



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA - CCEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG

Gabriel da Nóbrega Monteiro

**Monitoramento da dinâmica fluvial em rios não perenes – comportamento
de leitos arenosos em ambiente semiárido tropical**

João Pessoa-PB

2023

Gabriel da Nóbrega Monteiro

**Monitoramento da dinâmica fluvial em rios não perenes – comportamento
de leitos arenosos em ambiente semiárido tropical**

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal da Paraíba
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestra em
Gestão do Território e Análise
Geoambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jonas
Otaviano Praça de Souza

João Pessoa-PB

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M775m Monteiro, Gabriel da Nóbrega.

Monitoramento da dinâmica fluvial em rios não
perenes - comportamento de leitos arenosos em ambiente
semiárido tropical / Gabriel da Nóbrega Monteiro. -
João Pessoa, 2023.
79 f. : il.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Ambientes fluviais. 2. Dinâmicas fluviais. 3.
Rios não perenes. 4. Leito arenoso. 5. Segurança
hídrica. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 502.51(282) (043)

Gabriel da Nóbrega Monteiro

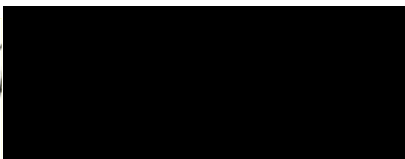
Monitoramento da dinâmica fluvial em rios não perenes – comportamento de leitos arenosos em ambiente semiárido tropical.

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, aos 11 (onze) dias do mês de dezembro de 2023 (dois mil e vinte três) pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:



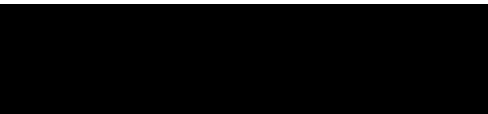

Prof. Dr. Kleber Carvalho Lima

Instituição UPE



Prof.(a) Rafael Albuquerque Xavier, Dr.(a)

Instituição UEPB



Prof.(a) Jonas Otaviano Praça de Souza, Dr.(a)

Orientador(a)

João Pessoa-PB, 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho
a minha amada filha Helena
Nóbrega Machado, com seu
sorriso me deu ânimo para
continuar.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha sincera gratidão à minha mãe, Valdete Ferreira da Nóbrega, por abrir mão de confortos pessoais e investir integralmente na minha educação. O sucesso deste trabalho deve muito ao seu apoio e contribuição.

Também gostaria de estender minha profunda gratidão ao meu orientador, Jonas Otaviano Praça de Souza, que não apenas se destaca como um excelente professor, mas também como um verdadeiro amigo. Agradeço imensamente por sua orientação, ensinamentos valiosos e por ser uma referência fundamental ao longo da minha jornada acadêmica.

Agradeço calorosamente a todos os membros do GEAFS, pela ajuda e companheirismo ao longo deste caminho. Em particular, gostaria de expressar minha gratidão a: Camila Souza, Adonai Silva, Jeferson Rodrigues, Jeovanes Lisboa, Fábio Vitorino, Ellen Madeiro, Elen, Stephanie Lima e Felipe Lima, por todo o apoio em campo e em laboratório.

À minha grande amiga Marília Carolina, agradeço por seus conselhos e contribuições valiosas para a minha pesquisa.

Por fim, não posso deixar de agradecer à minha companheira, Janine Medeiros, por estar ao meu lado durante todo este processo tão complexo. Sua presença teve um impacto significativo, e eu te amo profundamente!

RESUMO

Os ambientes fluviais no semiárido são de suma importância para a ocorrência das dinâmicas ambientais e para a manutenção da vida. Devido as características climáticas vigentes a água acaba sendo um elemento muito escasso, a captação e conservação desse recurso torna-se fundamental para o desenvolvimento e a manutenção das atividades agrícolas. No semiárido brasileiro os depósitos hiporreicos são responsáveis por armazenar uma elevada quantidade de água, por isso, as áreas aluviais são a principal via de acesso da população à água nas regiões rurais. O estudo sobre o comportamento desses ambientes é imprescindível para garantir explorações adequadas desse recurso e o desenvolvimento da segurança hídrica para a região. Frente a isso, a presente pesquisa tem como objetivo analisar as possíveis respostas hidrogeomorfológicas dos rios não perenes de leito arenoso aos inputs climáticos na bacia hidrográfica Riacho do Tigre, localizada no município de São João do Tigre-PB. O trabalho destaca a importância da utilização de técnicas e equipamentos capazes de analisar as dinâmicas hidrogeomorfológicas tanto em escala espacial quanto em escala temporal, como o Veículo Aéreo Não Transportado (VANT) e o Crest Level. O estudo também destaca a necessidade de uma gestão hídrica eficiente e adequada às especificidades de cada ambiente, especialmente em áreas propensas à degradação.

Palavras-chave: Dinâmicas fluviais; rios não perenes; Leito arenoso.

ABSTRACT

The river environments in the semi-arid regions are of utmost importance for the occurrence of environmental dynamics and the sustenance of life. Due to the prevailing climatic conditions, water becomes a scarce element, and the capture and conservation of this resource are crucial for the development and maintenance of agricultural activities. In the Brazilian semi-arid regions, hyporheic deposits are responsible for storing a significant amount of water; therefore, alluvial areas serve as the main access points for water in rural regions. Studying the behavior of these environments is essential to ensure proper exploration of this resource and the development of water security for the region. In light of this, the present research aims to analyze the possible hydrogeomorphological responses of non-perennial sandy riverbeds to climatic inputs in the Riacho do Tigre watershed, located in the municipality of São João do Tigre, PB. The study emphasizes the importance of using techniques and equipment capable of analyzing hydrogeomorphological dynamics on both spatial and temporal scales, such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Crest Level. The research also underscores the need for efficient water management tailored to the specificities of each environment, especially in areas prone to degradation.

Keywords: River dynamics; non-perennial rivers; Sandy riverbed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da bacia do Riacho do Tigre- PB	30
Figura 2 Modelo Digital de Elevação da bacia Riacho do Tigre	32
Figura 3 Mapa de declividade da bacia Riacho do Tigre.....	34
Figura 4 Classe de intensidade do índice de anomalias de chuva. Fonte: Araújo et al (2009).....	42
Figura 5 Equipamento crest. A: equipamento instalado em campo para coleta do nível da vazão. B: equipamento fixado por cantoneiras de ferro. C: fita adesiva sensível a água.....	42
Figura 6 imagens retiradas no trecho Sjt01. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão monte do trecho; C- exposição do leito rochoso; D- visão montante da barra na margem direita; E- ravina na margem esquerda; F- visão jusante da barra na na esquerda. C2 e C5 são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.	46
Figura 7 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho Sjt01	47
Figura 8 imagens retiradas no trecho Sjt02. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão montante do trecho; C- exposição da margem esquerda erosiva; D- visão da margem direita; F- passagem molhada a jusante do Crest; E- visão jusante da barra na margem esquerda. C2, C8... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.	49
Figura 9 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho Sjt02	50
Figura 10 imagens retiradas no trecho Sjt03. A- Visão da margem direita sobre a passagem molhada; B- visão jusante do trecho sobre a passagem; C- visão montante do trecho, próximo ao Crest; D- visão montante na barra esquerda, presença de um poço e uma retroescavadeira; E – visão jusante do leito após o Crest C5, C8... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.	51
Figura 11 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho Sjt03	52
Figura 12 imagens retiradas no trecho Sjt04. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão jusante do trecho expondo o momento da bifurcação do canal e ilha; C- visão jusante do canal principal, ao fundo depósitos de areia formados pela escavação no leito; D- visão jusante no canal principal, expondo	

o local do Crest;; E- visão montante do canal principal, expondo a margem esquerda erosiva. C2, C5, ... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.	53
Figura 13 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04.	54
Figura 14 Processos erosivos no trecho.....	55
Figura 15 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo. ...	64
Figura 16 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo. ...	65
Figura 17 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo. ...	66
Figura 18 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo. ...	67
Figura 19 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.....	69
Figura 20 Processos erosivos evidenciados em campo	70
Figura 21 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.	71
Figura 22 Processos erosivos evidenciados em campo	72
Figura 23 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.....	73
Figura 24 Processos erosivos evidenciados em campo	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Datas dos campos de monitoramento	40
Tabela 2	informações gerais sobre os trechos analisados	45
Tabela 3	Indicie de Anomalia de Chuva da bacia Riacho do Tigre entre os anos de 1994 a 2022.....	56
Tabela 4	Acúmulo de chuva diária das estações pluviométricas, no período de setembro de 2020 a agosto de 2022. A haste azul na tabela tem a função de dividir os anos hidrológicos.....	58
Tabela 5	chuva e acumulado entre os monitoramentos, em azul estão os acumulados e em laranja os eventos de maior magnitude.	59
Tabela 6	Correlação entre o acumulado das chuvas e os níveis de cota no canal.....	61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Equação índice de anomalia de chuva.....	41
-----------	--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	16
2.1	ESPECÍFICOS	16
3.	FUNDAMENTAÇÃO	17
3.1	DINÂMICA FLUVIAL SEMIÁRIDA – COMPLEXIDADE, ESPECIFICIDADES, DINÂMICAS HIDROLÓGICAS E HIDROGEOMORFOLÓGICA EM REGIÕES SECAS	17
3.2	DINÂMICAS HIDROLÓGICAS E HIDROGEOMORFOLÓGICAS EM REGIÕES SECAS .	19
3.3	METODOLOGIAS DE MONITORAMENTO DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA EM CANAIS NÃO PERENES.....	26
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	30
5.	METODOLOGIA	38
5.1	ESCOLHA DOS TRECHOS DE MONITORAMENTO	38
5.2	MONITORAMENTO EM CAMPO	39
5.3	MONITORAMENTO DOS EVENTOS CHUVOSOS E DE VAZÃO	41
5.4	MAPEAMENTOS DE USO E GEOMORFOLÓGICOS	43
6.	RESULTADOS.....	45
6.1	CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS DE MONITORAMENTO	45
6.2	COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO	55
6.3	COMPORTAMENTO HIDROGEOMORFOLÓGICO.....	60
6.4	RESPOSTAS HIDROGEOMORFOLÓGICOS	68
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
8.	REFERÊNCIAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

Os canais efêmeros e intermitentes são rios com fluxos sazonais que ocorrem em diversas partes do mundo. Apresentam características bem específicas, são rios mais recorrentes no período chuvoso, com vazões associadas a eventos de precipitação elevada, apresentam altas taxas de transportes, carga sedimentar mais arenosa, perda de transmissão a jusante, processos de deposição canal, entre outros. Mesmo apresentando semelhanças, são ambientes fluviais complexos e singulares, as características paisagísticas no semiárido estão mais relacionadas as dinâmicas ambientais locais, os fluxos e os processos atuantes são específicos em cada área (BILLI et al 2018).

Os rios não perenes são típicos em áreas de clima árido e semiárido, sua ocorrência no Brasil está relacionada as sazonalidades das dinâmicas climáticas/hidrológicas da região nordestina. Esses corpos de água são responsáveis por interligar as unidades de paisagem (a partir dos fluxos de energia, matéria e nutrientes) e de proporcionar inputs de dinamismo ao sistema (SOUZA e ALMEIDA, 2015; PHILLIPS et al 2019 et al).

No semiárido brasileiro, as dinâmicas fluviais ocorrem sobre leitos rochosos e/ou arenosos, em ambos os ambientes há fortes dinâmicas envolvidas com os eventos de vazão. No leito arenoso, por exemplo, os depósitos de areia formam diferentes feições geomórficas que contribui com as dinâmicas superficiais e subsuperficiais. Essas áreas costumam acumular água e são de grande importância para os processos ambientais e socioeconômicos (SANTOS, FREIRE E SOUZA, 2009).

Devido a rugosidade do leito arenoso, o cúmulo de água ocorre em subsuperfície, esses depósitos aluviais representam um importante manancial para as comunidades locais, podem reter água até no período seco. As principais construções utilizadas para armazenamento e coleta de água do rio, são os barramentos, açudes e as cacimbas (SÁ e DINIZ, 2012). Essas construções têm o objetivo de garantir água para as atividades agrícolas, mas também para o abastecimento residencial. Vale salientar, que segundo Silva (2019) as águas presentes nos depósitos aluviais do município de São João do Tigre (área de

pesquisa do trabalho), são salobras e não são indicadas para a ingestão humana.

Os estudos desenvolvidos nos ambientes fluviais semiáridos, indicam a necessidade de uma gestão hídrica eficiente e adequada as especificidades de cada ambiente (ZHOU et al., 2021). São João do Tigre é um exemplo disso, apresenta boas condições de preservação ambiental, mas uma elevada taxa vulnerabilidade (SILVA E SOUZA 2020). Ou seja, uma área propensa a degradação, que necessita de atividades antrópicas adequadas para sua conservação. O presente trabalho se fundamenta justamente da necessidade de entender as dinâmicas ambientais para subsidiar melhores gestões ambientais nas áreas.

A análise das respostas hidrogeomorfológicas em rios não perenes esbarram na falta de dados hidrológicos e geomorfológicos sobre os rios de terra seca. De forma geral, as dinâmicas fluviais no semiárido brasileiro são muito ativas, a frequência e a magnitude dos eventos de chuva impulsionam a ocorrência de fluxo fluvial, dando início as modificações hidrogeomorfológicas. Por isso, é necessário a aplicação de metodologias que sejam capazes de monitorar as dinâmicas evolutivas desses ambientes, utilizando equipamentos adequados para o desenvolvimento de dados tanto em escala espacial, quanto em escala temporal (SOUZA e ALMEIDA, 2015).

Um grande impasse para a elaboração desses estudos, diz respeito ao custo desses levantamentos. Levando em consideração as especificidades desses ambientes, é importante que a coleta de informação seja feita com menor intervalo de tempo possível. A instalação de equipamentos capazes de fornecer dados diários ou com menor temporalidade é uma boa alternativa, cabe ao pesquisador adaptar instrumentos de médio e baixo custo para tornar viável esse monitoramento. Os VANTS (veículo aéreo não tribulado) vem apresentando boas respostas no monitoramento de dados hidrológicos e morfológicos (SAMBOKO et al, 2020).

Com isso, a pesquisa teve como foco o monitoramento de uma bacia hidrográfica no semiárido paraibano, onde foram testados possíveis técnicas e equipamentos para a caracterização das dinâmicas vigentes. A bacia pertence a porção ocidental do cariri paraibano, se destaca pela extensa área de proteção ambiental e pelos eventos hidrogeomorfológicos de grande intensidade.

2. OBJETIVOS

Analisar as respostas hidrogeomorfológicas de rios não perenes submetidos a diferentes magnitudes e frequência de inputs hidrológicos no semiárido, tendo como estudo de caso a bacia do Riacho do Tigre (PB)

2.1 ESPECÍFICOS

- Analisar o padrão de inputs climáticos e suas respostas hidrológicas.
- avaliar as modificações hidrogeomorfológicas nos trechos analisados.
- Estabelecer relações entre o uso da terra e as dinâmicas hidrogeomorfológicas em setores específicos do riacho

3. FUNDAMENTAÇÃO

3.1 DINÂMICA FLUVIAL SEMIÁRIDA – COMPLEXIDADE, ESPECIFICIDADES, DINÂMICAS HIDROLÓGICAS E HIDROGEOMORFOLÓGICA EM REGIÕES SECAS

Com os avanços das pesquisas desenvolvidas nos ambientes semiáridos, é cada vez mais evidente a importância de estudos específicos para cada localidade, a diversidade paisagística encontrada na Caatinga não consegue ser explicada/compreendida a partir de leis gerais padronizadoras. O presente trabalho segue nessa mesma noção, o monitoramento dos trechos analisados buscou estabelecer uma tendência dos fenômenos existentes, levando em consideração as peculiaridades de cada paisagem, buscou-se entender suas condições evolutivas. Abaixo será exposto as bases que contribuíram para o monitoramento das dinâmicas hidrogeomorfológicas na região.

As análises ambientais a partir das noções da geomorfologia fluvial do semiárido, partem da concepção onde o ambiente é visto como um produto dinâmico, aberto, complexo e auto-organizado. Uma das bases que sustenta estas condições é a Teoria Geral dos Sistemas. De acordo com Ludwig Von Bertalanffy, o sistema ambiental é organizado a partir das interações constantes entre suas partes e os contínuos fluxos de energia e matéria (BERTALANFFY, 1973).

O sistema ambiental é organizado pela inter-relação entre seus elementos constituintes e movimentado pelas transições de energia e matéria dentro dele. Dependendo da intensidade e da frequência dos distúrbios que esse sistema ambiental será submetido, poderá ser desencadeado processos de organização, evolução ou até mesmo a destruição destas organizações ambientais (BERTALANFFY, 1973; MORIN, 1977).

Para a compreensão das condições ambientais presentes em uma área, seus processos evolutivos e possíveis impactos causados pelas intervenções antrópicas. É necessário o levantamento dos elementos ambientais da área, a

investigação da intensidade dos processos atuantes, da frequência dos eventos de alta magnitude, as principais ações antrópicas envolvidas e as eventuais transformações. As atividades humanas apresentam um papel primordial nas análises ambientais, uma vez, que constituem uma enorme capacidade de modificação do sistema ambiental, influenciando na sua organização e em seu equilíbrio dinâmico (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003; PHILLIPS 2011; SOUZA 2013; PHILLIPS 2019).

As mudanças partiram de noções locais e temporais, as paisagens evoluem de forma individual, como respostas aos fluxos de energia, a disponibilidade de sedimentos e aos mecanismos de resistência. Por isso, a necessidade de uma caracterização do ambiente estudado, o reconhecimento das condições locais possibilitará previsões sobre a condição inicial, a eficiência e a evolução do sistema (PHILLIPS 2011, PHILLIPS 2019).

A dinâmica ocorrente no sistema semiárido corrobora para a compreensão da evolução paisagísticas a partir de uma lógica não linear, os efeitos ampliadores e o individualismo proporcionam a reorganização do sistema. Isso é observado nos diversos sistemas ambientais, não é possível padronizar uniformemente suas dinâmicas e/ou suas evoluções. Os agentes atuantes locais e as atividades antrópicas apresentam grandes influências no funcionamento do sistema (PHILLIPS 2003, 2009 e 2015; SOUZA e ALMEIDA, 2015).

De acordo com Phillips (2006) assim como os sistemas complexos não são estáticos, a noção de equilíbrio também não perpassa uma condição estacionária, a saída ou a resposta do sistema não é necessariamente proporcional a entrada de energia, os eventos de caos ou distúrbios fazem parte e determinam as noções de equilíbrio dinâmico. O equilíbrio é estabelecido não como uma noção inerte, mas sim, dinamicamente instáveis, os sistemas geomorfológicos podem ser caóticos e equilibrados, depende do seu grau de eficiência e da escala espacial ou temporal analisada.

Pequenas modificações podem proporcionar respostas não proporcionais, eventos de curta duração podem gerar efeitos duradouros, a evolução do sistema pode gerar novas formas geomorfológicas, mais complexas e adaptáveis aos fluxos que as formas anteriores, os sistemas geomorfológicos apresentam múltiplas respostas estruturais e/ou aos processos de ajuste (PHILLIPS 2011).

Diante disso, as análises ambientais necessitam de um recorte espacial que seja capaz de evidenciar suas interações. A bacia hidrográfica é a unidade espacial ideal para a compreensão das dinâmicas paisagísticas presentes no semiárido, pois, advêm de uma visão holística e integradora, evidenciando a unidade enquanto processo-resposta. A bacia hidrográfica é uma unidade de análise sistêmica ao qual o subsistema fluvial faz parte, a partir dessa delimitação territorial é possível identificar o ajustamento das formas em face dos fluxos, ocasionando o entendimento sobre o comportamento fluvial (GRAF, 1983; CHRISTOFOLETTI, 1999; REID e FROSTICK, 2020; SOUZA, 2020).

3.2 DINÂMICAS HIDROLÓGICAS E HIDROGEOMORFOLÓGICAS EM REGIÕES SECAS

O desenvolvimento da rede de drenagem e dos tipos de canais fluviais estão diretamente ligadas as dinâmicas presentes no sistema geomorfológico. A ação fluvial corresponde a um dos principais agentes responsáveis pelas modificações e pelo desenvolvimento da morfologia em terras secas. Associado as chuvas torrenciais e as condições ambientais vigentes, o escoamento fluvial intensifica os processos erosivos e geram condições de evolução (GRAF, 1983).

A rede de drenagem é um processo complexo e contínuo, baseado no princípio de maior eficiência de escoamento e menor consumo de energia. Já os tipos de canais fluviais, são desenvolvidos enquanto mecanismo de ajuste aos diversos elementos geradores do sistema geomorfológico. A forma dos canais é admitida enquanto produto das interações ocorridas no sistema (GRAF, 1983; CHRISTOFOLETTI, 1981; MATTOS E PEREZ FILHO, 2004.).

A retomada dos fluxos hidrológicos nos canais fluviais no semiárido estão ligados a diferentes processos, como a sazonalidade climática, o escoamento superficial e baixa capacidade de retenção de água no solo. Vale salientar, que tais condições ambientais proporcionam o desenvolvimento de fluxos de grande energia, mas com baixa temporalidade de ocorrência e sem competência perene, caracterizando os fluxos efêmeros e intermitentes.

Os canais efêmeros são corpos d'água que desenvolvem vazão de curta duração, podendo variar de horas a poucos dias após o evento chuvoso. Já os canais intermitentes apresentam maior conservação de seus fluxos superficiais, nesses canais a dinâmica hidrossedimentológica expressa maior duração dentro do período chuvoso. Para ambos os canais a ausência de fluxo é dada como condição normal para o ambiente fluvial, pois o período seco é mais expressivo durante o ano (CHRISTOFOLETTI, 1981).

O ambiente semiárido os fluxos superficiais têm menor duração que os subsuperficiais ou hiporreicos, o simples fato de não haver água na superfície do canal não significa dizer que não há dinâmica hidrológica. Nesses ambientes, no início do período chuvoso há uma maior tendência ao fluxo hortoniano, o que proporciona uma grande comunicação hidrossedimentológica entre a vertente e o leito fluvial (BULL e KIRKBY, 2002; SOUZA e ALMEIDA, 2015).

A acumulação do material sedimentar no leito proporciona a formação dos aquíferos aluvias, esses depósitos protegem a água da evaporação e preservam os fluxos subsuperficiais (COSTIGAN et al., 2017). Os episódios de fluxo hortoniano estão associados a eventos de alta magnitude de modificação, a energia de distúrbio gerada por esse processo é capaz de proporcionar novos parâmetros evolutivos para os ambientes fluviais (SOUZA e ALMEIDA, 2015).

Como bem-visto, os rios efêmeros de leito arenosos são corpos hídricos muito dinâmicos e sensíveis. A presença de solos pouco desenvolvidos contribui com a formação de sedimentos grosseiros e mais resistentes ao transporte; a característica climática desenvolve fluxos de alta intensidade e a baixa temporalidade, a diminuição do gradiente a jusante influencia na sedimentação etc. A ocorrência desses fatores ambientais, proporcionam que esse tipo de rio não tenha competência para transmitir os sedimentos para fora de sua bacia. Os acúmulos de sedimento proporcionados por essa dinâmica formam a área hiporreica no leito fluvial (STARK et al, 2021)

Esses depósitos hidrossedimentológicos influenciam diretamente no desenvolvimento e na distribuição das vegetações na mata ciliar. A capacidade de armazenamento desses depósitos interfere na capacidade de perpetuação da vegetação em condições verdes (WANG, 2017). Os fluxos subsuperficiais são responsáveis por conectar essas unidades no sistema, sua ocorrência é associada a diversos fatores, como: a textura do leito, a forma em planta do

depósito, eventos de precipitação, ao gradiente do canal etc (COSTIGAN et al., 2017).

A transmissão dos fluxos superficiais e subsuperficiais é uma força motriz para as dinâmicas do semiárido. Por exemplo, as chuvas de grande intensidade formam fluxos laminares de elevado potencial erosivo nas margens, contribuem com o aporte de sedimento no leito (SOUZA e HOOKE, 2021). Já no leito do canal, as modificações geomorfológicas estão ligadas a dinâmica dos fluxos de escoamento fluvial. As características dos grãos nos depósitos sedimentares favorecem o transporte de carga de fundo, em algumas ocasiões os fluxos de carga de fundo ocorrem até com baixa energia de transporte (STARK *et al*, 2021; BILLI *et al*, 2021).

Em alguns ambientes, os eventos de alta magnitude de vazão são capazes de extravasar os fluxos do leito e inundar as planícies de inundação, a interação desse fluxo com a unidade pode acarretar diferentes condições evolutivas. A energia pode ser dissipada na zona de inundação, perdendo a capacidade de transporte e depositando o material na unidade. Como também, fluxos muito intensos podem erodir a planície de inundação e transportar seus sedimentos para outras unidades deposicionais, contribuindo a jusante com outras dinâmicas (LIMA *et al*, 2019).

Ou seja, as dinâmicas hidrosedimentológicas nos canais não perenes de leito arenoso ocorrem sobre um dinamismo muito elevado, o sistema ambiental semiárido apresenta diversos elementos constituidores, com influências, intensidades e ações diferentes. Uma maneira de entender essas relações é a partir das análises da conectividade da paisagem. Essa abordagem foi organizada no início dos anos 2000 (HOOKE 2003) e apresenta um parâmetro para compreender a evolução da paisagem a partir da capacidade de transmissão entre suas unidades de paisagem (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006; SOUZA *et al*, 2020).

A conectividade estabelece um parâmetro para avaliação fluvial. Desenvolve uma perspectiva de compreensão da paisagem a partir da relação entre as unidades e as dinâmicas dos seus fluxos. Na conectividade é compreendido a transmissão sobre três dimensões: longitudinal, lateral e vertical, esses fluxos possibilitam as dinâmicas sobre os diferentes ambientes fluviais, tanto superficial, quanto subsuperficial (SOUZA *et al*, 2020).

A conectividade possibilita a elaboração de um parâmetro evolutivo para as paisagens. Desenvolve uma caracterização das áreas a partir de uma ótica processual e histórica, capaz de apresentar meios de uso e ocupação menos impactantes ou até potencialidades de recuperação ambiental para áreas degradadas (SOUZA e HOOKE 2021). Uma forma de entender os parâmetros da conectividade é a partir das noções sobre os elementos conexos e desconexos.

Esses elementos influenciam ativamente a paisagem fluvial e são concebidos pela sua função nos processos evolutivos do sistema ambiental. Os elementos conexos são aqueles que potencializam os processos de produção e comunicação hidrossedimentológica entre o sistema. Os elementos desconexos são impedimentos que aprisionam os fluxos de água e sedimento, proporcionando a deposição e o acúmulo de material nos diversos compartimentos da paisagem fluvial (BRIERLEY, FRYIRS e JAIN, 2006; SOUZA, CORREA e BRIERLEY, 2016).

Nos ambientes semiáridos os elementos de conexão e desconexão são potencializados pelo regime hidrológico. Como as dinâmicas climáticas no clima semiárido ocorrem de forma concentra em poucos meses do ano, os fluxos hidrossedimentológicos acabam tendo maior expressão apenas no período chuvoso. Assim, os períodos de estiagem estão ligados a perca de transmissão entre os ambientes fluviais e o retorno das chuvas marca a retomada das dinâmicas de transmissão (SOUZA, CORREA e BRIERLEY, 2016).

Os fluxos de conexão do regime semiárido apresentam modificações, também, no decorrer do período chuvoso. No início desse período há uma maior conexão das encostas, pois nestes ambientes de solos frágeis e de baixa massa vegetal, a atuação do fluxo hortoniano gera maiores taxas erosivas. No mesmo momento sobre os leitos temos outra dinâmica, nem todo escoamento terá capacidade de desenvolver fluxo no canal, a vazão estará relacionada com os níveis de saturação dos leitos aluviais (SOUZA e HOOKE 2021).

Com a continuação do período chuvoso os ambientes se modificam, a vegetação se desenvolve, a zona hiporréica é saturada e há a formação de vazão no canal. O desenvolvimento da vegetação sobre as encostas forma barreiras para a conexão dos fluxos hidrossedimentológicos. Por outro lado, com

os depósitos recarregados há uma maior probabilidade dos eventos de precipitação gerarem vazão no canal (SOUZA e HOOKE 2021).

No final do período chuvoso, ocorre a diminuição progressiva dos fluxos fluviais, a diminuição/ausência de vazão no canal, o que gera descontinuidade no transporte hidrossedimentológico. A perda de transmissão no contínuo fluvial proporciona a deposição de sedimento no leito e a formação de distintas feições geomórficas nos canais (LUDWIG, 2005; SUTFIN et al. 2014).

Como colocado anteriormente o processo de perda de transmissão hidrossedimentológica gera a formação de depósitos aluvionares (LIMA, 2016), incluindo a formação de leitos arenosos. Os depósitos de leitos arenosos normalmente aluviais são de baixa profundidade, sua espessura varia entre dois e seis metros (podendo variar devido a condicionantes locais), apresentam composição sedimentar heterogênea, boa porosidade e uma elevada permeabilidade. Essas unidades são formadas por uma grande variedade de textura e granulometria, os matéria mais comuns são o silte, argila, areia e cascalho (SANTOS, FREIRE e SOUZA, 2009).

A variedade sedimentar encontrada nesses depósitos proporciona muitos espaços entre os grãos e uma maior capacidade de percolação da água, chuvas acima de 100 milímetros já apresenta um potencial a recarga (SANTOS *et all*, 2009). Os aquíferos aluviais desempenham um papel importante na dinâmica natural e socioeconômica para o sistema semiárido.

As feições geomórficas desenvolvidas nos canais podem ser diferenciadas pela localização de sua ocorrência, os sedimentos acumulados no meio do leito são chamados de as barras centrais e os sedimentos acumulados nas margens dos canais são as barras laterais. As barras podem ser constituídas por depósitos de areia e/ou cascalho (materiais mais grossos), sua formação e desenvolvimento está associada a diversas condições da dinâmica fluvial. Elementos como a textura do material sedimentar, a geometria do depósito, a sua localização no ambiente fluvial, os fluxos superficiais e a cobertura vegetal influenciam nas condições de estabilidade desses depósitos (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

As modificações nessas unidades estão ligadas as suas condições de estabilidade, quanto mais parâmetros de estabilidade tiver um depósito mais difícil será para esses sedimentos serem conectados ao contínuo fluvial. Essas

unidades deposicionais tendem a ser retrabalhadas a partir dos eventos de alta magnitude de vazão no canal, quanto maior a magnitude do evento maior será sua capacidade de modificação (BRIERLEY e FRYIRS, 2005).

As unidades geomórficas armazenam as informações sobre seus processos de formação e evolução, a partir das análises dessas unidades é possível inferir suas dinâmicas ambientais e seus principais condicionantes (BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Ou seja, o entendimento sobre os processos atuantes nos depósitos só é constatado com as análises na própria unidade. Cada depósito sedimentar terá condições íntimas de desenvolvimento e evolução.

Por exemplo, os fluxos de água, sedimento e nutrientes entre as encostas e o canal pode gerar barras laterais e que a instabilidade dos fluxos de carga de fundo pode gerar barras centrais, mas não se pode afirmar que sempre essas unidades serão formadas sempre dessa forma. Pois um evento de fluxo pode gerar entalhamento no leito arenoso e individualizado as formas ou outras dinâmicas podem ser responsáveis pelas unidades (STARK, 2021).

Ressalta-se, que as dinâmicas descritas se aplicam aos depósitos aluvionares no semiárido brasileiro, mais especificamente nas áreas de rocha cristalina em área tropical, onde são encontradas áreas arenosas rasas que armazenam água em subsuperfície, mas não pode ser generalizado para todos os ambientes em terras secas.

Por exemplo, os aquíferos no semiárido Chines, mesmo desenvolvidos em áreas arenosas seus depósitos de água são encontrados em ambientes profundos o que acaba desenvolvendo outras dinâmicas. A vegetação, por exemplo, desempenha um papel diferente na recarga dos aquíferos profundos, nesses ambientes a camada radicular formada pela vegetação em subsuperfície proporciona barreiras para a percolação da água, dificultando a chegada de águas em zonas mais baixas (LIU *et al*, 2022).

As águas que advém da precipitação apresentam menores capacidade de influência nos aquíferos profundos. O momento de maior recarga desses depósitos é quando há a formação e a continuidade dos fluxos superficiais. Grandes eventos de precipitação também desempenham um papel importante no nível dos depósitos, pois desencadeiam a saturação do terreno e desenvolve

fluxos superficiais com capacidade de percolação profunda em áreas arenosas semiáridas. (LIU *et al*, 2022).

Outro fator relevante para a dinâmica hidrogeomorfológica em terras secas é a vegetação, especialmente as sazonalidades ecohidrológicas. Seu desenvolvimento está associado a condições de estabilidade para área, a vegetação é um elemento que contribui com barreiras para os fluxos hidrossedimentológicos. Sua camada radicular contribui com a sedimentação da área, acumula umidade e nutrientes. (MORGAN *et al*, 2020)

A vegetação para conservação hídrica é uma importante aliada, um ambiente vegetado disponibiliza mais formas de captação e conservação hídrica, a camada de raiz abre um caminho mais fácil sobre o solo para a infiltração, aumenta a recarga das áreas subterrâneas e diminuí os fluxos superficiais. A presença da vegetação, também, é um indicativo de estabilidade. Nos depósitos/morfologias sedimentares a massa vegetal está associado a condições de mais resistência aos processos erosivos, já que, seu crescimento necessita de tempo para acontecer (MANNING *et al*, 2020).

Influenciando, também, na transferência de água para a atmosfera, as camadas vegetais interceptam os raios solares, diminuem a temperatura do solo e a evaporação. torna os solos mais úmidos e propícios ao desenvolvimento vegetal. De acordo com Wang *et al* (2017), a qual fizeram um estudo sobre a hidrodinâmica em zonas hiporreicas com e sem vegetação. A presença da vegetação influencia diretamente no aporte de água nos níveis mais superficiais do solo. Foi percebido uma variação de até 30% na quantidade de umidade na camada superficial do solo quando comparado a mesma área com vegetação e sem vegetação.

Com o início do período chuvoso, essa propensão para infiltração das áreas vegetadas contribui com a recarga dos aquíferos aluviais e com a elevação do nível hiporreico. Com a água mais próxima da superfície as vegetações de menor porte (gramíneas e herbáceas) conseguem crescer e se desenvolver sobre o leito e formar novos parâmetros de estabilidade. Com o final do período chuvoso, os depósitos diminuem progressivamente seus níveis de água em subsuperfície e as vegetações menores tendem a morrer (MANNING *et al*, 2020).

Já o estrato arbóreo há variações na dinâmica. Por apresentarem um maior complexo radicular, esses indivíduos são capazes de utilizar os aquíferos por mais tempo, apresentando sazonalidade mais prolongada, especialmente na manutenção da biomassa após o período chuvoso. Por esse motivo também, que é notado um maior predomínio das espécies de porte arbóreo nas matas ciliares. A presença das espécies arbóreas no ambiente fluvial colabora com os processos estabilização das margens e das feições geomórficas (MORGAN 2020).

Vale salientar, que só o fato de haver vegetação não garante a um ambiente condições de resistência, pois a estabilidade está interligada à intensidade dos fluxos superficiais e a sua capacidade de resistência. Como por exemplo, em margens erosivas a vegetação de grande porte contribui com o processo de dissecação. Fluxos de vazão intensas podem remover as árvores dos depósitos aluviais e utilizá-las para potencializar os transportes de carga de fundo (MORGAN 2020).

3.3 METODOLOGIAS DE MONITORAMENTO DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA EM CANAIS NÃO PERENES

A dinâmica hidrogeomorfológica em canais não perenes é um campo de estudo crucial para entender e gerenciar as características e mudanças em ecossistemas de regiões áridas e semiáridas. Na busca por compreender os processos complexos que ocorrem nestes ambientes, uma variedade de metodologias vem sendo desenvolvida e aprimorada ao longo dos anos. Uma abordagem amplamente utilizada envolve a combinação de técnicas de sensoriamento remoto, dados geoespaciais e medições de campo (IBITOYE, 2021; HOOKE et al., 2021; RODRIGUES et al., 2023).

O sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental no monitoramento de canais não perenes. Imagens de satélite e dados de sensoriamento remoto de alta resolução permitem a identificação e o mapeamento de canais, bem como a avaliação das mudanças sazonais na

vegetação e dos principais processos geomorfológicos atuantes (SAMBOKO et al., 2020; SOUZA et al., 2021).

O monitoramento de campo é outra etapa de extrema importância na utilização dessas ferramentas. As equipes de pesquisa coletam dados hidrológicos, sedimentológicos e geomorfológicos em locais estratégicos, utilizando instrumentos como GPS, medidores da lâmina d'água (HOOKE, 2007), pinos erosivos (ANDRADE et al., 2018) e sonda multi-paramétrica (SILVA et al., 2023). Esses dados são essenciais para calibrar e validar modelos, além de fornecer informações detalhadas sobre a dinâmica local dos canais não perenes.

Uma abordagem inovadora no monitoramento da dinâmica hidrogeomorfológica em terras secas é o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones. Os drones oferecem uma série de vantagens, como acessibilidade a áreas remotas, custo mais baixo em comparação com outros equipamentos de obtenção de aerofotogrametria, alta resolução espacial e capacidade de obter uma variedade de dados. A utilização dos drones para análises ambientais no semiárido vem ganhando expressividade (RHEE et al., 2018).

Os drones podem ser utilizados, por exemplo, para o mapeamento das feições hidrogeomorfológicas no ambiente fluvial em canais não perenes. Os VANTs sobrevoam a área-alvo, capturando imagens aéreas de alta resolução que podem ser processadas por meio de técnicas de fotogrametria e utilizadas para o monitoramento evolutivo dos trechos. Essa ferramenta permite a criação de modelos digitais de elevação (MDE) e OrthoMosaics de alta precisão, produtos importantes nas análises, pois revelam detalhes da topografia, erosão e sedimentação nos canais (HEMMELDER et al., 2018; CARRIVICK et al., 2019).

Os drones também podem ser utilizados para a detecção de mudanças na vegetação e nos processos que influenciam as comunidades vegetais. Na região de Maiorca, Espanha, uma pesquisa desenvolvida na região do Mediterrâneo utilizou drones para análises da vegetação. No trabalho de

ESTRANY et al. (2018), as imagens multiespectrais geradas foram utilizadas para a aplicação de índices que contribuíram para uma abordagem integrada, visando compreender como a conectividade hidrológica e sedimentar interagem com a vegetação. Os autores indicam diversos usos:

Análise de Erosão e Sedimentação: A erosão e sedimentação são processos críticos em canais não perenes. Drones podem ser usados para capturar imagens antes e depois de eventos de vazante, permitindo a quantificação das mudanças na geometria do canal e na distribuição de sedimentos. Isso fornece informações valiosas para o gerenciamento de recursos hídricos e a prevenção da degradação do solo.

Monitoramento de Parâmetros Hidrológicos: Alguns drones podem ser equipados com sensores que medem diretamente parâmetros hidrológicos, como níveis de água e temperatura. Isso é especialmente útil para monitorar a disponibilidade de água nos canais e entender como os padrões de fluxo mudam ao longo do tempo.

Estudos de Comportamento da Fauna: Drones também podem ser utilizados para estudar a fauna que habita os canais não perenes. Por exemplo, eles podem ser usados para observar e registrar comportamentos de aves aquáticas, anfíbios e outros animais que dependem desses ambientes temporários.

O uso de drones no monitoramento da dinâmica hidrogeomorfológica em canais não perenes tem revolucionado a coleta de dados e permitido uma visão mais abrangente e detalhada desses ambientes. A combinação de sensoriamento remoto via drone, geoprocessamento e técnicas de modelagem contribuem para um entendimento mais profundo dos processos e da evolução desses sistemas fluviais, auxiliando na tomada de decisões informadas para sua conservação e manejo sustentável (CARRIVICK et al., 2019).

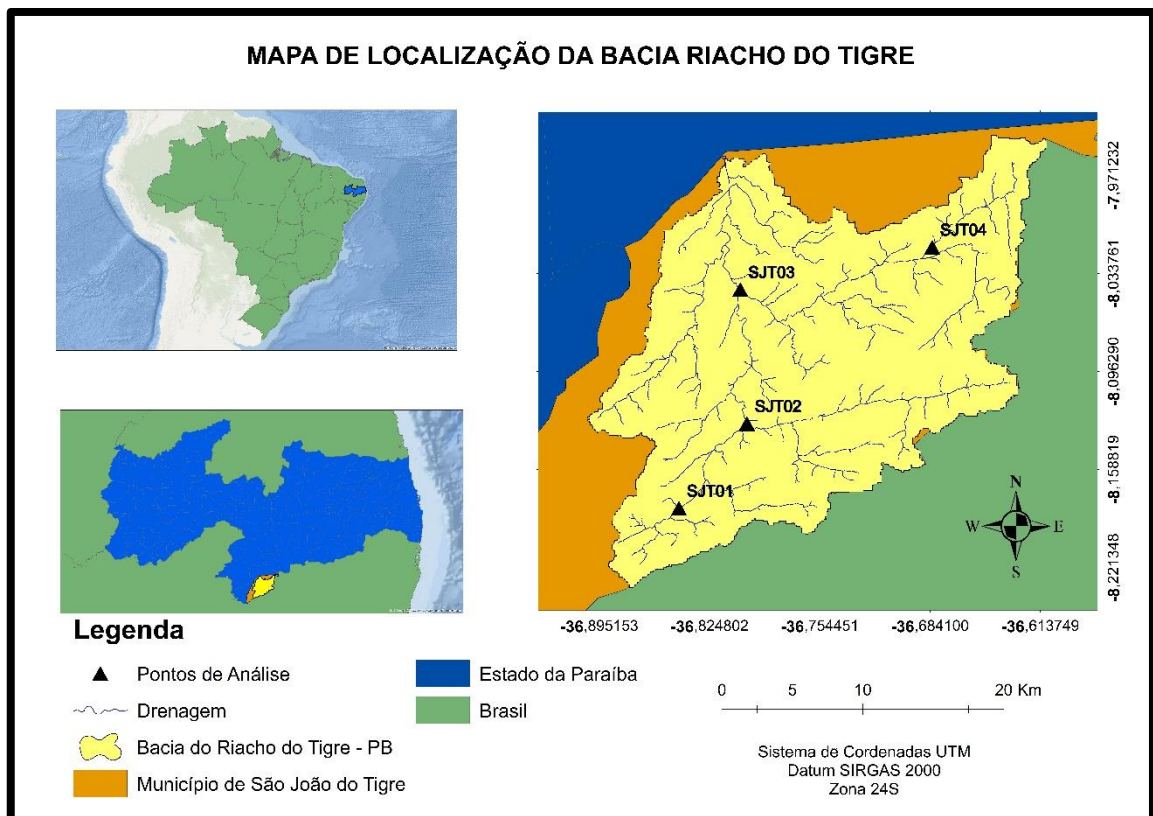
O mapeamento detalhado geomorfológico é uma aplicação específica onde o aerolevanteamento de alta definição feito pelo drone vem subsidiando novas pesquisas. Por exemplo, Xavier et al. (2022) utilizaram o equipamento para mapear as feições erosivas em uma bacia hidrográfica do semiárido paraibano, concluindo que os levantamentos aerofotogramétricos foram

fundamentais para identificar, caracterizar e especializar as feições erosivas, sendo eficazes na produção de mapeamentos geomorfológicos com alta resolução de detalhes.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica Riacho do Tigre constitui o objeto de estudo dessa dissertação, sua área compreende uma extensão territorial de 560 km², estando localizado no extremo sul da Paraíba (figura 1). A drenagem Riacho do Tigre contempla os limites do município São João do Tigre, que este localiza-se no semiárido paraibano. O clima predominante é o tropical semiárido, a vegetação é composta por caatinga hiperxerófila, o regime fluvial é formado por padrões fluviais não perenes.

Figura 1 Mapa de localização da bacia do Riacho do Tigre- PB



Fonte: Elaborado pelo autor.

O município de São João do Tigre é o quarto maior do estado da Paraíba em extensão territorial, totalizando 812.617 km² (IBGE 2021 a). Seu território tem como região intermediária Campina Grande e sua região imediata é Monteiro. Tem como municípios limítrofes: Camalaú (PB) ao norte, São Sebastião do Umbuzeiro (PB) ao oeste, Porção (PE) ao sul e Jataúba ao leste (IBGE 2021 b).

A geologia da área é constituída por diversas unidades geológicas, a grande maioria são formações bem antigas e apresentam um complexo de rochas ígneas e metamórficas. Além dessas unidades, há a presença de um compartimento mais recente e localizado, formado por depósitos sedimentares. Com relação às primeiras unidades, de acordo com a carta geológica da folha Pesqueira (1:100.000), a bacia do Riacho do Tigre apresenta as seguintes unidades geológicas: Suíte intrusiva Itaporanga; Suíte intrusiva Vila Moderna; Complexo Pão de Açúcar; Complexo Riacho do Tigre, Complexo Sertânia e Unidade Ortognaisse São João do Tigre. Essas unidades remontam das eras Paleoproterozoica e Neoproterozoica formadas há mais de 541 milhões de anos. Além disso, seus principais litótipos são variações de granito, gnaisse, mármore, diorito, gabro, biotita e quartzo (CPRM, 2015).

A unidade geológica mais recente da bacia tem seu desenvolvimento atrelado a antigas dinâmicas fluviais. Denominada como depósitos aluvionares e de terraços, sua formação está ligada ao neogeno, um período da era cenozoica que perdurou entre 23 milhões há 30 mil anos. Essa unidade é formada por litótipos de areia, argila e cascalho, sua ocorrência está atrelada a áreas fluviais, podendo ser encontrada atualmente nos leitos e nas margens dos rios (CPRM, 2015).

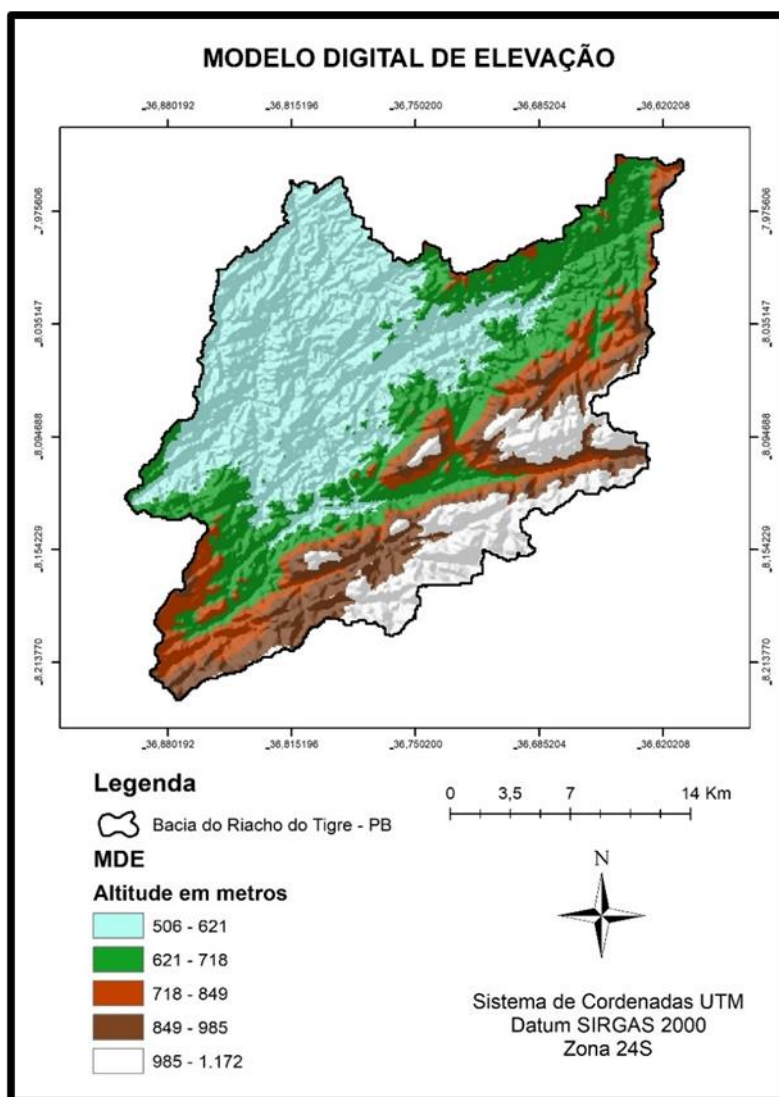
A partir das observações sobre o mapa hipsométrico da bacia Riacho do tigre (figura 2), é possível perceber os fluxos dinâmicos dos processos e seus principais condicionantes. Como pode ser percebido no mapa, a bacia registra altitudes que variam de 506 m a 1.172 m, toda sua área está em uma altitude mais elevada, mas há setores onde é percebido uma abrupta quebra de declive. Essas rápidas variações de altitude são evidências da influência dos domínios morfoestruturais na configuração da paisagem.

Ao Noroeste estão as áreas mais rebaixadas que correspondem as cotas topográficas entre 506m a 600m, nessas áreas a diminuição da altitude é devido aos intensos processos erosivos atuantes no planalto da Borborema. Segundo Corrêa *et al.* (2010), dois anfiteatros erosivos com exutório para o Atlântico proporcionaram esse rebaixamento no local. Nesse compartimento mais plano e rebaixado que está localizada a foz do Riacho do Tigre, a área em que o rio do Espinho recebe mais um tributário.

O nível dos compartimentos topográficos se eleva progressivamente no sentido nordeste sudeste, a segunda conta mais baixa está entre 600 m a 750 m, essa corresponde ao médio curso do Tigre. São áreas que marcam a transição entre os domínios, recebem muitos fluxos hidrossedimentológicos dos maciços residuais e acabam tendo um maior acúmulo de sedimento em determinados trechos. O terceiro compartimento topográfico apresenta os valores entre 750 a 900 m, essas altitudes são registradas em áreas mais pontuais, sua maior distribuição está a sudeste da bacia.

Os dois últimos compartimentos topográficos correspondem aos maciços residuais da zona transversal, são caracterizados por altitudes superiores a 900m, essas áreas são marcadas pelos afloramentos rochosos que formam as cristas e cimeiras, enquadrando nesse compartimento as áreas mais elevadas da bacia, como a serra do Paulo que corresponde a um dos mais altos pontos da paraíba (1147 m).

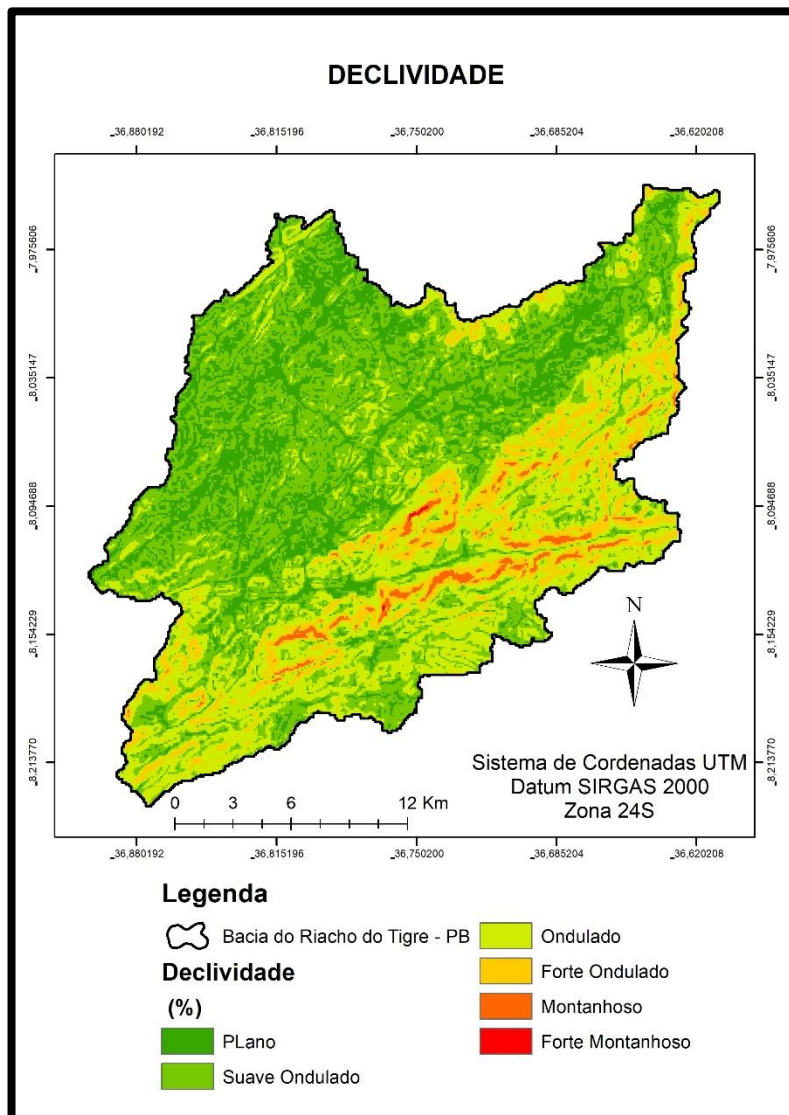
Figura 2 Mapa hipsométrico da bacia Riacho do Tigre



Fonte: Elaborado pelo autor.

A declividade da bacia exhibe valores de 0% a 114,7%, mas mesmo com essa grande variação os compartimentos são bem homogêneos. No geral a bacia registra valores mais moderados, variando de 0% a 15,7%, formando feições levemente ondulados. Os maiores valores estão concentrados ao sul da bacia, as áreas mais elevadas apresentam valores entre 41,9% e 114,7% de inclinação, desenvolvem áreas montanhosas e delimitam a serra do Paulo e a serra de Santa Maria. Já os outros valores de declividade, 15,8 a 41,8, são encontrados na transição entre os compartimentos mais planos e o montanhoso (Figura 3).

Figura 3 Mapa de declividade da bacia Riacho do Tigre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A grande extensão do município e a forte influência estrutural contribui para o desenvolvimento de diversas paisagens ambientais. A bacia hidrográfica Riacho do Tigre está assentada ao norte sobre o planalto da Borborema, no setor da depressão intraplanáltica paraibana. Ao Sul está assentada sobre os maciços remobilizados do domínio zona transversal (FRANCO E SOUZA, 2019). A existência desses dois domínios morfoestruturais garante um forte controle no desenvolvimento do relevo, do solo, no padrão de drenagem e na vegetação da área de estudo.

As dinâmicas climáticas presentes na bacia Riacho do Tigre demonstram uma tendência característica das paisagens mais ao sul da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. Segundo Sila *et al* (2018), as chuvas na região do Cariri

Ocidental Paraibano são mal distribuídas, as porções Oeste e Sul apresentam as menores média de precipitação, suas chuvas também são irregulares e de baixa distribuição da região.

A média anual de precipitação no Tigre foi de 460,54 mm. As chuvas são distribuídas entre janeiro a maio, tendo março como o mês mais chuvoso. O período seco vai de junho a dezembro, as chuvas vão gradativamente perdendo intensidade com agosto marcando o período seco e setembro o mês mais seco, no mês de dezembro as chuvas começam a reaparecer.

A concentração do período chuvoso pode ser explicada pela influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), esse fenômeno climático tem atuação na região no período de fevereiro a maio. De acordo com Araújo *et al* (2009), o mês de março a ZCIT alcança seu máximo de influência na região, gerando uma maior precipitação nos meses de março.

Nos anos mais seco é possível identificar também a influência de fenômenos climáticos de grande escala. Quando associado a recorrência do fenômeno climático El Niño é possível ver uma propensão a baixa precipitações, os anos onde o El Niño apresentou maior intensidade (forte) foram anos mais secos na região (DINIZ *et al* 2020). A recorrência de anos secos reflete que a normalidade para o ambiente é o fenômeno de seca, os eventos de grande acúmulo e alta magnitude são elementos pontuais e rotineiros.

Em relação aos solos, a bacia Riacho do Tigre apresenta uma grande homogeneidade. São encontrados o Neossolos, variações do Planossolos, Argissolos e o Luvisolos. Argissolo vermelho-amarelo eutrófico são solos com maior desenvolvimento pedogenético, em sua camada superficial apresentam características mais arenosas e à medida que a profundidade aumenta a proporção de argila cresce. São encontrados em áreas mais planas da bacia, onde ocorre a transição dos compartimentos.

O Neossolos Litólicos Eutróficos são solos rasos, pedregosos, resistentes ao intemperismo e uma elevada disposição a erosão. Apresentam baixo desenvolvimento pedogenético e de horizontes (EMBRAPA 2018). Esse tipo de solos é o mais abundante na bacia, sendo encontrado em áreas montanhosas, forte ondulado, suave ondulado e planos (LIMA, 2018).

É observado, também na área, a presença do planossolo Nátrico órtico, do Planossolo háplico Eutrófico e do Luvisolos Crômicos Órtico. O planossolo é um solo que apresenta características mais arenosas em seu horizonte A, normalmente há uma elevação de argila com a profundidade. São solos com estrutura fraca e má drenagem. Na bacia as variações desses solos ocorrem em grandes altitudes e relevo mais suave (SOUZA, *et al.* 2015; EMBRAPA, 2018). O Luvisolos Crômicos Órtico é o último tipo de solo presente na bacia, ocorre em uma grande área a noroeste, esse solo configura um perfil pouco profundo, a ausência de água contribui com o baixo desenvolvimento pirogênico. É encontrado em áreas de baixa altitude e relevo plano ou suavemente ondulado.

No geral essa bacia apresenta uma elevada taxa de conservação da vegetação, é possível notar áreas bem vegetadas e com baixo nível de modificações. Grande parte dessa preservação é graças a APA das Onças que corresponde a 41% do território do município (LIMA 2013). A presença da APA no município necessita de um maior rigor de administração, mesmo sendo um território de proteção ambiental administrado pela SUDEMA, não há nenhum plano de manejo ou proposta sustentável para a APA. Esse fato atrelado as características ambientais da área, contribui para o desenvolvimento de índices alarmantes de fragilidade, de acordo com o trabalho desenvolvido por Silva e Souza (2020). Segundo os autores, na APA das Onças é constatado níveis médios, altos e altíssimos de fragilidade.

O riacho do Tigre, objeto de estudo dessa dissertação, desenvolve características de fluxo intermitente e efêmero. A variação hidrossedimentológica presente permite a acumulação sedimentar no canal e o desenvolvimento de barras e ilhas. Em toda sua extensão o riacho apresenta boas condições de conservação, mas também ocorre áreas pontuais degradadas (SILVA, 2019).

O Riacho do Tigre desenvolve em toda sua extensão leito arenoso, em algumas áreas esse leito é mais fino e recobre o afloramento rochoso e em outras, o nível do depósito supera os 20 metros de profundidade. Nos trechos onde o depósito sedimentar no leito é mais espesso temos a formação de áreas propícia ao desenvolvimento dos aquíferos aluviões. Esses corpos hídricos subterrâneos são marcados por baixa profundidade, alta infiltração e grande capacidade de permanência. Um dos principais usos direto do riacho pela

população é a captação de água, principalmente a partir de poços amazonas (SILVA, 2019).

Outra característica desse riacho é a intensidade dos seus eventos de vazão. Segundo Cunico *et al* (2023), o município de São João do Tigre se destaca pelo número de decretos de calamidade pública devido a desastres hidrometeorológicos do estado da paraíba (entre 2003 a 2016). Ainda segundo a pesquisa, o município apresentou a quinta colocação na classe muito alta, dentre o estado, do Índice de Risco de Desastre de Inundação, e, a sexta colocação da classe muito alta do Índice de Risco de Desastre Climáticos aplicado para a região do cariri/curimataú. Ou seja, os eventos de alta magnitude além de proporcionar grandes modificações das dinâmicas hidrogeomorfológicas, também oferece impactos ao modo de vida da população.

5. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos nessa pesquisa tiveram como objetivo o monitoramento das dinâmicas hidrogeomorfológicas em rios efêmeros e/ou intermitentes. Levando em consideração a complexidade do sistema semiárido, foram utilizadas abordagens capazes de identificar, mapear e caracterizar os ambientes fluviais.

Pensando em uma melhor descrição da metodologia da pesquisa, o texto foi subdividido com base nas etapas de execução do trabalho. Inicialmente será explicado os processos envolvidos na escolha dos trechos de monitoramento, expondo quais características foram levadas em consideração para as definições. Após isso, como ocorreu o monitoramento dos eventos chuvosos e de vazão, quais foram as técnicas de coleta utiliza. por fim será descrito, como isso influenciou nas variações morfológicas e na evolução fluvial do Riacho do Tigre

5.1 ESCOLHA DOS TRECHOS DE MONITORAMENTO

O levantamento das condições ambientais da área é um passo crucial na definição dos trechos a serem monitorados. Compreender as dinâmicas ambientais vigentes é essencial para identificar os pontos mais representativos. O levantamento bibliográfico e o sensoriamento remoto foram as principais fontes para caracterizar o ambiente.

Os estudos e relatórios técnicos previamente realizados sobre o município do Tigre foram fundamentais para reunir informações ambientais. Destacam-se os trabalhos conduzidos pelo professor Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza e seu grupo de pesquisa (GEAFS). A CPRM conduziu diversos estudos na região, incluindo um diagnóstico do município de São João do Tigre para o projeto de cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea (CPRM, 2005).

A partir desses levantamentos anteriores e da análise de imagens de satélite do Google Earth, foram selecionadas as áreas de maior interesse para o trabalho de campo exploratório. O objetivo ao definir os trechos de visita foi abranger as complexidades paisagísticas da região, sendo crucial acompanhar as diversas dinâmicas fluviais para compreender seu comportamento. O campo exploratório foi realizado entre os dias 18 e 19 de janeiro de 2020, resultando na definição de quatro trechos para monitoramento.

5.2 MONITORAMENTO EM CAMPO

Com os trechos já definidos, foram demarcados os campos de monitoramento, os quais tinham como objetivo acompanhar a evolução das dinâmicas fluviais na bacia do Riacho do Tigre. As informações ambientais foram coletadas a partir das imagens aéreas produzidas pelo Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), pela medição dos dados de vazão máxima, pelo registro fotográfico e pelas informações fornecidas pela população local.

O VANT utilizado nos monitoramentos foi o modelo Phantom 3 SE, equipado com um sistema de visão descendente que, associado à sua câmera de alta resolução, possibilita imagens com elevado detalhamento. As missões de voo foram planejadas utilizando o aplicativo DroneDeploy, com altitude de 60 m (possibilitando uma resolução de 1,4 cm/px), velocidade de mapeamento entre 5 e 8m/s e grade de imagens com sobreposição frontal de 75% e sobreposição lateral de 70%. Em todos os campos de monitoramento, foi utilizada a mesma missão de voo, o que permitiu a coleta de informações com as mesmas dimensões espaciais.

Durante as idas a campo, foi possível observar as modificações paisagísticas nos trechos, os elementos mais notáveis foram registrados em uma ficha de campo. Nesse documento, há um roteiro para a coleta das informações necessárias no monitoramento, incluindo informações comuns monitoradas em todos os pontos e informações específicas relacionadas às condições evolutivas de cada trecho. A ficha de campo foi elaborada no início da pesquisa, após a

definição dos trechos de monitoramento, estabelecendo quais elementos da paisagem dentro desses pontos poderiam evidenciar as modificações fluviais.

Foram realizados 23 campos de monitoramento no total, onde após análises com meu orientador, foram selecionados os campos com maiores variações na paisagem. Com isso, foram escolhidos 11 campos para análise, a temporalidade das visitas estava relacionada às dinâmicas climáticas: nos períodos chuvosos, a frequência das visitas foi maior do que nos períodos secos.

Inicialmente no projeto, estava planejada a realização de campos a cada 15 dias, durante o período chuvoso, e campos apenas nos períodos secos após a ocorrência de eventos de chuva. Entretanto, devido à explosão da pandemia da COVID-19 e a problemas com a disponibilidade de veículo para as idas a campo, não foi possível manter esse padrão de temporalidade. Por fim, as datas dos campos selecionados buscaram evidenciar as dinâmicas dos anos hidrológicos (tabela 1).

*Tabela 1*Datas dos campos de monitoramento

Datas dos campos de monitoramento	
1º Campo	18 e 19 de janeiro de 2020
2º Campo	08 e 09 de fevereiro de 2020
3º Campo	06 e 07 de março de 2020
4º Campo	08 e 09 de dezembro de 2020
5º Campo	30 e 31 de janeiro de 2021
6º Campo	20 e 21 de fevereiro de 2021
7º Campo	25 e 26 de julho de 2021
8º Campo	18 e 19 de dezembro de 2021
9º Campo	05 e 06 de fevereiro de 2022
10º Campo	09 e 10 de maio de 2022
11º Campo	27 e 28 de junho de 2022

Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 MONITORAMENTO DOS EVENTOS CHUVOSOS E DE VAZÃO

Os dados pluviométricos foram coletados a partir do banco de dados fornecido no site da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) e da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima). A definição dos postos pluviométricos trabalhados levou em consideração sua localização e influência para a bacia, foram separados seis estações pluviométricas, quatro na Paraíba (são elas: São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Camalaú e Congo) e duas em Pernambuco (estação de Jataúba e de Poção).

Na busca de identificar o grau de severidade dos períodos secos e úmidos da Bacia do Riacho do Tigre, foi optado em utilizar o Índice de anomalia de chuvas (IAC), essa ferramenta tem se mostrado eficaz nas análises sobre as precipitações, apresentando uma boa alternativa na aplicação de monitoramento. Esse índice tem como base apenas os dados de precipitação, no caso da pesquisa, foi feita uma interpolação no Arcgis das 6 estações pluviométrica tendo como base a delimitações da bacia do Tigre. O calculo do IAC é obtido a partir na seguinte equação (ARAÚJO *et al* 2009):

Equação 1 Equação índice de anomalia de chuva.

IAC positivo	$IAC = 3 * \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right]$
IAC negativo	$IAC = -3 * \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]$

Fonte: elaborado pelo autor

em que: N = precipitação mensal atual (mm); \bar{N} = precipitação média mensal da série histórica (mm); \bar{M} = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm); e, \bar{X} = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm). A classificação dos anos secos e úmidos se deu a partir da classificação adotado por Araújo *et al* (2009), sua classificação está expressa na figura 4.

Figura 4 Classe de intensidade do índice de anomalias de chuva. Fonte: Araújo et al (2009).

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
	De 4 acima	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito Úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	De -4 abaixo	Extremamente Seco

Fonte: elaborado pelo autor

A coleta do nível de vazão no canal ocorreu a partir da correlação dos dados do CREST com a geometria fluvial nos trechos analisado (a geometria do canal foi coletada a partir das imagens em 3D fornecidas pelo Veículo Aéreo não Tripulado). O CREST LEVEL é um equipamento que coleta a altura máxima do evento de fluxo ocorrido no canal, esse dispositivo foi testado e aplicado pela pesquisadora Janet Hooke em um trabalho de 2007 na bacia do Rio Guadalentin, localizado no sudeste da Espanha (HOOKE 2007). A bacia hidrográfica em questão apresenta características semiáridas e fluxos efêmeros e intermitentes e é objeto de monitoramento da pesquisadora a mais de 20 anos (figura 5).

Figura 5 Equipamento crest. A: equipamento instalado em campo para coleta do nível da vazão. B: equipamento fixado por cantoneiras de ferro. C: fita adesiva sensível a água



Fonte: elaborado pelo autor

O dispositivo Crest Level consiste em canos de PVC e uma fita adesiva sensível à água, projetado para medir o nível máximo da lâmina de água em canais. É composto por um cano de PVC de 50 mm, equipado com um joelho na parte inferior e uma tampa na parte superior. Dentro do cano, uma haste suporta uma fita adesiva hidro-repelente, cuja coloração desaparece em contato com a água. Para garantir medições precisas, é essencial substituir a fita regularmente, pois somente assim ela registrará com precisão o nível máximo da água.

A instalação do equipamento em ambientes fluviais requer cuidados específicos. Recomenda-se fixar duas cantoneiras de ferro com concreto e, em seguida, prender o dispositivo entre elas usando braçadeiras. A escolha do local onde o equipamento será instalado também merece alguns cuidados, não é recomendado a instalação do equipamento no talvegue do canal e nem em áreas erosivas, deve ser escolhido locais mais estáveis e que apresentem proteções naturais, como uma árvore ou após um afloramento rochoso.

5.4 MAPEAMENTOS DE USO E GEOMORFOLÓGICOS

No ambiente SIG foram processadas e tratadas as imagens obtidas com o VANT, além da vetorização das feições geomorfológicas presentes no canal. Para a confecção do modelo digital de terreno (MDT) foi necessário remover os dados de vegetação, as edificações e as vias evidenciadas no modelo digital de elevação (MDE). O MDE foi elaborado a partir do ortomosaico, onde esse corresponde a junção das aerofotografias tiradas pelo VANT. A frequência dos levantamentos de campo forneceu as informações essenciais para mapear a evolução morfológica do Riacho do Tigre. Todos os voos realizados em campo foram meticulosamente registrados e analisados para destacar essas mudanças ao longo do tempo.

Os mapas temáticos de hipsometria e de uso e cobertura vegetal foram elaborados com base nos dados do Modelo Digital de Terreno (MDT). Enquanto isso, o mapa de localização foi criado utilizando informações secundárias coletadas nos sites do IDEME (Instituto do Desenvolvimento Municipal e

Estadual) e da AESA. Para o mapa de declividade, foram adotados os parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2006).

Além disso, no SIG, foram produzidos mapas detalhados que destacam as características geomorfológicas, as organizações paisagísticas e a localização específica de cada ponto ao longo do Riacho do Tigre. Esses mapas foram desenvolvidos com uma abordagem sistêmica, visando proporcionar uma compreensão abrangente da complexidade envolvida na dinâmica e formação dos diversos ambientes fluviais estudados.

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS DE MONITORAMENTO

Nesse tópico, foi descrito as características paisagísticas encontradas nos trechos de monitoramento. Os recorrentes campos contribuíram para construção de uma visão processual sobre a áreas, os três anos de monitoramento foram marcados por grandes modificações.

Os quatros trechos de monitoramento foram espacializados pela bacia Riacho do Tigre, a escolha levou em consideração a variação paisagística encontrada na área. nos pontos escolhidos foi possível perceber a relação dos diferentes fluxos de energia e matéria com as condições evolutiva dos ambientes fluviais. A nomenclatura dos pontos foi estabelecida com base na sua disposição perante a bacia e sua disponibilidade de acesso, mas no geral, seguiram um sentido montante a jusante: SJT01; SJT02; SJT03 e SJT04 (Tabela 2).

Tabela 2 informações gerais sobre os trechos analisados

Trechos	SJT 1	SJT 2	SJT 3	SJT 4
Confinamento Vale	Semiconfinado	Sem confinamento	Sem confinamento	Sem confinamento
Geometria de margem	Não regular	Regular	Regular	Regular
Textura do leito	Rochoso/Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso
Unidades Geomórficas predominantes	Barras	Barras e ilhas	Barras e ilhas	Barras e ilhas
Perfil lateral do canal	39 m	78 m	37 m	66 m
Área captação	21 km ²	189 km ²	417 km ²	39 km²
Altitude média	638 m	550 m	520 m	596 m
Declividade média	Forte ondulado (37,1%)	Forte ondulado (21,1%)	Forte ondulado (31,2%)	Forte ondulado (35,6%)
Uso e cobertura	Captação de água; Agricultura e pastoreio	Pastoreio	Captação de água	Pastoreio

Fonte: elaborado pelo autor.

O trecho SJT 01 está localizado em área de cabeceira do Riacho do Tigre, nas localidades do distrito de Cascavel. A área apresenta uma paisagem com forte imposição geológica, o riacho corre na base de uma encosta íngreme que

o confina parcialmente, sua margem direita é um afloramento rochoso e a margem esquerda um terraço fluvial. O leito do riacho é de textura rochosa, com uma fina camada de areia e cascalho de tamanho diversificado, é recorrente bolsões de depósito mais espessos (Figura 6).

Figura 6 imagens retiradas no trecho Sjt01. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão monte do trecho; C- exposição do leito rochoso; D- visão montante da barra na margem direita; E- ravina na margem esquerda; F- visão jusante da barra na na esquerda. C2 e C5 são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.

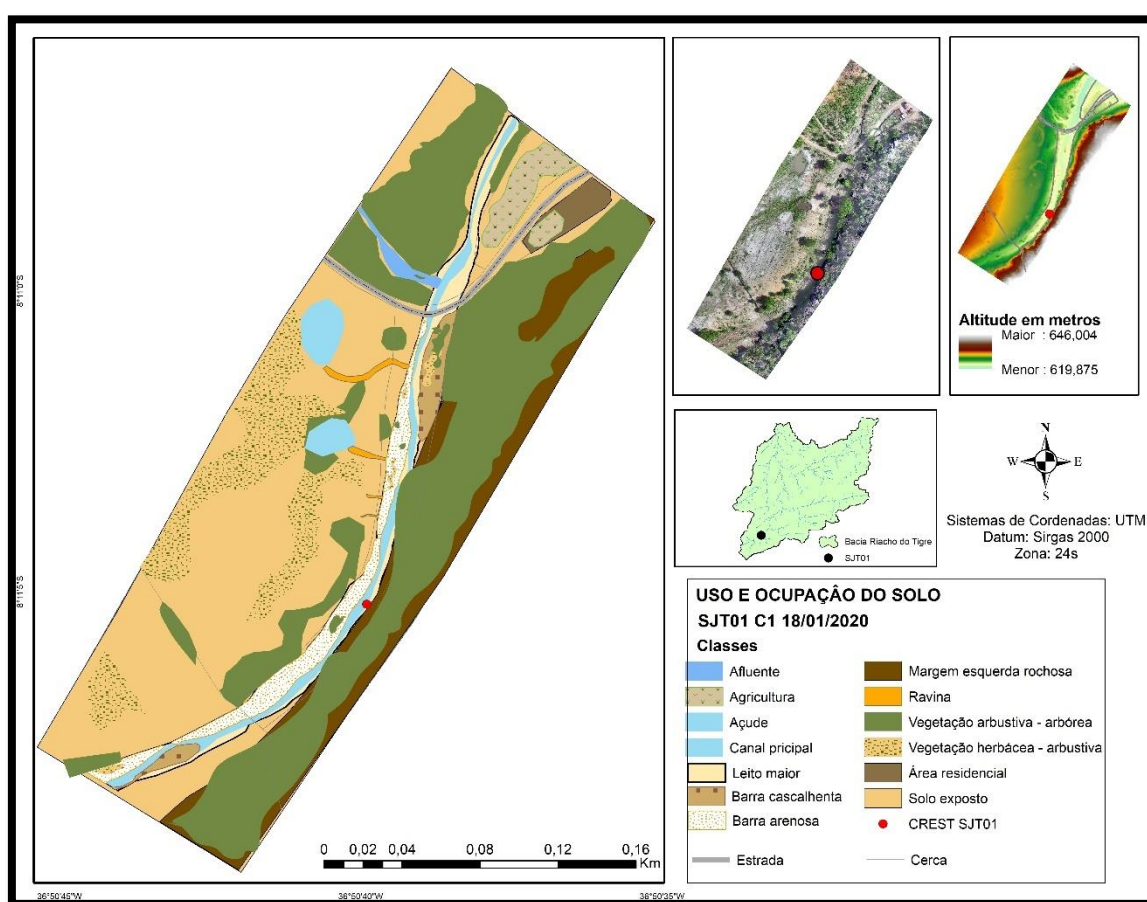


Fonte: elaborado pelo autor

O local apresenta uma área de captação de 21 km², com altitude média de 638 metros e declividade de 37,1%, forte ondulado (Tabela 2). O elevado gradiente presente proporciona transformações paisagísticas por inputs de energia. As maiores intervenções na área, estão relacionados com a retirada da vegetação do terraço para formação de pastagens, um poço amazonas e outros reservatórios de água localizados no terraço, a estrada e as cercas colocadas sobre o leito. Como a margem direita é muito íngreme e rochosa não há grandes intervenções nesse ambiente, a vegetação é bem mais desenvolvida.

As principais feições encontradas no leito fluvial são as barras laterais, as análises fluviais nesse ambiente se resumem a área a jusante do *Crest level* e a montante da estrada. As três unidades geomórficas estão distribuídas em sequência, a primeira é barra arenosa na margem direita com a presença de vegetação, sua textura varia entre areias fina e grossa, nesse depósito há uma ravina que evoluiu e interligou um pequeno açude ao ambiente fluvial, além dessa feição erosiva, existe mais três grandes ravinas que interligaram outros reservatórios ao riacho no local (Figura 7).

Figura 7 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT01



Fonte: elaborado pelo autor.

A jusante dessa barra o riacho proporcionou a deposição na outra margem, uma barra de textura variada com predomínio de cascalho é depositada. Essa feição é mais estável, a vegetação ultrapassou vários estágios de desenvolvimento. Por fim, o riacho volta a depositar na margem esquerda e desenvolve uma barra arenosa, essa feição recebe grande contribuição de 4 ravinas que interligam outros pequenos reservatórios de água ao Tigre. A

rugosidade rochosa do leito acaba contribuindo com a deposição, os pulsos de sedimento acabam sendo capturados pelas tochas. Nos três anos de monitoramento a área apresentou grande estabilidade de suas feições, as áreas erosivas foram concentradas na encosta do terraço e nas bordas dos depósitos (Figura 7).

O ambiente fluvial no ponto SJT 02 apresenta o canal mais largos analisados na pesquisa, o perfil lateral medido foi de 78 m, é também um dos mais impactados pela utilização, o trecho está localizado no médio curso do Tigre, em área de transição entre o alto e o médio curso, apresenta uma área de captação de 189 km², altitude de 550 m e declividade de 21,1%, forte ondulado (Tabela 2). Nesse ambiente o riacho apresenta acumulação de material arenoso influenciado pela ponto, o canal do riacho meandra sobre os depósitos de área, forma um canal secundário e diversas feições geomórficas.

As margens do canal são no terraço, estão degradadas e cheias de algarobas (*Prosopis juliflora*), espécie exótica e única espécie arbórea encontrada na mata ciliar dessa área. A condição da mata ciliar e a presença do neossolos nas margens contribui para os processos de dissecação das encostas, o trecho é marcado por grandes fluxos hidrossedimentológicos entre as encostas e o canal, é encontrado diversas ravinas sobre as margens. É possível perceber processos de desertificação na área, o principal uso evidenciado é o pastoreio e a presença de uma passagem molhada (Figura 8).

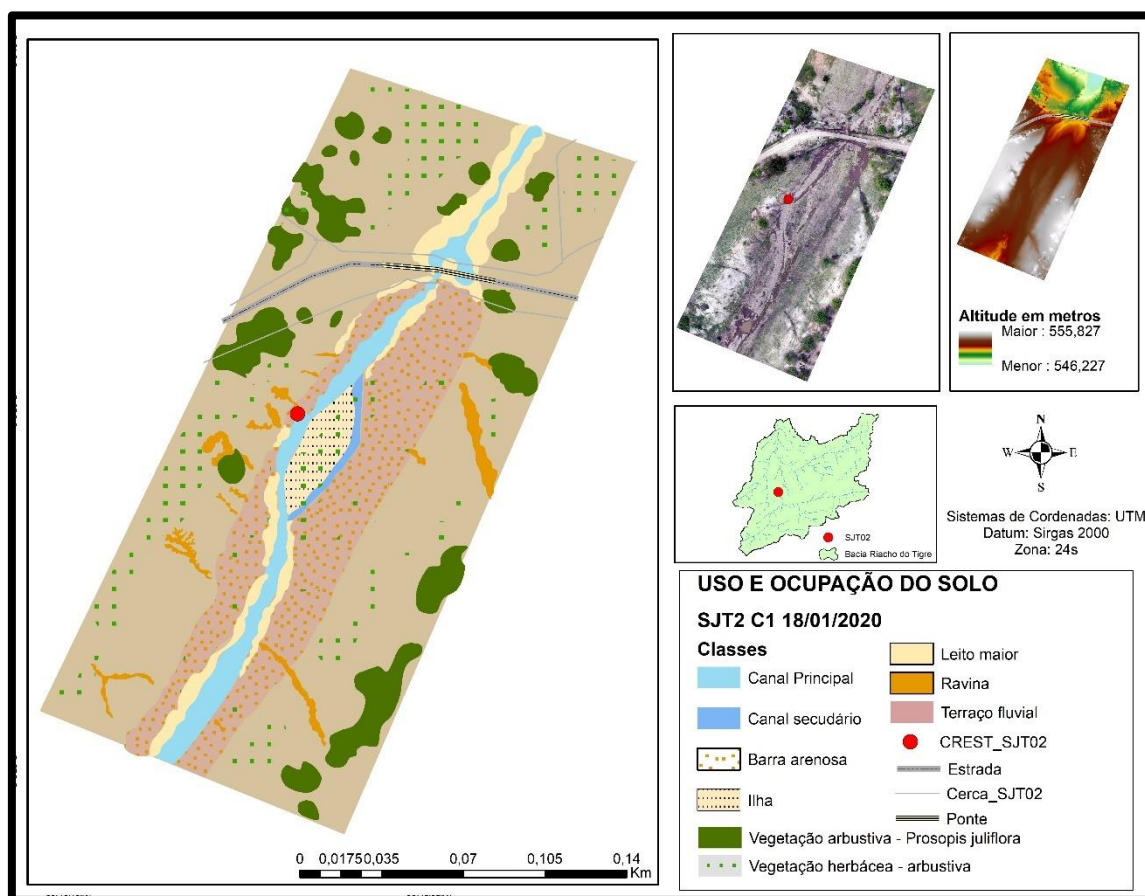
A montante do equipamento CREST o riacho deposita uma barra na margem esquerda, com textura arenosa e baixa vegetação associada, a baixa vegetação nos depósitos está relacionada com a tentativa dos moradores em plantar nos depósitos. Após esse depósito o riacho bifurca e deposita uma ilha arenosa no canal, a pós essa feição a proximidade com a passagem molha faz o riacho depositar em ambas as margens. Nesse ambiente a margem esquerda apresenta mais processo erosivos, é notado aos menos 5 ravinas interligado com o canal (Figura 9).

Figura 8 imagens retiradas no trecho Sjt02. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão montante do trecho; C- exposição da margem esquerda erosiva; D- visão da margem direita; F- passagem molhada a jusante do Crest; E- visão jusante da barra na margem esquerda. C2, C8... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT02



Fonte: elaborado pelo autor.

O trecho SJT03 corresponde a confluência entre o Riacho do Tigre e o Riacho Cacimbinha, seu maior afluente. O Cacimbinha nasce nas serras a nordeste da bacia e se desenvolve no sentido noroeste até desembocar no Riacho do Tigre. A jusante da sua confluência foi construída uma passagem molhada, a pós essa feição o riacho da manga deságua no tigre. A passagem molhada influencia na transferência sedimentar e auxilia na resistência das unidades aluvias presentes no leito.

O Riacho do Tigre nesse ponto desenvolve sobre uma área de transição entre o médio e o baixo curso, apresenta uma área de captação de 417 km², altitude de 520 m e declividade de 31,2%, forte ondulado, essas características influenciam na maior recorrência dos eventos de vazão (Tabela 2). Na margem direita ocorre a ocupação da área ciliar por uma propriedade rural, na margem esquerda não há grandes intervenções e as condições são mais naturais. A

evolução dessa área, está ligada a processos de grande capacidade de modificação (Figura 10).

Figura 10 imagens retiradas no trecho Sjt03. A- Visão da margem direita sobre a passagem molhada; B- visão jusante do trecho sobre a passagem; C- visão montante do trecho, próximo ao Crest; D- visão montante na barra esquerda, presença de um poço e uma retroescavadeira; E – visão jusante do leito após o Crest C5, C8... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.



Fonte: elaborado pelo autor

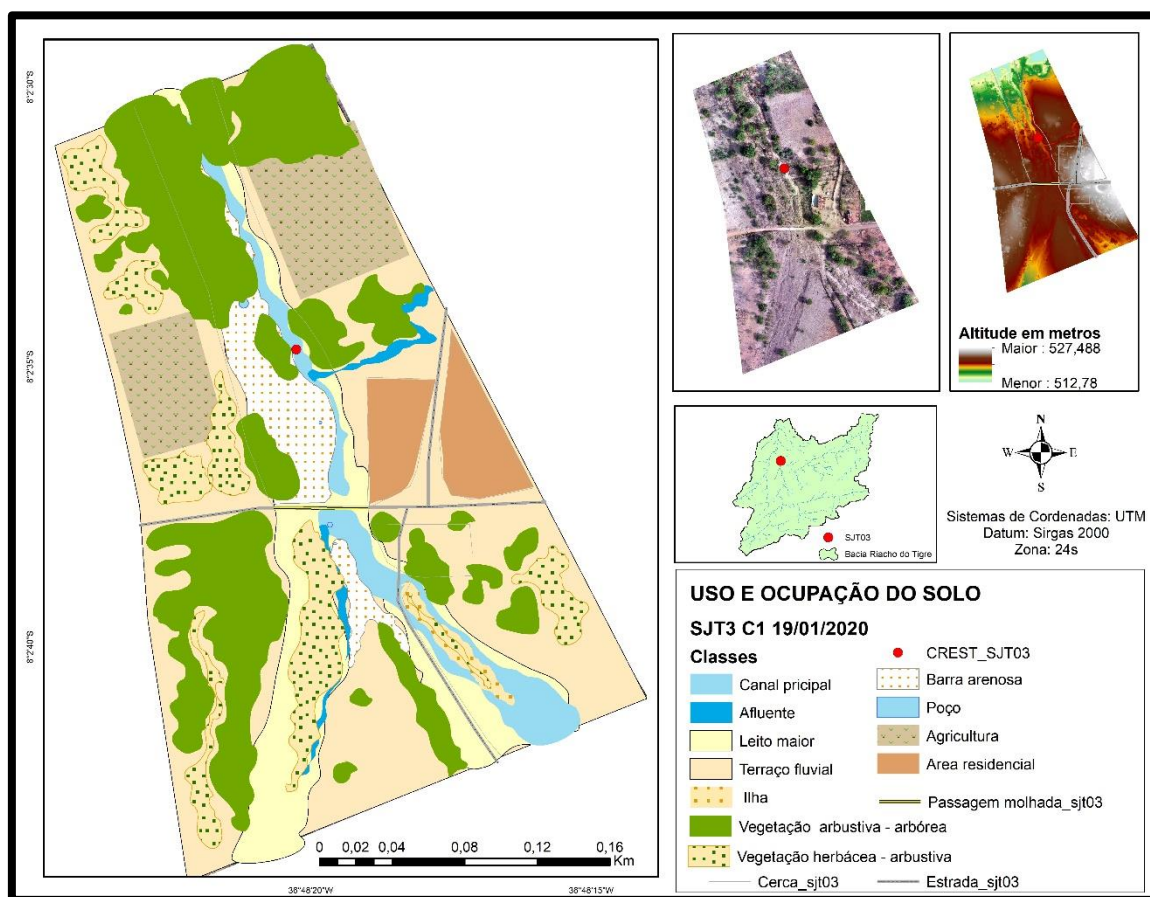
O trecho é marcado por um maior povoamento, está próxima da área urbana do município, é rota para vários distritos. Essas características são reproduzidas no ambiente fluvial a partir de várias intervenções, a exemplo: a passagem molhada, o poço no leito, cerca sobre o canal, edificações construídas na margem direita, despejo de esgoto doméstico etc. A cobertura vegetal apresentava padrões de crescimento, um maior adensamento nas margens e no leito. Esse trecho apresenta um grande aporte sedimentar e as intervenções antrópicas contribuem para o aumento dessa carga sedimentar.

O leito fluvial é arenoso e apresenta depósitos muito antigos, a jusante da passagem molhada é percebida um maior acúmulo de material na margem esquerda, a barra criada apresenta grande estabilidade e tendência o fluxo no

sentido da margem direita. Esse processo acentua os fluxos erosivos no sopé da margem direita e contribui com a dissecação dessa área. As áreas erosivas na barra estão ligadas a desembocadura do riacho da manga na margem esquerda, o equipamento do CREST LEVEL foi instalado a jusante dessa feição.

Com o monitoramento foi percebido uma tendencia dos fluxos erosivos no canal, no período seco e no início do período chuvoso os fluxos são mais característicos entre as encostas e o leito, com o início dos fluxos fluviais ocorreu tanto o entalhe do talvegue, quando entalhe lateral (Figura 11).

Figura 11 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT03



Fonte: elaborado pelo autor

O último trecho analisado foi denominado de SJT04, localizado no médio curso do Riacho Cacimbinha. A área corresponde a um pequeno vilarejo do distrito Cacimbinha, o objetivo em sua análise foi identificar a dinâmica fluvial da Cacimbinha e sua influência no Riacho do Tigre. O Riacho Cacimbinha apresenta um ambiente fluvial regular, sua área de captação é 39 km², com

altitude média de 596 e declividade forte ondulada, com 35,6%, a área fluvial é marcada por fluxo efêmero, depósitos espessos arenosos, processos erosivos em forma de pulsos e eventos de alta magnitude de modificação (Tabela 2).

Na área monitorada o Cacimbinha não tem confinamento, as encostas são vegetadas, mas nas margens há processos erosivos bem desenvolvidos. A abundância de sedimentos no leito influencia no desenvolvimento de múltiplos canais e fluxos dinâmicos, há poucas modificações antrópicas (Figura 12).

Figura 12 imagens retiradas no trecho Sjt04. A- Visão jusante do trecho de monitoramento; B- visão jusante do trecho expondo o momento da bifurcação do canal e ilha; C- visão jusante do canal principal, ao fundo depósitos de areia formados pela escavação no leito; D- visão jusante no canal principal, expondo o local do Crest;; E- visão montante do canal principal, expondo a margem esquerda erosiva. C2, C5, ... são informações relativas aos campos, verificar tabela 1.

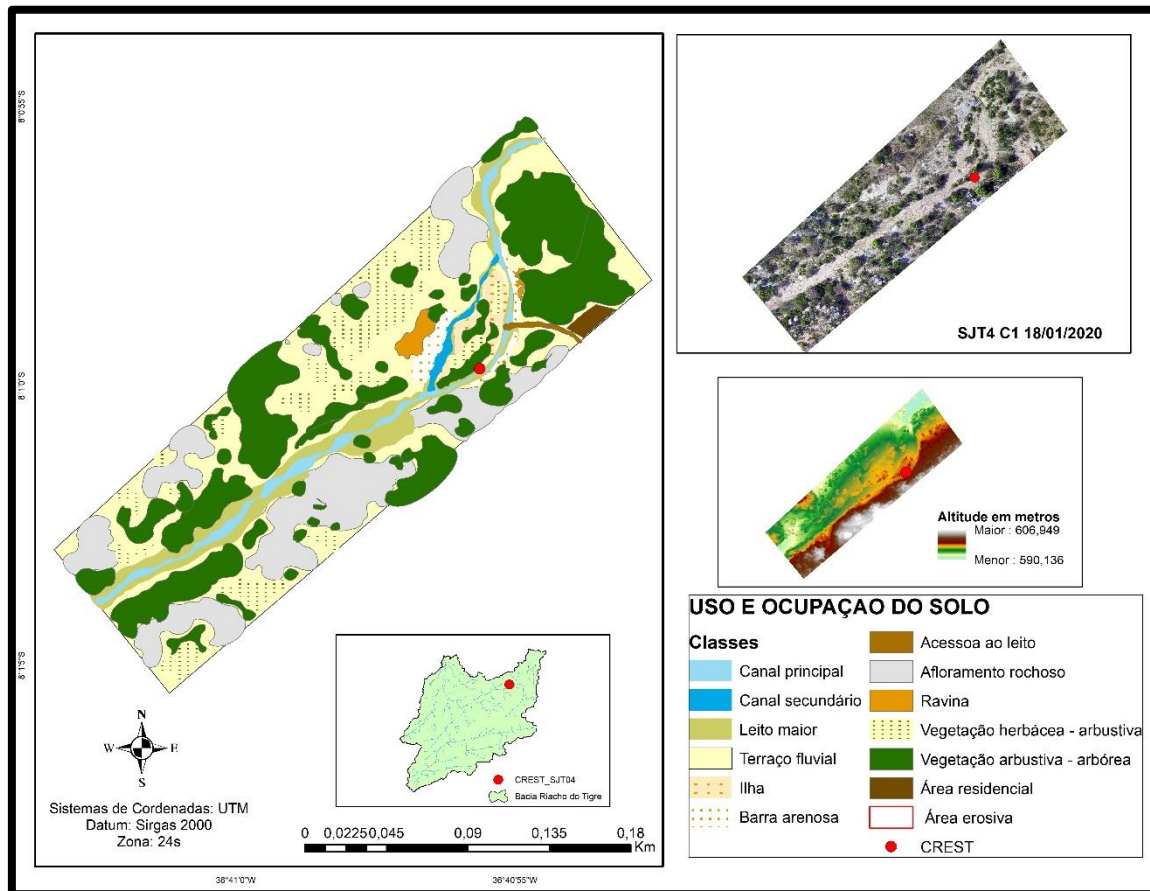


Fonte: elaborado pelo autor

As feições geomórficas encontradas no leito são bem ativas, os processos atuantes possibilitam uma área com grande potencial erosivo, as barras laterais são mais finas e abundantes em ambas as margens, são formadas devido a

conexão de sedimento entre as encostas e o leito, são constantemente remobilizados. No meio do trecho há uma ilha arenosa muito antiga e mais estável, os processos erosivos nessa feição estão concentrados no início da ilha, no momento onde a bifurcação do canal, o equipamento CREST foi instalado a jusante disso, no canal principal ao lado da ilha (Figura 13).

Figura 13 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04.



Fonte: elaborado pelo autor

O escoamento superficial do riacho Cacimbinha, nesse ambiente é caracterizado pelo entalhe lateral e no talvegue, mas a evolução lateral é mais intensa. A principal transferência de fluxo hidrossedimentológico na área ocorre entre as margens e o leito. As margens apresentam um elevado grau de dissecação, há muitas raízes exposta e tombamentos de árvores presentes nas margens, os fluxos superficiais e subsuperficiais retiram as camadas mais iniciais do solo, acabam dificultando o desenvolvimento da vegetação de gramínea nas margens e fornecendo material para as barras

A partir do monitoramento foi possível perceber as dinâmicas presentes no ambiente, mesmo constatado baixos índices de pluviosidade e poucos eventos de vazão no canal, o ponto foi o que apresentou a maior altura da lâmina d'água entre os trechos, 74 cm no campo de fevereiro de 2022. A área apresenta baixa intervenção humana, a atividade que mais se destacou foi a formação de uma rampa na margem esquerda para que um trator cavasse um poço no leito.

Figura 14 Processos erosivos no trecho



Fonte: elaborado pelo autor

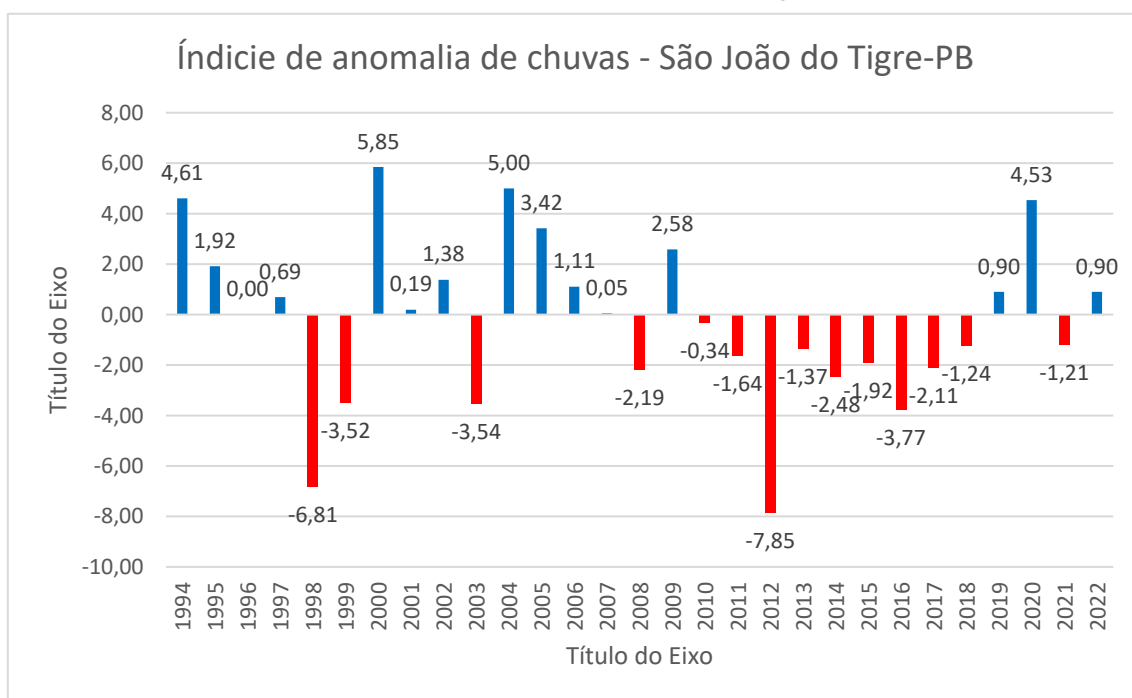
6.2 COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

Como exposto anteriormente, o município de São João do Tigre faz parte da porção mais seca da microrregião do Cariri Ocidental paraibano, suas chuvas

são concentradas e mal distribuídas. Na aplicação do Índice de anomalia de chuva foi possível caracterizar a dinâmicas das chuvas da região, bem como, o grau de intensidade dos fenômenos meteorológicos nos anos do monitoramento (Tabela 3).

O IAC evidenciou uma disposição a eventos de seca na bacia do Riacho do Tigre. Nos vinte nove anos analisados (1994 – 2022), quatorze anos foram considerados secos, apenas um ano se manteve na média e treze anos úmidos. Seguindo a classificação do IAC tivemos os seguintes dados: Umidade extremamente alta (1994, 2004, 2020); Umidade alta (2005); Umidade moderada (2009); Umidade baixa (1995, 1997, 2001, 2007, 2022); Seca suave (2010, 2011, 2013, 2015, 2018, 2021); Seca moderada (2008, 2014, 2017); Seca alta (1999, 2003, 2016); e Seca extremamente alta (1998, 2012).

Tabela 3 Índice de Anomalia de Chuva da bacia Riacho do Tigre entre os anos de 1994 a 2022.



elaborado pelo autor.

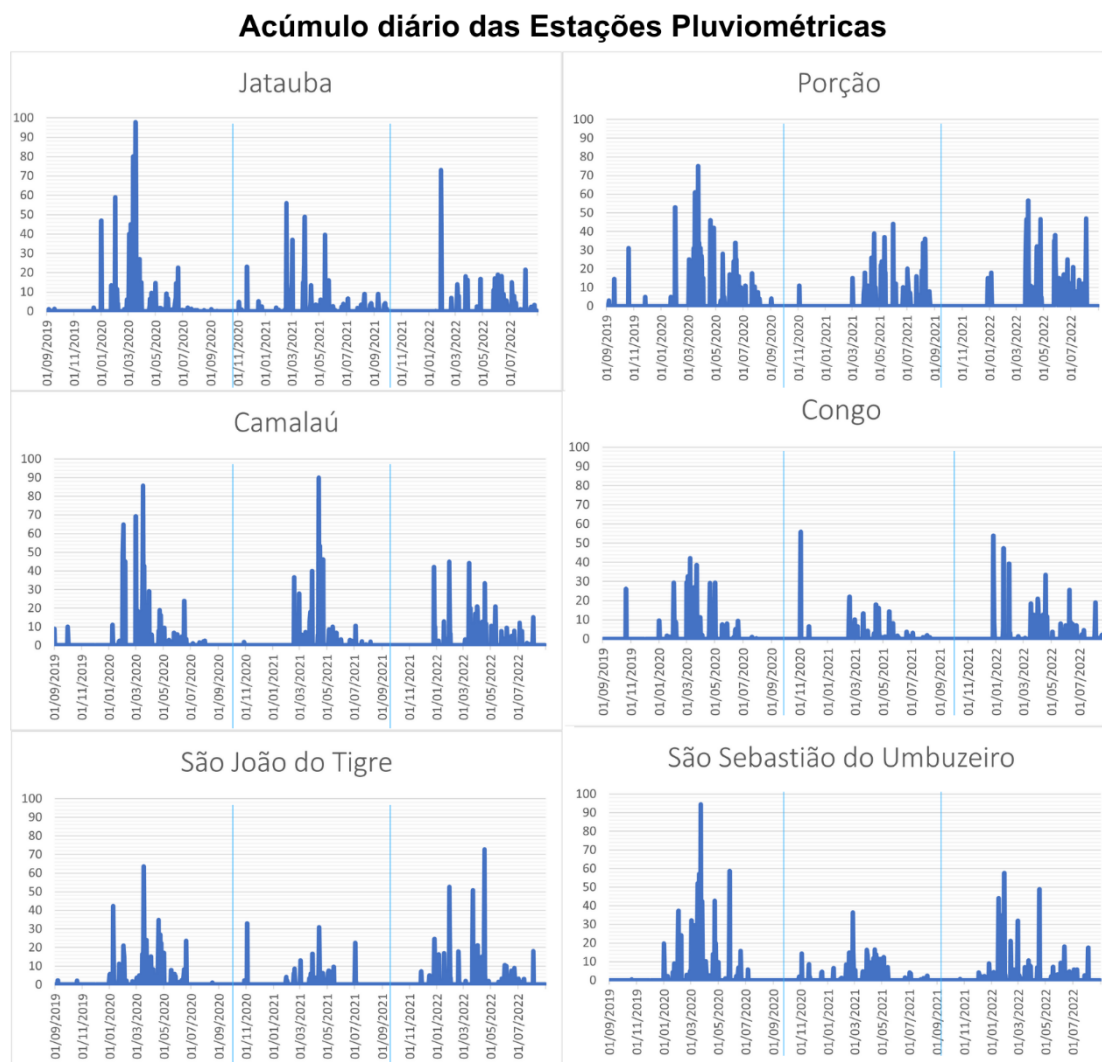
No geral, a bacia apresenta um equilíbrio ecológico, a alternância nos períodos secos e úmidos possibilitam a manutenção das dinâmicas. Mesmo assim é possível perceber um grande período de seca. Outra notável característica são as chuvas mais intensas no início do ano hidrológico após

vários dias sem chuva. O ano mais chuvoso foi o de 2000 com uma média anual de 798,72 mm e o ano mais seco foi o de 2012 com a média de 93,26 mm anuais.

Levando em consideração os anos onde foram feitos os monitoramentos, o ano de 2020 se destacou por apresentar a quarta maior média de chuva de série histórica, caracterizando um ano muito úmido, além de ocorrer dois anos após uma série seca de nove anos. O ano de 2021 volta à normalidade, sendo um ano seco, com eventos de chuva isolados. No seguinte ano, as chuvas foram mais distribuídas pelo período chuvoso, 2022 foi caracterizado como um ano úmido. Os seguintes anos serão detalhados melhor abaixo, tendo como base o ano hidrológico que vigora na região.

A observação dos dados pluviométricos ao longo dos três anos hidrológicos, revelou uma dinâmica climática complexa, marcada por grandes variações na precipitação e na intensidade dos eventos de chuva. As análises abrangem o período de setembro de 2019 a agosto de 2022. No primeiro ano hidrológico (set. 2019 – ago. 2020) as dinâmicas foram mais intensas e os processos mais marcantes. No seguinte ano (set. 2020 – ago. 2021) o período seco imperou, as chuvas foram atenuadas, os processos hidrogeomorfológicos ocorreram a partir de eventos isolados de média e baixa magnitude chuvosa. Já no último ano hidrológico (set. 2021 – ago. 2022) ocorreu chuvas concentradas durante a estação úmida, foi percebido vários eventos de média e baixa magnitude. No geral as características climáticas seguiram a normalidade da dinâmica semiárida paraibana, com períodos de estiagem seguidos por eventos de chuva mais intensos (Tabela 4).

Tabela 4 Acúmulo de chuva diária das estações pluviométricas, no período de setembro de 2020 a agosto de 2022. A haste azul na tabela tem a função de dividir os anos hidrológicos



elaborado pelo autor.

O primeiro ano hidrológico teve início marcado por valores mais baixos de chuva, com destaque para ventos mais significativos em novembro e dezembro de 2019. Como exemplo, na estação em São João do Tigre foi marcado em dezembro um evento com 42,3 mm de chuva (Período A; Tabela 5). O início de 2020 tivemos meses muito chuvosos, os 3 primeiros meses apresentaram os maiores acumulados de chuva do ano hidrológico, na estação de Camalaú foi coletado os maiores eventos em janeiro e fevereiro, 64,8 e 69,2 mm respectivamente (Período B; Período C; Tabela 5). todas estações pluviométricas tiveram março com mês mais chuvoso, grande destaque foi o dia 17 de março, onde várias estações pluviométricas marcaram os eventos de maior magnitude, com destaque para Jataúba com 97,7 mm (Período C; Tabela 5). As chuvas continuaram até o mês de junho, foi percebido vários eventos

chuvosos acima de 20 mm em todas as estações, nesse ano as chuvas foram abundantes e menos localizadas (tabela 5).

O segundo ano hidrológico experimentou uma grande estiagem no começo, seguido por eventos de chuva espaçados e mais intensos (tabela 5). A intensidade das chuvas aumentou gradualmente, atingindo o pico em abril, o mês mais chuvoso. No final do ano hidrológico, as chuvas diminuíram novamente, marcando o retorno do período seco. Nesse ano as chuvas foram bem espaçadas e pontuais (tabela 4).

Tabela 5 chuva e acumulado entre os monitoramentos, em azul estão os acumulados e em laranja os eventos de maior magnitude.

	CAMALAU	SJT	CONGO	SSU	POÇÃO	JATAÚBA
Período A (janeiro, 2020)	11,1	42,3	0	2,3	0	0
	11,1	42,3	0	2,3	0	0
Período B (jan-fev, 2020)	162,5	61,9	68,3	96	74,3	92,9
	64,8	21	29,2	37,3	53	53
Período C (fev-mar, 2020)	94,9	7,5	68	85,3	38,8	52,5
	69,2	3,7	32,7	32,1	25	40
Período D (dez, 2020) ACC_15	0	4,1	0	0,6	0	2
	0	4,1	0	0,6	0	2
Período E (dez 2020, jan 2021)	0	6,6	0	16,3	0	9,7
	0	4,1	0	6,5	0	5,5
Período F (fev-jul, 2021)	0	2,5	0	8,8	0	73,1
	0	2,5	0	6,5	0	55,8
Período F ACC_15	30,9	40,6	26,7	28,2	204	67
	10	9,6	14,3	12,3	44	39,5
Período H (jun-dez, 2021)	80,6	77,3	81,3	36,5	280	87,1
	42	24,6	53,8	8,9	36	9
Período H ACC_30	53,5	46	65,5	21,2	15	0
	42	24,6	53,8	8,9	15	0
Período K (dez-fev, 2022)	123	136,3	161,3	199,5	33	73,7
	44,9	52,6	53,8	57,5	18	73
Período K ACC_30	70	95,4	95,5	187,2	18	73,5
	44,9	52,6	47,2	57,5	18	73
Período L (fev-mai, 2022)	269,2	248,7	173,4	193	430,5	137,5
	44,1	72,6	33,4	48,9	56,5	18

elaborado pelo autor.

Os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2019 foram caracterizados por chuvas fracas, a baixo de 15 mm, os eventos chuvosos foram de baixa intensidade e espaços em pequenas sequências diárias. um destaque nesse período foi verificado na estação do Congo, no dia 3 de novembro ocorreu uma chuva de 55,8 mm, esse evento foi o primeiro na estação desde do início do ano hidrológico. As chuvas em Jataúba chegaram primeiro, nessa estação

janeiro e fevereiro de 2021 destacaram-se com chuvas intensa, o dia mais chuvoso do ano ocorreu no dia 17 de fevereiro 55,8 mm (Período F; Tabela 5).

As demais estações só começaram a marcar eventos de maior intensidade a partir de março. Ao longo dos meses subsequentes, especialmente entre fevereiro a abril de 2021, ocorreram chuvas fracas e picos de precipitação. As chuvas tendem a perder intensidade após abril, mas é visto pequenas chuvas até o mês de agosto de 2021. A estação de Camalaú foi especialmente notável, marcou o maior evento de chuva do ano, 90 mm no dia 13 de abril, o presente mês marcou uma média de 244,8 mm concentrada em grandes eventos (Período H; Tabela 5).

O Terceiro ano hidrológico mostrou uma variação expressiva nos valores diários de chuva, foi notado mais abundância de eventos de maior magnitude. No início da estação o clima também foi mais seco, a diferença é que as chuvas chegaram mais cedo, em dezembro de 2021 todas as estações meteorológicas marcaram chuva. com destaque para o dia 26 onde São João do Tigre, Camalaú e Congo marcaram respectivamente 24,6 mm; 42 mm e 53,8 mm. No geral as meses subsequentes apresentaram expressivas chuvas, os eventos climáticos foram espaçados e pontuais. Com destaque para as últimas semanas de janeiro de 2022, onde as estações marcaram valores diários acima 40 mm (com exceção de porção). Essa dinâmica de estiagem e sequências chuvosas de maior intensidade foi percebido até o fim do ano hidrológico, as semanas iniciais do mês mais seco e as finais mais úmidas.

6.3 COMPORTAMENTO HIDROGEOMORFOLÓGICO

A correlação entre os dados de chuva e a recorrência de fluxo no canal dos trechos, forneceu uma tendência dos comportamentos hidrogeomorfológicos. Foi percebido três cenários específicos, destacando os momentos de muita chuva e cota alta, momentos de muita chuva acompanhado de cotas baixas ou nulas e momentos de pouca chuva com cotas altas. Esse

conjunto de dados forneceu uma visão detalhada das dinâmicas hidrológicas, evidenciando possíveis condições evolutivas (Tabela 6).

Tabela 6 Correlação entre o acumulado das chuvas e os níveis de cota no canal.

Trechos	SJT 1	SJT 2	SJT 3	SJT 4
Altitude média	630 m	552 m	520 m	596 m
Declividade média	36 m	11 m	26 m	32 m
Área captação	21 km ²	189 km ²	417 km ²	39 km ²
Perfil lateral do canal	39 m	78 m	37 m	66 m
Campo 1 – (janeiro, 2020)				
Chuva acumulada (20 dias)	20 mm	34 mm	32 mm	9 mm
Cota	0	0	0	0
Campo 2 - (fevereiro, 2020)				
Chuva acumulada (21 dias)	78 mm	69 mm	75 mm	87 mm
Cota (cm)	49 cm	53 cm	11,5 cm	0 cm
Campo 3 - (março de 2020)				
Chuva acumulada (27 dias)	38 mm	19 mm	26 mm	55 mm
Cota	0	2 cm	36 cm	0
Campo 4 – (dezembro de 2020)				
Chuva acumulada (31 dias)	0	0	0	0
Cota	0	0	0	0
Campo 5 - (janeiro 2021)				
Chuva acumulada (53 dias)	6,1 mm	6,2 mm	5,9 mm	3,3 mm
Cota	0	35 cm	0	0
Campo 6 -(fevereiro 2021)				
Chuva acumulada (21 dias)	4,7 mm	3 mm	3,5 mm	12 mm
Cota	0	4 cm	59 cm	0
Campo 7 -(julho 2021)				
Chuva acumulada (155 dias)	253 mm	181 mm	191 mm	250 mm
Cota	0	5 cm	14 cm	22 cm
Campo 8 -(dezembro 2021)				
Chuva acumulada (171 dias)	150 mm	3 mm	4 mm	4 mm
Cota	0	0	0	0
Campo 9 -(fevereiro 2022)				
Chuva média (49 dias)	118 mm	128 mm	130 mm	117 mm
Cota	10 cm	0	5 cm	74 cm
Campo 10 -(maio 2022)				
Chuva acumulada (93 dias)	240 mm	239 mm	232 mm	191 mm
Cota	34 cm	0	32 cm	5 cm
Campo 11 -(junho 2022)				
Chuva acumulada	125 mm	79 mm	77 mm	118 mm
Cota	0	0	1,5 cm	0

Fonte: elaborado pelo autor

No primeiro cenário, foi identificado períodos de intensa precipitação associada a cotas de água elevadas, o evento de maior cota ocorreu no trecho Sjt04, 74 cm em fevereiro de 2022 (Campo 9; Tabela 6). antecedente a visita de campo ocorreu um evento chuvoso no dia 29 de janeiro, onde as 4 estações marcaram eventos acima de 35 mm (Tabela 4). Os eventos de maior magnitude começaram em fevereiro 2021, com destaque para os trechos Sjt01, Sjt02 e Sjt03, evidenciando uma considerável resposta a eventos pluviométricos

intensos, manifestada por uma lâmina de água e um acumulado de 49 cm e 78 mm; 53 cm e 69mm; e 11,5 cm e 75 mm respectivamente (Campo 2; Tabela 6).

No campo 2 ocorreu também outros eventos chuvosos concentrados e de alta magnitude, por exemplo, no dia 02/01/2020 a estação pluviométrica de Jataúba e Camalaú marcaram 59 e 48 mm, no dia posterior Camalaú marcou 64,8 mm (as chuvas de maior intensidade se concentraram no final de janeiro e início de fevereiro) (Tabela 5). As abundantes chuvas no início da estação favorecem ao fluxo hortoniano. Outro destaque foi o campo de março 2020 o trecho Sjt03 marcou uma lâmina de água de 36 cm em um acumulado de 26 mm (Campo 2; Tabela 6).

Outros eventos de grande destaque foi a partir da segunda metade do mês de março de 2020, é evidenciado uma sequência de chuvas diárias com maior magnitude, mas devido à escassez de informação devido ao avanço da pandemia, não foi possível descrever-los melhor. Em julho de 2021 (Campo 7), Sjt4 registra uma cota de 22 cm, evidenciando uma resposta complexa a eventos pluviométricos intensos. Mesmo com elevado acumulado de chuva, não foi observado grandes cheias no riacho do Tigre, fato que posso ter contribuído é que os eventos chuvosos foram bem espaçados e de menor intensidade.

No campo 10, em maio de 2021, Sjt1 e Sjt3 apresentam cotas elevadas (34 cm e 32 cm, respectivamente), indicando uma resposta intensas a eventos pluviométricos acumulados. foi notado mais eventos de maior magnitude, se repercutindo em grandes volumes de água no rio, o sjt04 apresentou 74 cm, por exemplo. Um evento que chamou atenção, no do dia 29/01/22 onde as estações de São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre, Camalaú e Congo apresentaram 57,5; 52,6; 44,9; 39,3 mm. Esses registros denotam a importância da caracterização do evento pluviométrico na compreensão das cotas de água nos trechos.

No segundo cenário observável, é possível destacar o Trecho Sjt04, o trecho apresentou grandes acumulados de chuva, mas baixo fluxo. No campo 2 e 3 o trecho apresentou os maiores acumulados, mas sem vazão no canal. O fluxo só escoou pelo canal no campo de julho de 2021 (Campo 7; Tabela 6). No

campo 2 outros trechos também apresentaram a mesma característica de baixa cota de água (Campo 2 e Campo 3; Tabela 6).

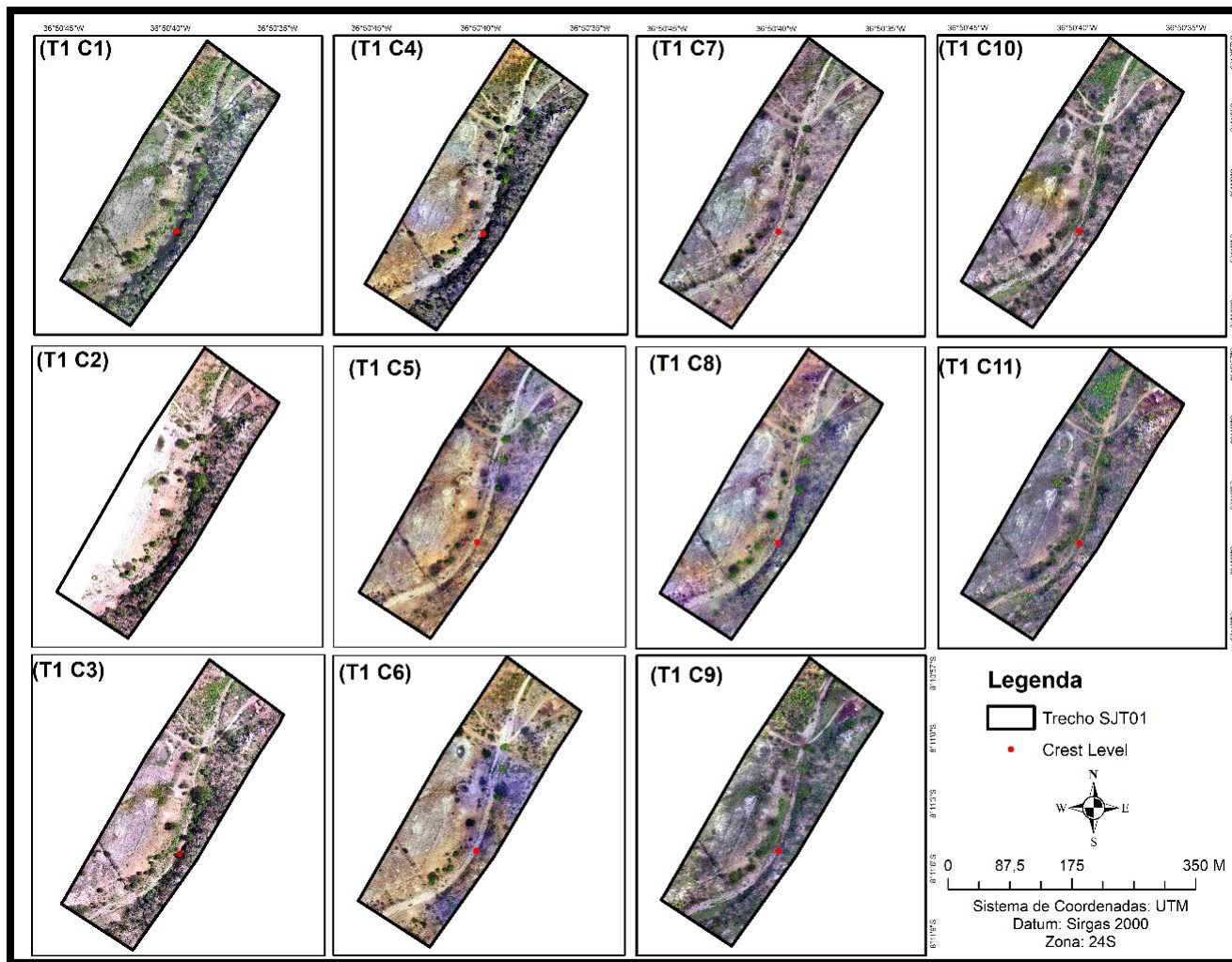
No campo 7, a ausência de chuvas significativas resulta em cotas estáveis em todos os trechos. Essa característica também é encontrada no Campo 9, mesmo com elevado acumulado as chuvas forma mais distribuídas e de menor intensidade. Esse cenário sugere uma resposta moderada dos trechos a eventos pluviométricos escassos ou espaçados, apresentando uma capacidade eficaz de absorção e armazenamento de água (tabela 6).

Por fim, o cenário de pouca chuva e cotas mais elevadas, nesse ambiente podemos destacar o trecho Sjt03, o campo 3 apresentou chuvas mais moderadas, mesmo assim a área apresentou a maior cota coletado, 36 cm (Tabela 6). No campo 6 esses padrões se repetiram no trecho. O trecho Sjt02 se destacou no campo 5, apresentando um acumulado de 6,2 mm e cota 35 cm. Fevereiro de 2022 (Campo 9) destaca-se com Sjt1 e Sjt3 apresentando cotas elevadas (10 cm e 5 cm, respectivamente) em um período de chuvas moderadas. Em junho de 2021 (Campo 11), Sjt3 registra uma cota de 1,5 cm, indicando uma resposta sutil a chuvas moderadas.

Essas observações refletem a variabilidade nas respostas hidrológicas de cada trecho, evidenciando como diferentes condições climáticas moldam as dinâmicas específicas de cada região. A compreensão desses padrões é crucial para uma gestão eficaz dos recursos hídricos e para antecipar impactos potenciais em situações climáticas diversas.

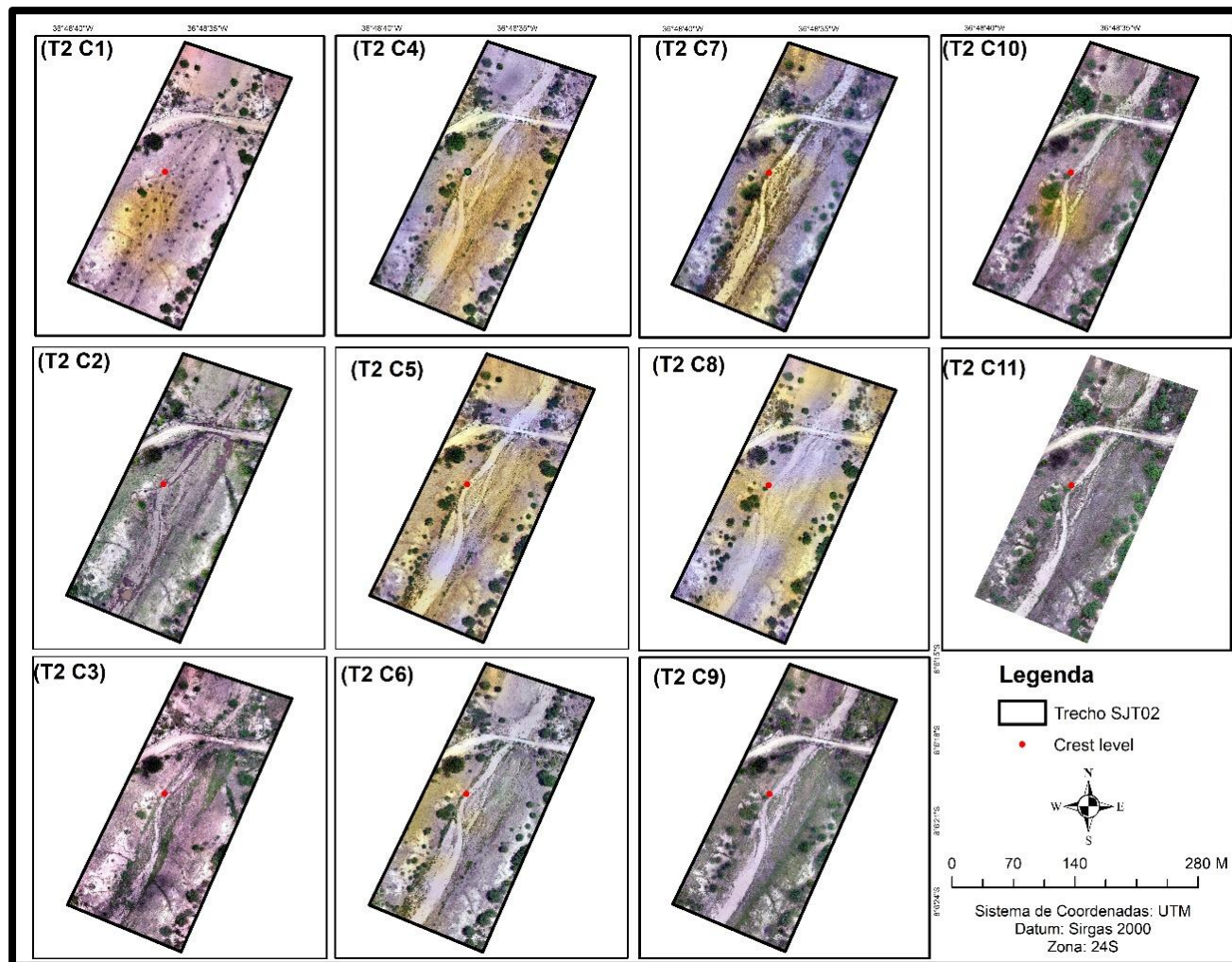
O monitoramento forneceu uma visão dinâmica da área, a partir das análises em campo e em laboratório foi possível perceber as constantes evoluções paisagística dentro da bacia. As variações nos padrões de chuva contribuíram com as dinâmicas, mas a característica inerente a todos os trechos foram os eventos de maior magnitude. Já que, a bacia é caracterizada por pulsos de energia. As Imagens aéreas coletadas com drone em campo evidencia essa condição complexa, além de fornecer visão detalha dos pontos (Figura 14; 15; 16 e 17).

Figura 15 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo.



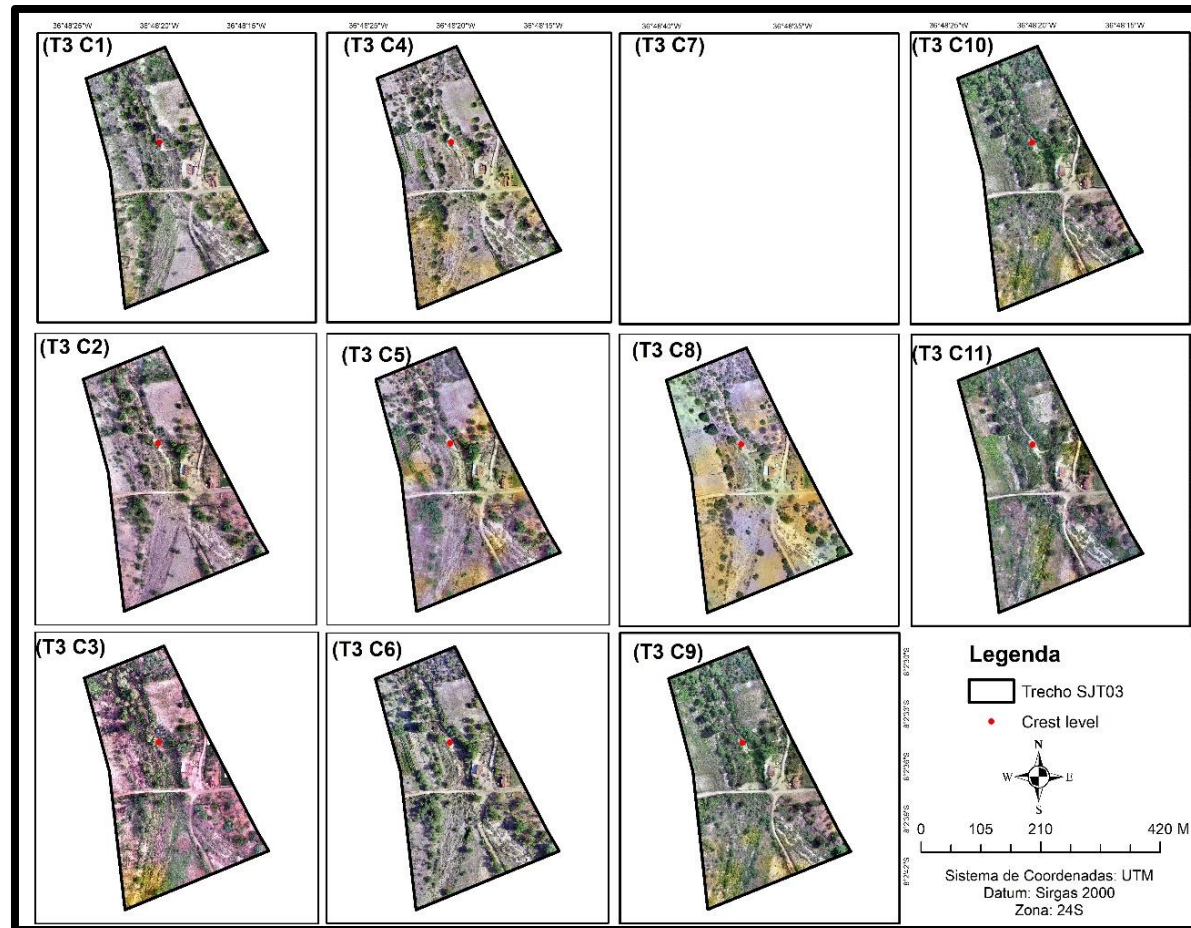
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo.



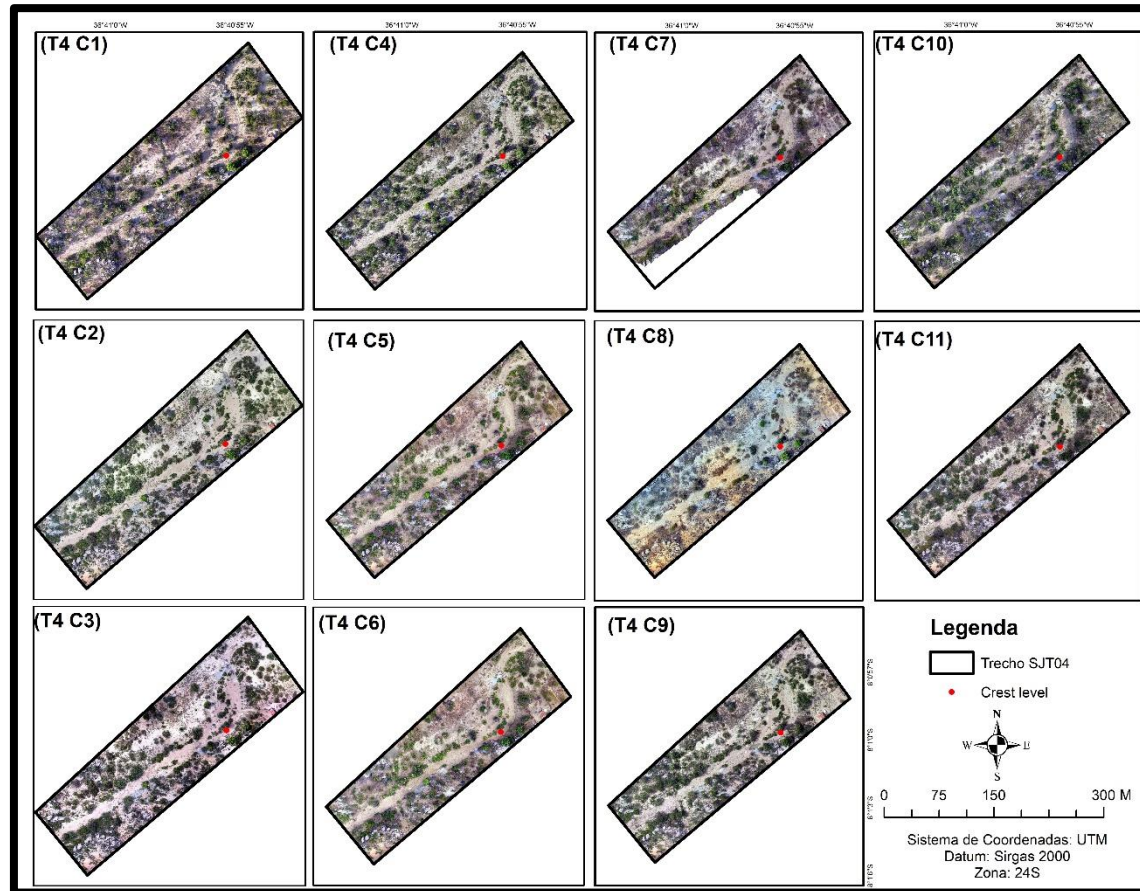
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 Orthophoto das imagens de drone coletadas em campo.



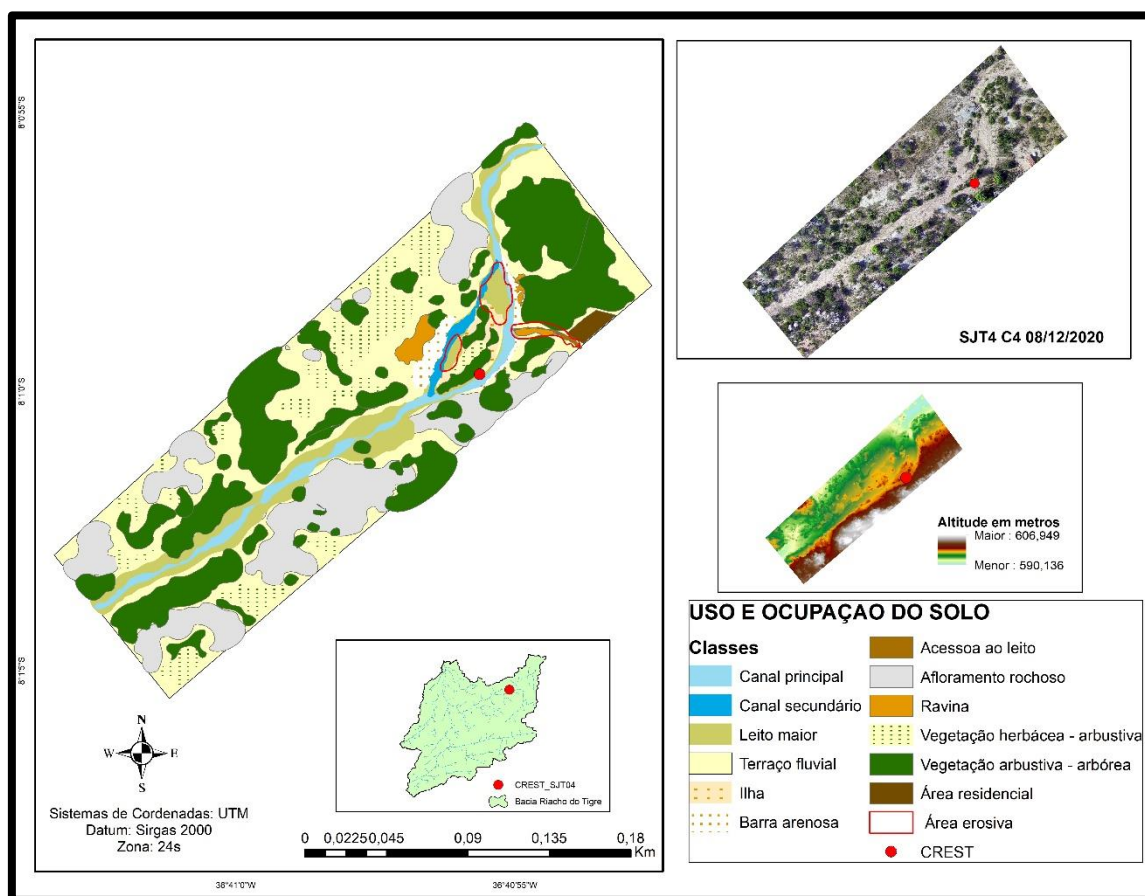
Fonte: elaborado pelo autor

6.4 RESPOSTAS HIDROGEOMORFOLÓGICOS

Nas respostas hidrológicas foi utilizado como foco o trecho Sjt04, o monitoramento ocorreu com base nos campos 4, 7 e 9 (08/12/2020; 25/07/2021 e 05/02/2022). A escolha das datas teve como base a dinâmica hidrogeomorfológica do trecho, foi utilizado os eventos de maior cota para a caracterização da evolução dinâmica paisagística. De forma geral o ponto do distrito cacimbinha grandes modificações paisagísticas, os fluxos erosivos proporcionaram modificações consideráveis na morfologia do canal.

As análises no campo 4 demonstraram a evolução das paisagens fluviais frente ao intenso período chuvoso do ano hidrológico anterior (setembro de 2019 a agosto de 2020). O campo ocorreu momentos após uma chuva, a área estava bem úmida, mesmo assim não foi marcado cota no Crest. Os intensos eventos chuvosos proporcionaram comunicação entre as encostas e o canal, ocorreu também grandes modificações nas unidades geomórficas do canal. A ausência no Crest pode estar a uma modificação do fluxo do canal naquela área, causando um deslocamento do talvegue, em campo foi percebido que o equipamento crest estava 12 cm acima do novo patamar do leito. Os impedimentos aos campos no ano de 2020 e 2021 dificultaram os monitoramentos (figura 19).

Figura 19 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.



Fonte: elaborado pelo autor

As análises aplicadas a imagem coletado pelo drone no campo demonstrou grandes dinâmicas erosivas, na margem esquerda a rampa que conectava o canal foi destruída, a parte que estava no leito foi totalmente remobilizada e na parte da margem os fluxos superficiais dissecaram a área, ocorreu maior acumulação de material nas barras laterais. Já na ilha, foi percebido grandes áreas erosivas. Uma possível explicação a isso está relacionando com o escoamento superficial do canal, as áreas mais desgastadas estão relacionadas a esse fluxo. Na área da bifurcação dos canais foi onde ocorreu maior modificação morfológica, seguida pela área próxima à desembocadura do canal secundário no principal (Figura 20).

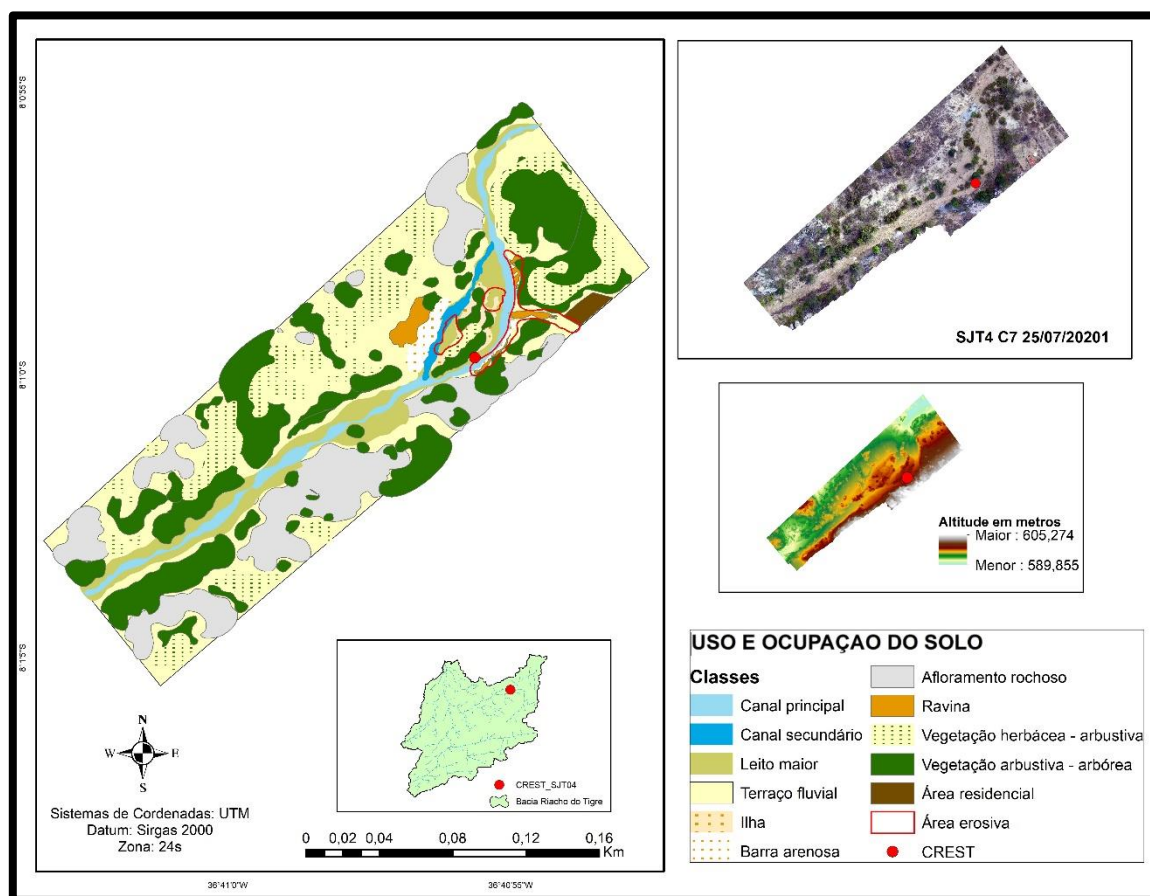
Figura 20 Processos erosivos evidenciados em campo



elaborado pelo autor.

No sétimo campo o ponto 4 continuou apresentando modificações, nesse campo o Crest Level marcou 22 cm, em outra coleta feita em março o equipamento aferiu 8 cm, as chuvas foram espaçadas e distribuídas entre poucas sequências diárias. A chuva acumulada entre os campos foi de 250 mm, os postos pluviométricos de Porção e São João do Tigre apresentaram eventos de alta magnitude (Figura 21).

Figura 21 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.



elaborado pelo autor.

Em campo foi observado que o fluxo apresentou um forte entalhe lateral, tanto as margens quanto as feições geomorfológicas apresentaram marcas erosivas (Figura 22). Na margem esquerda o fluxo erosivo solapou e contribuiu com a transferência de material para o leito, as ravinas nessa margem estavam preenchidas com material lenhoso fino (figura 21 –F). No leito o entalhe do talvegue estava bem evidente e ainda havia vegetação em crescimento. Na margem direita a transferência do material entre a margem e o leito ocorreu a partir das ravinas.

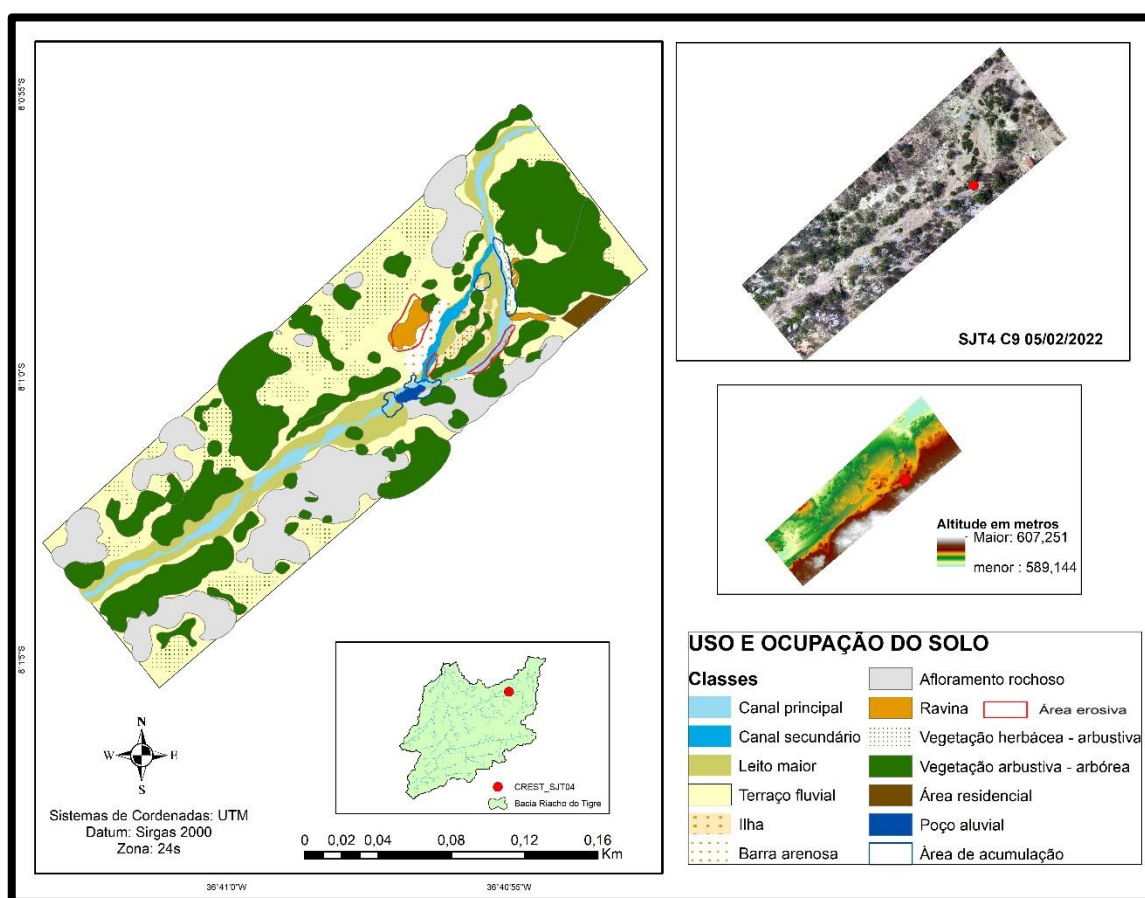
Figura 22 Processos erosivos evidenciados em campo



elaborado pelo autor.

No último campo analisado, campo 9. O trecho Sjt04 apresentou a maior modificação entre os pontos (Figura 23). No momento do campo foi percebido sinais que indicavam chuva recente e muito fluxo. Os fluxos fluviais continuaram migrando no sentido da margem esquerda, o equipamento Crest marcou 41 cm de cota de água, mas na área do talvegue a incisão foi maior e marcou 74 cm. As dinâmicas foram potencializadas pelo ritmo climático da região, os maiores fluxos de água e sedimento contribuíram com áreas também de acumulação (Figura 23).

Figura 23 Mapa Unidades geomórficas e uso do solo do trecho SJT04 no campo 4.



elaborado pelo autor

A margem direita foi a área com maior fluxo erosivo, em uma área próximo ao crest, o solapamento basal abriu uma cratera de 34 cm de diâmetro. Nas áreas próximo ao afloramento foi percebido acumulação de umidade, foi percebido água empoçada na margem próximo a feição. O canal teve uma forte incisão central, ao ponto que foi percebido um aprofundamento do talvegue. Foi percebido um crescimento vegetal no leito, ao ponto que as gramínea e arbustos acabavam capturando detritos lenhosos. De uma forma geral, a vegetação cresceu muito no trecho, foi percebido flores e frutos (Figura 24).

No canal ocorreu uma nova intervenção, foi escavado um poço no leito. No campo em questão, os depósitos de areia deixados nas bordas do reservatório foram modificados. O monte de areia foi erodido tanto pela chuva, quanto pelo fluxo do riacho, outra característica é que o reservatório acumulou mais água.

Figura 24 Processos erosivos evidenciados em campo



elaborado pelo autor

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalho analisou as respostas hidrogeomorfológicas de rios não perenes submetidos a diferentes magnitudes e frequências de inputs hidrológica, com foco na bacia do Riacho do Tigre-PB. O objetivo foi identificar o padrão de inputs climáticos e suas respostas hidrológicas, monitorar as modificações hidrogeomorfológicas dos trechos analisados e identificar a correlação entre o uso da terra com as dinâmicas hidrogeomorfológicas. O monitoramento das dinâmicas hidrogeomorfológica na área, utilizou procedimentos metodológicos que abarcassem a complexidade dos ambientes semiáridos.

A caracterização das chuvas nos três anos hidrológicos monitorados, indicou variações consideráveis na distribuição e na intensidade das chuvas entre os anos analisados. No primeiro ano hidrológico (set 2019 a agosto de 2020), as chuvas apresentaram uma distribuição espacial mais homogênea, com predomínio de valores médios e altos de precipitação. Esse ano mesmo sendo o mais chuvoso, a espacialização da precipitação foi concentrada no período úmido do ano hidrológico. Já no segundo ano hidrológico (set 2020 a agosto de 2021), as chuvas apresentaram uma distribuição espacial mais heterogênea, com variações significativas entre os trechos monitorados. As chuvas nesse período perderam intensidade, os eventos chuvosos foram marcados por mais eventos de média e baixa intensidade, com grande espacialização entre as chuvas.

No terceiro ano hidrológico (set 2021 a agosto de 2022), as chuvas apresentaram uma distribuição espacial mais homogênea em relação ao segundo ano hidrológico, os eventos de chuva ocorreram mais cedo, nos três anos analisados o terceiro ano apresentou o início das chuvas no começo do ano. O ano foi mais úmido e marcado pela frequência dos eventos de chuva de média e baixa magnitude em comparação com o segundo ano hidrológico. Essas variações nas espacializações das chuvas observado nos três anos hidrológicos monitorados são importantes para compreender as respostas hidrológicas e identificar a relação entre o uso da terra e as modificações hidrogeomorfológicas em diferentes contextos climáticos. Na bacia do Tigre as dinâmicas climáticas obedecem a momentos de estiagem prolongadas, interceptadas por eventos

chuvosos de alta magnitude concentrados em sequências diárias, essa condição favorece os eventos de alta magnitude.

Os trechos evidenciaram uma considerável a resposta a eventos pluviométricos, no Sjt01 dos quadros eventos que foi marcado cota, dois ocorreram próximo a eventos de alta magnitude chuvosa e responderam a altura, 49 cm em fevereiro de 2020 e 34 cm em maio de 2022. O Sjt02 apresentou característica semelhante, também apresentou resposta aos acumulados do campo de fevereiro 2020 e janeiro 2021, com respectivamente 53 cm e 35 cm. O trecho que mais apresentou cotas água foi o Sjt03, marcou 8 eventos e 5 marcaram eventos elevados, acima de 30 cm de cota. Outro destaque foi o Sjt4 que apresentou 3 eventos de cota e 1 deles foi o maior registrado na bacia, 74 cm (tabela 6). Os resultados obtidos na pesquisa indicam que os eventos de alta magnitude são uma importante fonte de energia para a dinâmica fluvial em rios não perenes em ambiente semiárido tropical.

A correlação entre a espacializações das chuvas e os níveis das cotas permitiu identificar a recorrência dos eventos e as áreas mais vulneráveis a eventos de alta magnitude. Durante o monitoramento foi possível identificar a ocorrência de dois tipos de fluxos fluvial em alguns dos trechos. Em alguns momentos o fluxo foi mais incisivo no talvegue e em outros os processos erosivos atuavam lateralmente, o entalhe do talvegue é mais comum em períodos de seca ou início de período chuvoso, quando o fluxo fluvial é mais característico entre as encostas e o leito. Já a erosão lateral é um fluxo comum em períodos de chuvas intensas e concentradas em curtos períodos de tempo, quando o fluxo fluvial é mais volumoso e concentrado nas margens do leito.

Durante o monitoramento da dinâmica fluvial nos trechos Sjt01, Sjt02, Sjt03 e Sjt04, foram identificadas unidades geomórficas que apresentam diferentes níveis de estabilidade. No trecho Sjt01, foram identificadas unidades geomórficas com baixa estabilidade, caracterizadas por fluxos erosivos nas margens do leito e entalhes no talvegue. Já no trecho Sjt02, foram identificadas unidades geomórficas com média estabilidade, caracterizadas por fluxos erosivos nas margens do leito e formação de barras laterais. No trecho Sjt03, foram identificadas unidades geomórficas com alta estabilidade, caracterizadas por formação de barras laterais, ilha e fluxos erosivos na margem do leito. No trecho Sjt04, foram identificadas unidades geomórficas com média estabilidade,

caracterizadas por formação de barras laterais e fluxos erosivos nas margens do leito

O trabalho apresenta parâmetros positivos para a gestão e para o planejamento do território, contribuindo utilizações da área com menos danos. No entanto, é importante ressaltar que a pesquisa apresentada neste trabalho é apenas um primeiro passo para o monitoramento da dinâmica fluvial em rios não perenes em ambiente semiárido tropical. É fundamental que as políticas públicas levem em consideração as particularidades do ambiente semiárido e as necessidades das populações locais. Por fim, é importante destacar que a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica fluvial do Riacho do Tigre - PB.

8. REFERÊNCIAS

ARAUJO, E. D. S.; SOUZA, J. O. P.; MACHADO, C. C. C.. Variação da vegetação e sua relação com o Índice topográfico de umidade- ITU no enclave subúmido das Serras Sertanejas-Paraíba, Nordeste, Brasil. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, v. 50, p. 153-169, 2021.

BERTALANFFY, L.V. *Théorie générale des systèmes*. Paris: Dunod, 1973.

BILLI, P. Flash flood sediment transport in a steep sand-bed ephemeral stream. *International Journal of Sediment Research*. V 26, 2011.

BILLI, P; DENISSIE, B; NYSSSEN, J; MOGES, G; FAZZINI, M. Meander hydromorphology of ephemeral streams: Similarities and differences with perennial rivers, *Geomorphology*, V 319, 2018.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area*, v. 38, n. 2, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2009.

COSTIGAN, Katie H. et al. Flow Regimes in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. *Intermittent Rivers And Ephemeral Streams*, [S.L.], p. 51-78, 2017.

DE LIMA, M. G. C.; GIRÃO, O. Considerações Teóricas sobre a Dinâmica Superficial em Ambientes Tropicais Áridos e Semiáridos: Aplicação ao Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Espaço Aberto*, v. 10, n. 2, p. 9-26, 2020.

GRAF, W. L. A lei da Razão em Geomorfologia Fluvial. *Notícia Geomorfológica*, v. 18, Campinas: ICH-DEGEOG, p. 57-78, 1978.

HARVEY, Adrian M. Escalas de tempo efetivas de acoplamento em sistemas fluviais. *Geomorfologia*, v. 44, n. 3-4, pág. 175-201, 2002.

HOOKE, J. M. Monitoring morphological and vegetation changes and flow events in dryland river channels. *Environmental monitoring and assessment*, v. 127, n. 1, 2007.

LIMA, Kleber Carvalho; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci da; PEREZ FILHO, Archimedes. Relações entre rede de drenagem e superfícies de aplainamento semiáridas. *Mercator (Fortaleza)*, v. 15, p. 91-104, 2016.

LIU, Gang et al. Three decades of ephemeral gully erosion studies. *Soil and Tillage Research*, v. 212, p. 105046, 2021.

LIU, X.; HE, Y.; SUN, S.; ZHANG, T.; LUO, Y.; ZHANG, L. WANG, M.; CHENG, L.; HU, H.; Restoration of sand-stabilizing vegetation reduces deep percolation of precipitation in semi-arid sandy lands, northern China. *CATENA*, V 208, 2022.

LUDWIG, J. A. et al. Vegetation Patches and Runoff-Erosion as Interacting Ecohydrological Processes in Semiarid Landscapes. *Ecology*, v. 86 (2), p. 288-297, 2005.

MATTOS, S. H. V.L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 5, 2004.

MORGAN, B. E.; BOLGER, D. T.; CHIPMAN, J. W.; DIETRICH, J. T. Lateral and longitudinal distribution of riparian vegetation along an ephemeral river in Namibia using remote sensing techniques. *Journal of Arid Environments*, V 181. 2020.

MORIN, E. *O Método I: a natureza da natureza*. Lisboa: Publicações Europa-América, 1977.

NINFO, A.; CIAVOLA, P.; BILLI, P. The Po Delta is restarting progradation: geomorphological evolution based on a 47-years Earth Observation dataset. *Scientific reports*, v. 8, p. 1-6, 2018.

PHILLIPS, J. Changes, perturbations, and responses in geomorphic systems. *Progress in physical Geography*. KENTUCKY UNIVERSITY. 2009.

Phillips, J. D; Emergence and pseudo-equilibrium in geomorphology. *Geomorphology*, V 132, 2011.

Phillips, J. D; Pawlik, L; Šamonil, P. Weathering fronts. *Earth-Science Reviews*, V 198, 2019.

PHILLIPS, J. Deterministic chaos and historical geomorphology: A review and look forward, *Geomorphology*, V 76, 2006.

RAVEN, P.J. et al. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 12, n. 4, p. 405-424, 2002.

REID, I.; FROSTICK, L. E. Arid zone slopes and their archaeological materials. *Themes in geomorphology*. P 141-157, 2020.

SAMBOKO, H. T.; ABAS, I. LUXEMBURG, W. M. J.; SAVENIJE, H.H.G.; MAKURIRA, H.; BANDA, K.; WINSEMIUS, H. C. Evaluation and improvement of remote sensing-based methods for river flow management, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, V. 117. 2020.

SANTOS, M. V. C.; FREIRE, C. C.; SOUZA, V. C. B. Comportamento do fluxo subterrâneo em um aquífero aluvial no semi-árido alagoano. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande: 2009.

SOUZA, J. Dos Sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos. *Caminhos da Geografia*. v. 14, n. 46, p. 224 - 233. Uberlândia. 2013.

SOUZA, J. O. P.; CORREA, A. C. B.; BRIERLEY, G. J. An approach to assess the impact of landscape connectivity and effective catchment area upon bedload sediment flux in Saco Creek Watershed, Semiarid Brazil. *Catena*, v. 138, 2016.

SOUZA, J. O. P.; HOOKE, J. Influence of Seasonal Vegetation Dynamics on Hydrological Connectivity in Tropical Drylands. *Hydrological Processes*, 2021.

SOUZA, J. O. P; BRANCO, A. O. T. C. Impedimentos de transmissão no sistema fluvial e a conectividade da paisagem. *Revista da ANPEGE*, v. 16, p. 59-73, 2020

SOUZA, J., ALMEIDA, Joana. Processos fluviais em terras secas: uma revisão. *Revista OKARA*. v. 9, n. 1, p. 108 – 122. João Pessoa. 2015.

SOUZA, Jonas; HOOKE, Janet. Influence of seasonal vegetation dynamics on hydrological connectivity in tropical drylands. *Hydrological Processes*, v. 35, n. 11, p. e14427, 2021.

STARK, K.; CADOL, D.; VARYU, D.; LARONNE, J. B. Direct, continuous measurements of ultra-high sediment fluxes in a sandy gravel-bed ephemeral river. *Geomorphology*. V 382. 2021.

SUTFIN, Nicholas A. et al. A geomorphic classification of ephemeral channels in a mountainous, arid region, southwestern Arizon. *Geomorphology*, v. 221, p.164-175, 2014.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. – Abordagem sistêmica e Geografia. *Geografia. Rio Claro*, vol. 28, n. 3. p. 323-344, 2004.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e Geografia. *Geografia. Rio Claro*, vol. 28, n. 3. p. 323-344, 2003.

WANG, W.; ZHANG, Z.; YEH, T. C. J.; QIAO, G.; WANG, W.; DUAN, L.; HUANG, S. Y.; WEN, J. C. Flow dynamics in vadose zones with and without vegetation in an arid region. *Advances in Water Resources*, V. 106, 2017.

ZHOU, Y.; et al. Positive effects of ecological restoration policies on the vegetation dynamics in a typical ecologically vulnerable area of China. *Ecological Engineering*, v. 159, 2021.