuvoso), de 2022 (imediatamente após um evento de chuva) e a imagem de 2024 revela o quão dinâmico é o sistema fluvial local em resposta às chuvas.

Na figura 53A o rio apresenta largura e margens bem definidas, mata ciliar estabelecida e área planície de inundação evidente. Na figura 53B, após a chuva extrema de 209,9 mm que ocorreu em 25 de abril de 2022, observa-se um aumento significativo da largura do canal fluvial, indicando a força erosiva durante a elevação da vazão fluvial e que levou à inundação. A erosão acentuada das margens e remoção da mata ciliar levou também à destruição da rua que seguia paralelamente ao rio Banqueta- Japuíba. A deposição de sedimentos na planície de inundação, alterou a topografia local e formou novas feições de deposição fluvial (barras longitudinais, barras de pontal etc.). É possível observar a turbidez da água, indicando o transporte de grande quantidade de sedimentos.

Na figura 53C é possível observar a retomada do eixo do canal. No entanto, observa-se uma significativa mudança nas formas fluviais presentes na figura 53A. Há deposição de grande quantidade de sedimentos, que pode ser constatado pelo número e tamanho de barras fluviais e que indica a condição de assoreamento do canal.

Figura 53: Imagens do *Google Earth Pro* com modificações intensas no leito do rio Japuíba em três momentos distintos: **A** - corresponde ao dia 03/07/2021; **B** - corresponde ao dia 25/04/2022 e **C** - Imagem do dia 31/03/2024.



De forma geral, a análise dessas imagens demonstra a intensidade e a complexidade da morfodinâmica dos processos desencadeados na bacia. A chuva de abril de 2022 causou alterações significativas na morfologia do rio Japuíba e a resiliência do sistema fluvial ainda está em curso. No entanto, um outro evento de chuva extrema provavelmente irá alterar significativamente esse sistema fluvial. Os exemplos mencionados dão base ao raciocínio evolutivo holocênico e mostram a intensidade das alterações do sistema fluvial que ocorreram e ocorrem na bacia estudada.

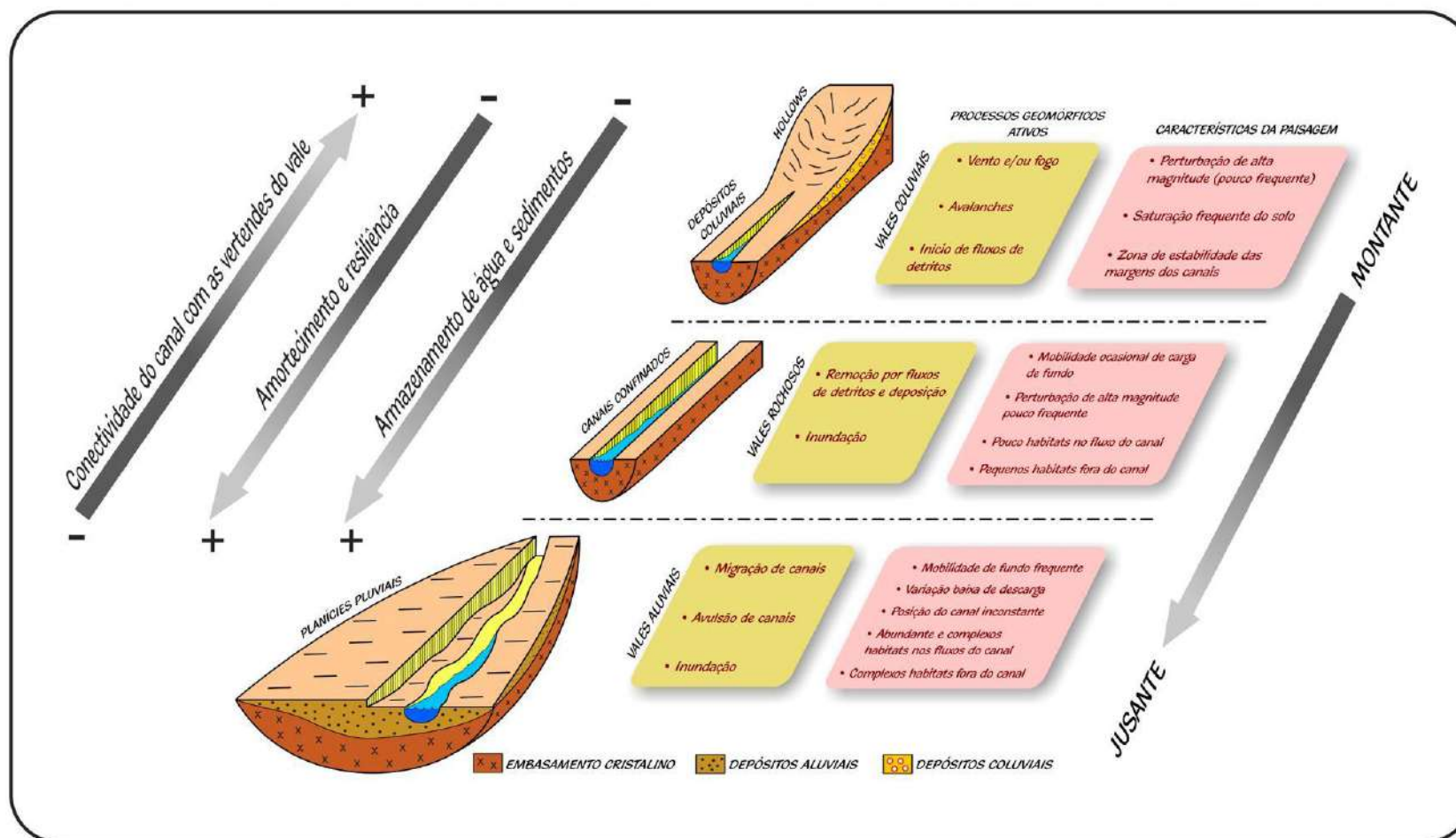
5.3 Dinâmica dos processos atuais ao longo dos rios Japuíba e Cabo Severino

Iniciaremos a análise da dinâmica atual da bacia do rio Japuíba retomando os resultados alcançados por Silva (2015). Como já mencionado em capítulo anterior, a referida autora classifica a bacia do rio Japuíba como sendo de compartimentação serrana extrema, por apresentar mais de 80% de sua área ocupada por feições serranas e caracterizada por uma morfodinâmica fluvial com capacidade de transferir eficientemente sedimentos remobilizados de áreas mais a montante. Foram identificados vales estreitos e bem encaixados que consequentemente definem segmentos de fundos de vale onde há pouco estoque de sedimentos. Silva (2015) apontou ainda a ocorrência de trechos da bacia com morfodinâmicas distintas baseada no arcabouço proposto por Bierman; Montgomery (2014) que reconhecem distintos segmentos de vale segundo o conceito de *continuum* vertente-canal⁵ (Figura 54).

Na figura 54 observa-se inicialmente a caracterização de três dinâmicas distintas que variam em intensidade de montante para jusante e vice-versa. Em relação a “conectividade do canal com as vertentes do vale fluvial” os autores ressaltam a relação existente entre vertentes e calha fluvial que é menor à jusante e aumenta gradativamente para montante. Já o “amortecimento e resiliência” e “armazenamento de água e sedimentos” dos canais são maiores à jusante e menores à montante. Estas características irão definir diferenças entre processos de transporte e armazenamento da carga sedimentar, bem como em característica da paisagem que se difere para os segmentos à montante da bacia onde há ocorrência das nascentes, bacias de zero ordem com ocorrência dos segmentos de *hollow* e, portanto, depósitos coluviais, passando pelo segmento intermediário da bacia onde há ocorrência de canais confinados em leitos rochosos até alcançar o trecho mais à jusante, onde predomina as planícies fluviais onde se dá a ocorrência de vales fluviais onde ocorre migração e avulsão de canais, bem como eventos de inundação.

⁵ Este conceito refere-se a ideia de que uma bacia fluvial é um conjunto de partes unidas entre si que apresenta **caráter de continuidade**, segundo a relação existente entre o canal de drenagem e a encosta, tendo na feição morfológica de vale como o modo de representação (BIERMAN; MONTGOMERY, 2014).

Figura 54: Desenho esquemático dos segmentos de uma bacia de drenagem Continuum vertente-canal.



Adaptado de: BIERMAN; MONTGOMERY (2014).

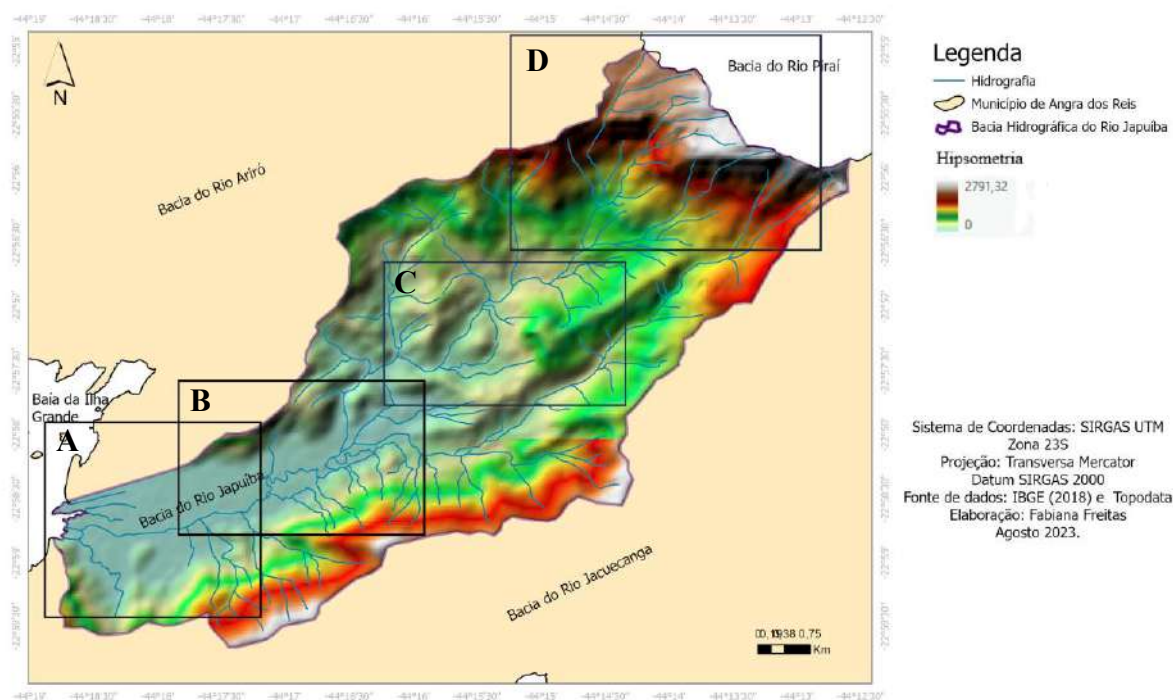
O caráter de continuidade (*continuum*) de uma bacia hidrográfica está associado à relação existente entre canal de drenagem e encosta, tendo, portanto, na feição morfológica do vale fluvial o maior representante da morfodinâmica fluvial. Desse modo, a categoria geomorfológica de vale foi o elemento fundamental da proposta apresentada por Bierman; Montgomery (2014), sendo estabelecidos os segmentos discriminados no quadro 10.

Quadro 10: Relação entre os segmentos do *continuum* vertente-canal e morfodinâmica fluvial. Modificado de: SILVA (2015).

SEGMENTO DA BACIA	PROCESSOS ATUANTES	MORFODINÂMICA
Rochoso	Vales estreitos e profundos, com fundos de vale onde há pouco estoque de sedimentos, predominando alta capacidade de transporte de sedimentos.	Muito Alta
Coluvial	Encontrados nas cabeceiras das redes de drenagem, onde os processos de encostas fornecem sedimentos para os fundos de vale por rastejamento de solo e episódios erosivos, como fluxo de detritos e deslizamentos. A jusante dos vales coluviais, o sedimento é fornecido mais rapidamente do que os processos fluviais diários podem remover.	Alto
Aluvial	Segmento com baixo gradiente e marcado pelo acúmulo de sedimentos. A descarga fluvial é incapaz de erodir até o leito rochoso. Presença de planícies de inundação e terraços fluviais.	Baixa
Estuarinos	Interface entre ambiente terrestre e marinho, tendo sido identificadas para a referida bacia as seguintes categorias de foz: Foz antropizada: trecho localizado em ambiente costeiro representado por um canal único e com curso alterado devido à ação da agência humana, com ocupação parcial ou total de suas margens. Fraca deposição fluvial e predomínio da sedimentação marinha.	Baixa
	Foz preservada: localizada em típico estuário, com forte deposição de sedimentos fluviais em ambiente marinho.	Moderada
	Manguezal antropizado: caracterizado por um único canal, margeado por manguezal com considerável intervenção antrópica em uma ou ambas as margens, ainda assim é notória a deposição de sedimentos fluviais em ambiente marinho.	Moderada
	Manguezal preservado: caracterizado por múltiplos canais, em ambiente de manguezal bem preservado, com forte deposição de sedimentos fluviais em ambiente marinho.	Moderada

Segundo Silva (2015), cada tipo de vale encontrado na bacia do rio Japuíba determina o padrão de forma e processos geomorfológicos associados (Figura 55). Deste modo, a autora caracterizou a bacia do rio Japuíba como sendo uma **bacia de morfodinâmica mista**, dada pela ocorrência da ação conjunta de processos fluviais e de encosta e na qual taxas de ocorrência de cada processo se alternam ao longo da bacia (Figura 55).

Figura 55: Hipsometria da bacia do rio Japuíba e seus respectivos segmentos de vales identificados para valoração de seu grau de morfodinâmica fluvial: **A** – Segmento de vale foz - Manguezal antropizado; **B** – Segmento de vale aluvial; **C** – Segmento de vale coluvial; **D** – Segmento de vale rochoso; Modificado de: SILVA (2015).



Adaptado de: SILVA (2015).

Visando corroborar com as informações extraídas de Silva (2015) passou-se então para a aplicação da metodologia proposta por Brierley; Fryirs (2005) de confinamento de vales / estilos fluviais (*©River Styles*) visando principalmente uma melhor compreensão da dinâmica fluvial atual da bacia em estudo. Nesse contexto, foram analisados detalhadamente os rios Japuíba e seu principal afluente, o rio Cabo Severino.

Ressaltamos que para a análise do confinamento de vales / estilos fluviais foi necessária a seleção de imagens de satélite de diferentes períodos do ano (estação seca e chuvosa) para então se reconhecer e mapear feições morfológicas de leito fluvial e, assim, se investigar a dinâmica fluvial recente da bacia em momentos distintos ao longo de um mesmo. Para tanto, foi necessário investigar os meses mais chuvosos e mais secos da série pluviométrica mais completa existente da estação mais próxima à bacia do rio Japuíba (Estação pluviométrica Bracuí) e, posteriormente, selecionou-se as imagens *Google Earth Pro* sobre as quais foi realizado o reconhecimento e mapeamento de vales e feições morfológicas do leito fluvial.

Ressalta-se que o município de Angra dos Reis é conhecido pelos elevados índices pluviométricos. Segundo Oliveira Júnior (2008), Angra é caracterizada por uma pluviosidade

intensa entre os meses de novembro a março; característica esta não apenas acentuada pela interação das massas úmidas marítimas com as escarpas, mas também pela passagem de frentes frias que podem ficar estacionárias; em parte, pelo próprio relevo local. Ocorre em média 158 dias chuvosos durante o ano, com médias mensais registrando valores acima de 500 mm.

A análise temporal da pluviosidade foi então realizada com base nos dados mensais e anuais coletados da estação Bracuí, disponíveis pelos Portais HidroWeb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>) e CEMADEN – Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (<http://www.defesacivil.rj.gov.br/index.php/institucional-cemaden-rj/cemaden-conheca>).

Os dados disponibilizados e analisados da estação Bracuí em que se encontrou maior continuidade refere-se ao período de 1990 a 2022. Através dos dados pluviométricos reunidos tem-se a confirmação de períodos de chuvas intensas entre os meses de outubro a abril (Tabela 16); sendo o mês de janeiro considerado o mais chuvoso do período analisado, enquanto a menor média mensal é observada para o mês de julho.

Em relação aos principais sistemas meteorológicos que interferem e caracterizam momentos de maior pluviosidade no município é reconhecido uma complexa contribuição, a saber: o papel da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); das frentes frias; dos complexos convectivos de mesoescala; das linhas de instabilidade; dos vórtices ciclônicos dos altos níveis; da brisa marítima e terrestre; da brisa de vale e montanha; das chuvas orográficas e chuvas de verão (OLIVEIRA JÚNIOR, 2008).

Tabela 16: Médias pluviométricas mensais da série de 1990 a 2022 da estação Bracuí (Angra dos Reis, RJ) e resultados dos índices de anomalia pluviométrica (IAC) utilizados para a definição dos períodos mais seco e mais úmido da bacia do rio Japuíba.

Mês Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total	IAC positivo	IAC negativo
1990	153,0	76,3	173,4	179,9	229,1	122,4	124,5	129,2	199,7	223,8	132,2	241,3	1.984,8	-3,48813	2,319525
1991	258,6	281,2	519,1	422,8	130,0	108,1	137,7	100,3	135,0	149,3	91,3	174,7	2.508,1	0,81927	-0,5448
1992	632,9	39,4	121,7	201	122,1	102,2	205	131,3	195,2	228,5	560,2	195,2	2.734,7	2,684464	-1,78511
1993	213,0	437,1	283,3	162,1	43,2	24,3	81,2	52,5	230,9	144,4	128,1	255,4	2.055,5	-2,90618	1,932544
1994	162,3	175	543,9	291,2	111,4	131,3	90,1	68,9	107,1	207,5	202,9	422,5	2.514,1	0,868657	-0,57764
1995	170,9	402,4	189,6	124,3	330,9	105,5	50,3	123,5	277,6	337,5	320,2	180,8	2.613,5	1,68684	-1,12171
1996	224,8	564,7	568,4	313,7	117,0	59,6	76,6	62,2	228,9	143,0	235,7	114,6	2.709,2	2,474568	-1,64553
1997	254,5	62,2	153,0	191,1	83,3	42,6	25,1	75,1	153,5	181,0	326,5	189,9	1.737,8	-5,52124	3,671498
1998	291,0	372,6	295,4	122,5	157,8	77,5	70,3	57,3	267,8	277,6	162,6	281,2	2.433,6	0,206044	-0,13701
1999	301,8	245,7	277,5	187,9	109,3	133,6	150,2	60,9	148,7	140,8	244,4	279,6	2.280,4	-1,05498	0,701537
2000	457,7	347,2	391,6	100,6	38,5	15,8	144,9	96,1	222,6	88,2	176,5	476,5	2.556,2	1,215192	-0,80807
2001	210,8	134,0	211,6	299,2	208,1	42,0	112,6	43,8	167,8	138,7	131,8	341,0	2.041,4	-3,02224	2,009721
2002	175,4	402,3	62,5	218,9	230,6	105,9	67,0	43,4	169,4	192,3	349,0	522,2	2.538,9	1,072791	-0,71338
2003	435,7	35,2	322,2	104,5	88,3	35,1	68,5	163,7	133,1	385,6	445,8	232,4	2.450,1	0,341859	-0,22733
2004	220,0	466,0	144,1	225	102,7	89,4	240,2	29,5	47,6	150,5	299,9	281,6	2.296,5	-0,92246	0,613412
2005	321,6	211,6	278,4	376,9	104,4	141,6	159,9	29,1	152,6	212,2	366,2	298,0	2.652,5	2,007858	-1,33518
2006	165,4	301,0	140,2	150,2	142,8	151,6	54,4	108,1	171,1	269,1	173,3	233,2	2.060,4	-2,86585	1,905723
2007	272,5	194,5	24,6	232,9	162,3	100,7	114,0	44,9	54,6	234,1	42,1	115,4	1.592,6	-6,71641	4,466261
2008	390,0	250,1	304,0	124	149,8	61,8	19,9	116,2	244,6	194,9	189,3	164,4	2.209,0	-1,64269	1,09235
2009	312,1	396,6	206,6	237,7	181,0	73,2	225	77,5	175,2	341,2	183,2	354,9	2.764,2	2,927285	-1,94658
2010	415,7	184,2	589,7	280,8	92,5	97,2	125,5	98,6	186,7	161,2	283,2	709,2	3.224,5	6,716116	-4,46606
2011	272,6	236,2	371,5	339,5	132,6	69,7	75,4	126,3	114,0	188,2	114,8	242,9	2.283,5	-1,02946	0,684569
2012	163,6	100,8	97,9	29,6	57,4	211,5	133,5	174,3	145,8	55,2	209,9	242,9	1.567,2	-6,92549	4,60529
2013	884,3	324,1	478,9	185,3	146,5	39,7	134	27,3	91,5	128,5	248,0	203,0	2.891,1	3,971827	-2,64117
2014	131,5	54,5	305,9	172,1	126,1	58,0	153,7	97,1	58,6	92,0	93,4	129,8	1.472,7	-7,70334	5,122542
2015	133,7	159,4	264,7	135,3	120,4	231,8	70,6	20,6	173,9	184,5	203,9	233,9	1.932,7	-3,91697	2,604699
2016	428,8	225,1	266,8	78,8	155,2	134,9	4,5	111,2	115,7	213,7	338,7	139,3	2.212,7	-1,61223	1,072098
2017	678,5	18,4	296,8	233,3	176,6	154,1	100,4	92,1	36,9	34,0	291,3	209,8	2.322,2	-0,71091	0,472742
2018	298,1	510,3	297,6	117,3	134,4	28,3	165,1	106	28,1	261,3	341,4	139,9	2.427,8	0,158385	-0,10532
2019	210,4	575,9	540,91	22,5	203,2	44,5	49,1	155,7	183,8	156,9	180,8	130,3	2.454,0	0,374043	-0,24873
2020	190,3	330,0	213,9	47,1	124,9	85,1	98,5	125,1	134,3	225,3	236,9	535,6	2.347,0	-0,50678	0,336997
2021	247,2	264,0	108,6	232,7	106,3	108,4	85,9	93,5	81,6	256,2	151,0	424,3	2.159,7	-2,04849	1,362197
2022	421,9	351,1	269,96	665,7	36,6	111,2	47,0	128,5	305,0	117,37	313,5	277,8	3.045,6	5,243057	-3,48651
Total	10.101	8.729	9.314	6.806	4.455	3.099	3.461	2.970	5.139	6.259	7.768	8.974	77.074		
Média Mensal	315,6	272,8	291,1	212,7	139,2	96,8	108,1	92,8	160,6	195,6	242,7	280,4	200,7		

Fonte de dados: HidroWeb e CEMADEN

■ Maiores índices pluviométricos

■ Menores índices pluviométricos

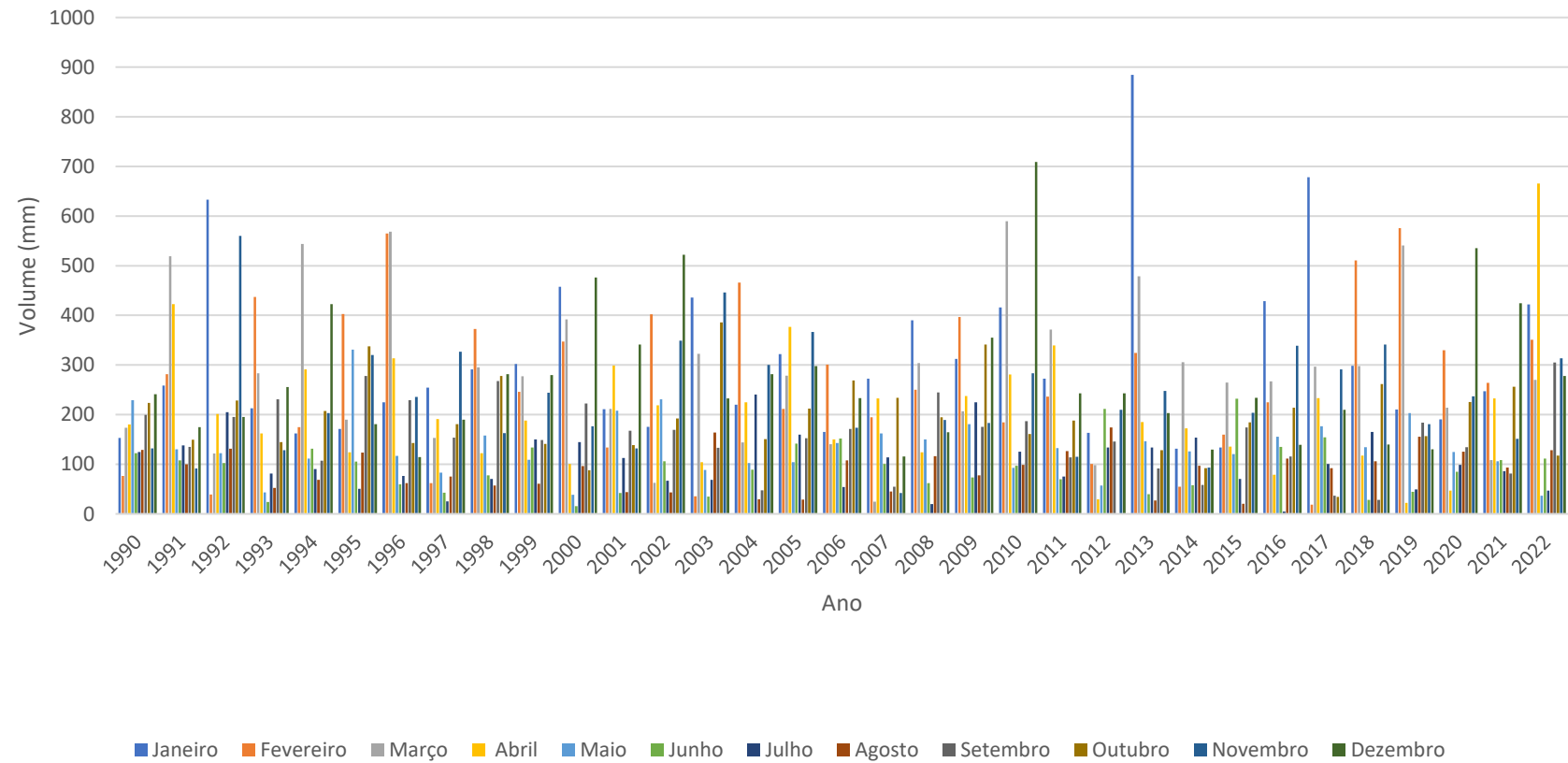
Analisando o gráfico realizado para os 32 anos estudados (1990 a 2022) (Figura 56), podemos corroborar com o padrão, em termos médios de precipitação, de maiores valores de pluviosidade nos meses de verão (dezembro a março – DEZ-MAR). Em termos absolutos podemos destacar os anos e meses de janeiro de 2013 (882,7 mm), janeiro de 2017 (679,5 mm) e dezembro de 2010 (709,2 mm); além dos meses de janeiro de 2008, março de 2011 e 2018 e dezembro de 2009 com valores mensais superiores a 600 mm.

Os menores valores, por sua vez, são encontrados nos meses de inverno (junho a agosto – JUN-AGO), sendo o menor valor detectado em julho de 2016 com total de 4,5 mm. Podemos destacar também os meses de junho de 2000 (15,8 mm) e julho de 2008 (19,9 mm) com baixos valores absolutos e um atípico fevereiro de 2017 com 18,4 mm.

Entre outubro e abril, em termos médios, a precipitação é de 210 mm, que corresponde a valores consideravelmente elevados. Conforme podemos observar na tabela 16 é possível identificar meses em que o acumulado total supera a média dos meses mais chuvosos.

Os meses de maior pluviosidade tendem a ser aqueles onde há ocorrência de maior número de deslizamentos, inundações e possíveis alterações nas formas de leito dos rios Japuíba e Cabo Severino.

Figura 56: Médias pluviométricas mensais da estação Bracuí para série temporal analisada (1990 a 2022).



Buscando ter maior detalhamento do mapeamento das feições morfológicas de leito fluvial, avaliamos como melhores meses e anos os que apresentaram valores contrastantes de pluviosidade e assim focamos na análise dos dez anos com maiores médias mensais (1992, 1995, 1996, 2000, 2002, 2005, 2009, 2010, 2013 e 2022) e dez de menores médias (1990, 1993, 1997, 2001, 2006, 2007, 2012, 2014, 2015 e 2021). Pela figura 57 podemos observar a distribuição da pluviosidade nos dez anos mais chuvosos e a respectiva média mensal; e na figura 58 anos de menor pluviosidade e as respectivas médias mensais.

Figura 57: Totais pluviométricos dos dez anos mais chuvosos e respectivas médias mensais da série temporal analisada.

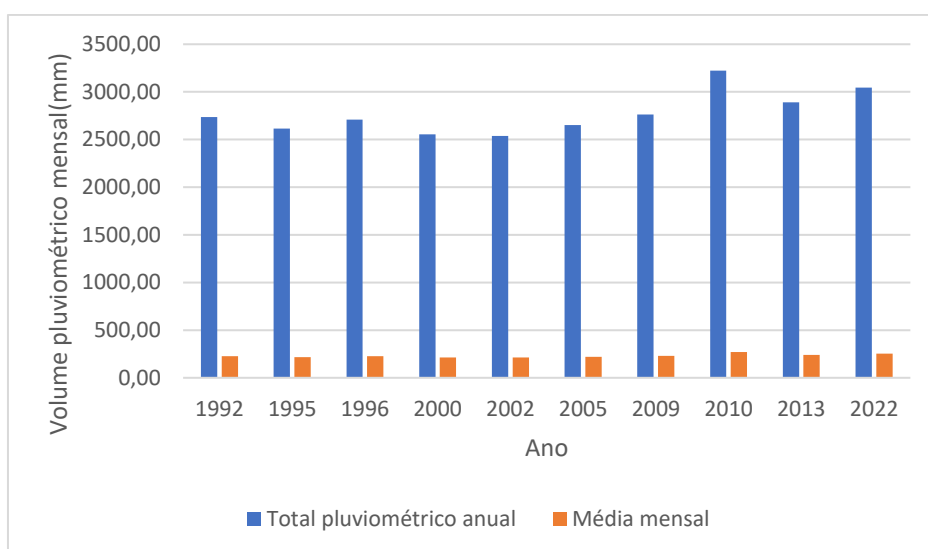
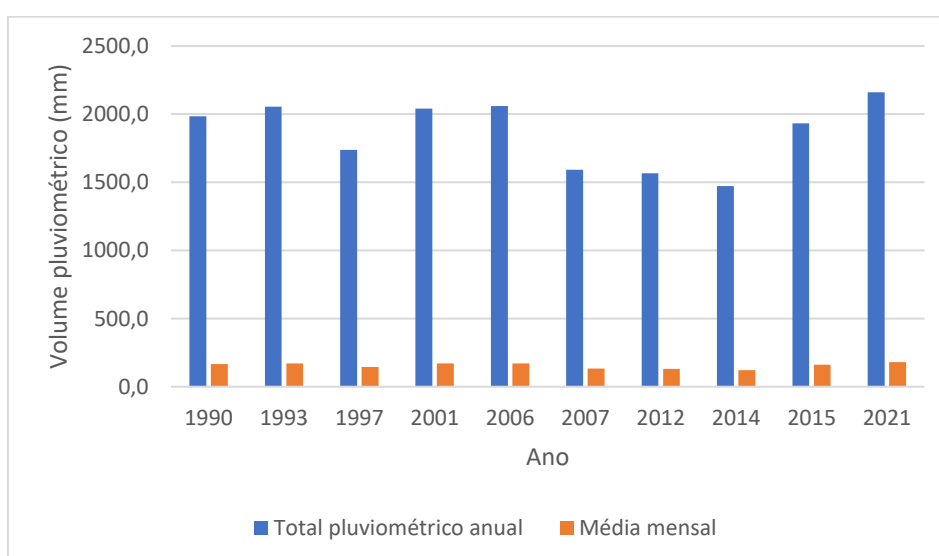


Figura 58: Totais pluviométricos dos dez anos mais secos e respectivas médias mensais da série temporal analisada.



Como sinalizado na figura 57, três totais anuais se apresentaram acima da média dos anos mais úmidos, considerados, portanto, como anômalos, correspondendo aos anos de 2010 (3.224,5 mm), 2013 (2.891,5 mm) e 2022 (3.045,6 mm); enquanto valores abaixo da média correspondem aos anos de 1992, 1995, 1996, 2000, 2002, 2005 e 2009. Já na figura 58, quatro totais anuais são inferiores as médias dos anos mais secos, considerados também como anômalos, correspondendo aos anos de 1997 (1.738,8 mm), 2007 (1.592,6 mm), 2012 (1.567,2 mm) e 2014 (1.472,7 mm).

Outra forma de se estudar a distribuição da precipitação pluviométrica é através do Índice de Anomalia de Chuva (**IAC**), que auxilia a monitorar anos de seca e de chuva excessiva, permitindo averiguar impactos da distribuição pluviométrica local. Pode ser utilizado também para o acompanhamento anual da precipitação pluviométrica, visando detectar alterações no regime de chuvas. O **IAC**, de acordo com Gurjão *et al.* (2012), representa um método eficiente na determinação da intensidade e área afetada por eventos extremos de chuva.

Para o cálculo do **IAC** foram utilizados os dados da estação Bracuí na realização do cálculo mensal e anual e a determinação dos períodos de baixa e alta pluviosidade considerando as médias temporais das precipitações locais. O Índice de anomalia de chuvas foi calculado conforme as equações já descritas na metodologia (p. 48).

Foram realizados cálculos do **IAC**_{positivo} e **IAC**_{negativo} com base na normal climatológica e na média dos 10 anos de precipitações máximas e mínimas; em seguida, foi dada a classificação de anos secos e úmidos de acordo com seis classes de intensidade do **IAC** segundo proposta de Rooy (1965), adaptadas por Araújo *et al.* (2007), como pode ser observada na tabela 17.

Tabela 17: Classificação da Intensidade de Anomalia de Chuva (IAC) da série de 1990-2022 da estação Bracuí.

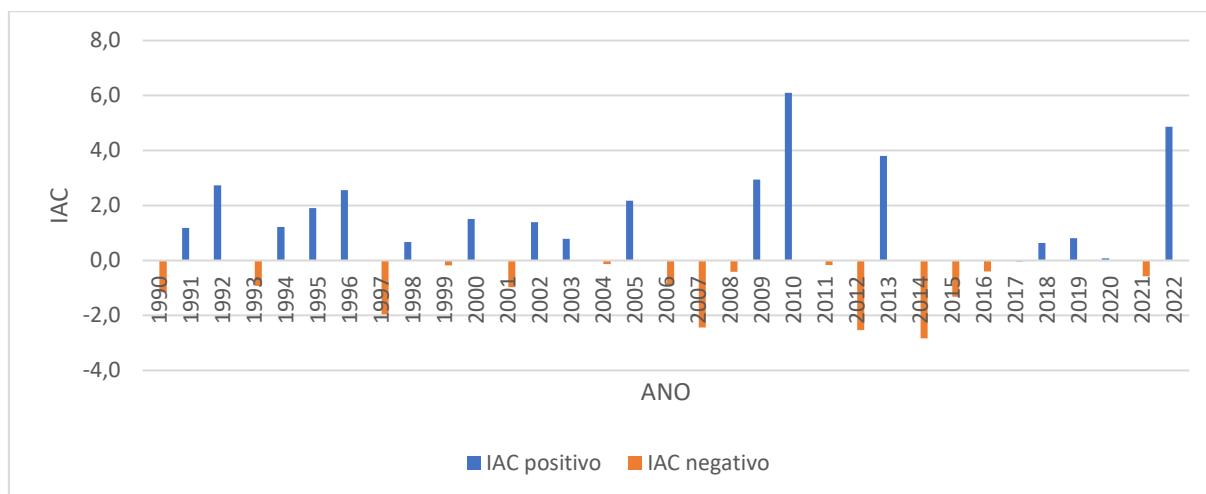
CLASSES DE IAC	CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE	ANOS	IAC
≥ 4,00	Umididade extremamente alta	2010	6,1
		2022	4,9
3,00 a 3,99	Umididade alta	2013	3,8
2,00 a 2,99	Umididade moderada	1992	2,7
		1996	2,6
		2005	2,2
		2009	2,9
0,00 a 1,99	Umididade baixa	1991	1,2
		1994	1,2
		1995	1,9
		1998	0,7

		2000	1,5
		2002	1,4
		2003	0,8
		2018	0,6
		2019	0,8
		2020	0,1
-1,99 a 0,00	Seca suave	1999	-1,2
		1993	-0,9
		1999	-0,2
		2001	-0,1
		2004	-0,1
		2006	-0,9
		2008	-0,4
		2011	-0,2
		2015	-1,3
		2016	-0,4
		2017	-0,1
		2021	-0,6
-2,00 a -2,99	Seca moderada	1997	-2,0
		2007	-2,4
		2012	-2,5
		2014	-2,8

A incidência de anomalias negativas e positivas de pluviosidade foi avaliada mensalmente, anualmente e por estação do ano. Além disso, efetuou-se a verificação de períodos secos e úmidos quando acometidos em meses consecutivos. Desse modo, de acordo com a metodologia utilizada por Araújo *et al.* (2007), os valores de **IAC** que correspondem a anos extremamente úmidos foram os anos de 2010 e 2022; enquanto valores que correspondem a anos moderadamente secos foram 1997, 2007, 2012 e 2014, sendo este último o ano mais seco. Dentro da série histórica de 32 anos, 17 anos estão classificados como anos úmidos (umidade extremamente alta, umidade alta, umidade moderada e umidade baixa), enquanto 15 anos estão classificados como anos secos (seca suave e seca moderada).

A aplicação do **IAC** (Figura 59) obteve um indicador direto sobre o comportamento da precipitação, ressaltando o grau de severidade e duração dos períodos secos e chuvosos. A série analisada permitiu afirmar o predomínio de anos úmidos em relação aos anos secos. Intercalando entre anos secos e úmidos, inclui-se a transição de um ano extremamente úmido, em 2013, para muito seco, em 2014; assim como em 2021 foi um ano seco e transicionou para um ano extremamente úmido em 2022. Destacam-se, ainda, os anos de 2010 como extremamente chuvoso, com precipitação total anual de 3.224,5 mm e com um **IAC**_{positivo} de 6,1 e o ano de 2014 um ano extremamente seco, com 1.472,7 mm e **IAC**_{negativo} de -2,8.

Figura 59: Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para série temporal analisada (1990 a 2022).



Temos, portanto, de acordo com o cálculo do **IAC** a seguinte definição:

- ano mais seco 2014; e
- ano mais úmido 2010.

E, de acordo com as médias pluviométricas mensais, os meses mais secos e úmidos:

- mês mais seco - julho de 2016; e
- mês mais úmido - janeiro de 2013.

Após a definição dos meses mais chuvosos e mais secos foram selecionadas imagens *Google Earth Pro* para reconhecimento e delimitação manual das **unidades geomorfológicas** ao longo do leito fluvial (existência de planícies fluviais, níveis de base locais, soleiras, corredeiras, depressões e barras fluviais) e **composição do leito** (rochoso; blocos e matacões; arenoso) – Quadro 3. Para os meses mais secos foram selecionadas as imagens de agosto/2014 e de julho/2016; e em relação aos meses mais chuvosos selecionou-se imagens de dezembro/2010 e janeiro/2013.

Deu-se então o início ao estudo dos estilos fluviais (©*River Styles*), buscando estabelecer a compartimentação fluvial da bacia que, segundo os autores Brierley; Fryirs (2005), reflete controles regionais na morfologia dos canais, indicando processos superficiais dominantes em relação ao seu contexto paisagístico. Essa análise classifica os canais de acordo com grau de confinamento do vale (Figura 60), subdividindo-os conforme características semelhantes, relacionadas à distribuição de depósitos de planícies de inundação ao longo de trechos dos canais fluviais. Sendo assim, **vales confinados** que são aqueles com ausência de planícies de inundação, enquanto **vales parcialmente confinados** mantêm trechos com

presença de planícies de inundação de forma descontínua; enquanto **vales não confinados** referem-se àqueles onde há extravasamento do canal e formação contínua de depósitos aluviais.

No trecho do rio Banqueta-Japuíba identificou-se três configurações de vales em relação a seu caráter e comportamento, permitindo, desse modo, uma compreensão integrada, das formas e processos que caracterizam cada um deles. A tabela 18 apresenta o quantitativo de cada tipo de comportamento de vale do rio Banqueta-Japuíba, registrando a maior parte com configuração de **vale não-confinado** (38,19%), sendo que este trecho corresponde a área do rio que se localiza no padrão de relevo das planícies fluviomarinhas e de inundação. Os trechos do vale que se encontram **confinados**, apresenta um percentual de 28,52% e se localizam nos setores escarpados; enquanto **vales parcialmente confinados**, ou seja 33,29% da extensão do rio, estão localizados nas áreas dos domínios morfológicos de serras reafeiçoadas e em que ocorre presença de rampas coluviais convergindo para o eixo fluvial.

Tabela 18: Valores areais e percentuais dos tipos de vale do rio Banqueta-Japuíba.

CONFIGURAÇÃO DO VALE	EXTENSÃO (m ²)	PERCENTUAL DA ÁREA TOTAL (%)
Confinado	4,01	28,52%
Parcialmente confinado	4,68	33,29%
Não-confinado	5,37	38,19%
Total	14,06	100%

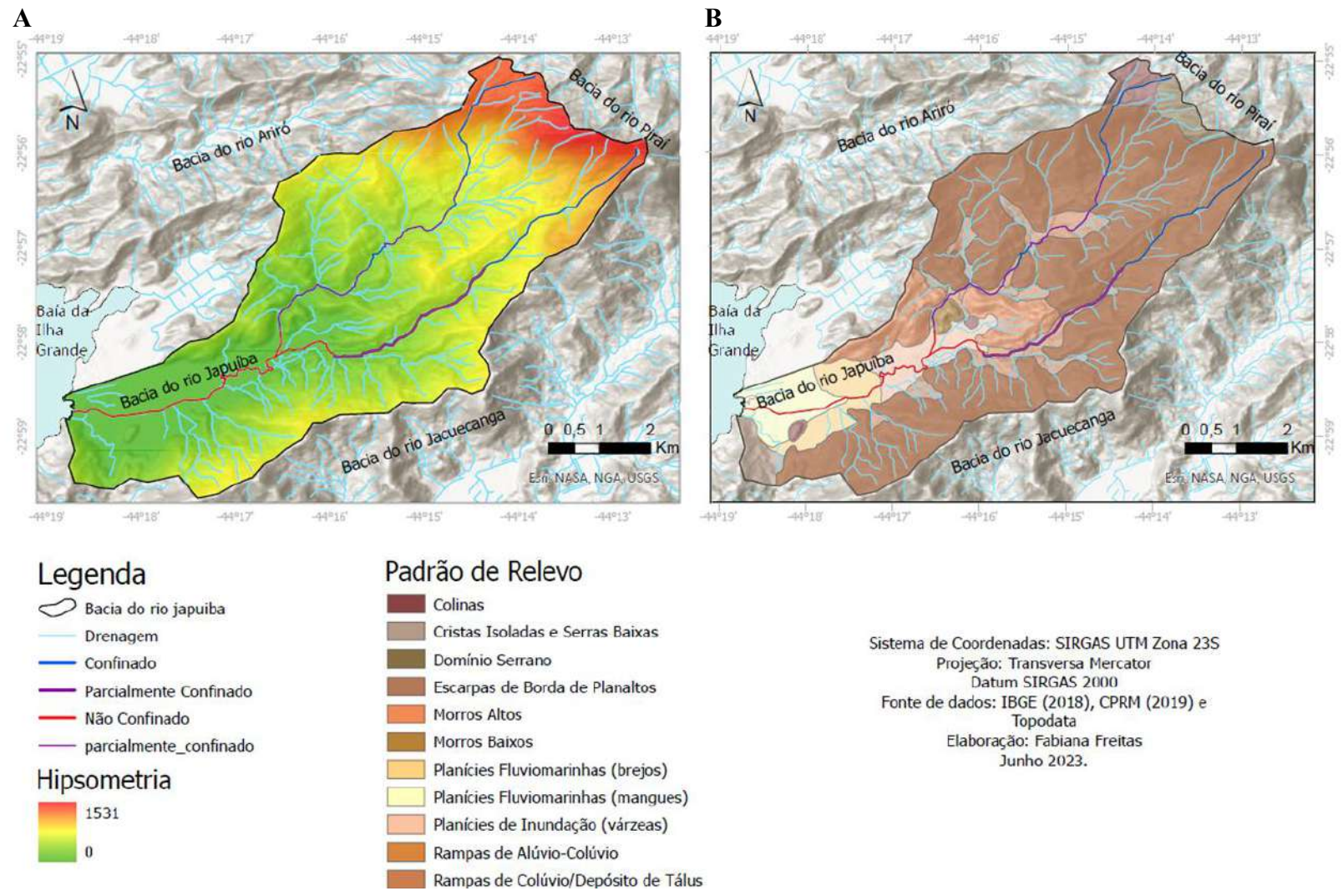
A configuração e o tipo de confinamento do vale definem controles primários sobre o caráter e o comportamento do rio, possibilitando habilidades para ajustar a morfologia do canal, planificação e constituição de unidades geomorfológicas (MONTGOMERY, 1999; BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Observam-se, portanto, diferentes comportamentos nos estilos identificados no rio Banqueta-Japuíba em função da influência da configuração do vale.

As configurações identificadas no rio Cabo Severino também são diferenciadas de acordo com o caráter e o comportamento, sendo compostas pelas configurações de **vales confinados**, **parcialmente confinados** e **não-Confinados**. Entre as configurações identificadas, os **vales Confinados** apresentam o maior percentual seguido dos **parcialmente confinados**, como pode ser observado nas figuras 60A e 60B e na tabela 19, corroborando com as informações reunidas em capítulo anterior que indicam controle estrutural na conformação deste rio.

No mapa hipsométrico, figura 60A, pode-se observar que os **vales confinados** ocorrem em maiores altitudes, assim como os **vales parcialmente confinados** ocorrem nos trechos com menores declividades e na transição para o ambiente de planície fluvial. O mapa de relevo

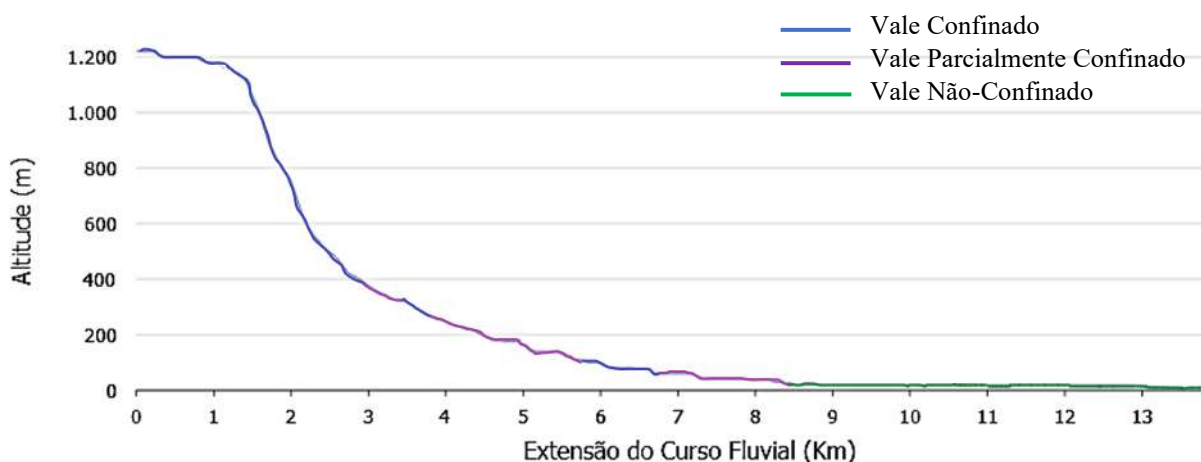
(Figura 60B) corrobora com o mapa hipsométrico ao mostrar que os vales confinados se localizam na morfologia de escarpas de bordas de planalto e em domínios serranos, enquanto os **vales parcialmente confinados** se encontram em áreas que possuem rampas de colúvio e de alúvio-colúvio, definindo a área de transição para os **vales não confinados**. As feições de rampas estão dispostas nas áreas próximas às planícies (Figura 60B) e em menores altitudes (Figura 60A).

Figura 60: Mapas de hipsometria (A) e de padrões de relevo (B) com classificação dos tipos de vale fluvial dos rios Japuíba e Cabo Severino.



Os trechos dos tipos de vales reconhecidos foram também plotados no perfil longitudinal do rio Japuíba e está representado na figura 61. Até aproximadamente 3 km da cabeceira de drenagem, na altitude da cota de 380 m, o perfil apresenta comportamento majoritariamente erosivo, característico de **vales confinados**. Na altura de 3 km, com valores de altitudes de 290 m a 379 m, o perfil apresenta um vale com uma dinâmica **parcialmente confinada**, marcada pela ocorrência de processos erosivos e deposicionais, característicos de zona de transferência de sedimentos. Na altura dos 3,5 km, entre as cotas de 291m a 230 m, o rio assume novamente uma dinâmica **confinada** marcada pela ação de processos erosivos. Na altura dos 4 km, no trecho de altitudes entre 230 m e 118 m, o perfil do rio se apresenta com uma declividade mais suave (**parcialmente confinado**) e logo em seguida torna-se **confinado** novamente, entre 5,6 e 6,8 km, e altitudes entre 119 e 82 m. Nesse trecho, os *knickpoints* registram a existência de controles estruturais no canal, indicados pela sequência de níveis encachoeirados (NBLs). Entre 6,8 e 8,5 km, em altitudes entre 82 m e 8 metros, novamente o rio tem características de um **vale parcialmente confinado**. E a partir de 8,5 km, entre 8 m e 0 metros, o perfil torna-se mais suave, evidenciando o predomínio de processos deposicionais, expressos pelos **vales não-confinados**, relacionados à presença de elementos que rompem as ligações de transferência dentro do canal, criando zonas de acumulação de sedimentos, evidenciando intensos processos deposicionais próximos a sua foz.

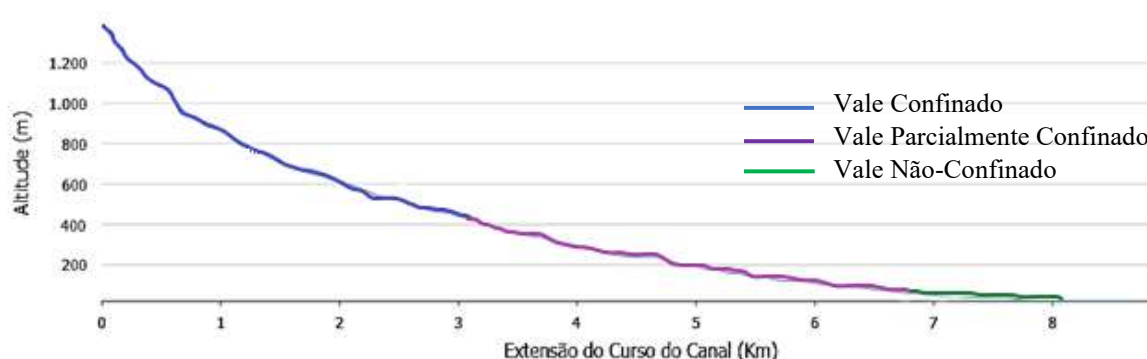
Figura 61: Perfil Longitudinal do rio Japuíba com representação das configurações dos tipos de vales.



O perfil longitudinal do rio Cabo Severino, representado na figura 62, apresenta também a marcação dos tipos de vale. Pode-se observar que o **vale confinado** se encontra na parte mais íngreme até aproximadamente 3 km de distância da nascente, entre as cotas 1.369 m e 412 m, e tendo comportamento majoritariamente erosivo. Entre 3 km e 6,8 km, variando da altitude de

418 m a 59 m, o rio apresenta características mistas marcada por processos erosivos e deposicionais que são típicos de **vales parcialmente confinados**. E de 6,51 km até 8,93 km, entre as altitudes de 59 m e 4 m, próximo à sua confluência com o rio Japuíba, o perfil torna-se mais suave evidenciando presença de processos deposicionais, típicos dos **vales não-confinados**.

Figura 62: Perfil Longitudinal do rio Cabo Severino com representação das configurações dos tipos de vales.



Os valores areais e percentuais correspondentes a configuração dos vales do rio Cabo Severino estão representados na tabela 19. Este rio apresenta a maior parte do seu leito em configuração de **vale confinado** (39%), sendo que este trecho corresponde a área que se localiza nas escarpas serranas. Os trechos em que se encontram **vale parcialmente confinados** apresentam o total de 34% e se localizam em áreas comprimidas pelas escarpas serranas. Ao passo, que o trecho do vale fluvial que se encontra **não confinado**, ou seja 27 % de toda a bacia, está localizado em áreas de planícies fluviomarinhas e de inundação.

Tabela 19: Valores areais e percentuais dos tipos de vale do rio Cabo Severino.

CONFIGURAÇÃO DO VALE	ÁREA (km ²)	PERCENTUAL DA ÁREA TOTAL (%)
Confinado	3,49	39%
Parcialmente confinado	3,04	34%
Não-confinado	2,42	27%
Total	8,93	100%

Um detalhamento dessa classificação foi obtido com a análise do número de canais e da forma em planta dos canais fluviais através da **Sinuosidade** (grau de sinuosidade e tipos de sinuosidade), **Estabilidade Lateral do Canal** (desenvolvimento e crescimento de meandros, grau de entrelaçamento e características do entrelaçamento), **Unidades Geomorfológicas do leito** (barras, ilhas etc.) e **composição do leito** (Tabelas 22).

O Índice de Sinuosidade (**IS**), segundo Christofolletti (1980) expressa a relação do comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal. Dury (1966), citado por Christofolletti (1980), afirma que os canais com **IS** igual ou superior a 1,5 são considerados meandantes, enquanto os canais com **IS** menor que 1,5 são classificados como retilíneos e valores intermediários indicam formas transicionais. Os mesmos autores afirmam também que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais.

Os dois rios principais da bacia do rio Japuíba foram subdivididos em trechos de acordo com o **IS**, onde o trecho do rio Banqueta-Japuíba foi subdividido em dez trechos e o rio cabo Severino foi subdividido em seis trechos (Tabelas 20 e 21), de acordo com suas características de configuração de vale.

O índice de Sinuosidade calculado para os trechos do rio Banqueta- Japuíba apresentou os seguintes resultados: cinco trechos foram classificados como retilíneo (sendo que o trecho 10 se apresenta retelinizado artificialmente), quatro trechos apresentam com forma transicional e apenas um apresentou comportamento meandrante, como pode ser observado na tabela 20. Sendo assim, o **IS** do rio Banqueta-Japuíba sugere efeito de controle estrutural sobre a rede de drenagem, apresentando apenas no baixo curso valor moderadamente alto para a sinuosidade, ou seja, conforme o método utilizado o rio retrata possível controle de herança tectônica.

Tabela 20: Valores do Índice de Sinuosidade (**IS**) para os trechos do rio Banqueta-Japuíba.

TRECHO DO CANAL	COMPRIMENTO DO RIO (L)	TALVEGUE (Lt)	SINUOSIDADE (L/Lt)
T1	2,92	2,30	1,27
T2	0,54	0,5	1,08
T3	0,53	0,46	1,15
T4	1,39	1,07	1,3
T5	0,56	0,53	1,06
T6	2,75	2,1	1,31
T7	2,65	1,7	1,56
T8	1,33	1,05	1,27
T9	0,62	0,61	1,02
T10	0,77	0,7	1,1

A tabela 21 apresenta os valores do **IS** dos trechos do rio Cabo Severino, onde pode-se observar o predomínio de trechos retilíneos com valores de **IS** próximos a 1,0. Dos seis trechos, cinco são classificados como retilíneos, apenas o último trecho apresenta o canal com características intermediárias. Tal característica sugere a existência de forte controle estrutural,

corroborando com as observações realizadas anteriormente na avaliação de controle tectono-estrutural.

Tabela 21: Valores do Índice de Sinuosidade (**IS**) dos trechos do rio Cabo Severino.

TRECHO DO CANAL	COMPRIMENTO DO RIO (L)	TALVEGUE (Lt)	SINUOSIDADE (L/Lt)
T1	1,33	1,18	1,12
T2	1,65	1,45	1,14
T3	1,11	1,06	1,05
T4	1,39	1,34	1,04
T5	1,95	1,77	1,10
T6	1,5	1,09	1,38

A estabilidade lateral de canais foi analisada através das imagens do *Google Earth Pro* selecionadas para o estudo dos estilos fluviais. Pôde-se observar que em ambos os rios, os trechos do vale que foram classificados como **confinados** apresentam estabilidade no canal e com baixa possibilidade de alteração. Os trechos definidos como **parcialmente confinados**, apresentam margens parcialmente instáveis com planícies de inundações unilaterais, permitindo poucos ajustes e média capacidade de alteração. A instabilidade do canal pode ser observada nos trechos **não confinados** com planícies de inundações bilaterais, composta por material mais arenoso e com alta possibilidade de alteração.

Nos trechos com **vales confinados**, com material do leito rochoso, não foram identificadas barras laterais, ilhas de sedimentação, meandros abandonados ou planícies de inundações, o que praticamente exclui a possibilidade de reajustes laterais. Os trechos classificados como **parcialmente confinados**, tanto no rio Banqueta- Japuíba quanto no Cabo Severino, conforme as tabelas 22 e 23, apresentam pequenas planícies de inundação unilaterais, porém sem a presença de meandros, barras laterais ou ilhas de sedimentação. Como previsto na identificação da conformação de cada trecho, nos trechos de **vales não confinados** foram identificadas extensas planícies de inundações bilaterais, meandros abandonados, ilhas de sedimentação e barras laterais. Como constatado no baixo curso do rio Japuíba, no trecho classificado como **vale não confinado meandrante**, foi identificado maior número de feições fluviais deposicionais como planícies de inundações e vários tipos de barras fluviais. Esta situação corresponde a característica de canal fluvial que transporta quantidade elevada de carga sedimentar e que acaba se acumulando ao longo do leito.

Encontramos ainda o estilo fluvial de **vale não confinado retilíneo**, que é produzido pela ação

humana. Esse aporte de sedimentos fica mais nítido e intenso durante os meses de inverno, devido à baixa vazão fluvial.

Tabela 22: Características da forma em planta do canal fluvial e composição do leito, segundo as diferentes configurações do vale – rio Banqueta-Japuíba.

TRECHO DO CANAL	CONFIGURAÇÃO DE VALE	FORMA EM PLANTA				COMPOSIÇÃO DO LEITO
		Nº DE CANAIS	SINUOSIDADE	ESTABILIDADE	UNIDADE MORFOLÓGICA	
T1	Confinado	Único	1,27 Intermediário	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso
T2	Parcialmente confinado	Único	1,08 Retilíneo	Parcialmente estável	Pequena Planície unilateral	Rochoso
T3	Confinado	Único	1,15 Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso-cascalhento
T4	Parcialmente Confinado	Único	1,3 Intermediário	Parcialmente estável	Pequena Planície unilateral	Rochoso-cascalhento
T5	Confinado	Único	1,06 Retilíneo	Estável	Sem planície, média declividade	Cascalhento
T6	Parcialmente Confinado	Único	1,31 Intermediário	Parcialmente estável	Pequena planície unilateral	Cascalhento
T7	Não confinado	Único	1,56 Meandrante	Instável	Planície de inundação	Cascalhento arenoso
T8	Não confinado	Entrelaçado	1,27 Intermediário	Instável	Planície de inundação/ barras	Arenoso
T9	Não confinado retilinizado	Único	1,02 Retilíneo	Instável	Planície de inundação	Arenoso-siltoso
T10	Não confinado	Único	1,1 Retilíneo	Instável	Planície de inundação	Arenoso-siltoso

Tabela 23: Características da forma em planta do canal fluvial e composição do leito, segundo as diferentes configurações do vale – rio Cabo Severino.

TRECHO DO CANAL	CONFIGURAÇÃO DO VALE	FORMA EM PLANTA				COMPOSIÇÃO DO LEITO
		Nº DE CANAIS	SINUOSIDADE	ESTABILIDADE	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	
T1	Confinado	Único	1,12 Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso
T2	Confinado	Único	1,14 Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso
T3	Confinado	Único	1,05 Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Cascalhento
T4	Parcialmente confinado	Único	1,04 Retilíneo	Parcialmente estável	Peq. Planície unilateral	Cascalhento arenoso
T5	Não confinado	Único	1,10 Retilíneo	Parcialmente estável	Pequena planície bilateral	Cascalhento arenoso
T6	Não confinado	Único	1,38 Intermediário	Instável	Planície de inundação	Arenoso

Ressalta-se que o balanço erosivo e deposicional ao longo do canal fluvial e suas inter-relações com fatores controladores e de conectividade podem ser utilizados para interpretar tanto características evolutivas quanto da dinâmica atual do canal, podendo subsidiar a identificação de influências geológicas, climáticas e/ou antrópicas.

Segundo Brierley; Fryirs (2005), a influência do substrato rochoso também está diretamente associada à conformação do rio. A existência de padrões de canal retilíneos, quebra de gradiente no talvegue (corredeiras e níveis de base locais), trechos de canais confinados, entre outros, são respostas da rede de drenagem a esforços estruturais encontrados na bacia

estudada. Assim, o contexto geológico impresso na bacia do rio Japuíba indica fortes características de controle estrutural. As tabelas 24 e 25 apresentam um agrupamento dos estilos fluviais caracterizados nos mapeamentos da referida bacia, para melhor compreensão integrada.

A aplicação da metodologia de classificação de estilos fluviais na bacia hidrográfica do rio Japuíba conduziu à identificação e caracterização de oito estilos fluviais. Para tanto, os segmentos de canal foram classificados de acordo com condições específicas de cada trecho, levando em consideração também a possível interferência de controles tectono-estruturais, o que permitiu conhecer o caráter e comportamentos distintos no sistema hidrográfico analisado.

O rio Cabo Severino apresenta seis estilos fluviais: **confinado de cabeceira íngreme; confinado sinuoso; confinada garganta; parcialmente confinado retilíneo; não confinado retilíneo e não-confinado sinuoso**. Já o rio Banqueta-Japuíba apresenta sete estilos fluviais distribuídos da seguinte forma: **confinado cabeceira íngreme; parcialmente confinado retilíneo; confinada garganta; parcialmente confinado sinuoso; não confinado sinuoso; não confinados meandros arenosos e não confinado retilinizado**.

Além dessa distribuição, é importante ressaltar que alguns estilos se repetem ao longo do canal como ocorre com os estilos **confinado garganta, parcialmente confinado sinuoso e não confinado sinuoso**, como demonstra a tabela 25, referente ao rio Banqueta-Japuíba.

Tabela 24: Classificação dos estilos fluviais e atributos do rio Banqueta-Japuiba – análise da capacidade de ajustes.

TRECHO	ESTILO FLUVIAL	CONFORMAÇÃO DO VALE	UNIDADE DE RELEVO Dantas (2019)	CARACTERÍSTICA DO CANAL					COMPORTAMENTO DO RIO
				FORMA EM PLANTA				TEXTURA DO MATERIAL DO LEITO	
				Nº de canais	Sinuosidade	Estabilidade	Unidade geomorfológica		
T1	Cabeceira íngreme	Confinado	Planalto Reverso do rio Pirai	Único	Intermediário	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante, não permitindo ajustes. Apresentando baixa sensibilidade de alteração.
T2	Vale retilíneo	Parcialmente confinado	Escarpa Serrana	Único	Retilíneo	Parcialmente estável	Peq. Planície unilateral.	Rochoso	Tamanho e largura do canal são ajustados onde ocorre planícies de inundação. Pode ocorrer ajustes localizados onde as unidades geomórficas permitem.
T3, T5	Garganta	Confinado	Escarpa Serrana	Único	Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso-cascalhento	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante, não permitindo ajustes. Apresentando baixa sensibilidade de alteração.
T4, T6	Vale sinuoso	Parcialmente Confinado	Rampa de colúvio e depósito de Tálus	Único	Intermediário	Parcialmente estável	Peq. Planície unilateral.	Rochoso-cascalhento	Tamanho e largura do canal são ajustados onde ocorre planícies de inundação, ocorrendo ajustes localizados onde as unidades geomorfológicas permitem.
T7, T10	Vale sinuoso	Não confinado	Planície de inundação	Único	Intermediário	Instável	Planície de inundação/ barras	Arenoso	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente, com alto potencial de erosão das margens, principalmente relacionados a eventos de alta magnitude
T8	Meandros cascalho-arenosos	Não confinado	Planície de inundação	Único	Meandrante	Instável	Planície de inundação/barras	Cascalhento arenoso	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente, com alto potencial de erosão das margens, principalmente relacionados a eventos de alta magnitude
T9	Retilinizado	Não confinado Retilinizado	Planície fluviomarinha (mangue)	Único	Retilíneo	Instável	Planície de inundação	Arenoso-siltoso	A capacidade para ajustes laterais é limitada pela retificação artificial do canal, porém em eventos de alta magnitude ocorre o transbordamento e a erosão das margens.

Tabela 25: Classificação dos estilos fluviais e de atributos do rio Cabo Severino – análise da capacidade de ajustes.

TRECHO	ESTILO FLUVIAL	CONFORMAÇÃO DO VALE	UNIDADE DE RELEVO	CARACTERÍSTICA DO CANAL					COMPORTAMENTO DO RIO
				FORMA EM PLANTA				TEXTURA DO MATERIAL DO LEITO	
				Nº canal	Sinuosidade	Estabilidade	Unidade geomorfológica		
T1	Cabeceira íngreme	Confinado	Escarpas Serranas	Único	Retilíneo	Estável	Sem planície, alta declividade	Rochoso	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante, não permitindo ajustes. Apresentando baixa sensibilidade de alteração.
T2	Confinado Sinuoso	Confinado	Escarpas Serranas	Único	Retilíneo	Estável	Sem planície, média declividade	Rochoso Cascalhento	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante, não permitindo ajustes. Apresentando baixa sensibilidade de alteração.
T3	Confinado Garganta	Confinado	Escarpa Serranas	Único	Retilíneo	Estável	Sem planície, média declividade	Rochoso Cascalhento	Tamanho e largura controlados pela litologia confinante, não permitindo ajustes. Apresentando baixa sensibilidade de alteração.
T4	Vale retilíneo	Parcialmente confinado	Escarpas Serranas	Único	Retilíneo	Parcialmente estável	Peq. Planície unilateral.	Cascalhento arenoso	Tamanho e largura do canal são ajustados onde ocorre planícies de inundação. Pode ocorrer ajustes localizados onde as unidades geomórficas permitem.
T5	Vale retilíneo	Não Confinado	Rampa de colúvio e depósito de talus	Único	Retilíneo	Instável	Planície de inundação	Arenoso com matacões	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente, com alto potencial de erosão das margens, principalmente relacionados a eventos de alta magnitude
T6	Vale sinuoso	Não Confinado	Planície de inundação (várzea)	Único	Intermediário	Instável	Planície de inundação	Arenoso	Tamanho e largura do canal podem ser ajustados lateralmente e verticalmente, com alto potencial de erosão das margens, principalmente relacionados a eventos de alta magnitude

Como pode ser observado na figura 63, o domínio de escarpas serranas possui predominantemente o estilo de **rio confinado com cabeceiras íngremes**, onde há alta energia potencial e, conseqüentemente, processos erosivos significativos. Neste trecho do vale fluvial as altitudes alcançam 1.208m e em alguns setores as declividades são acentuadas ($> 45\%$), não apresentando condições para armazenamento de sedimentos. O desnível entre as vertentes e o fundo de vale no rio Banqueta-Japuiba alcança até 298 m e no Cabo Severino pode ser superior a 390 m, evidenciando o confinamento do vale. Esse estilo fluvial apresenta leito rochoso ou constituído por cascalho, blocos e matacões, sendo as margens ocupadas por cobertura vegetal densa. Há formação de NBLs (níveis encachoeirados) e sequências de poços nas bases dos níveis encachoeirados. Tais características demonstram estágio de maior “estabilidade” neste trecho do canal fluvial.

A figura 64 apresenta um recorte de uma imagem do *Google Earth Pro* atual com os perfis topográficos transversais em trechos dos rios de acordo com cada estilo fluvial identificado. Nota-se diferenças de declividade na conformação de cada perfil, sendo esse um importante fator para caracterizar o estilo fluvial do canal, juntamente com a presença ou ausência de planícies de inundação. Os trechos do canal que apresentam maiores declividades correspondem a vales do **tipo confinado** e trechos que apresentam declividades intermediárias são vales **parcialmente confinados**. Já trechos que apresentam baixa declividade correspondem a vales **não confinados**.

Figura 63: Mapa dos padrões de relevo com identificação dos estilos fluviais (@River Styles) dos rios Japuiba e Cabo Severino.

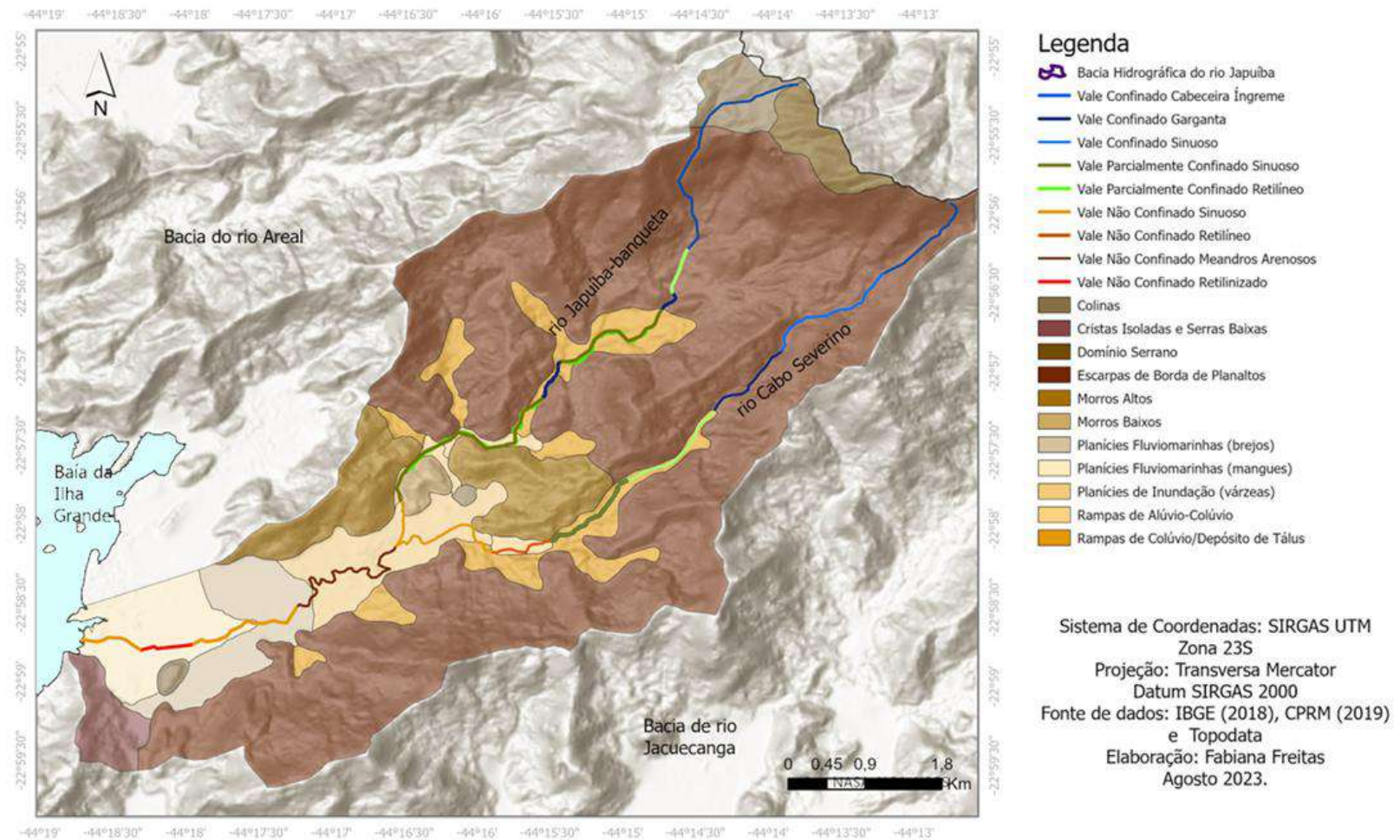
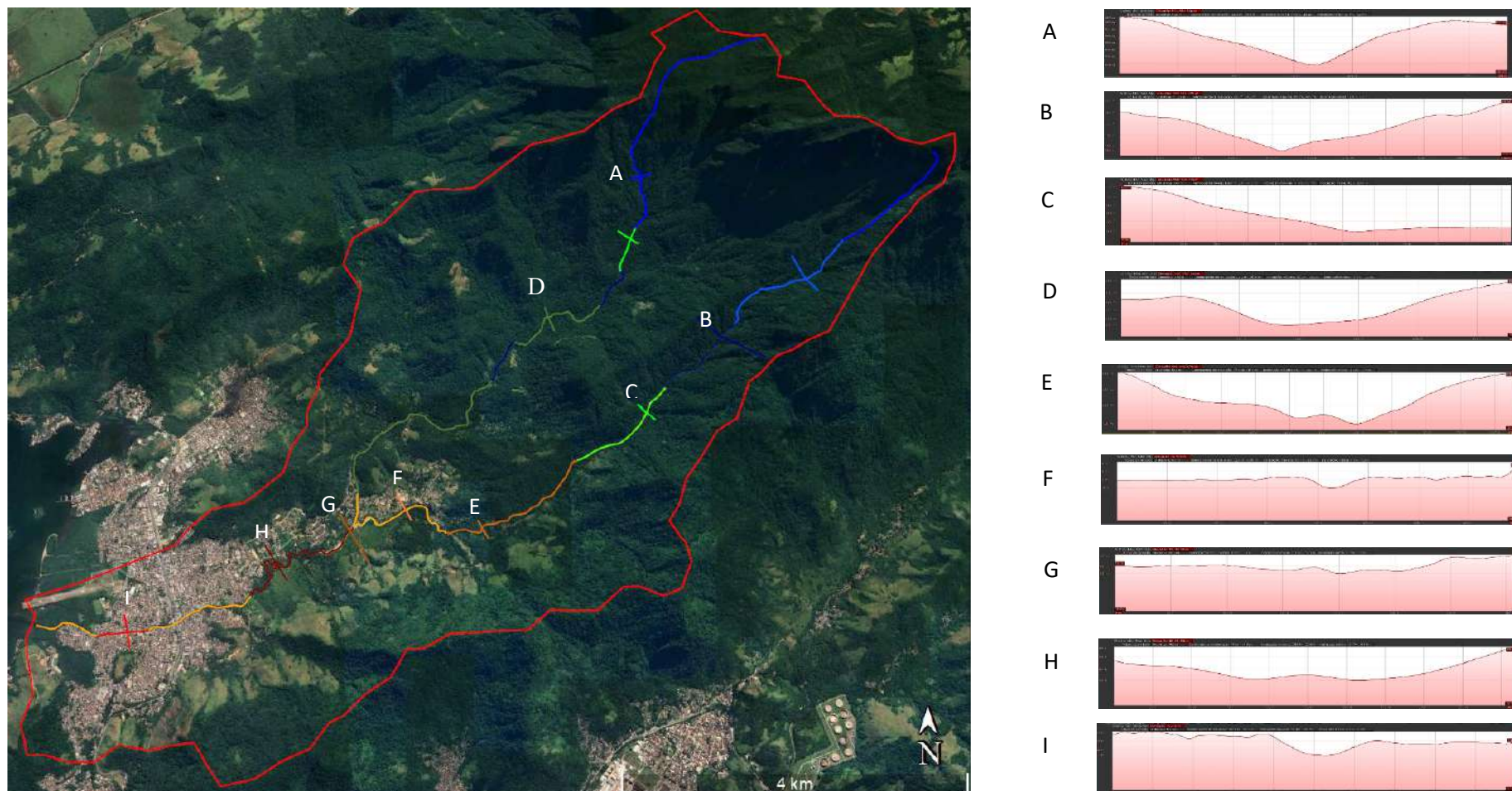


Figura 64: Imagens extraídas do Google Earth Pro (06/03/2023) com a classificação dos estilos fluviais e a localização dos seus respectivos perfis de elevação. **A** – Cabeceiras íngreme; **B** – Vale Confinado Garganta; **C** – Vale Confinado Sinuoso; **D** – Vale Parcialmente Confinado Sinuoso; **E** – Vale Parcialmente Confinado Retilíneo; **F** – Vale Não Confinado Sinuoso; **G** – Vale Não Confinado Retilíneo; **H** – Vale Não Confinado Meandros Arenosos; **I** – Vale Não Confinado Retilinizado



Seguindo em direção à jusante, ambos os rios apresentam localidades onde, ocasionalmente, seu vale se alarga, formando estreitas planícies unilaterais, o que caracteriza o vale **parcialmente confinado**. O estilo fluvial **parcialmente confinado com vale retilíneo** ocorre na área de escarpas serranas de declive menos acentuado e, portanto, permitindo formação de pequena planície fluvial, mas bastante descontínua. Além disso, localmente apresenta um leito predominantemente rochoso, com formação de níveis encachoeirados de pequenos desníveis; sendo que, em trechos de ocasionais alargamentos do vale os sedimentos podem ser depositados. Já trechos de vale **parcialmente confinado sinuoso** apresentam uma sinuosidade intermediária e se localiza em setores com vertentes recobertas por rampas de colúvio e/ou depósitos de talus.

Considerando a condição geomorfológica e os estilos fluviais dos ambientes confinados estes mostram-se mais resilientes a eventos intensos de descarga fluvial e aporte sedimentar, pois o leito rochoso e o confinamento do vale dificultam ajustes laterais do canal e apresentam elevada capacidade de transferência de carga sedimentar em direção à jusante como já ressaltaram Fryirs; Brierley (2001), Hooke (2003) e Fryirs *et al.* (2016).

Os tipos de vale **não confinado retilíneo** e **não confinado sinuoso** apresentam, respectivamente, baixa e alta sinuosidade e caracterizam o comportamento fluvial da zona de armazenamento sedimentar do rio Cabo Severino em contraponto à tipologia de vales encontrados à montante onde predominam processos de erosão.

A configuração dos tipos vales fluviais está diretamente associada ao desenvolvimento ou não de planícies de inundações contínuas e onde a diminuição da velocidade do fluxo fluvial favorece a criação de ambientes de deposição com formação de barras e ilhas fluviais no leito dos rios (Figura 65). Cabe ressaltar, que esse trecho fluvial recebe ainda carga sedimentar de outros afluentes e o material transportado e aí depositado, com textura predominante arenosa, é propenso a ser retrabalhado durante eventos intensos de precipitação, sendo constantemente remobilizado e transformando as feições morfológicas do leito fluvial como podem ser visualizados pelas imagens da figura 65.

Figura 65: Confluência dos rios Banqueta-Japuíba e Cabo Severino, trecho de vale classificado como **não confinado sinuoso**, com a presença de meandros e barras fluviais e barras laterais.



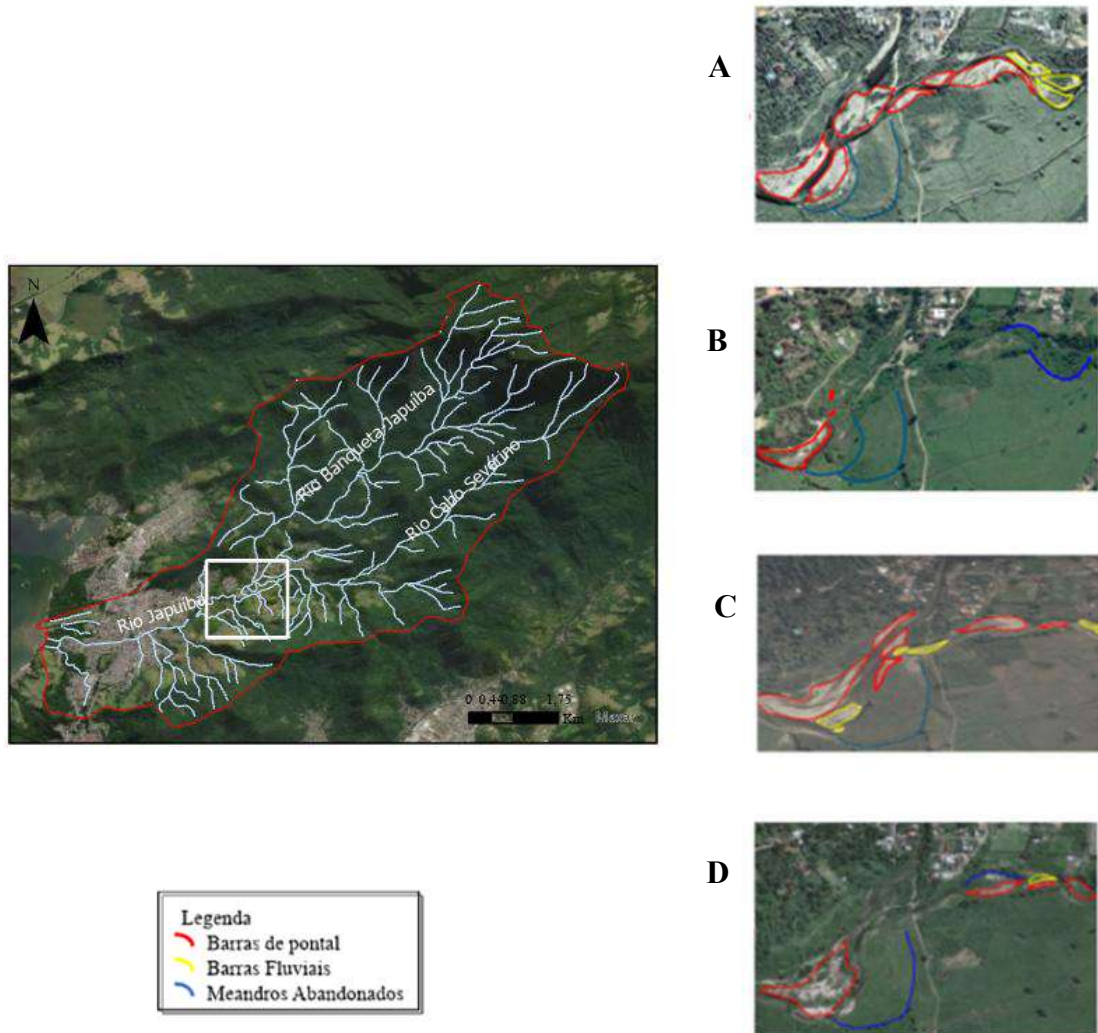
Foto: S.L. Silva, dez./2007.

Dando prosseguimento à análise dos estilos fluviais para o período seco e chuvoso, a figura 66A representa o período seco definido pelo cálculo do **IAC** (setembro/2014), onde observa-se a presença de barras laterais e ilhas fluviais, características de um leito de rio onde a deposição sobressai à erosão. A presença dessas unidades geomorfológicas confirma a classificação de **vale não confinado**. A figura 66B representa o mês mais seco, como pode ser observado na tabela 16 (dados Hidroweb e CEMADEN), onde é possível notar a existência de meandros abandonados. Apesar de ser o mês mais seco de toda a série histórica definida, o canal não tem características de um período seco pois foi precedido por três meses com índices pluviométricos acima da média dos anos anteriores.

O período mais úmido definido pelo cálculo da **IAC** está representado na figura 66C. O ano mais úmido teve um total de 3.224,5 mm (Tabela 16), dentro da média anual da série histórica utilizada. O **vale não confinado sinuoso** é caracterizado pela presença de barras

laterais e meandros abandonados. No mês mais úmido, segundo dados do *HidroWeb* e CEMADEN (Tabela 16), observa-se também as barras laterais e os meandros abandonados, como pode ser observado na figura 66D. Isso ocorre devido ao fato de os três meses anteriores terem totais pluviométricos inferiores à média da série histórica.

Figura 66: Imagens *Google Earth Pro* do trecho do **vale não-confinado sinuoso** com presença de barras fluviais laterais para os períodos mais secos e mais úmidos previamente definidos do trecho em destaque: meses mais secos - **A** (setembro/2014) e **B** (julho/2016) e meses mais úmidos - **C** (dezembro/2010) e **D** (janeiro/2013).



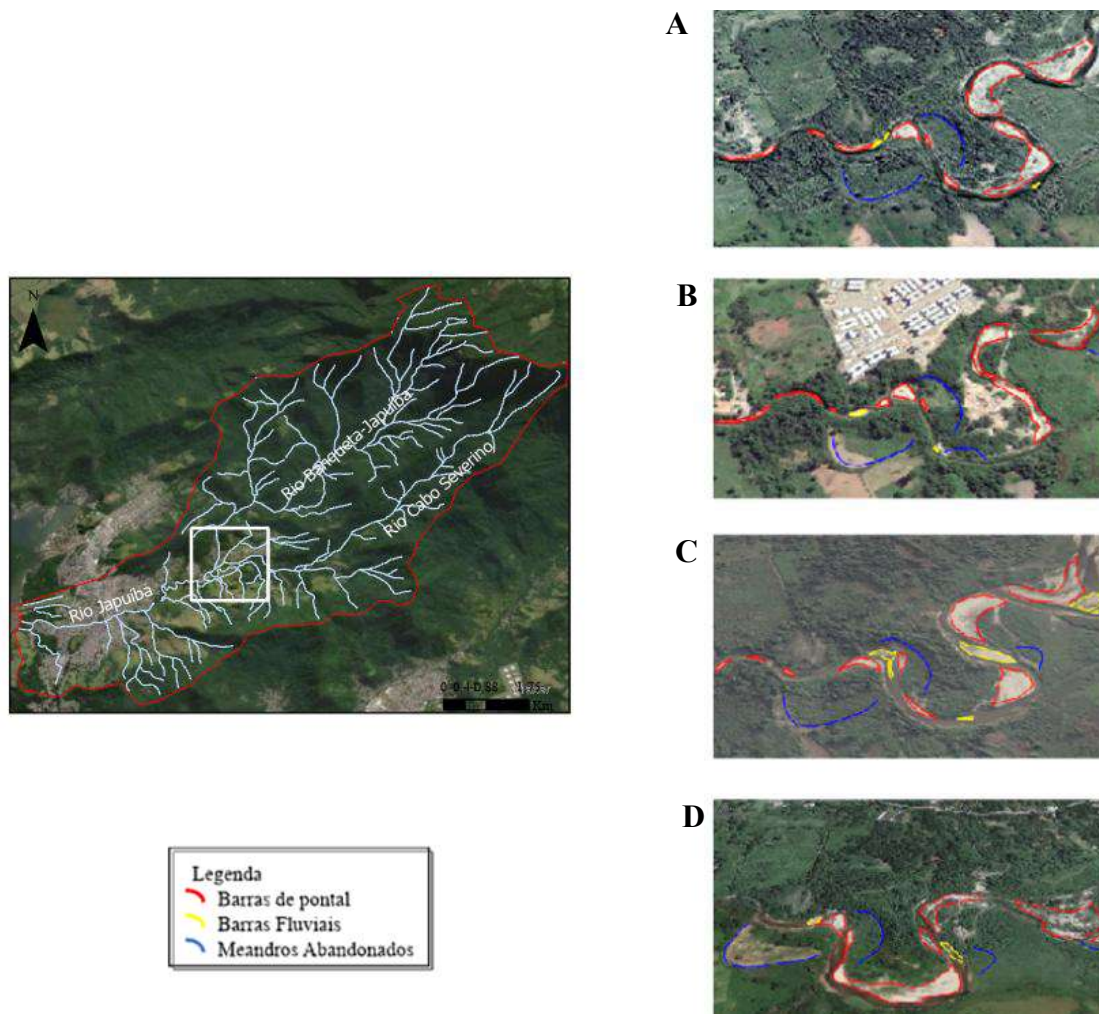
O tipo de vale **não confinado com meandros arenosos** também ocupa o domínio geomorfológico de planícies fluviais de declividade muito reduzida. Dado o baixo gradiente e a presença de material arenoso no leito fluvial e, ainda, a disponibilidade de área para eventuais ajustes laterais, a sinuosidade no rio aumenta, marcada pela presença de curvas de meandros ativos (Figura 67). Ao longo do leito do canal são observadas estreitas barras de pontal nas margens convexas dos meandros, formadas pela deposição de material arenoso, enquanto as margens côncavas são altamente suscetíveis à ação erosiva, principalmente durante os eventos de precipitação intensa e aumento de vazão. Nesse tipo de vale é possível observar a presença de terraço fluvial sob ação de processos erosivos em sua base e, em alguns casos, trechos de paleocanais evidenciando braços de meandros abandonados por onde cursava o rio Japuíba em tempos pretéritos (Figura 68).

Figura 67: Trecho do baixo curso do rio Japuíba, após confluência com o rio Cabo Severino, com a presença de curvas meândricas com diversas ilhas barras fluviais, demonstrando a intensidade do assoreamento.



Foto: S. L. Silva, dez./2007.

Figura 68: Imagens *Google Earth Pro* do trecho em destaque do **vale não-confinado meandros arenosos** com presença de barras fluviais laterais para os períodos mais secos e mais úmidos previamente definidos: meses mais secos - **A** (setembro/2014) e **B** (julho/2016) e meses mais úmidos - **C** (dezembro/2010) e **D** (janeiro/2013).



O tipo de vale **não confinado retificado** é reflexo das ações humana na bacia do rio Japuiba. O termo "vale não confinado retificado" foi utilizado para descrever a morfologia desse trecho de vale fluvial que passou por alguma alteração em sua forma original. Esse trecho foi retificado no passado (decorrente de obras realizadas até os anos de 1980) para drenar a planície, onde existiam curvas de canais meandantes, e possibilitar o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, assim como facilitar a ocupação local. Este trecho retilíneo do canal possui leito arenoso e margens simétricas sem barras laterais.

Observa-se uma extensa planície fluvial ocupando um **vale não confinado**, onde é possível observar a ocupação urbana comprimindo o rio (Figura 69). As obras de retificação representam uma mudança intensa e as alterações em seu traçado original acabou intensificando as inundações, que passaram a ser recorrentes na área, em função do aumento da vazão em tempos de chuvas intensas que são comuns à área.

Figura 69: Imagem do *Google Earth Pro* do trecho do baixo curso do rio Japuiba classificado como vale confinado retificado.



Cada um dos trechos do vale fluvial anteriormente citado apresenta característica morfodinâmica própria, sendo o tipo **não confinado com meandros arenosos** considerado o mais sensível devido a ajustes rápidos e frequentes. O seu dinamismo é verificado pela persistência do padrão meândrico impresso na planície fluvial e do registro de meandros abandonados, bem como pela presença atual de meandros ativos.

De forma geral, verifica-se que a diversidade de comportamento refletida pelos oito estilos fluviais identificados está intrinsecamente relacionada com controles locais, especialmente aqueles voltados aos contrastes observados no relevo (domínio de escarpas serranas *versus* domínio de planície) e/ou a controles tectônicos.

Ao analisar detalhadamente os rios Banqueta-Japuíba e Cabo Severino foi possível traçar um paralelo entre a classificação da morfodinâmica da bacia, segundo a metodologia de Silva (2015) e a definição dos estilos fluviais. Os **vales rochosos** com morfodinâmica muito alta (SILVA, 2015) correspondem aos estilos fluviais **confinados do tipo garganta** e cabeceira íngreme, com reduzida possibilidade de alteração do leito, devido a largura e a profundidade do canal serem controladas pela litologia. O segmento de **vale coluvial**, presente nas cabeceiras de drenagem não rochosas, corresponde aos estilos fluviais parcialmente confinados retilíneos e sinuosos, pois apresentam média capacidade de ajuste do leito. Os segmentos de **vale aluvial e estuarino** se enquadram dentro da classificação como estilos fluviais **não confinados sinuosos, meandrante e retelinizado**, pois apresentam alta capacidade de ajuste do leito.

5.4 Reconhecimento dos Relevos Tecnogênicos

A ação humana potencializa os processos modificadores da paisagem. O termo “Terrenos Tecnogênicos” passa a ter destaque no Brasil em 2014, a partir de um artigo publicado com o intuito de propor e discutir uma classificação geológica de terrenos artificiais, ou seja, terrenos formados e/ou alterados pela ação humana. Em situações que resultaram na intensificação de processos erosivos e deposicionais diversos, cortes e aterros originados por ação direta, indireta e além da própria alteração *in situ*, a exemplo de contaminações, compactações e outras situações de geotecnogênese, referente a alterações nos solos, nos sedimentos, nos aspectos geológicos e no relevo (PELOGGIA *et al.*, 2014). Segundo Peloggia; Oliveira (2005), a geotecnogênese pode ser compreendida como o conjunto da ação humana transformadora do ambiente, envolvendo a alteração dos processos da dinâmica externa, sejam estes erosivos ou deposicionais, resultando na criação de formas de relevo (tecnogênico) e na formação dos depósitos tecnogênicos.

A evolução histórica da bacia do rio Japuíba revela que antes da fundação do bairro, a área configurava-se como uma grande fazenda. Atualmente, o bairro, localizado a três quilômetros do Centro da cidade de Angra dos Reis, caracteriza-se por ter uma população de baixo poder aquisitivo que, em grande parte, reside há menos de vinte e cinco anos na localidade (ARAGÃO *et al.*, 2023). Japuíba possui diferentes características urbanas: de um lado um arruamento mais organizado com pavimentação e, de outro, ruas de terra e casas que apresentam várias dimensões, deixando clara a impressão de um processo de ocupação desordenada. O bairro apresenta diversos problemas como a falta de saneamento básico, segurança, deficiência em transportes, dentre outros.

O bairro cresceu de forma desenfreada e como consequência o comércio também, principalmente ao longo das duas vias centrais, que é composto por pequenas lojas diversas, supermercados, concessionária de automóveis, entre outros. O bairro teve sua ocupação acelerada no final dos anos 1970, período que coincide com a instalação de vários projetos econômicos de grande porte no município de Angra dos Reis, tais como a Usina Nuclear, os empreendimentos turísticos e a criação da BR-101 (Rodovia Rio-Santos). Esses fatos acabaram por atrair para o município um significativo fluxo populacional e a ocupação se deu de forma rápida e irregular, sobre áreas de manguezais e da Mata Atlântica que foram invadidas por construções de moradias sem quase nenhuma infraestrutura.

O bairro se estende desde os contrafortes da Serra do Mar, coberta pela Mata Atlântica e onde predomina uma floresta primária, formada por árvores adultas, até a baixada litorânea que se encontra preenchida por sedimentos fluviomarinheiros de origem quaternária (solos

arenosos de alta suscetibilidade erosiva) e manguezais, várzeas e brejos com ocorrência de sedimentos argilosos orgânicos. Completando essas características, tem-se ainda a calha do rio Japuíba que se estende desde a Serra do Major Bernardes (recoberta pela Mata Atlântica em seu alto curso) até a enseada, onde se tem ocorrência de manguezais, e o trecho de baixo curso corresponde ao setor bastante antropizado.

Segundo Braga (2005), até os anos de 1960, a configuração socioespacial da Japuíba mantinha-se pouco alterada, com a presença das antigas famílias que viviam da lavoura de subsistência e áreas que possuíam baixa ocupação. Verifica-se assim que todos os processos de modificação do meio físico estão associados à ocupação do solo, inicialmente enquanto uso agrícola e, posteriormente, como desenvolvimento urbano misto - residencial e industrial. A partir da intensificação da ocupação de seu entorno, a área investigada passou a ter diversas modificações e impactos da ação da agência humana. Através da figura 70 pode-se evidenciar algumas dessas alterações, através da evolução temporal do uso e da ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2021 extraídas dos arquivos dos mapeamentos de cobertura vegetal e uso do solo disponibilizados pelo site do MapBiomas (2021).

Na figura 70A, referente ao ano de 1985, observa-se que havia uma pequena área ocupada, no setor jusante da bacia. Áreas de pastagens e de mangue eram superiores às áreas urbanizadas. A foz do rio encontrava-se preservada sem assoreamento e sem aterros. Na figura 70B já é evidente o avanço da área urbanizada, bem como a redução das áreas de mangues, com aterramento e ocupação de parte da foz, mas ainda com manutenção da área de pastagens. Seguindo a sequência temporal, a figura 70C mostra grande avanço da área urbanizada juntamente com a ampliação da área de pastagem e, assim, redução de mangues. Pela figura 70D, observa-se a contínua ampliação da área urbana e a redução dos mangues, nessa figura de 2015 aparece também uma pequena redução da área de pastagem. A última figura, 70E, representa ano de 2021, pode-se observar a contínua ampliação da área urbana e a manutenção das demais formas de ocupação.

Através da tabela 26 pode-se observar as alterações da cobertura vegetal e de uso e ocupação da terra no período analisado (1985 a 2021), onde pode-se observar que houve pouca alteração em grande parte das categorias de mapeamento. No entanto, a área urbana teve uma elevação significativa, principalmente, sobre as áreas de restinga, corpos d'água, mangues que correspondem a área de planície fluviomarinha quaternária.

Tabela 26: Valores percentuais da cobertura vegetal e de uso e ocupação da terra na bacia do rio Japuíba ao longo dos anos estudados.

Ano	Formação vegetal ¹	Mangue	Pastagem	Mosaico de usos ²	Área urbana	Outras áreas não vegetadas ³	Afloramentos rochosos	Corpos d'água	Vegetação de restinga
1985	25	4,2	3,1	9,9	1,2	1,5	0,4	5	4,6
1995	22,9	3,5	3,1	9,6	4,1	5	0,4	4	2,3
2005	22,2	3,2	3,4	9,6	6	5	0,4	3	2,1
2015	21,7	3	3,3	9,6	8	5	0,4	2	1,9
2021	19,4	2	3,2	9,2	12	5	0,4	2	1,7

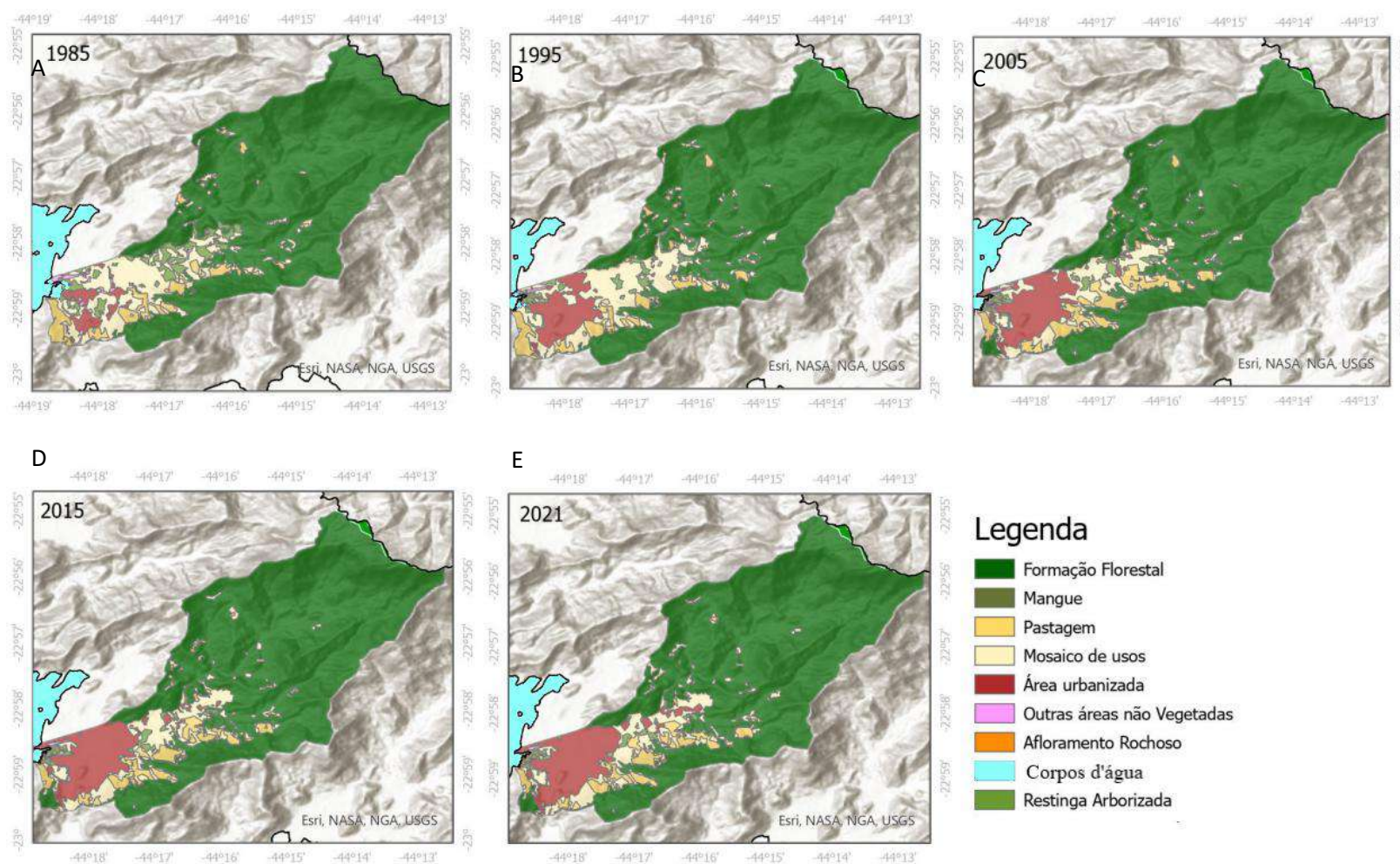
¹Formação vegetal corresponde à floresta ombrófila densa, aberta e mista e floresta estacional semidecídua, floresta estacional decidual e formação pioneira arbórea.

²Mosaico de usos corresponde a áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

³Outras formações corresponde a formações naturais não florestais que não puderam ser categorizadas.

Além de aterramentos realizados pelo Poder Público para construção de conjuntos habitacionais, aeroporto e estradas, a bacia sofre com o descarte irregular de resíduos sólidos de origem urbana e de construção civil. O rio Japuíba também tem taxas elevadas de degradação de suas águas através de efluentes de ligações clandestinas de esgoto. Grande parte da porção da planície fluviomarinha da bacia encontra-se na atualidade desprovida de vegetação ou é utilizada pela comunidade para pastagens e cultivo de pequena agricultura.

Figura 70: Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Japuíba para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021. Fonte: MapBiomas (2021).

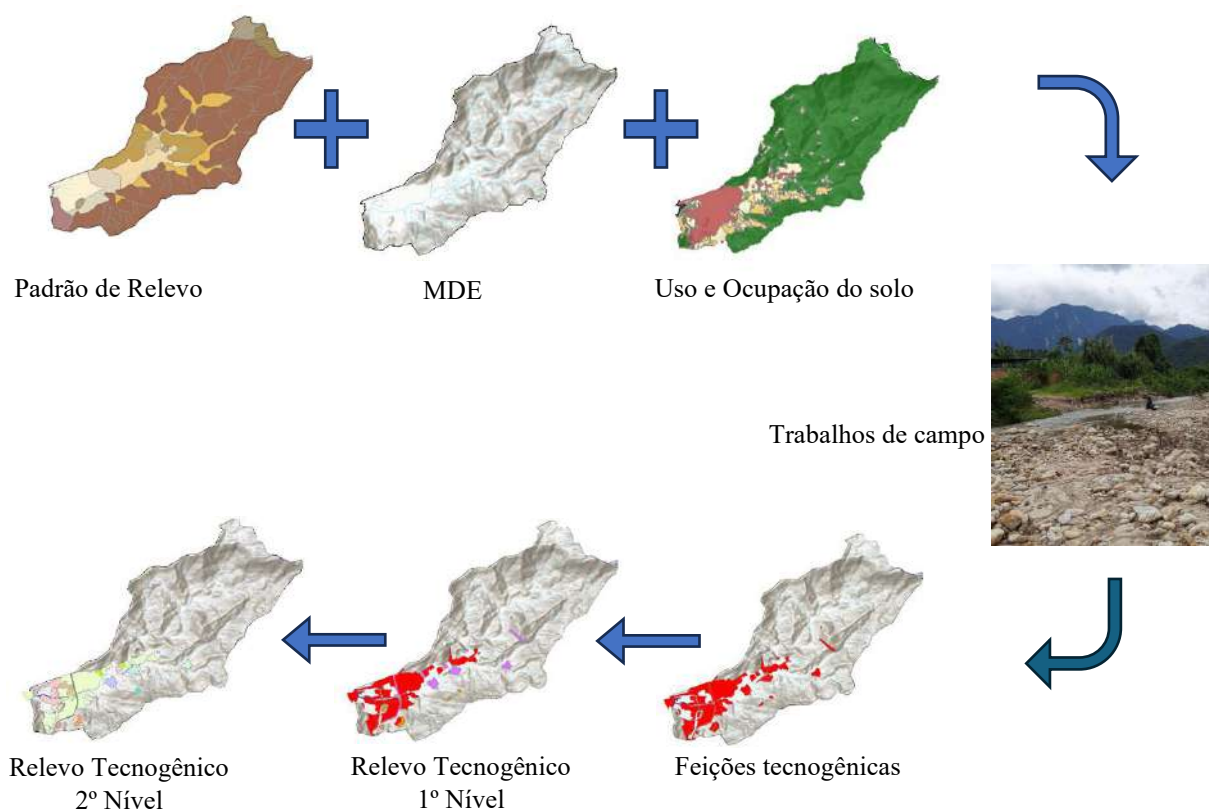


Esse crescimento acelerado e desordenado da Grande Japuíba (como é chamada atualmente), assim como em outros bairros de Angra dos Reis, ocorreu sem condições de infraestrutura adequada para receber a elevação da taxa de crescimento populacional em tão pouco tempo. Foram os grandes empreendimentos, a partir da década de 70, que fizeram do bairro um polo de atração, principalmente, por sua proximidade ao Centro e pelo baixo custo dos terrenos. Desse modo, mangues, margens dos rios e encostas foram sendo ocupados sem quaisquer controles e com total ausência de políticas ocupacionais. Em pouco tempo, houve, portanto, o agravamento dos problemas ambientais, repercutindo diretamente sobre seus moradores. Doenças, enchentes, erosão e desmoronamentos passaram a fazer parte da realidade do bairro, como os deslizamentos que ocorreram em dezembro de 2002, quando chuvas intensas deixaram treze mortos e vários desabrigados no bairro.

Com base nessas informações iniciais de uso e ocupação dos terrenos na bacia do rio Japuíba partiu-se então para realização dos mapas das formas de relevo tecnogênicas, com base na metodologia proposta por Moura *et al.* (2023). Para estes autores, o mapeamento das feições de relevo tecnogênicas deve ser realizado segundo uma análise espaço-temporal, pois tais feições de relevo são entendidas como dinâmicas e em contínuo movimento, imprimindo inúmeras transformações na paisagem. A agência humana tem, portanto, maior pertinência de estudos na escala de tempo histórico (tempo curto) na produção do espaço geográfico, pois o tempo histórico incorpora transformações produzidas e suas consequências nas formas, processos e materiais (MOURA *et al.*, 2023).

Para reconhecimento das feições de relevo tecnogênicos seguiu-se a sequência de etapas apresentadas na figura 71, onde foi utilizado inicialmente o mapa de padrões de relevo propostos pelo CPRM (2019), o MDE produzido a partir do tratamento da imagem de SRTM, o mapa de uso e cobertura da terra do MapBiomias (2021) e campanhas de campo. O mapa de relevo tecnogênico foi produzido em dois níveis: 1º. nível, referente às categorias do modelado; e o 2º. nível relacionado ao tipo da feição de relevo.

Figura 71: Organização cognitiva do mapeamento do relevo tecnogênico utilizado no reconhecimento de feições de relevo tecnogênico da bacia do rio Japuíba segundo metodologia proposta por Moura *et al.* (2023).



De acordo com os autores Tricart; Cailleux (1956); Mercejakov (1968) e Ross (1992), o mapeamento das formas de relevo, além de abordar processos, agentes e produtos a eles relacionados, deve considerar a abrangência histórica e espacial do estudo e a complexidade da realidade que se pretende analisar, sendo intrinsecamente correlacionadas à escala espaço-temporal na qual o objeto de análise se enquadra. Seguindo essa mesma linha de pensamento, o CEN/SBCR (2022) em sua nota técnica sobre o Relevo Tecnogênico, afirma que a geotecnogênese abrange uma grande variedade de morfologias resultantes da agência humana e deve ser classificada para distinguir e individualizar formas que foram (ou são) alteradas ou criadas pela agência humana (denominadas morfologias tecnogênicas). É importante ressaltar que os termos Tecnógeno e Antropoceno têm caráter genético e crono estratigráfico (ligados ao “tempo” da ação humana). As categorias e tipos de formas de relevo tecnogênicas derivadas da agência humana, sua expressão no terreno e aspectos morfogenéticos de sua elaboração foram classificadas em dois níveis.

As formas de relevo tecnogênicas foram classificadas a partir do reconhecimento e mapeamento do 1º nível das categorias de relevo, que referem-se a quatro tipos de feições que

configuram o relevo tecnogênico: a) aqueles em que ocorre uma dinâmica morfológica aditiva, ou seja, que resulta em acumulação de material transportado e depositado, de forma direta ou indireta, formando **Elevações ou Superposições Tecnogênicas**; b) os dominados por dinâmicas subtrativas, que resultam em perda e exportação de material, configurando **Cicatrizes ou Depressões Tecnogênicas**; c) os contextos de dinâmica nos quais não há aporte ou exportação de material na superfície, mas modificação in situ com turbações do terreno, formam as **Corrugações**; d) e as modificações diretas que ocorrem em superfície e em profundidade alterando a estrutura física do terreno, resultando nas **Equiformas Tecnogênicas**.

O quadro 11 sintetiza a classificação aplicada no reconhecimento das feições de relevo tecnogênicas a partir dos dois níveis taxonômicos referentes a morfologia apresentada na atualidade (1º. nível – categorias; 2º. nível – tipos), sua morfogênese, expressão no relevo e feição expressa no terreno (CEN/SBCR, 2022; MOURA *et al.*, 2023).

Quadro 11: Chave de classificação para relevos tecnogênicos, segundo proposta de CEN/SBCR (2022) e Moura *et al.* (2023).

FORMAS DE RELEVO TECNÔGENICAS				
MORFOLOGIA		MORFOGÊNESE	EXPRESSÃO NO TERRENO	EXEMPLOS DE FEIÇÃO NO TERRENO
Categorias (1º nível)	Tipos (2º nível)			
ELEVAÇÕES E SUPERPOSIÇÕES TECNÔGENICAS	Tecnoformas de Acumulação	Acréscimo direto de material	Formas associadas a depósitos tecnogênicos construídos	Aterro com área construída. Restos de construção. Aterros diversos. Construção da BR-101.
	Geotecnoforma de Acumulação	Acréscimo induzido de material	Formas associadas a depósitos tecnogênicos induzidos	Depósito de deslizamento Estuário
CICATRIZES E DEPRESSÕES TECNÔGENICAS	Tecnoforma de escavação	Retirada direta de material	Cicatrizes tecnogênicas escavadas	Retilinação de rios. Cicatrizes de terraplanagem. Cicatrizes de extração de areia. Cicatrizes de extração de saibro. Piscicultura.
	Geotecnoforma de Denudação	Movimentação ou erosão direta de material	Cicatrizes ou depressões tecnogênicas induzidas	Cicatriz de deslizamento e erosões induzidos por desmatamento.
EQUIFORMAS TECNÔGENICAS	Equiforma Tecnogênica de Modificação em Superfície	Formas associadas a solos tecnogênicos	Modificação direta ou indireta na composição ou estrutura física do terreno em superfície	Área de pastagem. Pecuária. Agricultura.
	Equiforma Tecnogênica de Modificação em profundidade	Maciços Tecnoturbados	Modificação direta na composição ou estrutura física do terreno em profundidade	Túnel. Barragens.

O quadro 12, apresenta a classificação e descrição para os materiais derivados da ação da agência humana segundo Fanning; Fanning (1989): gárbico, úrbico, espólico, natural e erodido, além de categorias adicionais de transição espólico-úrbico e natural-espólico propostas por Toyama *et al.* (2019). As classes adicionais de transição viabilizaram um maior detalhamento, justificando-se pela possibilidade de melhor representar as informações levantadas *in loco*, sem que informações adquiridas por caracterizações táteis-visuais sejam generalizadas e apresentadas com uma quantidade reduzida de classes, o que inviabilizaria a incorporação destes mapeamentos na tomada de decisões.

Quadro 12: Categorias de classificação dos depósitos tecnogênicos e suas respectivas descrições, baseadas em Fanning; Fanning (1989) e organizado por Toyama *et al.* (2019).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Erodido	Material que sofreu com o processo de erosão, marcado por cicatrizes criadas por processos induzidos.
Natural	Material inconsolidado.
Natural/Espólico	Depósito de material escavado e depositado pouco espesso, terreno preenchido (< 20cm).
Espólico	Depósito de material escavado e depositado espesso, terreno preenchido (< 20cm).
Espólico/Úrbico	Depósito de material aterrado composto em maior fração por solo, porém com presença de resíduos de construção civil e de outros materiais.
Úrbico	Depósito de material alterado composto em maior fração de resíduos de construção civil e outros materiais do que por solo
Gárbico	Depósito de resíduos sólidos de origem urbana.

O quadro 13 relaciona o tipo de material à feição de relevo tecnogênica correspondente de acordo com suas características identificadas. Os materiais Úrbicos e Espólicos foram identificadas nas **Elevações e Superposições Tecnogênicas**, enquanto os materiais naturais e erodidos foram identificados nas **Cicatrizes e Depressões**. Nas **Corrugações Tecnogênicas**, os materiais foram identificados como Úrbicos e nas **Equiformas Tecnogênicas**, os materiais identificados foram em sua maioria Úrbicos e Gárbicos, com a presença de um material Espólico.

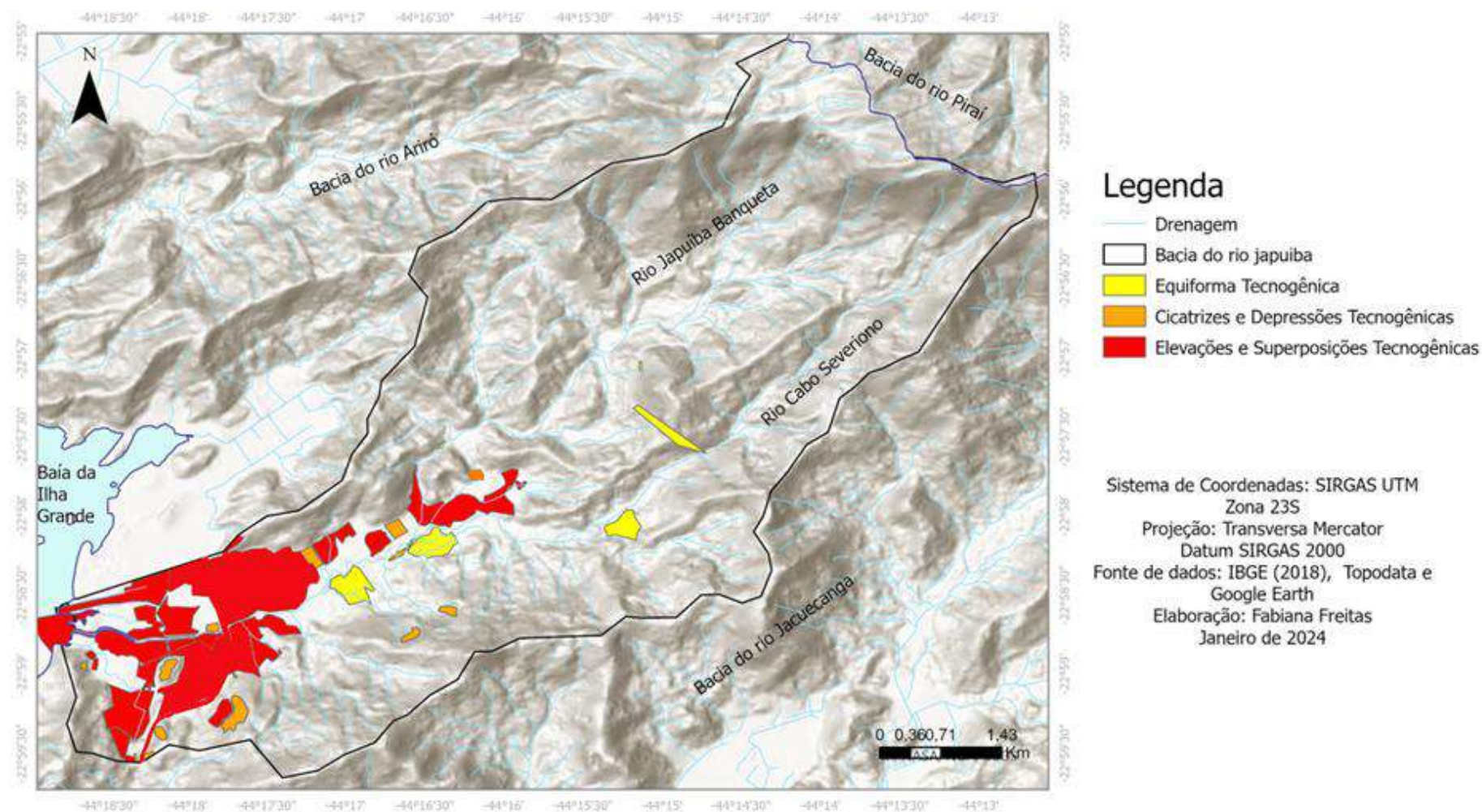
Quadro 13: Classificação do tipo de material discriminado segundo as feições que se apresentam no terreno na bacia do rio Japuíba, segundo proposta de Toyama *et al.* (2019).

CLASSE 1º Nível	CATEGORIA 2º Nível	FEIÇÃO NO TERRENO	CLASSIFICAÇÃO GENÉRICA	TIPO DE MATERIAL
Elevações e superposições tecnogênicas	Tecnoforma de acumulação	Aterro com área construída	Construído	Úrbico/espólico
		Aterro	Construído	Espólico
		Terreno Construído	Construído	Úrbico/espólico
		Restos de construções	Construído	Úrbico, espólico/úrbico e gárbico
		Construção da BR-101	Construído	Úrbico
	Geotecnoforma de acumulação	Assoreamento do estuário	Induzido	Natural
		Depósitos de deslizamentos	Induzido	Natural
Cicatrizes e depressões tecnogênicas	Tecnoforma de escavação	Extração de saibro	Construído	Erodido
		Extração de areia	Construído	Erodido
		Cicatriz de Terraplanagem	Construído	Erodido
		Retilinação do rio	Construído	Erodido e espólico
		Piscicultura	Construído	Úrbico
	Geotecnoforma de escavação	Deslizamento induzido	Induzido Terreno erodido	Erodido
Equiformas Tecnogênicas	Modificação em superfície	Agricultura	Construído	Úrbico
		Pecuária	Construído	Úrbico
	Modificação em profundidade	Túneis	Construído	Gárbico
		Barragem	Construído	Gárbico

O mapa apresentado na figura 72 representa a classificação do relevo tecnogênico para o 1º nível de reconhecimento, categorizando-o em: **Elevação ou Superposição Tecnogênica**; **Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas**; **Corrugações Tecnogênicas** e **Equiformas Tecnogênicas**, que perfazem A representação das quatro classes identificadas deriva dos aspectos relacionados com o modo de como estes depósitos ocorrem na área e é resultado também das investigações sobre os fatos históricos e das respectivas alterações na paisagem.

Elevações Tecnogênicas ocupam cerca de 53,1% da área total do terreno tecnogênico, enquanto **Cicatrizes e Depressões** ocupam 22,1%. As **Equiformas Tecnogênicas** apresentam a maior quantidade de feições, porém representam apenas 24% dos terrenos tecnogênicos.

Figura 72: Mapa do 1º nível de classificação de feições de relevo tecnogênicos propostas por Moura *et al.* (2023) para a bacia hidrográfica do rio Japuiba.



O mapa da figura 73 representa o segundo nível taxonômico do relevo tecnogênico, levando em consideração a origem dos materiais e se apoiando majoritariamente nas investigações táteis-visuais. Neste mapa é possível observar 17 (dezessete) feições tecnogênicas. A categoria de **Elevações e Superposições Tecnogênicas**, pode-se reconhecer 4 (quatro) classes do tipo **Tecnoformas de Acumulação** produzidas por ações diretamente antrópicas (aterro, aterro com área construída, área construída e restos de construções) e duas **Geotecnoformas de acumulação** produzidas por indução (depósito de assoreamento do rio Japuíba e depósitos de deslizamentos).

Em relação à categoria de **Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas** foi possível identificar cinco **Tecnoformas de Escavação**, sendo a extrações de saibro e areia as mais presentes e uma única cicatriz de terraplanagem e a retificação de uma pequena parte do rio Japuíba. Também foi identificado deslizamentos induzidos que foram classificados como **Geotecnoformas de Escavação**.

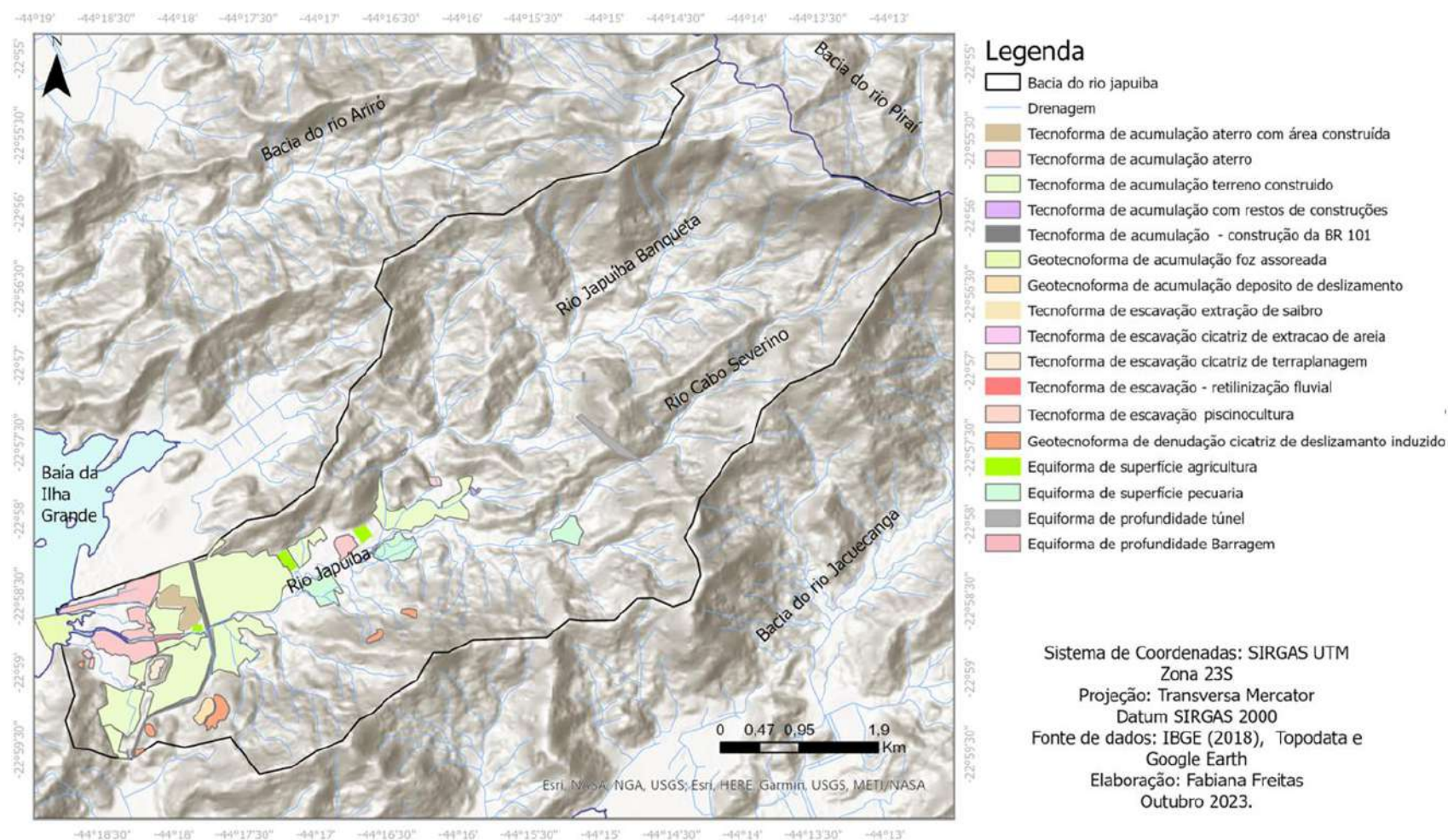
Os tipos de **Equiformas Tecnogênicas** identificados foram classificados na classe de Movimentações em Superfície: áreas de agricultura e pecuária. A segunda classe de **Equiformas** são as de profundidade, identificadas como os túneis da antiga ferrovia que ligava o litoral de Angra dos Reis a Barra Mansa (o extinto Trem da Mata Atlântica) e a Barragem utilizada para a captação de água voltada ao abastecimento de Angra dos Reis. A área ocupada por terrenos tecnogênicos (9,49 km²) e suas respectivas porcentagens de ocupação estão presentes no quadro 14, sendo possível observar que os aterros com área construída correspondem a maior parte das feições tecnogênicas (24,78 %).

Em seguida serão detalhadas todas as feições de relevo tecnogênicas reconhecidas e mapeadas.

Quadro 14: Distribuição das feições tecnogênicas e suas respectivas porcentagens de ocupação na bacia do rio Japuíba.

CLASSE 1º Nível	CATEGORIA 2º Nível	FEIÇÃO NO TERRENO	Área (km²)	%
Elevações e superposições tecnogênicas	Tecnoforma de acumulação	Aterro com área construída	2,35	24,7
		Aterro em planícies	1,02	10,8
		Terreno Construído	0,07	0,8
		Restos de construções	0,02	0,2
		Construção da BR- 101	0,08	8,4
	Geotecnoforma de acumulação	Assoreamento do estuário	1,08	11,3
		Depósitos de deslizamentos	0,25	2,6
Cicatrices e depressões tecnogênicas	Tecnoforma de escavação	Extração de saibro	0,17	1,8
		Extração de areia	0,25	2,6
		Cicatriz de Terraplanagem	0,22	2,3
		Retilinação do rio	0,19	2,0
		Piscicultura	0,13	1,4
	Geotecnoforma de escavação	Deslizamento induzido	0,97	10,2
Equiformas Tecnogênicas	Modificação em superfície	Agricultura	0,52	5,5
		Pecuária	1,24	13
	Modificação em profundidade	Túneis	0,17	1,7
		Barragem	0,06	0,6
Total			9,49	100

Figura 73: Mapa dos tipos de feições de relevo tecnogênicas - 2º nível de classificação (Tipos de formas).



5.4.1 Elevações e superposições tecnogênicas

As **Elevações** ou **Superposições Tecnogênicas** são resultantes da ação humana direta, sendo caracterizados como aterros, corpos de rejeito, entre outros (PELOGGIA, 2019), resultam do acréscimo de materiais no terreno, que pode se dar em função da ação humana direta – constituindo, assim, em um 2º nível as **Tecnoformas de Acumulação** – ou da ação humana indireta – constituindo as **Geotecnóformas de Acumulação**. Dos pontos identificados em campo, seis foram considerados como elevações tecnogênicas (Figura 73). As **Tecnoformas de acumulação** identificadas foram: aterros; aterros construídos; terrenos construídos; restos de construções e aterro – construção da BR 101. Todos os tipos se encontram na planície fluviomarinha do rio Japuíba. Foram identificadas duas **Geotecnóformas de acumulação**: o estuário assoreado e os depósitos relacionados a antigos deslizamentos. Estes últimos encontrados na base das escarpas e relacionados aos desmatamentos pretéritos que ocorreram na área durante os ciclos econômicos em que Angra dos Reis esteve envolvida.

Em seguida serão descritos todos os tipos de feições de relevo tecnogênicas reconhecidos na categoria das **Elevações e superposições tecnogênicas** reconhecidos para a bacia do rio Japuíba.

Tecnoformas de acumulação - aterros em áreas construídas

Dos pontos identificados em campo, 24,7% foram considerados como **tecnóformas de acumulação** referentes a áreas de aterro em áreas construídas. O ponto apresentado na figura 74 está localizado na planície da bacia do rio Japuíba, especificamente em uma área identificada no mapa de padrões de relevo do CPRM (2019), como uma planície fluviomarinha (subfeição de brejos). O conjunto habitacional, mostrado na fotografia, foi construído em 2003 para atender as famílias que se encontravam em áreas de risco no município de Angra dos Reis. Trata-se de uma área com aterro de depósitos de material escavado em encostas próximas - Quadro 15.

Figura 74: Fotografia de um exemplo de tecnoforma de acumulação constituída por aterro para construção do conjunto habitacional na área da planície fluvio-marinha do rio Japuíba.



Foto: T.M. Silva, jul./2023.

Quadro 15: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - aterro com área construída.

Morfologia e morfometria	Elevação tecnogênica plana, com construção de conjunto habitacional.
Materiais	Aterro com saibro retirado de encostas e material argiloso do rio. Construção oficial da prefeitura municipal.
Morfogênese	Acumulação tecnogênica com material de escavação de encostas próximas, com a finalidade de elevação e planificação do terreno. Lançamento de aterro, seguido da construção do conjunto habitacional e de casas próximas.
Morfodinâmica	Processos de erosão pluvial (sulcos) devido à saturação do material tecnogênico, agravados pela impermeabilização e concentração do escoamento superficial da água da chuva em áreas urbanizadas. Possibilidade de recalques diferenciais devido à consolidação do aterro e às cargas das construções.
Morfocronologia	Construção entre os anos de 2002 e 2005.

Tecnoformas de acumulação - restos de construções

A figura 75 apresenta alguns elementos paisagísticos que comprovam a atuação tecnogênica e a interferência desta na dinâmica morfológica, indicando a presença de artefatos humanos por meio de entulho de construções, como madeiras, pedaços de concreto e lixo incinerado. Dos pontos identificados, foram encontrados 0,02% de terrenos tecnogênicos categorizados como **tecnoforma de acumulação** - entulho de construções. Esta tecnoforma de acumulação é caracterizada pela acumulação de material proveniente de escavações próximas, mas principalmente de acréscimo de entulho de construções e lixo depositado pelos moradores, conforme mostra o quadro 16.

Figura 75: Imagem que mostra a tecnoforma de acumulação derivada do descarte de entulho de construções, localizada planície de inundação do rio Japuíba.



Foto: F.P. Freitas, Jan./2022.

Quadro 16: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação – descarte de material de construções.

Morfologia e morfometria	Elevação tecnogênica plana.
Materiais	Saibro, restos de construções, lixo, madeira queimada e restos de vegetação.
Morfogênese	Feição de acréscimo de material. Acumulação tecnogênica com material proveniente de escavações próximas, acrescido de detritos de construções e lixo depositado pelos moradores.
Morfodinâmica	Processos ativos de erosão pluvial (formação de sulcos) devido à falta de cobertura vegetal e à natureza heterogênea e pouco coesa do material (lixo, entulho). Potencial ocorrência de pequenos movimentos de material decorrentes da instabilidade dos depósitos de lixo e entulho, especialmente sob saturação hídrica. Ação do vento na remoção de partículas leves e resíduos, além de recalques diferenciais devido à decomposição e compactação do material orgânico (lixo) e restos de vegetação.
Morfocronologia	Deposição em terreno original em várias etapas, a primeira com material proveniente de escavações próximas; a segunda, restos de construções locais e a última, depósito de lixo urbano. Produzido após 2015, segundo imagens do MapBiomias.

Tecnoforma de acumulação – aterro em planície fluvio-marinha

Possivelmente, os aterros na planície fluvio-marinha do rio Japuíba tenham se iniciado ainda em 1650, com a construção das edificações da Fazenda Japuíba. Como já mencionado anteriormente, até a década de 1960 a bacia do rio Japuíba era ocupada apenas por poucas

famílias e somente na década de 1970, com os grandes empreendimentos em Angra dos Reis, que o bairro expandiu, ampliando, dessa forma as áreas de aterros (BRAGA, 2005).

As áreas identificadas nesse tipo de feição de relevo tecnogênico perfazem um total de 10,8%. O local apresentado pela figura 76 está localizado na planície da bacia do rio Japuíba, próximo à foz do rio Japuíba, identificado no mapa de tipos de relevo do CPRM (Figura 11) como planície fluviomarinha com a presença de mangues, antes do aterro classificado como tecnoforma de acumulação. Essa acumulação tecnogênica com material proveniente de escavações próximas foi utilizada para construção da pista do aeroporto sobre parte do aterro (Quadro 17).

Figura 76: Imagem *Google Earth Pro* de 16/01/2024 com exemplo da tecnoforma de acumulação - aterro para construção da pista de pouso e decolagem do aeroporto regional Japuíba.



Quadro 17: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - aterro.

Morfologia e morfometria	Elevação tecnogênica plana.
Materiais	Saibro proveniente de escavações próximas.
Morfogênese	Lançamento de aterro. Acumulação tecnogênica com material proveniente de escavações próximas com posterior aplainamento.
Morfodinâmica	Processos de erosão laminar e em sulcos nas superfícies planas expostas, influenciados pelo escoamento superficial da água da chuva. Recalques residuais devido à consolidação de longo prazo do aterro, especialmente se existirem cargas ou variações de umidade
Morfocronologia	Esse aterro foi realizado para a construção do aeroporto de Angra dos Reis em 1979, segundo consta no site da http://angraaerportos.com.br (Acessado em: 16/01/2024).

Tecnoforma de acumulação - terreno construído

As **tecnoformas de acumulação** em terrenos construídos, ou seja, sem presença direta de grandes aterros, ocorrem nas encostas de morros baixos da bacia em estudo. Na maioria são ocupações mais recentes e que não estão relacionadas à área da antiga fazenda Japuíba, que iniciou o processo de ocupação no bairro. Essa tecnoforma ocupa aproximadamente 0,8% da área dos terrenos tecnogênicos identificados no mapa de categorias dos relevos tecnogênicos - 1º nível de classificação - Figura 72. Na figura 77 é possível identificar tecnoformas de acumulação em terrenos construídos sem presença de aterros (Quadro 18).

Figura 77: Imagem fotográfica da área de ocupação irregular nas encostas de morros baixos, próximo a estrada da Banqueta. Exemplo do tipo de feição de relevo tecnogênico tecnoforma de acumulação - terrenos construídos.



Fonte: <https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2023/03/20/obra-interdita-trecho-da-estrada-da-banqueta-em-angra-dos-reis.ghtml>. Acessado em: 15/12/2023.

Quadro 18: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação – terrenos construídos.

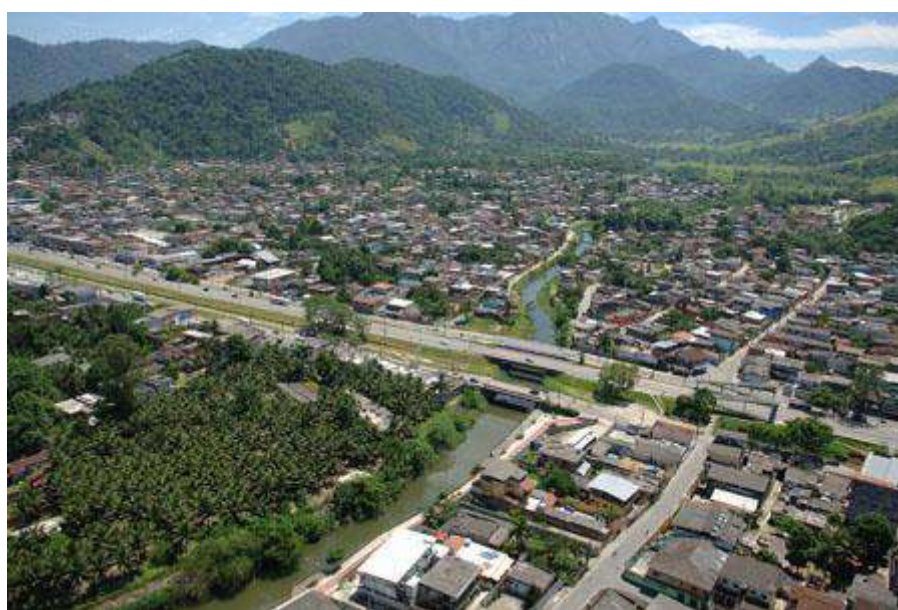
Morfologia e morfometria	Encosta e sopé de encosta de pequena declividade.
Materiais	Construções sobre encostas.
Morfogênese	(Re)acumulação tecnogênica a partir de pequenas escavações de encostas para construção irregular e acréscimo de material para a construção.
Morfodinâmica	Processos de erosão pluvial acelerada (formação de sulcos) nas áreas desprotegidas resultantes das obras. Risco de movimentos de massa de pequena a média escala (rastejos, deslizamentos superficiais, e escorregamentos) decorrentes da alteração do perfil do terreno, desestabilização da encosta por cortes e aterros e pela saturação hídrica dos solos residuais e dos depósitos tecnogênicos. Recalques e subsidências

	localizadas devido à compactação desigual do material e ao peso das construções. Assoreamento do sopé e das drenagens locais por sedimentos provenientes da encosta.
Morfocronologia	Construções em encosta iniciada após 1995.

Tecnoforma de acumulação - construção da BR-101

A construção da BR-101, ou rodovia Rio-Santos, ocorreu durante a década de 60, seguindo os grandes empreendimentos nacionais que foram implantados em Angra dos Reis, como a Usina Nuclear, o Estaleiro Verolme e a Transpetro. A BR-101 corta uma área de planície fluviomarinha e de ocorrência de manguezais (Figura 78), sendo aterrados e com sobreposição de uma série de outras materiais para sua construção (Quadro 19), perfazendo um total de 8,4%.

Figura 78: Vista panorâmica da BR-101 cortando parte do bairro e do rio Japuíba. Esta rodovia forma uma barragem para o escoamento dos fluxos d'água, quando da ocorrência de altos índices pluviométricos, contribuindo com as cheias e inundações em direção à montante.



Fonte: Luís Fernando Lara. Disponível em:

https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=29878&IndexSigla=imp.

Acesso em: 12/01/2024.

Quadro 19: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de acumulação - rodovia BR-101.

Morfologia e morfometria	Feição modificada em superfície a partir da deposição de material para a construção da BR-101.
Materiais	Sobreposição de aterros, concreto, asfalto e brita.
Morfogênese	Construção de rodovia pavimentada com modificação em superfície, através de camadas de materiais diversos, formando um dique artificial transversal à bacia.

Morfodinâmica	Processos de estabilização e rearranjo dos materiais acumulados que compõem o corpo da rodovia, bem como a interação com a dinâmica hídrica superficial e o entorno, podendo gerar processos como assentamentos diferenciais, subsidência ou erosão da plataforma.
Morfocronologia	Década de 1960. Deve passar pelo processo de duplicação nos próximos 5 anos.

Geotecnoforma de acumulação - depósito derivado de deslizamentos

As **Geotecnoformas de acumulação** - depósitos derivados de deslizamentos são formados por fluxos de detritos e de lamas, sendo frequentemente encontrados na base dos taludes com depósitos em forma de leques, chamados de cones de detritos. São setores extremamente instáveis, devido à composição deposicional (Quadro 20).

Devido à grande quantidade de deslizamentos que ocorreram ao longo do tempo na bacia hidrográfica do rio Japuíba, é possível encontrar vários depósitos de deslizamentos induzidos, conforme o mapa da figura 73 (relevo tecnogênico de 2º nível). A figura 79 mostra um depósito de deslizamento que ocorreu em dezembro de 2002, quando a intensidade do fluxo de materiais foi tão intensa que modificou a linha de trem, da antiga ferrovia local. Os depósitos de deslizamentos, correspondem a 2,6% das feições de relevo tecnogênicas encontradas na bacia.

Figura 79: Imagem do *Google Earth Pro* de 19/02/2024 com exemplo do tipo geotecnoforma de acumulação com depósito do deslizamento.



Quadro 20: Caracterização morfológica do tipo geotecnóforma de acumulação - depósito de deslizamento.

Morfologia e morfometria	Cicatriz de movimentos de massa do tipo deslizamento em base das encostas.
Materiais	Rocha intemperizadas e/ou solo.
Morfogênese	A feição é o resultado direto da acumulação de material desprendido por movimentos de massa em áreas previamente alteradas pela ação humana, como o desmatamento. A remoção da cobertura vegetal, instabiliza as encostas, levando à ocorrência do deslizamento e consequente deposição de detritos na base, formando um depósito de acumulação
Morfodinâmica	Processos geomorfológicos residuais e contínuos de remobilização e alteração do depósito de deslizamento, como a erosão pluvial e laminar sobre a superfície do depósito, o adensamento e consolidação do material acumulado ao longo do tempo, e possíveis rastejos ou pequenos escorregamentos secundários em suas bordas, especialmente em períodos de alta pluviosidade.
Morfocronologia	Depósitos originários pós-deslizamentos de janeiro de 2002.

Geotecnóforma de acumulação – foz assoreada

As **Geotecnóformas de acumulação** – foz assoreadas é uma forma associada a terreno de agradação formado por depósito tecnogênico-sedimentar de caráter induzido, conforme consta no quadro 21. Em relação aos aspectos físicos desse tipo de feição de relevo tecnogênico, foi reconhecido que o estuário representa um modelado natural com acumulação sedimentar fluviomarinha, mas que na foz do rio Japuíba apresenta sinais de modificações significativas ao longo do tempo, como reflexo dos processos de retificação do canal fluvial principal e, consequente, assoreamento (Figura 80).

O assoreamento geralmente ocorre devido ao acúmulo de terra, lixo e matéria orgânica no fundo do leito fluvial, estando diretamente relacionado ao desmatamento e à ocupação das matas ciliares do rio Japuíba. O assoreamento da foz tem aproximadamente 1,08 km² atualmente⁶, ou seja, aproximadamente 11,3 % dos terrenos tecnogênicos identificados na bacia.

⁶ O valor calculado deu-se a partir da mensuração da pluma de sedimentação no mês de janeiro de 2024.

Figura 80: Imagem *Google Earth Pro* de 03/01/2024 com exemplificação do tipo geotecnóforma de acumulação - estuário assoreado.



Quadro 21: Caracterização morfológica do tipo Geotecnóforma de acumulação - estuário assoreado.

Morfologia e morfometria	Foz fluvial em forma de estuário com acúmulo acelerado de sedimentos.
Materiais	Areia com níveis argilosos.
Morfogênese	Depósito induzido. Sistema estuarino em progradação. Assoreamento por acúmulo de sedimentos devido à redução da velocidade de transporte da carga sedimentar.
Morfodinâmica	Processos contínuos de acumulação e redistribuição de sedimentos, resultando na progradação do sistema estuarino e na redução de sua profundidade. Esta dinâmica é impulsionada pela sobrecarga de sedimentos proveniente da bacia do rio Japuíba, que aumentam o aporte de material.
Morfocronologia	Avanço do assoreamento após 1995 com o aumento da ocupação urbana.

5.4.2 Cicatrizes e depressões tecnogênicas

As **Cicatrizes ou Depressões Tecnogênicas** resultam, inversamente, da retirada de materiais do terreno, que também pode se dar em função da ação humana direta – constituindo, assim, as **Tecnóformas de Escavação** – ou indireta – constituindo, neste caso, as **Geotecnóformas de Denudação**.

Tecnóforma de escavação (subtração) - extração de areia

As **tecnóformas de escavações** - extrações de areia ocorrem nas margens do rio Japuíba, ampliando a destruição das matas ciliares e contribuindo para aumento do assoreamento da foz fluvial; uma vez que as escavações e a circulação de caminhões contribuem para a

movimentação da carga de fundo do leito (Figura 81; Quadro 22). A exploração de areia ocorre na planície de inundação/várzea e corresponde a 2,6% das feições tecnogênicas identificadas.

Figura 81: Imagem fotográfica panorâmica do trecho de baixo curso do rio Japuíba, ilustrando acentuada carga sedimentar, com redução significativa do leito fluvial, formando barras laterais. Observa-se a atividade de extração pela presença de caminhão que é o coletor desse recurso mineral.



Foto: S.L.S. Silva, dez./2009.

Quadro 22: Caracterização morfológica do tipo geotecnofoma de escavação extração/subtração de areia.

Morfologia e morfometria	Leito escavado para extração de areia.
Materiais	Sedimentos aluviais.
Morfogênese	Escavação direta para retirada de areia.
Morfodinâmica	Interferência no reajuste da calha gerando uma instabilidade erosiva nas margens.
Morfocronologia	Aproximadamente após 1985.

Tecnofoma de escavação (subtração) – extração de saibro

Dentre as cicatrizes representativas do uso indiscriminado de áreas de exploração mineral, a extração de saibro é a mais utilizada para aterros e construção civil. O saibro é um produto de alteração de rochas quartzito-feldspáticas, como granitos e gnaisses. Na bacia do rio Japuíba foram identificados dois grandes pontos de exploração de saibro, ocupando uma área de 1,8% entre as feições tecnogênicas, formando uma **tecnofoma de escavação** - subtração de saibro, como pode ser observado na figura 82.

Figura 82: Imagem *Google Earth Pro* de 23/12/2023. Feição de tecnoforma de escavação - área de extração de saibro em feição de colina nos arredores da Estrada Campo Belo, bairro de Areal (pertencente à grande Japuíba).



Quadro 23: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de escavação - extração de saibro.

Morfologia e morfometria	Encosta escavada para extração de saibro.
Materiais	Areia grossa resultante da decomposição química de granitos e gnaisses.
Morfogênese	Escavação direta para retirada de saibro utilizado em aterros.
Morfodinâmica	Interferência no ajuste erosivo, com o risco de ampliar os deslizamentos na área.
Morfocronologia	Aproximadamente 2007.

Tecnoforma de escavação – cicatriz de terraplanagem

A **terraplenagem** compreende o conjunto de operações de corte e movimentação de terra, visando ao nivelamento de um terreno. O material escavado é frequentemente reaproveitado na própria área, seja para a formação de aterros ou como componente em processos construtivos, conforme especificado no Quadro 24. Durante o seu processo de ocupação, o bairro Japuíba recebeu várias obras de terraplanagem, porém a **Tecnoforma de Escavação produzida por Terraplanagem** presente na figura 83 é a mais proeminente, ocupando uma área de 0,22 km², ou seja, 2,3 % das feições tecnogênicas, visível pela imagem do *Google Earth* (23/12/2023).

Figura 83: Imagem Google Earth Pro de 23/12/ 2023 exemplificando o tipo tecnoforma de escavação por terraplanagem.



Quadro 24: Caracterização morfológica do tipo tecnoforma de escavação por terraplanagem.

Morfologia e morfometria	Forma de encosta e de topo.
Materiais	Retirada de rochas intemperizadas e solos.
Morfogênese	Escavação para terraplanagem com planificação do terreno de 0,22km ² , por meio da remoção artificial e sistemática de grandes volumes de materiais (solo e rocha), modificando drasticamente a morfologia original da encosta e do topo.
Morfodinâmica	Processos de erosão (pluvial, eólica, em sulcos) e movimentos de massa (deslizamentos laminares, rastejos) que atuam sobre superfícies expostas e taludes artificiais criados pela escavação. Estes processos resultam na constante remoção de materiais residuais e na degradação gradual das novas formas, buscando um novo perfil de equilíbrio sob a ação dos agentes naturais, mas sendo influenciados pela geometria e estabilidade impostas pela intervenção humana.
Morfocronologia	Início em 2002, após os deslizamentos.

Tecnoformas de escavação - retificação fluvial

Segundo Guerra; Cunha (2001), a retificação de canais fluviais é um processo no qual os rios são artificialmente modificados na sua forma através do aprofundamento e/ou alargamento da calha fluvial e ainda da retificação de curvas de meandros e, assim, alterando,

sobremaneira, a forma tanto em planta quanto no perfil longitudinal dos canais, interferindo diretamente e indiretamente em todo o sistema fluvial.

Esse tipo de intervenção é realizado em bacias hidrográficas com o intuito de facilitar ou propiciar a navegação fluvial, controlar enchentes, melhorar a drenagem de zonas pantanosas, contribuindo para a eliminação de focos de possíveis doenças. Porém, muitos são os impactos negativos sobre os sistemas fluviais. Esses impactos relacionam-se à modificação no comportamento natural do rio, como a perda de sinuosidade do canal, modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas, no padrão de escoamento, na velocidade dos fluxos, elevação dos picos de descargas nos tributários, bem como aumento da carga de sedimentos, diminuição da rugosidade do leito, aumento da erosão nos afluentes, ocasionado pelo abaixamento do nível de base, além da perda ou destruição de habitats naturais, da mata ciliar e de mangues, entre outros impactos (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012).

A **tecnofoma de escavação** produzida com a retificação do leito no rio Japuíba em seu trecho mais urbano é o exemplo mais significativo na bacia em estudo (Figura 84). Esse trecho corresponde a área de fronteira entre a feição de planície fluviomarinha, o mangue e/ou brejo, sendo atualmente o leito antropogênico retilinizado de aproximadamente 700 metros de comprimento.

Esta retilinação foi realizada através da subtração de material das margens do rio e a posterior construção das vias marginais e do calçamento que margeiam o rio. O quadro 25 mostra as características e os processos morfogénéticos dessa tecnofoma, onde, atualmente, parte da planície fluviomarinha se encontra aterrada e ocupada e a retilinação do rio gerou um estrangulamento do leito, sendo local de grandes inundações durante períodos de fortes chuvas.

Figura 84: Fotografia para ilustrar o exemplo de **Tecnoforma de escavação** - retificação do baixo curso do rio Japuíba.



Foto: T.M. Silva, jul./2007.

Quadro 25: Caracterização morfológica exemplificando o tipo **tecnofoma de escavação** - retificação do rio Japuíba.

Morfologia e morfometria	Leito antropogênico retificado com 700 m.
Materiais	Subtração de material das margens e retificação com o uso de concreto.
Morfogênese	Escavação direta para modificação do leito do rio.
Morfodinâmica	Caracterizada pela resposta do sistema fluvial à imposição de uma geometria artificialmente simplificada, o que intensifica processos erosivos, e gerar problemas de assoreamento e acúmulo de detritos em outras áreas, tudo isso sob a constante influência da intervenção humana para manutenção da forma.
Morfocronologia	Início da década de 80.

Tecnoforma de escavação - piscicultura

A piscicultura ocorre em uma área plana e modificada, através da retirada de material de superfície para a construção de lagos artificiais para criação de peixes, caracterizando mais um exemplo de **tecnofoma de escavação**.

Os tanques de criação de tilápia (Figura 85) estão localizados no sub-bairro da Banqueta, medem 20 x 30 m, com 1,20 m de profundidade e cerca de 600 m³ e têm capacidade para produzir 3,2 toneladas do pescado por ano. Estão localizados fora da morfologia de planície fluvial, predominantemente, em área de morros suaves, ocupando aproximadamente 1,4% dos terrenos tecnogênicos identificados (Quadro 26).

Figura 85: Fotografia ilustrativa do tipo tecnoforma de escavação em área de construção de lagos artificiais para a criação de peixes.



Fonte: https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=30136&IndexSigla=imp.
Acesso em: 26/12/2023.

Quadro 26: Caracterização morfológica da tecnoforma de escavação para desenvolvimento da piscicultura.

Morfologia e morfometria	Área planificada e modificada para o desenvolvimento de piscicultura.
Materiais	Material intemperizados e solo.
Morfogênese	Escavação em superfície e movimentação do solo para instalação de piscicultura.
Morfodinâmica	Área de solo em topo de colinas e morros suaves, que podem sofrer processos erosivos.
Morfocronologia	Final da década de 1990.

Geotecnoforma de escavação - cicatrizes de deslizamentos

Foram reconhecidos quatro grandes **geotecnoformas de escavação** - cicatrizes de deslizamentos, vinculadas a cortes de estrada e de taludes para construção e/ou estabilização de encostas ou remoção de materiais (agregados) e, ainda, para ampliar áreas utilizadas como pastagem. As **cicatrizes tecnogênicas induzidas** identificadas na figura 86 corresponde a um escorregamento gerado pela ação de fluxos d'água superficiais e subsuperficiais em contato do manto intemperizados com o embasamento rochoso (Quadro 27). Esse deslizamento translacional ocorreu em dezembro de 2002 quando fortes chuvas atingiram a região.

Figura 86: Visão panorâmica, a partir da BR-101, do Bairro Japuíba de uma cicatriz de deslizamento - Geotecnoforma de escavação induzida em encosta íngreme desmatada.



Foto: F.P. Freitas, fev./2024.

Quadro 27: Caracterização morfológica do tipo geotecnoforma de escavação - deslizamentos induzidos.

Morfologia e morfometria	Feição de encosta íngreme.
Materiais	Manto de intemperismo e/ou solo.
Morfogênese	Deslizamento translacional induzido pelo desmatamento de aproximadamente 3,500m ² .
Morfodinâmica	Erosão de encosta na cicatriz.
Morfocronologia	Janeiro de 2002.

5.4.3 Equiformas Tecnogênicas

As **equiformas tecnogênicas** abarcam situações em que há modificação direta ou indireta na composição ou estrutura física do terreno, ainda que a configuração e a topografia originais do relevo sejam conservadas, seja por alterações mecânicas ou químicas das coberturas pedológicas e níveis superficiais do terreno – constituindo o tipo de as **equiformas tecnogênicas de modificação em superfície** – ou dos materiais em profundidade, como é o caso dos maciços tecnoturbados, constituindo as **equiformas tecnogênicas de modificação em profundidade**.

Equiforma tecnogênica de modificação - áreas agrícolas

Na planície de inundação do Japuíba é possível encontrar pequenos pontos com produção agrícola familiar, como pode ser observado na figura 86. Essas áreas constituem as **equiformas tecnogênicas de modificação em superfície por agricultura**, que ocupam aproximadamente 5,5% das feições identificadas de relevos tecnogênicos na bacia do rio Japuíba. São áreas planas modificadas para a expansão do cultivo de gêneros alimentícios, gerando uma movimentação em superfície para a introdução da agricultura, utilizando

fertilizantes, adubos e outros materiais terrosos. A introdução da agricultura de subsistência na região teve início ainda no período colonial, quando essa área era a fazenda Japuiba, porém as atuais equiformas visíveis na paisagem começaram na década de 1970 (Quadro 28).

Figura 87: Imagem fotográfica exemplificando o tipo equiforma tecnogênica de modificação – áreas agrícolas.



Fonte: S.L. Silva, dez./2009.

Quadro 28: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica modificada em superfície com área utilizada para agricultura.

Morfologia e morfometria	Área plana modificada para cultivo agrícola.
Materiais	Solos.
Morfogênese	Criação de uma superfície agrícola plana ou suavemente inclinada, através de operações de terraplenagem e/ou aração profunda, com incorporação de matéria orgânica e insumos (adubos, fertilizantes)
Morfodinâmica	Processos de alteração contínuos da superfície do solo como a erosão hídrica acentuada, devido a remoção da vegetação nativa e manejo inadequado do solo, além de alterações na estrutura do solo (compactação) devido ao uso de máquinas agrícolas e da movimentação e redistribuição de sedimentos pelo cultivo, nivelamento para irrigação e abertura de canais de drenagem.
Morfocronologia	O processo de plantio na bacia teve início na década de 70, junto com a ocupação.

Equiforma tecnogênica de modificação em superfície - pecuária

Assim como a agricultura, a pecuária surge no período colonial, mais precisamente no século VII, com a fazenda Japuíba. O gado era criado para a subsistência da própria fazenda e de seus colonos (BRAGA, 2005). Porém, as **equiformas tecnogênicas de modificação em superfície** relacionadas à pecuária são visíveis na paisagem desde a década de 1960, quando o bairro passou por uma nova fase de ocupação. Trata-se de uma área plana modificada através da retirada da vegetação para a criação e manejo de gado (Figura 88), conforme descrito no quadro 29.

Figura 88: Imagem aérea exemplificando o tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície na área de planície de inundação do rio Japuíba e utilizada para pecuária.

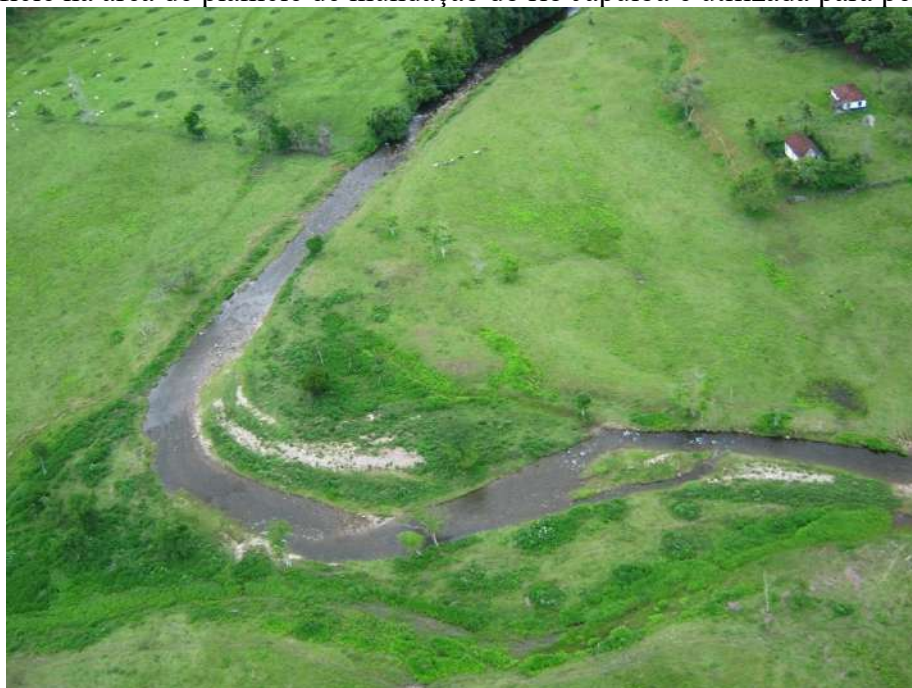


Foto: S.L.S. Silva, dez./2009.

Quadro 29: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície na área utilizada com pecuária.

Morfologia e morfometria	Área plana cercada e modificada para a criação de gado.
Materiais	Solos.
Morfogênese	Substituição da vegetação nativa por pastagens cultivadas ou manejadas; Nivelamento ou terraplenagem leve para otimização da área; compactação do solo por pisoteio do gado.
Morfodinâmica	Atuação contínua de processos de alteração da superfície, como a erosão, acentuada pela remoção da cobertura vegetal original e compactação do solo pelo pisoteio do gado, seguida pela movimentação e transporte de sedimentos pela enxurrada em áreas sem ou com pouca cobertura vegetal.
Morfocronologia	Década de 1960.

Equiforma tecnogênica de modificação em superfície - barragem

A barragem da Banqueta (Figura 89) foi construída pela Companhia Estadual de Água e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE) a mais de 29 anos, segundo informações disponíveis no *site* da prefeitura de Angra dos Reis⁷ e reformada com aprofundamento da lâmina d'água em 2015, pela prefeitura. O reservatório possui atualmente a capacidade de acúmulo de até seis milhões de litros d'água, sendo responsável por abastecer aproximadamente 30 bairros do município de Angra dos Reis, incluindo o Centro.

A barragem exemplifica o tipo **equiforma de modificações em superfície** com alteração do nível do rio e no regime de escoamento de água. Segundo o mapa de padrões de relevo do CPRM (Figura 11) está localizada em leito rochoso na área em que há ocorrência de rampas de alúvio-colúvios existentes no médio curso do rio Banqueta- Japuíba.

Figura 89: Fotografia ilustrativa da Equiforma tecnogênica de modificação em superfície - barragem do rio Banqueta-Japuíba.



Foto: T.M. Silva, jul./2009.

Quadro 30: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em superfície - barragem do rio Banqueta-Japuíba.

Morfologia e morfometria	Barragem ao longo do leito rochoso do rio Banqueta-Japuíba para captação de água.
Materiais	Construção com concreto, bombas d'água e ferragens nas rochas que afloram neste trecho do leito fluvial.
Morfogênese	Construção de barragem, por meio da estruturação de materiais (concreto, ferragens), utilizando as rochas gnaisse-graníticas aflorantes como base natural, com o objetivo de elevar o nível de base local e formar um reservatório para captação de água
Morfodinâmica	A barragem altera fundamentalmente o regime hidrossedimentológico do rio. Acima do barramento, há redução drástica da velocidade da água, promovendo sedimentação e assoreamento do reservatório. Abaixo do barramento, o fluxo de água é regulado, alterando o padrão de vazão e o transporte de sedimentos a jusante,

⁷ https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=49303&IndexSigla=imp

	podendo levar à erosão do leito e margens desprotegidos. A integridade da estrutura é mantida pela resistência dos materiais de construção e pela ação humana de manutenção, mas está sujeita a processos de intemperismo, desgaste e possíveis danos por grandes eventos hidrológicos
Morfocronologia	Década de 1990.

Equiforma tecnogênica de modificação em profundidade - túnel

A ferrovia que corta a bacia do rio Japuíba, foi aberta pela Estrada de Ferro Oeste de Minas (EFOM) em 1928, ligando Angra dos Reis a Barra Mansa. A partir de 1931 faria parte da linha-tronco da empresa Rede Mineira de Viação (RMV), que ligava Angra dos Reis a Goiandira, em Goiás. Em 1986, alguns vagões foram transformados e voltaram a atender a demanda turística, surgindo o Trem da Mata Atlântica pela Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA), já que a linha de passageiros regular havia sido suspensa nos anos 1970 nesse trecho. Em 1996, com a privatização da RFFSA, a estrada de ferro passou a ter exclusivamente a circulação de trens de carga. Em dezembro de 2002, as fortes chuvas destruíram boa parte da cidade de Angra dos Reis e danificaram a linha férrea, que ficou então interrompida. Segundo informações do site oficial da prefeitura de Angra dos Reis⁸, os cargueiros tiveram seu tráfego parado até o ano de 2005, quando a linha reparada voltou a funcionar, mas foi interrompida novamente com as chuvas no verão de 2010, permanecendo inativa até hoje. No trecho da ferrovia que está dentro da bacia existem 6 túneis com as extensões de respectivamente 182m, 136m, 120m, 74m, 51m e 63 metros, formando as **Equiformas tecnogênicas de modificação em profundidade**.

A figura 90, corresponde a uma fotografia do segundo túnel da linha férrea, no sentido Angra dos Reis-Lídice. Os túneis são feições de modificação em profundidade através da retirada de material rochoso por meio da escavação para a realização de uma travessia subterrânea (Quadro 31). Esses túneis cortam trechos das escarpas serranas e ocupam uma área de aproximadamente 1,7% das feições tecnogênicas reconhecidas.

⁸ https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=32261&IndexSigla=imp

Figura 90: Fotografia do tipo de equiforma tecnogênica de modificação em profundidade - túnel da linha férrea do trem da Mata Atlântica. Esse túnel possui 136 metros de comprimento fazendo uma curva para a esquerda, e sua inauguração data do ano de 1927. Possui acabamento externo, porém o interior é escavado na rocha e não possui qualquer revestimento.



Fonte: Antônio Marcelino de Carvalho. Disponível em:

<https://viagemnostrilhos.blogspot.com/2016/03/tunnel-na-linha-entre-lidice-e-angra-dos.html>.

Acesso em: 15/01/2024.

Quadro 31: Caracterização morfológica do tipo equiforma tecnogênica de modificação em profundidade.

Morfologia e morfometria	Feição de modificação em profundidade através de escavação em rochas cristalinas. Esse túnel possui 136 metros.
Materiais	Material rochoso.
Morfogênese	Retirada de material rochoso através de escavação para realização de uma travessia subterrânea em maciço rochoso.
Morfodinâmica	Atualmente o túnel não é mais utilizado, porque a linha férrea está desativada.
Morfocronologia	O tráfego de trens na linha férrea teve início em 1925.

Reflexões sobre a diversidade de feições de relevo tecnogênicos encontradas na BHRJ

A variabilidade de gênese, material constituinte, morfodinâmica e idade das interferências da agência humana gerando depósitos e feições de relevo tecnogênicos demonstra a diversidade dos mecanismos utilizados na expansão da estrutura urbana e interferência direta e indireta nos processos naturais. Existe o predomínio na ocorrência das feições de relevo tecnogênicas em unidades geomorfológicas de planícies (inundação de várzea, inundação, fluviomarinhas-mangue e fluviomarinhas-brejos), segundo o mapa de padrões de relevo do CPRM (2019).

Historicamente, os processos de expansão urbana da bacia ocorreram através de loteamentos regulares e irregulares e continuam a ocupar as unidades geomorfológicas que abrangem as planícies fluviais e encostas íngremes comuns no município. Os depósitos tecnogênicos constituídos de material úrbico identificados estão geralmente associados às feições tecnogênicas relacionadas a aterramentos. O comportamento pós-aterramento de materiais heterogêneos que constituem os aterros ainda não é suficientemente compreendido. Isso pode colocar em risco muitas das estruturas urbanas (residências, arruamentos, canalizações e sistemas de rede elétrica) que se alocam sobre estes depósitos formados por materiais com estágios de alteração e acomodação diferenciados. Deve-se considerar ainda que estes depósitos de materiais úrbicos são acomodados predominantemente sobre diferentes unidades morfológicas que compõem a planície fluviomarinha e costeira da área urbana.

Os depósitos tecnogênicos constituídos de material espólico também se apresentam como tendência na expansão de lotes urbanos ou na constituição de aterramentos vinculados às obras de engenharia, como construção/ampliação de rodovias.

O levantamento realizado identificou depósitos tecnogênicos em pontos dispersos da bacia. Existem, entretanto, pontos críticos associados à degradação local que exigem providências imediatas por parte do poder público para que os locais de ocorrência dos materiais tecnogênicos não gerem impactos ambientais de maior magnitude. Este é o caso dos aterros sem supervisão e/ou controle, da expansão desenfreada através da construção de novas moradias, do avanço do desmatamento que induz novos pontos de erosão e deslizamentos, da falta de uma rede de tratamento de esgoto que gera à contaminação da água e de solos, do assoreamento da foz do rio resultante do mecanismo erosivo-sedimentar pelo qual a bacia vem passando ao longo dos anos. Ademais, os diferentes tempos de decomposição dos materiais úrbicos irão se tornar um problema à medida que alguns materiais tendem a se decompor mais rapidamente do que outros, comprometendo a estrutura física das construções.

Ressalta-se que os resultados apresentados nesse capítulo foram sintetizados em um resumo intitulado “Mapeamento de tipos de feições de relevo tecnogênicas da bacia do rio Japuíba, Angra dos Reis, RJ” que foi submetido ao XIII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, a ser realizado em Natal (RN) em agosto de 2025.

6. INTEGRAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÕES FINAIS

O entendimento da evolução geomorfológica quaternária através da análise de processos denudacionais e deposicionais conta com uma série de métodos e técnicas cuja finalidade é subsidiar à reconstrução mais fidedigna de evolução da paisagem.

Na investigação realizada da bacia do rio Japuíba pode-se constatar indicadores que caracterizam a influência tectônica em sua evolução, sendo compartimentada em três sub-bacias e ficando evidente setores apresentam maior influência de tais indicadores (Quadro 32).

Quadro 32: Síntese das informações derivadas dos índices morfométricos.

SUB-BACIAS DO SISTEMA JAPUÍBA	IAT	SMF	IH	FABD	RDE
Sub-bacia Banqueta-Japuíba	Alto	Quatro trechos com Smf baixo; Doze trechos com Smf muito baixos	Intenso processo de dissecação	Basculamento a direita	Anomalia altíssima
Sub-bacia Cabo Severino	Muito alto	Um trecho com Smf baixa. Doze trechos com Smf muito baixos	Equilíbrio	Basculamento a esquerda	Anomalia muito alta e altíssima
Sub-bacia Japuíba do Meio	Alto	-	Equilíbrio	Basculamento a esquerda	Sem anomalias; anomalias moderadas à baixa

A Sub-bacia Banqueta-Japuíba foi classificada pelo alto valor de IAT indicando área de forte influência tectônica e corroborado pela presença de falhas já mapeadas (Figura 12). O índice frente de Escarpa Montanhosa classifica a bacia entre muito baixa e baixa e indica uma frente escarpada retilínea, indicando, por mais uma vez, a presença da influência tectônica. A Integral Hipsométrica a classifica como uma bacia com intenso processo de dissecação, indicando um processo erosivo superior ao impulso tectônico, devido a intensa energia erosiva da bacia, enquanto o basculamento para a direita é identificado por uma assimetria acentuada da bacia e concentração de canais de drenagem na margem direita. Isso influencia a dinâmica do escoamento superficial, concentrando fluxos d'água e de sedimentos nessa margem da bacia. Assim como, a presença de anomalias altíssimas dadas pelos valores de RDE indica existência de trechos de mudanças abruptas da drenagem e de extensões consideráveis são indicativos de atividade tectônica. Desse modo, os indicadores

morfométricos da sub-bacia Banqueta-Japuíba apresentam características que indicam um relevo relativamente dissecado, porém com áreas de significativa influência tectônica marcando trechos de declividades abruptas que aumenta o risco de erosão e deslizamentos de terra.

Dentre as três sub-bacias, a sub-bacia Cabo Severino apresenta os maiores indicadores morfométricos. O cálculo do IAT muito alto representa atividade tectônica muito intensa. A Frente de Escarpa Montanhosa apresenta trechos baixos, indicando escarpas retilíneas compatíveis com a presença de falhas. A sub-bacia também apresenta um sistema de drenagem em equilíbrio, segundo a IH com um longo histórico de desenvolvimento e um processo de erosão relacionado a alta declividade e intensidade da pluviosidade local. O basculamento à esquerda, indica a influência de processos tectônicos e uma relativa concentração de área de drenagem no lado esquerdo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e de acúmulo de sedimentos. A presença de anomalias muito altas e altíssimas de RDE indica existência de trechos com declividades abruptas, com um risco de erosão e deslizamentos de terra e intensa influência de processos tectônicos. A Sub-bacia Cabo Severino apresenta, portanto, características que indicam relevo com influência da atividade tectônica, com sistema de drenagem equilibrado devido ao intenso processo de erosão derivado da elevada intensidade pluviométrica.

A sub-bacia Japuíba do Meio possui IAT alto, com forte influência de processos tectônicos, porém menos intensa do que a bacia Cabo Severino. A bacia é também assimétrica, com maior concentração de área de drenagem no lado esquerdo, assim como a sub-bacia Cabo Severino. O RDE indica presença de anomalias moderadas e existência de trechos com declividades intermediárias e risco relativamente mais baixo de erosão e deslizamentos de terra. Sendo, portanto, área de acúmulo de sedimentos e sem anomalias significativas.

Os índices morfométricos utilizados foram importantes na investigação de atividade tectônica na bacia do rio Japuíba. Destaca-se o índice de Atividade Tectônica (IAT) que pode contribuir substancialmente na distinção de distintos setores da intensidade de controle tectônico-estrutural, complementados pela análise dos mapas de lineamentos e análise das rosetas de frequência de lineamentos do relevo e da drenagem.

Os índices RDE e FA revelaram o papel da influência tectônica no mecanismo evolutivo da bacia, enquanto a IH e o Smf registraram papel moderado da tectônica. No entanto, ao se realizar a integração dos quatro índices morfométricos, através do Índice de Atividade Tectônica relativa (IAT), foi possível corroborar com o papel do controle tectônico diferenciado para as sub-bacia que compõem o sistema fluvial Japuíba. Através do mapa-síntese com a classificação da intensidade tectônica-estrutural (Figura 33) pode-se notar que na sub-bacia do

rio Cabo Severino há maior intensidade do controle tectônico-estrutural em sua conformação, fato que também pode ser observado para a sub-bacia do rio Banqueta-Japuíba. Somente no segmento de baixo curso da bacia do rio Japuíba corresponde ao trecho que se apresenta sem anomalias e, portanto, com terrenos em condições relativamente mais “estáveis”. Constatou-se que o esquema evolutivo da bacia do rio Japuíba possui tanto controle dado por estruturas geológicas regionais (como o da própria orientação da escarpa da serra da Bocaina e onde estão localizadas as nascentes do rio Japuíba), como em setores específicos em que as condições tectônico-estruturais são responsáveis por conformações locais do canal fluvial.

Tais constatações estão de acordo com a história evolutiva geológica já consolidada da região sudeste brasileira, onde estruturas NE-SW pré-existentes foram reativadas gerando a orientação principal das feições serranas, enquanto estruturas E-W e NW-SE foram geradas durante o Pleistoceno-Holoceno (NEGRÃO *et al.*, 2020). Acredita-se ainda que não apenas a bacia do rio Japuíba apresente este comportamento, mas também as demais bacias que dissecam o *front* da Serra da Bocaina devam possuir a relevante ação da tectônica em sua evolução.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, as metodologias utilizadas para apreender os processos atuais da bacia hidrográfica do rio Japuíba foram sintetizadas pelo quadro 33, no qual são apresentadas as informações coligidas de anomalias de drenagem, morfodinâmica do canal (segundo proposto por Silva, 2015) e a dinâmica dos estilos fluviais proposta por Brierley e Fryers (2005). Esses indicadores são importantes pois apontam informações valiosas sobre a dinâmica fluvial e ambiental e, assim, gerando dados que subsidiem a gestão dos recursos hídricos e de possíveis respostas das sub-bacia a eventos extremos.

Quadro 33: Características da organização dos rios e leito fluviais das sub-bacias de drenagem: presença de anomalias, característica morfodinâmica (segundo SILVA, 2015) e de estilo fluvial.

SUB-BACIAS DO SISTEMA JAPUÍBA	ANOMALIAS: COTOVELOS DE DRENAGEM	MORFODINÂMICA	CONFORMAÇÃO DO VALE
Sub-bacia Banqueta-Japuíba	8	Rochoso e coluvial	Confinado e poucos trechos parcialmente confinado
Sub-bacia Cabo Severino	4	Rochoso e coluvial	Confinado, poucos trechos parcialmente confinados e um pequeno trecho não confinado
Sub-bacia Japuíba do Meio	4	Aluvial e antropizado	Não confinado

Como pode ser observado pelo quadro 33, há uma relação entre morfodinâmica do canal, número de cotovelos de drenagem e estilo fluvial. A sub-bacia do Banqueta- Japuíba apresenta maior quantidade de cotovelos de drenagem, sendo classificada como uma bacia de morfodinâmica rochosa coluvial e conformação do vale identificado como confinados e parcialmente confinados. O vale confinado sem presença de planícies de inundações e com leito rochoso, juntamente com morfodinâmica rochosa e coluvial, estabelece um comportamento do canal onde o tamanho e a largura são controlados pela litologia confinante, reduzindo a intensidade de ajustes. Soma-se a essas informações a presença dos cotovelos de drenagem, que por estarem localizados em áreas de maior declividade com estreitamento do canal, aumentando assim a velocidade da água. Como resultado desses três indicadores, a sub-bacia Banqueta-Japuíba apresenta baixa sensibilidade de alteração devido ao seu leito rochoso com pouco estoque de sedimentos, predominando alta capacidade de transporte.

A sub-bacia Cabo Severino apresenta conformações muito semelhantes a Sub- Bacia Banqueta-Japuíba. As principais diferenças então em uma menor quantidade de cotovelos de drenagem e um pequeno trecho com estilo fluvial não confinado. Tem menor quantidade de cotovelos e a vazão do canal tende a ser menos influenciada por essas anomalias; e a presença de parte do canal classificado como não confinado permite maior possibilidade de ajustes e maior sensibilidade a sofrer alterações.

A sub-bacia Japuíba do meio apresenta quatro cotovelos de drenagem, morfodinâmica aluvial antropizada e estilo fluvial não confinado, evidenciando influência de atividades humanas na modificação do canal e dos processos fluviais. O vale não confinado com

morfodinâmica aluvial resulta na ocorrência de planície de inundação e trecho da planície fluvio-marinha com ocorrência de barras laterais e leito que varia entre cascalhento, arenoso e arenoso-siltoso. Possui instabilidade lateral devido à grande sensibilidade de alteração, pois o tamanho e largura do canal podem ser ajustados tanto lateralmente como verticalmente, com alto potencial de erosão das margens, principalmente relacionados a eventos de alta magnitude e o que leva a processos de migração lateral.

Na interface entre ambiente terrestre e marinho é onde a bacia se encontra mais antropizada e a capacidade de ajustes laterais é limitada pela retificação artificial do canal, porém em eventos de alta magnitude ocorre transbordamento e erosão das margens. Os cotovelos se encontram na parte colinosa da sub-bacia e, nesse caso, devida à baixa declividade eles impactam na redução da largura do rio, o que amplia a deposição fluvial e reduz o potencial de transporte.

Além das relações entre indicadores geomórficos, estilos fluviais e morfodinâmica da bacia, também é importante analisar as alterações no relevo e as formas de relevo tecnogênicos identificados nas sub-bacias. Como pode ser observado no quadro 34, as alterações no terreno e as formas de relevo tecnogênicas variam entre as sub-bacias do sistema Japuíba, sendo mais intensas na sub-bacia Japuíba do Meio. As sub-bacias Banqueta-Japuíba e Cabo Severino apresentam raras alterações no terreno. Na sub-bacia Banqueta-Japuíba encontram-se um predomínio das equiformas tecnogênicas e apenas uma tecnoforma de escavação. Na sub-bacia Cabo Severino, encontram-se as **Equiformas tecnogênicas e cicatrizes e depressões tecnogênicas**, além de **elevações e superposições tecnogênicas**. A sub-bacia Japuíba do Meio, por outro lado, apresenta muitas alterações no terreno, com presença de **equiformas tecnogênicas, cicatrizes e depressões tecnogênicas, e elevações e superposições tecnogênicas**. O fato da sub-bacia Japuíba do Meio ter a maior ocupação populacional, justifica a maior quantidade de alterações do relevo e, consequentemente maior presença de formas de relevo tecnogênicas.

Quadro 34: Níveis de alterações e formas de relevo antropogênicas identificadas nas sub-bacias analisadas.

SUB-BACIAS DO SISTEMA JAPUÍBA	ALTERAÇÕES NO TERRENO	FORMAS DE RELEVO TECNOGÊNICAS
Sub-bacia Banqueta-Japuíba	Raras alterações	Equiformas tecnogênicas
Sub-bacia Cabo Severino	Raras alterações	Equiforma tecnogênicas Cicatrizes e depressões tecnogênicas Elevações e superposições tecnogênicas
Sub-bacia Japuíba do Meio	Muitas alterações	Equiforma tecnogênicas Cicatrizes e depressões tecnogênicas Elevações e superposições tecnogênicas

A evolução da bacia hidrográfica do rio Japuíba, pode ser analisada a partir da divisão em duas escalas de tempo, destacando diferentes aspectos da dinâmica fluvial (Quadros 32 e 33) e das interferências antrópicas (Quadro 34). A escala de tempo longa foi analisada a partir da compartimentação tectônica-estrutural e da sedimentação quaternária. A compartimentação tectônica-estrutural indica a influência de processos tectônicos na formação e evolução da bacia, sugerindo que a estrutura geológica desempenhou papel fundamental na definição dos limites e características das sub-bacias analisadas. A porcentagem de sedimentação quaternária varia entre as sub-bacias, indicando diferentes taxas de deposição e erosão, que estão relacionadas, por sua vez, a fatores como indicadores geomórficos, morfometria o canal e estilos fluviais. As sub-bacias Banqueta-Japuíba e Cabo Severino apresentam menores áreas de sedimentação quaternária, com respectivamente 13,3% e 16,9% (Quadro 35), caracterizando sub-bacias onde processos erosivos sobrepõem aos processos deposicionais. A sub-bacia Japuíba do Meio apresenta a maior área de sedimentação quaternária, com 69,8%. Nesta sub-bacia, foi possível identificar a presença de quatro episódios deposicionais holocênicos entre 323 e 2.465 anos AP, indicando atividade sedimentar recente e contínua nesse segmento da planície fluvial da bacia.

Na escala de tempo curto tratamos dos processos erosivos atuais, a classificação dos estilos fluviais (confinado, parcialmente confinado e não confinado) indica diferente morfodinâmica dos canais fluviais. As sub-bacias Banqueta-Japuíba e Cabo Severino apresentam trechos confinados e parcialmente confinados, sugerindo um maior controle da tectônico-estrutural na conformação do canal. Já a sub-bacia Japuíba do Meio, por outro lado, é predominantemente não confinada, indicando maior liberdade do canal para migrar e ajustar

sua forma em resposta às mudanças nas condições hidrológicas e sedimentares; além de ser o trecho da bacia que mais tem interferências do processo recente de assoreamento resultando de ações da agência humana.

Quadro 35: Quadro-síntese das informações produzidas para diferentes escalas de tempo analisadas.

ESCALA DE TEMPO LONGO			ESCALA DE TEMPO CURTO	
Compartimentação tectônico-estrutural	Sedimentação quaternária	Idade ¹⁴ C	Estilos fluviais	Feições de relevo tecnogênicas
Sub-bacia Banqueta-Japuíba	13,3%	-	Confinado cabeceira íngreme. Parcialmente confinado retilíneo. Confinado garganta. Parcialmente confinado sinuoso. Não confinado sinuoso.	Equiforma de profundidade túnel Equiforma de superfície pecuária Tecnoforma de escavação piscicultura
Sub-bacia Cabo Severino	16,9%	-	Confinado de cabeceira íngreme. Confinado sinuoso. Confinado garganta. Parcialmente confinado retilíneo. Parcialmente confinado sinuoso. Não confinado retilíneo. Não-confinado sinuoso.	Equiforma de superfície barragem Tecnoforma de acumulação terreno construído
Sub-bacia Japuíba do Meio	69,8%	Presença de 5 episódios deposicionais entre 323-2465 anos cal AP	Não confinados com meandros arenosos. Não confinado retelinizado. Não confinado sinuoso.	Tecnoforma de acumulação aterro construído Tecnoforma de acumulação aterro Tecnoforma de acumulação terreno construído Tecnoforma de acumulação restos de construções Geotecnoforma de acumulação foz assoreada Geotecnoforma de acumulação depósito de deslizamento Tecnoforma de escavação extração de saibro Tecnoforma de escavação extração de areia

				Tecnoforma de escavação cicatriz de terraplanagem Tecnoforma de escavação construção da BR-101 Tecnoforma de escavação retificação fluvial Geotecnoforma de denudação cicatriz de deslizamento induzido Equiforma de superfície agricultura Equiforma de superfície pecuária
--	--	--	--	--

Com base nos dados do quadro 34, podemos esboçar um modelo evolutivo simplificado da bacia hidrográfica do rio Japuíba. Seguindo o raciocínio proposto nas duas escalas de tempo a bacia foi formada por processos tectônicos, que controlaram a estruturação e disposição das sub-bacias. Durante o Quaternário, ocorreram distintos episódios de deposição e erosão do preenchimento sedimentar, especialmente na sub-bacia Japuíba do Meio. Os rios se ajustaram à geologia e às condições climáticas, desenvolvendo diferentes estilos fluviais. Enquanto as atividades humanas, como construção de barragens, mineração e agricultura, modificaram significativamente a paisagem e os processos fluviais, especialmente na sub-bacia Japuíba do Meio. Esta análise revela a complexidade da evolução da bacia hidrográfica do rio Japuíba, que é resultado da interação entre processos naturais e antrópicos. A bacia, portanto, apresenta uma grande heterogeneidade, com sub-bacias que possuem características específicas em termos de estrutura, geomorfologia e uso do solo.

7. CONCLUSÕES

A evolução de uma bacia hidrográfica é complexa e contínua, resultante da ação de uma série de fatores de cunho geológico, climático e antrópico ao longo da escala de tempo longo e histórico. Portanto, para compreensão do processo evolutivo de uma bacia é de fundamental importância analisar o sistema fluvial em diferentes escalas de tempo.

Os mecanismos de evolução dos sistemas fluviais estão diretamente relacionados à dinâmica de atuação de processos erosivo-deposicionais, principais agentes modeladores da paisagem, cuja intensidade e magnitude está relacionada tanto a variações de forças externas, tais como variações dos índices pluviométricos ou redução da cobertura vegetal (Leopold et al., 1964) e que são responsáveis por modificações significativas na dinâmica dos fluxos superficiais e subsuperficiais, quanto ao condicionamento estrutural do terreno (aspectos litológicos e tectônicos) e que levam a diferentes respostas na organização do relevo e da rede de drenagem. Além desses aspectos de ocorrência em escala de tempo longo, as alterações promovidas pela ação da agência humana produzem intensas modificações históricas nos terrenos gerando modificações na paisagem contemporânea e que, muitas vezes, aceleram os processos erosivo-deposicionais.

Nesse contexto, a compreensão da diversidade morfodinâmica na bacia do rio Japuíba é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e naturais do município. Algumas implicações desta análise incluem a identificação de áreas com alta susceptibilidade a processos erosivos e deposicionais e que são cruciais para prevenção de desastres naturais, como deslizamentos e inundações tão comuns no município de Angra. Além dessa avaliação, existe o papel de atividades humanas que tanto afetam negativamente, transformando a paisagem natural, quanto podem auxiliar na implementação de medidas de conservação e recuperação ambiental.

Em relação à escala de tempo longa a atividade tectono-estrutural foi o principal fator na formação do relevo escarpado que deu origem às serras locais e à configuração da rede de drenagem da bacia, com diversos locais em que é nítido o controle estrutural no traçado da drenagem. Enquanto, em escala de tempo histórico as variações nas intensidades do índice pluviométrico, com períodos de seca e chuvas intensas e, em muitos casos, extremas, associados às alterações de uso da terra, como p. ex. desmatamentos, agricultura e a ocupação urbana são responsáveis por modificações na morfologia local, alterando significativamente os processos hidrológicos e geomorfológicos da bacia, acelerando a erosão, modificando o regime hídrico das calhas fluviais e a qualidade da água.

A análise evolutiva de uma bacia hidrográfica em diferentes escalas de tempo torna-se, portanto, básica para se compreender a dinâmica dos processos naturais, permitindo identificar os principais fatores que controlam a evolução da paisagem e predizer sobre futuras mudanças. Sendo necessário avaliar os impactos das atividades humanas, quantificar os efeitos da ocupação humana na bacia e desenvolver estratégias de gestão mais sustentáveis.

A diversidade de processos morfodinâmicos atuantes nas diferentes sub-bacias do rio Japuíba, considerando uma escala de tempo longa, sugere que a atividade tectônica influenciou significativamente a morfodinâmica das sub-bacias, especialmente da Cabo Severino, onde o Índice de Atividade Tectônica é classificado como "Muito Alto", responsável pela geração de desníveis no terreno, influenciando a rede de drenagem, bem como os processos erosivos. Diagnosticou-se que a evolução geomorfológica da bacia do rio Japuíba é marcada por uma complexa interação entre processos tectônicos, climáticos e antrópicos e que a estruturação tectônica exerceu papel fundamental na configuração atual da bacia, condicionando a disposição das sub-bacias e orientação das drenagens. A análise dos índices morfométricos, como IAT e RDE, evidenciou forte influência tectônica, especialmente nas sub-bacias Cabo Severino e Banqueta-Japuíba.

Ainda, na mesma escala de análise, pode-se afirmar que há predominância de estilos fluviais confinados e parcialmente confinados, sugerindo controle significativo da rede de drenagem. A presença de trechos parcialmente confinados indica uma dinâmica fluvial complexa, com alternância entre fases de entalhamento e deposição que refletem na morfologia dos fundos de vale. A sub-bacia do Cabo Severino foi constatada em que há maior controle tectono-estrutural e, portanto, seria uma área que detém maiores condições de instabilidade da bacia, necessitando de maior atenção das autoridades em relação ao uso e manuseio de seus terrenos.

Sendo assim, a heterogeneidade da bacia é notável, com cada sub-bacia apresentando características únicas. A sub-bacia Banqueta-Japuíba se destaca pela alta densidade de drenagem e pela importância da presença e influência de falhas geológicas em sua constituição, assim como a sub-bacia Cabo Severino pela alta densidade de lineamentos. Já a sub-bacia Japuíba do Meio é marcada pela maior área de ocorrência da feição de planície fluvial e pela intensa atividade da agência humana, que tem modificado significativamente a paisagem e a intensidade dos processos geomorfológicos, principalmente, aqueles voltados à dinâmica fluvial.

Os perfis sedimentográficos permitiram, por sua vez, corroborar com a história evolutiva do preenchimento dos fundos de vale ao longo do período Quaternário. As datações obtidas por ^{14}C subsidiaram, juntamente com as informações de cunho geológico reunidas, posicionar os episódios holocênicos de sedimentação e erosão na elaboração da planície do rio Japuíba. Apesar de ser uma bacia litorânea, o estudo realizado identificou uma sedimentação estritamente continental, com ocorrência de cinco fases evolutivas. Desde a fase em que se deu o encaixamento do leito fluvial associado a eventos tectônicos desencadeados na área, passando por fases em houve variação do regime climático ora mais úmido, levando à expansão da mata e ocorrência de pedogênese com formação de horizonte “A”, ora fases em que o regime climático mais seco ou a ocorrência de enxurradas com erosão acentuada nas encostas e episódios de sedimentação, soterrando o solo em formação (argilas orgânicas de idade de 2.376 ± 71 anos A.P.). Provavelmente, uma alteração para condições mais úmidas gerou concentração dos fluxos d’água e ocorrência de encaixamento fluvial e gerando o terraço superior (T1), em seguida novos episódios de enxurradas levaram grande aporte de material para o fundo de vale e formação de nova camada sedimentar, onde se desenvolveu um solo com níveis orgânicos datados em 442 ± 57 anos A.P.

Condições de maior umidade levou à nova fase de encaixamento fluvial expondo a parede do terraço mais baixo (T2). Esta dinâmica deposicional mostra como os mecanismos evolutivos dessa área são intensos e como a paisagem pode ser alterada em um curto intervalo de tempo. Por isso, tem-se a preocupação de como vem sendo utilizado os terrenos da referida bacia dentro da escala histórica, ou seja, da história das intervenções proporcionadas pela agência humana.

A diversidade de feições de relevo tecnogênicas reconhecidas, resultantes de ações de desmatamento, atividades agropastoris, aterros, escavações, construções diversas etc., evidenciam a intensidade das intervenções humanas na paisagem. A interferência humana é um fator cada vez mais forte na dinâmica da bacia, especialmente na sub-bacia Japuíba do Meio, onde a urbanização, a agricultura e a indústria têm modificado seu terreno, alterado o regime hidrológico e aumentado a vulnerabilidade a eventos extremos. A construção de barragens, a retirada de cobertura vegetal e a ocupação de áreas de risco têm acelerado processos erosivos e assoreamento dos cursos d’água.

É necessário, portanto, que haja urgência na construção de políticas públicas que venham planejar o uso da terra e dos recursos naturais adequadamente e com elaboração de projetos que visem frear/minimizar os impactos socioambientais e que busquem a conservação de condições mais adequadas às condições de fragilidade ambiental da bacia. Ressalta-se ainda

que é nessa bacia onde é captado o maior volume de água para abastecimento do centro do município, sendo, portanto, considerada como uma “pérola” para a administração municipal.

Pela análise dos dados pluviométricos reunidos, é também preocupante o aumento da intensidade e frequência de eventos extremos nos últimos 40 anos. Chuvas torrenciais podem levar ao aumento da erosão, do transporte de materiais e do risco de alagamentos e inundações, que somado aos fatores de fragilidade do terreno anteriormente mencionados, agravam a situação de risco da bacia. É notável ainda o aumento dos períodos de seca prolongados, com redução da disponibilidade hídrica, diminuição do escoamento superficial, afetando a recarga de aquíferos e desabastecimento de água potável. Desse modo, é imprescindível e urgente a busca por medidas protetivas ao ambiente para que sejam abrandados os efeitos das tão comentadas mudanças climáticas que afetam a todo planeta.

Sendo assim, fica evidente que o conhecimento de processos morfodinâmicos de uma bacia torna-se fundamental para o planejamento territorial, pois permite: a) **Identificar áreas de risco**: a análise morfodinâmica ajuda a identificar áreas mais suscetíveis a processos erosivos, inundações, p. ex., facilitando à definição de áreas de preservação permanente e à elaboração de planos de uso e ocupação do solo; b) **Dimensionar obras de infraestrutura**: o dimensionamento de obras de drenagem, barragens e outras estruturas hidráulicas deve considerar a variabilidade dos processos morfodinâmicos ao longo do tempo, levando em conta cenários futuros de mudanças climáticas; c) **Gerenciar os recursos hídricos**: a compreensão da dinâmica dos processos hidrológicos e sedimentares é essencial para o planejamento da gestão dos recursos hídricos, incluindo a alocação de água para diferentes usos e a proteção da qualidade da água; e d) **Promover a adaptação às mudanças climáticas**: o conhecimento da morfodinâmica permite desenvolver estratégias para adaptar os sistemas ambientais e socioeconômicos aos impactos das mudanças climáticas, como a implementação de medidas de conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas. Enfim, ao se compreender os processos que moldam a paisagem é possível tomar decisões mais seguras sobre o uso e a ocupação do solo, gestão dos recursos hídricos e mitigação dos impactos das mudanças climáticas.

A bacia do rio Japuíba representa um sistema complexo e dinâmico, resultado da interação de diversos processos ao longo do tempo. Compreender sua evolução é fundamental para a gestão dos recursos hídricos e a mitigação de riscos geomorfológicos. Propõe-se a continuidade de estudos mais detalhados sobre os processos de deposição e erosão, utilizando análises palinológicas para estabelecimento de correlações mais específicas relacionadas a variações de períodos úmidos e secos. Isso possibilitará uma reconstrução mais precisa da

história da evolução da bacia, incluindo a reconstituição das fases deposicionais da planície fluvial e a formação dos paleossolos. Outra recomendação é o monitoramento dos processos fluviais por meio de técnicas remotas e de campo, visando acompanhar as mudanças na morfologia dos canais e na qualidade da água. Além disso, um uso mais específico da modelagem matemática, com a simulação de processos hidrológicos e geomorfológicos, permitirá avaliar os impactos de diferentes cenários de uso do solo e de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, v. 18, p. 1-23, 1969.
- AGEVAP. **Mapa das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. 2008. Disponível em: [http:// www.agevap.org.br/downloads/maparegiaio.pdf](http://www.agevap.org.br/downloads/maparegiaio.pdf). Acesso em: 16 mar. 2022.
- ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim**, v. 241. Rio de Janeiro: DNPM-DGM, 1967.
- ALMEIDA, J.D.M. **(Des)conectividade da paisagem e compartimentação fluvial na bacia do riacho grande, sertão central pernambucano**. 2017. 138f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- ANDRADES FILHO, C.O. **Análise Morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2010.
- ANDRADES FILHO, C.O.; ROSSETTI, D.F. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisas Em Geociências**, v.42, n.2, p.113–130, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.7811>. Acessado em: 05 mai. 2023
- ARAGÃO, M. L. *et al.* Morfodinâmica das classes de terrenos tecnogênicos na faixa costeira do município de Goiana-Pernambuco. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 13, n. 2, 2023.
- ARAÚJO, L. E. et al. Análise da variabilidade temporal da precipitação no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 197-206, 2007.
- ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. dos S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 29, n. 3, 2012.
- BARBOSA, M.E.F. **Geomorfologia e tectônica da folha Jacumã 1:25.000**. 2013. 117f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, 2013.
- BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L.D.A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (eds.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BIERMAN, P.R.; MONTGOMERY, D. R. **Key Concepts in Geomorphology**. New York: W. H. Freeman and Company Publishers, 2014.

BISHOP, P. Drainage Rearrangement by River Capture, Beheadind and Diversion. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 449-473, 1995.

BRAGA, J.L.R. Impactos socioambientais: uma realidade no bairro de Japuíba, Angra dos Reis - RJ. **Revista Fluminense de Geografia**, v.1, n.2, 2005. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/revista-fluminense/article/view/2171>. Acesso em: 05 nov. 2021

BRASIL. **Lei n. 9.985/2000, de 18 de julho de 2000**. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 15 jan. 2022.

BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

BRIERLEY, G., FRYIRS, K. Don't Fight the Site: Three Geomorphic Considerations in Catchment-Scale River Rehabilitation Planning. **Environmental Management**, n. 43, p.1201–1218, 2009.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, n. 22, p. 91-122, 2002.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; COOK, N.; OUTHET, D.; RAINE, A.; PARSON, L.;

HEALEY, M. Geomorphology in action: linking policy with on-the-ground actions through applications of the River Styles framework. **Applied Geography**, n, 31, p.1132-1143, 2011.

BRUNSDEN, D. Geomorphology, engineering and planning. **Geographia Polonica**. v. 76, n. 2, p.185-202, 2003. Disponível em: http://rcin.org.pl/igipz/Content/110/WA51_215_r2003-vol76-no2_Geogr-Polonica.pdf#page=189. Acesso em: 16 mar. 2022.

BULL, W. B.; McFADDEN, L. D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: DOEHRING, D. O. (Ed.). **Geomorphology in arid regions**.¹ Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposia² Series. Binghamton: State University of New York, 1977. p. 115-138.

BULL, W. B.; WALLACE, R. E. Tectonic geomorphology. **Geology**, v. 13, n. 3, p. 216-219, 1985.

CARVALHO, D.F.; MELLO, J.LP.; SILVA, L.D.B. **Hidrologia**. 2007. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>. Acessado em: abr. 2022.

CEN/SBCR. Breve estado da arte do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevô (SBCR): contribuições de e para a sociedade científica geomorfológica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 2, p. 212-227, 2022.

CEN/SBCR – Comitê Executivo Nacional/Sistema Brasileiro de Classificação do Relevô. Breve estado da arte do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevô (SBCR): contribuições

de e para a sociedade científica geomorfológica. **Revista Brasileira de Geografia - Nota Técnica**. v.67, n.2, p.212-227, 2022.

CEPERJ. **Mapa Estado do Rio de Janeiro - Regiões de Governo e Municípios**. 2019. Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ceperj.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/Mapa-das-Regioes-de-Governo-e-Municipios-do-Estado-do-Rio-de-Janeiro-2019-CEPERJ.pdf>. Acesso: 15 jan. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COBLENTZ, D.D.; RICHARDSON, R.M. Analysis of the South American Intraplate Stress Field. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 8643-8657, 1996.

CORRÊA, A.C.B; FONSECA, D.N. Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do rio Preto, serra do Espinhaço Meridional–MG. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p.72-86, 2010.

CORRÊA, A.C.B.; SILVA, F.; SOUZA, J.D.; AZAMBUJA, R.N.; ARAÚJO, S. Estilos fluviais de uma bacia de drenagem no submédio São Francisco. **Revista de Geografia**, v. 26, n. 1, p. 181-215, 2009.

CORRÊA, A.C.B.; TAVARES, B.D.A.C.; MONTEIRO, K.A.; FONSECA, D.N. A aplicação de técnicas geocronométricas em geomorfologia: uma atualização metodológica. **Espaço Aberto**, v.6, n.1, p. 45-74, 2016.

COX, R.T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt block tectonics: as example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of América Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico da folha Angra dos Reis**. Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2007.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Mapa de Padrões de Relevo do Brasil na escala 1:25.000**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/>. Acesso em: 29 de mai. De 2021.

CRUTZEN, P.J.; STOERMER, E.F. The Anthropocene. **IGBP Global Change**. Newsletter, n.41, p.17-18, 2000.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CUNHA, C.M.L.; QUEIROZ, D.S. A cartografia geomorfológica de detalhe: uma proposta visando à multidisciplinaridade. **CLIMEP (Climatologia e Estudos da Paisagem)**, v. 7, n. 1-2, p. 22-45, 2012.

DANTAS, M.E. **Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro: Geomorfologia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2001.

DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, v.5, n.4, p.523-550, 1943.

EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, T.; KELLER, E.A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). **Geomorphology**, n. 96, p.150–173, 2008.

ESRI – ArcGIS©Pro: Software, 2021. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-pro/overview>. Acesso em: abr. 2021.

ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J. Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, western São Paulo state, Brazil, based on the distribution of late quaternary allounits. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.6, n. 1, p. 109-114, 2005.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil: morphology, genesis, and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989.

FERREIRA, M.F.M. **Geomorfologia e análise morfotectônica do alto vale do Sapucaí**. 2001. 279 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

FORD, J.; KESSLER, H.; PRICE, S.J.; HUMPAGE, A.J. An enhanced classification for artificial ground. **British Geological Survey**, 32 p., 2010.

FRANCISCO, C.N. **Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis, RJ**. 2004. 178f. Tese (Doutorado em Geociências – Geoquímica Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

FRANCISCO, C.N.; CARVALHO, C.N. Disponibilidade hídrica-da visão global às pequenas bacias hidrográficas: o caso de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro. **Revista de Geociências**, v. 3, n. 3, p.1-13, 2004.

FREITAS, R.O. Ensaio sobre o relevo tectônico do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v.13, n.2, p.171-222, 1951.

FREITAS, R.O. Considerações sobre a tectônica e geologia do Vale do Paraíba, **Publicação n.11 - Escola de Engenharia de São Carlos, USP**, 41p., 1957. Disponível em:

<http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/7265/Tectonica%20e%20geologia%20Vale%20do%20Paraiba.pdf?sequence=1>. Acesso em: mai. 2023.

FREITAS, M.A.S. Índice de anomalia de precipitação e sua relação com a produção agrícola no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, p. 343-352, 2004.

FREITAS, M.A.S. **Variabilidade climática e produção agrícola no estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J. Slope–channel decoupling in Wolumla catchment, New South Wales, Australia: the changing nature of sediment sources following European settlement. **Catena**, v. 35, n. 1, p. 41-63, 1999.

FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester, West Sussex, UK; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2013.

FRYIRS, K.A.; SPINK, A.; BRIERLEY, G.J. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, p. 897-918, 2009.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J.; MAHER, D. M.; HARVEY, A. M.; LIVERSEDGE, S. Geomorphic River recovery potential: integrating form and process. **Geomorphology**, v. 272, p. 22-37, 2016.

GIBBS, A.D. Structural evolution of extensional basin margins. **Journal of the Geological Society**, v.141, n. 4, p. 609-620, 1984.

GIBBS, A.D. Linked fault families in basin formation. **Journal of Structural Geology**, v.12, n.5/6, p. 795-803, 1990.

GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing Ltda., 2010.

GONTIJO, A.H. **Morfotectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul: região da serra da Bocaina, estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. 1999. 259f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP. 1999.

GRUPO TÚNEL DO TEMPO. **Angra dos Reis**, 10 de março de 2021. Disponível em: <https://www.facebook.com/groups/1303686826494397/posts/1526139434249134>. Acesso em: 15 out. 2021.

GUEDES, I.C.; SANTONI, G.C.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; STEVAUX, J.C.; MORALES, N.; SAAD, A.C. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Inácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UNG – Geociências**, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.

GURJÃO, K.C.O.; FREITAS, M.A.S.; LIMA, J.R.S.; SOUZA, M.C. A. Análise da variabilidade da precipitação no estado de Pernambuco através do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 197-206, 2012.

HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research**, v. 4, n. 1. p.421-429, 1973.

HANCOCK, G. R.; WILLGOOSE, G. R. On the sensitivity of stream profile shape to variations in uplift rate, lithology, and climate. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 106, n. B1, p. 777-789, 2001.

HARE, P.W.; GARDNER, T.W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J.T (eds.) **Tectonic Geomorphology: Proceedings 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp.** Boston: Unwin, p. 76-104, 1985.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozoica Continental no Sudeste Brasileiro. 1, **Anais**. Belo Horizonte, Boletim SBG/MG, v. 11, p.11-31, 1990.

HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; MIOTO, J.A.; MELO, M.S. Geologia, tectônica geomorfologia e sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna. **Monografias do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 7**. São Paulo: IPT, 1990,149p.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.D.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; Dal Ré CARNEIRO, C.;BRITO-NEVES, B.J. **Geologia do continente sul-americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Ed. Beca, 2004, p.180-203.

HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H.D.; SILVA, L.G.D.E.; PALERMO, N.; TUPINAMBÁ, M.; DUARTE, B.P.; LACERDA, V.G.D. **Geologia da folha Volta Redonda SF. 23-ZAV**. 2007. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2021.

HIRUMA, S.T. **Significado morfotectônico dos planaltos isolados da Bocaina**. 2007. 205f. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, USP. 2007.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S.A. Geomorphic and Sedimentary Response of Rivers to Tectonic Deformation: a Brief Review and Critique of a Tool for Recognizing Subtle Epeirogenic Deformation in Modern and Ancient Settings. **Tectonophysics**, n. 305, p. 287-306, 1999.

HOOKE, Robert L. On the efficacy of humans as geomorphic agents. **GSA Today**, Boulder, v. 4, n. 9, p. 217, 224-225, set. 1994.

HOOKE, J. M. River channel adjustments to human disturbance. **Geomorphology**, v. 49, n. 3-4, p. 163-184, 2003.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **American Association of Petroleum Geologic Bulletin**. v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Cartográfica Contínua do Estado do Rio de Janeiro**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15807-estados.html?edicao=16037&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 20 fev. 2021.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente/RJ. **Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía da Ilha Grande**, v. I. 2015. Disponível em: <https://www.cbhbig.org.br/estudos-e-projetos>. Acesso em: 30. out. 2021.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. **Catálogo da Divisão de Geração de Imagens**. 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>. Acesso em: 20. fev. 2021.
JAMES, L.A.; MARCUS, W.A. The human role in changing fluvial systems: retrospect, inventory and prospect. **Geomorphology**, v. 79, p.152-171, 2006.

KNOFF, E. B. Correlation of residual erosion surfaces in the eastern Appalachian highlands. **B. Geol. Soc. Am.**, n.35, p. 633–668, 1924.

LABORATÓRIO DE RADIOCARBONO (LAC – UFF) - Instituto de Física. Disponível em: <http://www.uff.br/?q=noticias/16-05-2016/instituto-de-fisica-da-uff-inaugura-laboratorio-pioneiro-na-america-latina>. Acesso em: 22. jun. 2021.

LADEIRA, F.S.B.; SANTOS, M. O uso de paleossolos e perfis de alteração para a identificação e análise de superfícies geomórficas regionais: o caso da Serra de Itaqueri (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, 2005.

LASZLO, M.J. Levantamento e Análise das Densidades de Drenagens das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS. A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia, 8, **Anais**. São Luís: MA- ABG, 13 p., 2016.

LEITE, R.V. **Morfoestratigrafia e Morfotectônica do Setor Noroeste da Bacia do rio Pirapetinga, Resende – RJ**. 2021. 150f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.

LEOPOLD, L.B.; MADDOCK Jr., T. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**. US Government Printing Office, 1953.

LEOPOLD, L. B; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Processos fluviais em geomorfologia**. 1. ed. Nova Iorque: Dover Publicações, 1964.

LIMA, R.N.S.; MARÇAL, M.S. Avaliação da condição geomorfológica da bacia do rio Macaé -RJ a partir da metodologia de classificação dos estilos fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, p. 171-179, 2013.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LIU, C.C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro**. 1984. 157f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

MAIA, R.S. **Identificação e caracterização dos estilos fluviais da bacia do riacho do Tigre – PB**. 2016. 78f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, 2016.

MANN, M. E.; ZHANG, Z.; RUTHERFORD, S.; BRADLEY, R. S.; HUGHES, M. K.; SHINDELL, D.; AMMANN, C.; FALUVEGI, G.; NI, F. Global Signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. **Science**, v. 326, p. 1256 – 1260, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1177303>.

MAPBIOMAS. Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MARÇAL, M. S.; BRIERLEY, G.J.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures. Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, n. 84, p. 23-41, 2017.

MARQUES, J.S. Ciência geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p.23-50.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil Longitudinal**. 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MARTINEZ, M.; HAYAKAWA, E.H.; STEVAUX, J.C.; PROFETA, J.D. SL index as indicator of anomalies in the longitudinal profile of Pirapó River. **Geociências**, v.30, n.1, p.63-76. 2011.

MATHER, A. E.; STOKES, M.; WHITFIELD, E. River terraces and alluvial fans: the case for an integrated Quaternary fluvial archive. **Quaternary Science Reviews**, v. 166, p. 74-90, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.qsres.2017.05.001>.

MELLO, C. L. Evolução da paisagem e depósitos quaternários no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 3-21, 1997.

MELO, M. S. *et al.* Sedimentação quaternária no espaço urbano de Ponta Grossa, PR. **Geociências: Revista Geociências**, v. 22, n. 1, p. 33-42, 2003.

MERCEJAKOV, L. K. **Les bases fondamentales de la cryopédologie et la carte cryopédologique mondiale**. Moscou: Université de Moscou, 1968.

MEYER, G. A. Tectonic interpretation of longitudinal profiles of the Wind River, Wyoming. In: MORISAWA, M. (ed.). **Tectonic geomorphology**. Boston: Allen & Unwin, 1986. p. 193-219.

MONTGOMERY, D. R. Process, hillslope, and channel morphology. In: SUMMERFIELD, M. A. (ed.). **Geomorphology and global tectonics**. New York: John Wiley & Sons, 1999. p. 307-330.

MOURA, N. S. V.; SILVA, T. M.; GOUVEIA, I. C. M. C.; DE OLIVEIRA PEIXOTO, M. N.; FELIPPE, M. F.; SANTOS OLIVEIRA, A. M.; NOLASCO, M. C. Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 4, 2023.

NEGRÃO, A.P.; MELLO, C.L.; RAMOS, R.R.C.; SANSON, M.S.R; LOURO, V.H.A; BAULI, P.G. Tectono-sedimentary evolution of the Resende and Volta Redonda basins (Cenozoic, Central Segment of the Continental Rift of Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 104: 102789, 2020.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalem: Keter Publishing House; Dordrecht, Holland; Boston, U.S.A.: D. Reidel, 1983.

NOVELLO, VF, CRUZ, FW, MOQUEST, JS, VUILLE, M., DE PAULA, MS, NUNES, D. Dois milênios de Atlântico Sul Reconstrução da variabilidade da zona de convergência construído a partir de proxies isotópicos. **Cartas de Pesquisa Geofísica**, 45,5045–5051, 2018. <https://doi.org/10.1029/2017GL076838>.

NOWATZKI, C. H. Fundamentos de geologia arqueológica. **Núcleo de Estudos e pesquisas em geologia arqueológica–NEPGEA, São Leopoldo–RS**, 2005.

OHMORI, H. Morphometric analysis of fluvial terraces on the Boso Peninsula, Japan: implications for the tectonic history of the region. **Geomorphology**, v. 6, n. 1, p. 51-68, 1993.

OLIVEIRA, A.M.S. Classificação geológica e mapeamento de solo tecnogênico (artificial): Uma análise comparativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, Salvador: ABGE-ABMS, **Anais**, v.1, p. 411-415, 1990.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. **Climatologia geográfica do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

PASCHOAL, L.G.; CUNHA, C.M.L.; CONCEIÇÃO, F.T.A Cartografia geomorfológica como subsídio para a análise do relevo antropogênico em área de mineração. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, p. 379-391, 2013.

PASCHOAL, L.G.; RAMOS, A.M.; CUNHA, L.J.S. CUNHA, C.M.L. Estudos geomorfológicos em área de mineração em Portugal: cartografia geomorfológica para análise do impacto antrópico sobre o relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 1, p. 61-7, 2016.

PASSOS, A.S.; DIAS, F.F.; SANTOS, P.R.A.; BARROS, S.R.S.; SOUZA, C.R.G.; BERNARDINO, D.; ARAUJO, J.C.; VARGAS, R.; SANTOS, C.A. Evaluation of the effects

of a possible sea-level rise in Mangaratiba – RJ. **Journal of Coastal Conservation**. n. 23, p. 355–366, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0665-2>.

PAZZAGLIA, F. J. Fluvial terraces. In: WOHL, E. (Ed.) **Treatise on Geomorphology**. New York: Elsevier, 2010. p. 1-55.

PAZZAGLIA, F.J. Fluvial Terraces. **Treatise on Geomorphology**, v. 9, p. 379-412, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00248-7>. Acesso em: 15 mar. 2021.

PELOGGIA, A.U.G. Estruturas geológicas do manto de intemperismo e modelos geoestruturais aplicados à análise de risco de escorregamentos: os maciços de alteração de rochas foliadas. **Revista Geociências-UNG-Ser**, v. 13, n. 1, p. 50-61, 2014.

PELOGGIA, A.U.G. Os registros geológicos da ação humana e o Antropoceno-Tecnógeno: a estratigrafia da Arqueosfera. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 15, Tramandaí/Imbé: ABEQUA, **Anais**. p.12-13, 2015.

PELOGGIA, A.U.G. O que produzimos sob nossos pés? Uma revisão comparativa dos conceitos fundamentais referências a solos e terrenos antropogênicos. **Revista Geociências – UNG-SER**. v.16, n.1, p.102-127, 2017. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/2956/2155>. Acesso em:10abr. 2022.

PELOGGIA, A.U.G. Os registros geológicos da agência humana como categoria temática de patrimônio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA– ENSINO Geo2018, 8, **Anais**. Campinas: SBG-SP. p. 614-620, 2018. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/geosci2018/wp-content/uploads/sites/38/2018/10/2018_Anais_EnsinoGEOFinal.pdf. Acesso em: 16 abr. 2022.

PELOGGIA, A.U.G. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Revista do Instituto Geológico**, v. 40, n. 1, p. 1-17, 2019.

PELOGGIA, A.U.G.; OLIVEIRA, A.M.S. Tecnógeno: um novo campo de estudos das geociências. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, Guarapari: ABEQUA, **Anais**. 4p., 2005. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/0268_tecnogeno.pdf. Acessado em: 10 abr. 2022.

PELOGGIA, A.U.G.; OLIVEIRA, A.M.S.; SILVA, E.C.N.; NUNES, J.O.R. Technogenic geodiversity: a proposal on the classification of artificial ground. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 1, p. 28-40, 2014.

PETTS, G. E.; AMOROS, C. The fluvial hydrosystem. In: PETTS, G. E.; AMOROS, C. **The Fluvial Hydrosystems**. Springer, Dordrecht, 1996. p. 1-12.

PIÉGAY, H. Interactions between floodplain forests and overbank flows: data from three piedmont rivers of southeastern France. **Global Ecology and Biogeography Letters**, p. 187-196, 1997.

PMAR. Prefeitura Municipal de Angra dos Reis. **Perfil Sócio Econômico do Município de Angra dos Reis**. Angra dos Reis: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, 1999.

PMAR. Prefeitura Municipal de Angra dos Reis. **Lei Municipal nº 1.888, de 20 de dezembro de 2007**. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA da Bacia Hidrográfica do Rio Japuíba e dá outras providências. 2007. Disponível em: <http://camaraangra.siscam.com.br/Arquivos//NormaJuridica/LeiOrdinaria/2007/0701888.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PMAR - Prefeitura Municipal de Angra dos Reis. **PRH-BIG - Plano de Recurso Hídrico da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Relatório de Caracterização Física e Biótica**. Angra dos Reis: Secretaria Municipal de Meio Ambiente. 2019.

POWELL, J.W. **Exploration of the Colorado River of the West and its Tributaries**. Washington: D.C. Government Printing Office. 1875.

PRH-BIG – Plano de Recursos Hídricos da Região da Baía da Ilha Grande. **Relatório de Caracterização Física e Biótica**. Angra dos Reis: Prefeitura Municipal. 2019.

RADAMBRASIL. Geologia. In: **Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro/Vitória, 1**. Rio de Janeiro: MME, 1983, p.27-304.

RICCOMINI, C. **O Rift continental do sudeste do Brasil**. 1989. 190f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1989.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A.L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. Dal Ré; BRITO-NEVES, B.B. **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Ed. Beca. 2004, p. 350-383.

RICCOMINI, C.; GROHMANN, C.H.; SANT'ANNA, L.G.; HIRUMA, S.T. A Captura das Cabeceiras do rio Tietê pelo rio Paraíba do Sul. In: MONDENSEI-GAUTTIERI, M. C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C. Dal Ré; LISBOA, M.B.A.L. **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: BECA, 2010, p. 157-169.

RIVEREAU, J.C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. 92f. Curitiba: Instituto de Geologia - Universidade Federal do Paraná, 1969.

ROOY, M.P.V. **A rainfall anomaly index independent of time and space**, n. 14, p. 43-48, 1965.

ROSENBAUM, M.S.; McMILLAN, A.A.; POWELL, J.H.; COOPER, A.H.; CULSHAW, M.G.; NORTHMORE, K.J. Classification of artificial (manmade) ground. **Engineering Geology**, n.69, p. 399-409, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00282-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00282-X). Acesso em: mai. 2021.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1992.

RUDDIMAN, W.F. The anthropocene. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.41, p. 45-68, 2010.

RUDDIMAN, W.F. The anthropocene. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.41, p. 45-68, 2013.

RUELLAN, F. Evolução geomorfológica da baía da Guanabara e das regiões vizinhas. **Revista Brasileira de Geografia**, v.4, n.4, p. 455-508, 1944.

SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. **Geonomos**, v.1, n.1, p. 1-15, 1993.

SALAMUNI, E.; EBERT, H.D.; HASUI, Y. Morfotectônica da bacia sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 469-478, 2004.

SANGALLI, N.C.R.; RIVA, D.J.; AGUIAR, C.R. Avaliação das restrições legais à ocupação urbana na bacia do rio Japuíba em Angra do Reis - RJ. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 21, **Anais**. Vitória, ES. 9 p., 2020.

SANTOS, J.A.O.; WOLLMANN, C.A.; MELLO, C.R. Análise da atividade tectônica em bacias hidrográficas da região do Alto Rio Grande (MG) através de índices geomórficos. **Geografia (Rio Claro)**, v. 44, n. 2, p. 115-132, 2019.

SANTOS, L.P., MENDES, L.D. Proposta de Classificação de Anomalias de Drenagem a partir da Análise da Relação Declividade-Extensão na Bacia Hidrográfica do Rio Perequê Açu, Paraty-Cunha (RJ-SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 18, **Anais**. Juiz de Fora: UFJF-UGB, p. 3073-3086, 2021.

SCHUMM, S.A.; DUMONT, F.J.; HOLDBROOK, J.M. **Active Tectonics and Alluvial Rivers**. New York: Cambridge University Press. 2000.

SELLEY, R.C. A Classification of paleocurrent models. **The Journal of Geology**. v. 76, n.1, p. 99-110, 1968.

SEMMEEL, A. Palaeopedology and geomorphology: examples from the western part of Central Europe. **Catena, Suppl.** 16, p. 143-162, 1989. Cremlingen. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19911959678>. Acesso em: 06 set. 2024.

SHEPARD, F.P. **The Earth beneath the sea**. New York: Atheneum, 1979.

SILVA, S.L.S. **Extração de areia na região metropolitana do Rio de Janeiro - Distribuição espacial e parâmetros de análise na indicação de áreas produtoras**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – PPGG/UFRJ. 2010.

SILVA, S.L.S. **Análise morfodinâmica e proposta de tipologia de bacias de drenagem para o litoral sul fluminense**. 2015. 151f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do rio de Janeiro, 2015.

SILVA, T. M. **A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. 265f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, T.M.; GONTIJO-PASCUTTI, A.H. Diagnóstico Ambiental do Meio Físico – EIA (Estudo de Impactos Ambientais da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto) – Cap. 6.3. Geomorfologia (v. 2). 2002. Disponível em: http://memoria.cnem.gov.br/Doc/pdf/cronologia/RIMA_2006_angraIII.pdf. Acesso em 10 nov. 2021.

SILVA, T.M.; PAES, T.V. Parâmetros morfométricos aplicados a análise tectono-erosiva em bacias de drenagem. **GeoUERJ**, n. 33, p.01-26, 2018.

SILVA, T.M.; SANTOS, B.P. Sistemas de drenagem e evolução da paisagem. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, n. 1, p. 5-19, 2010.

SILVA, T.M.; SILVA, S.L.S.; SILVA, S.C. Morfoestrutura e Morfotectônica da Área Continental da Baía de Angra dos Reis (Municípios de Angra dos Reis, Parati, Mangaratiba e Rio Claro-RJ). **Relatório de Projeto de Pesquisa-COPPE/UFRJ e ELETRONUCLEAR**, 92p., 2012.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, 2021. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 21 jun. 2021.

SOARES, E.P. **Caracterização da precipitação na região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de deslizamentos de encostas**. 2006. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

SOUZA, I.A. **Falhas de transferência da porção norte da Bacia de Santos interpretadas a partir de dados sísmicos: sua influência na evolução e deformação da bacia**. 2008. 156f. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

SOUZA, J.O.P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido – bacia do riacho do saco, serra talhada, Pernambuco**. 2014. 191f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2014.

SOUZA, J. R.; AZEVEDO SOBRINHO, J. M. Beachrocks em Ubatuba (SP) e variações do nível do mar em depósitos praias holocênicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 321-338, 2015.

STEFFEN, W.; GRINEVALD, J.; CRUTZEN, P.; McNEILL, J. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, n. 369, p. 842-867, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>. Acesso em: 06 jul. 2021.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. Am. Geophys. Union**, n.38, p.913–920, 1952.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 1999.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. New York: John Wiley e Sons, 1991.

TER-STEPANIAN, G. Beginning of the Tertiary. **Bull. of the Intern. Assoc. of Engineering Geology**, n.38, p.133- 142, 1988.

TOYAMA, A.K. et al. Depósitos tecnogênicos: uma proposta de classificação com base em características morfológicas e pedológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e20180153, 2019.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Le modelé des régions périglaciaires**. Paris: Centre de Documentation Universitaire, 1956.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975.

VITORINO, J.C.; ANDRADE, M.R.M.; PELOGIA, A.U.G.; SAAD, A.R.; OLIVEIRA, A.M.S. Terrenos tecnogênicos do Jardim Fortaleza, bacia hidrográfica do córrego do Entulho, Guarulhos (SP): mapeamento geológico, estratigrafia, geomorfologia e arqueologia da paisagem. **Revista UNG – Geociências**. v.15, n.2, p. 33-60, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327405029>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ZALÁN, P.V. A tectônica transcorrente na exploração de petróleo: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n.3, p. 245-257, 1986a.

ZALÁN, P.V. Identificação de falhas transcorrentes em seções sísmicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n.3, p. 258-265, 1986b.

ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências Petrobras**, v. 13, n. 2, p. 269-300, 2005.

ZERNITZ, E.R. Drainage patterns and their significance. **Journal of Geology**, v. 40, n. 6, p. 498-521, 1932.

WALLACE, R.E. Overview and recommendations. In: WALLACE, R.E. (ed.). **Active tectonics**. Washington, D.C.: National Academic Press. 1986, p.3-19.

WATERS, C.N.; ZALASIEWICZ, J.A.; WILLIAMS, M.; ELLIS, M.A.; SNELLING, A.M. A stratigraphical basis for the Anthropocene? In: WATERS, C.N.; ZALASIEWICZ, J.A.; WILLIAMS, M.; ELLIS, M.; SNELLING, A.M. (eds.). **A stratigraphical basis for the Anthropocene**. London: London Geological Society, Special Publication 395, p. 1-21, 2014.

WINGE, M. **Glossário Geológico Ilustrado**. 2001. Disponível em: <https://sigep.eco.br/glossario/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ANEXO A – Artigo Submetido para a Revista Continentes

Fabiana Peres de Freitas; Telma Mendes da Silva. Índices geomorfométricos e dinâmica evolutiva da bacia hidrográfica do rio Japuíba – Angra dos Reis (RJ). Revista Continentes (UFRRJ). 20p. (no prelo).

Revista Continentes (UFRRJ), ano X, n. X, 20XX (ISSN 2317-8825)

ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS E DINÂMICA EVOLUTIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPUÍBA – ANGRA DOS REIS (RJ)

Fabiana Peres de Freitas¹

Telma Mendes da Silva²

Resumo. Esse trabalho avalia elementos do arranjo morfológico e da rede de drenagem que possam estar associados à controles tectônico-estruturais na configuração da bacia do rio Japuíba, localizada no município de Angra dos Reis – RJ. Ressalta-se que os cursos d'água representam os elementos mais apropriados para essa análise por se ajustarem rapidamente às deformações crustais, levando às modificações do relevo e que podem ser apreendidas pela avaliação de índices geomorfométricos específicos. A caracterização da bacia foi efetivada através da construção e análise de mapas de lineamentos de drenagem e do relevo e de diagramas de rosetas, perfis longitudinais de rios e cálculo de índices geomorfométricos aplicados à avaliação da participação tectônica-estrutural na conformação da paisagem. Os resultados alcançados apontam que a bacia do rio Japuíba, em sua totalidade, possui significativa influencia dos controles tectônico-estruturais e um dos exemplos de maior destaque quanto a estas condições é a sub-bacia do rio Cabo Severino.

Palavras-chave: Bacias e sub-bacias de drenagem. Índices geomorfométricos. Aspectos tectônico-estruturais. Fragilidade ambiental.

GEOMORPHOMETRIC INDEXES AND EVOLUTIONARY DYNAMICS OF JAPUÍBA RIVER BASIN – ANGRA DOS REIS (RJ)

Abstract. This study evaluates elements of the morphological arrangement and drainage network that may be associated with tectonic-structural controls in the configuration of Japuíba River basin, located in Angra dos Reis – RJ. We emphasize that watercourses are the most appropriate elements for this analysis, because they quickly adjust to crustal deformations, leading to relief modifications, which can be understood by evaluating specific geomorphometric indexes. The basin characterization was carried out through the construction and analysis of drainage and relief lineament maps, rosette diagrams,

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, fabianafreitas.uffrj@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9453-4710>

² Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, telmageo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2464-1868>

ANEXO B – Trabalho submetido ao 13º SINAGEO

Fabiana Peres de Freitas; Telma Mendes da Silva. Mapeamento de tipos de feições de relevo tecnogênicas da bacia do rio Japuíba, Angra dos Reis, RJ. Simpósio Nacional de Geomorfologia - SINAGEO, 13º, Natal – RN. Trabalho submetido.



MAPEAMENTO DE FEIÇÕES DE RELEVO TECNÔGENICAS DA BACIA DO RIO JAPUÍBA, ANGRA DOS REIS, RJ.

RESUMO

Identificar interferências humanas que caracterizem as alterações antropogênicas na bacia do rio Japuíba, situada no município de Angra dos Reis a sul do estado do Rio de Janeiro, contribuam para gestão e avaliação do potencial de recursos d'água e adequação de uso. Esta bacia é composta por dois rios principais: rio Japuíba e rio Cabo Severino e tem área total de 38,4 km², onde predomina o relevo serrano às planícies fluviais presentes no médio-baixo cursos. Destaca-se também a presença da Área de Proteção Ambiental que tem por finalidade organizar o uso da área rural e proteger remanescentes da floresta atlântica e conservar os mananciais de água, garantindo uso racional dos recursos naturais. No entanto, a ação antrópica tem gerado consequências negativas, degradando e alterando seu equilíbrio, incluindo as comunidades biológicas. O objetivo principal desse trabalho é apresentar o mapeamento de feições de relevo tecnogênicas, aplicando a metodologia proposta por Moura *et al.* (2023), com reconhecimento de processos de agradiação e degradação que vem ocorrendo na área da bacia, distinguindo-se aqueles de natureza induzida (referentes às mudanças na intensidade dos processos de erosão e sedimentação) daqueles produzidos por modificações diretas e/ou artificiais no terreno pela mobilização e/ou depósito de materiais. Foram analisados documentos cartográficos e imagens de satélite de 1985 a 2021, sendo reconhecidas e mapeadas feições tecnogênicas considerando-se dois níveis de análise: o primeiro definido pelas feições em que ocorre a) dinâmica morfológica aditiva ou de acumulação de material, de forma direta ou indireta - **Elevações ou Superposições Tecnogênicas** (50,4% das feições tecnogênicas); b) dinâmica subtrativa ou perda e exportação de material - **Cicatrizes ou Depressões Tecnogênicas** (27,3%) e c) modificações diretas em superfície ou em profundidade alterando a estrutura física do terreno - **Equiformas Tecnogênicas** (22,3%), perfazendo o total de 9,49 km² (24,7%) da área da bacia. O segundo nível de análise refere-se à classificação das formas tecnogênicas, onde mapeou-se um total de 17 feições: quatro **Tecnoformas de acumulação** produzidas por ações diretas no terreno (aterro, aterro com área construída, área construída e restos de construções); duas **Geotecniformas de acumulação** produzidas por indução (depósito de assoreamento do rio Japuíba e depósitos de deslizamentos); cinco **Tecnoformas de Escavação** (extrações de saibro e areia), uma cicatriz de terraplanagem e cicatrizes de escavações para construção da BR-101 e retificação de parte do rio Japuíba; três **Equiformas Tecnogênicas** referentes às movimentações em superfície: áreas de agricultura, piscicultura e pecuária; e as demais formas referentes às **Equiformas em profundidade**: túneis da antiga ferrovia que ligava o litoral de Angra dos Reis à Barra Mansa (o extinto Trem da Mata Atlântica) e a barragem utilizada para a captação de água voltada ao abastecimento de Angra dos Reis (ver figura abaixo). Pode-se observar a variabilidade de gênese, material constituinte, morfodinâmica e idade das interferências da agência humana gerando depósitos e feições de relevo tecnogênicos que mostram a diversidade dos mecanismos utilizados para expansão da estrutura urbana, além da interferência direta e indireta nos processos naturais.

Palavras-chave: Antropoceno, Tecnógeno, classificação de feições de relevo, mapeamento geomorfológico, bacia de drenagem.

