



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS

Marcos Bayron Mendes de Macena

**APLICAÇÃO DE PARÂMETRO MORFOMÉTRICO E MAPEAMENTO DAS
UNIDADES GEOMÓRFICAS DO CANAL PRINCIPAL DA BACIA DO RIACHO DO
MEIO, PESQUEIRA-PE: Proposta taxonômica para o ambiente Semiárido**

Recife

2024

Marcos Bayron Mendes de Macena

**APLICAÇÃO DE PARÂMETRO MORFOMÉTRICO E MAPEAMENTO DAS
UNIDADES GEOMÓRFICAS DO CANAL PRINCIPAL DA BACIA DO RIACHO DO
MEIO, PESQUEIRA-PE: Proposta taxonômica para o ambiente Semiárido**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura em
Geografia da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de licenciado em
Geografia.

Orientador (a): Antonio Carlos de Barros Corrêa

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Macena, Marcos Bayron Mendes de.

Aplicação de parâmetro morfométrico e mapeamento das unidades geomórficas do canal principal da bacia do riacho do meio, Pesqueira-PE: Proposta taxonômica para o ambiente Semiárido / Marcos Bayron Mendes de Macena. - Recife, 2024.

28 p. : il., tab.

Orientador(a): Antonio Carlos de Barros Corrêa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Licenciatura, 2024.

Inclui referências.

1. Mapeamento Fluvial. 2. Índice Morfométrico. 3. Geomorfologia Fluvial. 4. Ambiente Semiárido . 5. Evolução da Paisagem. I. Corrêa, Antonio Carlos de Barros. (Orientação). II. Título.

910 CDD (22.ed.)

Marcos Bayron Mendes de Macena

APLICAÇÃO DE PARÂMETRO MORFOMÉTRICO E MAPEAMENTO DAS UNIDADES GEOMÓRFICAS DO CANAL PRINCIPAL DA BACIA DO RIACHO DO MEIO, PESQUEIRA-PE: Proposta taxonômica para o ambiente Semiárido

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de licenciado em Geografia.

Aprovado em: 21/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Wemerson Flávio da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. José Danilo da Conceição Santos (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre se fez presente na minha vida, mesmo em momentos que procurei me distanciar da fé. Gostaria de agradecer a mim mesmo, por não ter desistido ainda que diante de adversidades, e por ter perseverado durante todos esses anos de graduação.

A minha mãe, Camila Mendes, por todo o apoio e incentivo durante toda a minha vida, por todos os ensinamentos de vida, não seria quem sou e não chegaria aonde cheguei sem você! Não tenho palavras para expressar o quão grato sou por ser seu filho.

A minha irmã, Noelly Mendes, por ser luz na minha vida, por estar comigo em todos os momentos, e por sempre acreditar em mim, mesmo que eu mesmo descreditei. A minha prima Jéssica Souza, por todas as conversas, por todos os momentos de descontração ao longo da vida.

Ao meu pai, por sempre me incentivar a estudar, por cobrar e se preocupar com minha formação, por ser uma excelente fonte de inspiração profissional, por ser meu colega de profissão, e por sempre estar disponível para horas de discussões sobre os mais diversos assuntos. A minha esposa, pela parceria, por todo amor, por me apoiar nas minhas escolhas, escutar minhas reclamações diárias e por não me deixar desistir.

Aos meus melhores amigos, Luan e João Lucio, pelos 15 anos de amizade, por todas as brincadeiras e apoio, por sempre estarem ao meu lado, mesmo quando não podia estar presencialmente com vocês. Aos amigos que fiz durante os anos de graduação, que tornaram minha jornada acadêmica mais leve e descontraída. Em especial aos queridíssimos amigos que fiz durante os anos no Bacharelado, Guilherme Francisco, Saulo Melo, Mayara Araujo, Vitoria Andrade, e aos meus amigos dos anos na licenciatura, Ariadne, Emily Pereira, Beatriz Lima, Agrício Belo, Ruan e Bea, e todos os outros aos quais não conseguirei citar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Carlos, por todo o aprendizado, por ser um exemplo de pessoa e profissional, pela confiança, e por acreditar e incentivar meu desenvolvimento acadêmico, meus mais sinceros agradecimentos!

Aos membros do GEQUA, Jonas, Wemerson, Riclaudio, Paulo Lucas, Rhandyson, pelo acolhimento, brincadeiras, momentos de descontração e conselhos

durante a minha passagem por lá. Em especial a Danilo Santos, por todo o acompanhamento, conselhos e ensinamentos durante a elaboração dessa pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

E a todos que de alguma forma contribuíram na minha jornada, que possibilitaram meu crescimento pessoal e profissional.

Os limites só existem se você os deixar existir.

Dragon Ball

RESUMO

O presente trabalho buscou identificar e analisar feições fluviais, a partir da identificação das unidades geomórficas dentro e fora do canal, além da identificação de setores anômalos no canal, buscando compreender os fatores que controlam a morfogênese da paisagem. A área de estudo corresponde ao canal principal da Bacia do Riacho do Meio, um afluente do rio Ipanema, localizada entre os municípios de Pesqueira – PE e Arcoverde – PE, estando inserida sob um clima tropical semiárido. Com o objetivo de realizar o mapeamento fluvial e identificação de desajustes na drenagem, assim foi utilizada a metodologia proposta por Wheaton et al. (2015) para o mapeamento fluvial e identificação das unidades geomórficas, onde os autores propõem quatro níveis taxonômicos de fácil adaptação e aplicação para diferentes ambientes. Para identificação dos desajustes na drenagem foi utilizada o índice Relação Declividade Extensão – RDE, derivado do índice de Hack (1973) e traduzido e adaptado para margens passivas por Etchebehere (2004). A partir da aplicação do RDE, foram identificadas anomalias de drenagem presentes na Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio, que são influenciadas pela Zona de Cisalhamento Pernambuco e fraturas associadas, foi possível identificar também, a partir do mapeamento fluvial, a presença das unidades dentro do canal como a Barra Central, e das unidades fora do canal, sendo a Encosta Coluvial Convexa, Leque Coluvial Côncavo, Leque Misto Côncavo, o Terraço Alúvio-Coluvial, Terraço Fluvial Plano, e a Planície de Inundação Ativa, o que nos permite compreender os processos deposicionais que as formaram, além de nos levar a inferir as dinâmicas climáticas atuantes na formação desses depósitos.

Palavras-chave: Mapeamento Fluvial; Índice Morfométrico; Geomorfologia Fluvial; Ambiente Semiárido; Evolução da Paisagem.

ABSTRACT

This study sought to identify and analyze fluvial features by identifying geomorphic units inside and outside the channel, as well as identifying anomalous sectors in the channel, in an attempt to understand the factors that control the morphogenesis of the landscape. The study area corresponds to the main channel of the Riacho do Meio Basin, a tributary of the Ipanema River, located between the municipalities of Pesqueira - PE and Arcoverde - PE, under a semi-arid tropical climate. In order to carry out fluvial mapping and identify drainage mismatches, we used the methodology proposed by Wheaton et al. (2015) for fluvial mapping and identification of geomorphic units, where the authors propose four taxonomic levels that are easy to adapt and apply to different environments. In order to identify drainage mismatches, we used the Relative Slope Extent (RDE) index, derived from Hack's index (1973) and translated and adapted for passive banks by Etchebehere (2004). By applying the RDE, drainage anomalies were identified in the Riacho do Meio Watershed, which are influenced by the Pernambuco Shear Zone and associated fractures. From the fluvial mapping, it was also possible to identify the presence of units within the channel, such as the Central Bar, and units outside the channel, these are the Convex Coluvial Slope, Concave Coluvial Fan, Concave Mixed Fan, Alluvial-Coluvial Terrace, Flat Fluvial Terrace, and the Active Floodplain, which allows us to understand the depositional processes that formed them, as well as leading us to infer the climatic dynamics at work in the formation of these deposits.

Keywords: Fluvial Mapping; Morphometric Index; Fluvial Geomorphology; Semi-arid Environment; Landscape Evolution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: VANT utilizado para obtenção de imagens.	16
Figura 2: Mapa Geológico da Área de Estudo	19
Figura 3: Mapa Hipsométrico da Bacia do Riacho do Meio	19
Figura 4: Imagem do baixo curso da BHRM com a presença de um fluxo fluvial perene, mas com pouca vazão, sobre posto a um relevo escarpado com vales profundos e estreitos, dissecados.	20
Figura 5: Climograma de Pesqueira-PE	20
Figura 6: Perfil Longitudinal Riacho do Meio	21
Figura 7: Mapa Litológico Estrutural da BHRM	22
Figura 8: Mapeamento Fluvial e do Fundo de Vale com a identificação das margens fluviais e unidades geomórficas do baixo curso da BHRM.	23
Figura 9: Leque Misto	24
Figura 10: Terraço Alúvio-Coluvial e Terraço Fluvial	25
Figura 11: Barra Fluvial	26
Figura 12: Leque Coluvial	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com os maiores índices morfométricos identificados no canal fluvial	22
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHMR Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio

ENOS El niño-Oscilação Sul

PE3D Pernambuco Tridimensional

VANT Veículo Aéreo Não Tripulado

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

ZCPE Zona de Cisalhamento Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 Revisão de Literatura	13
2.1 Mapeamentos Fluviais	13
2.1.1 Unidades Geomórficas	14
2.2 Parâmetro Morfométrico	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Obtenção dos dados.....	16
3.1.1 Obtenção de dados para mapeamento fluvial	17
3.1.2 Obtenção de dados morfométricos	17
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 Análise da Relação Declividade Extensão - RDE	21
5.2 Análise do mapeamento das Unidades Geomórficas	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A ciência geomorfológica apresenta diversas ramificações que buscam estudar as diferentes formas e processos de esculturação do relevo. De acordo com Christofolletti (1980), o estudo das bacias hidrográficas se faz necessário à geomorfologia, pois os canais fluviais constituem um dos agentes morfogenéticos mais ativos na esculturação do modelado terrestre. Assim, Pelech (2021), fala sobre o entendimento do rio enquanto objeto de estudo científico, e o papel dele na geomorfologia e os trabalhos desenvolvidos por profissionais geógrafos, geólogos e engenheiros.

Pelech (2021) em seu trabalho faz uma revisão e análise a partir das diferentes metodologias utilizadas na classificação geomorfológicas dos rios, discutindo várias propostas como a de Frissell (1986), Rosgen (1994), Montgomery e Buffinton (1997:1998), Tánago e Jálón (2004), Brierley e Fryirs (2005) e Wheaton et al., (2015).

No que tange o estudo da geomorfologia fluvial no semiárido brasileiro, metodologias como a de Brierley e Fryirs (2005) vêm sendo utilizadas para compreender os padrões de organização dos canais, e para interpretação dos processos fluviais e sua influência na esculturação da paisagem. Na metodologia de estilos fluviais proposta por Brierley e Fryirs (2000; 2005), a tipologia do rio é identificada na escala de trechos do canal, a partir do entendimento da configuração do vale, identificando o tipo de confinamento do rio, a interpretação da forma dos processos, através de análise da forma em planta do canal, as unidades geomórficas e análise granulométrica dos materiais do leito do canal.

Lançando mão de um outro enfoque, Santos (2024) traz em seu estudo sobre a evolução geomorfológica da bacia hidrográfica do Riacho do Meio, a metodologia proposta por Wheaton et al. (2015), a qual consiste na identificação das margens fluviais, dos elementos estruturais e o estabelecimento das unidades geomórficas dentro e fora do canal. As margens fluviais podem ser de origem natural (margens do vale, margens do fundo do vale e margens do canal) e antrópica (construção de barragens, ferrovias e estradas). Os elementos estruturais também podem ser de origem antrópica (canalização, represamento) e natural, dividindo-se em natural orgânica (vegetação, raízes, barragens criadas por animais) e natural inorgânica (matacões, leito rochoso, soleiras etc.).

Assim, Pelech (2021) afirma que estudos relacionados à classificação geomorfológica de rios têm sido crescentemente relevantes no que tange a compreensão dos processos naturais de modificação e elaboração do relevo, como também a identificação das influências antrópicas. Neste sentido, algumas metodologias também têm sido utilizadas com o propósito de recuperação fluvial e compreensão da sua dinâmica atual, fazendo correlação com ambientes passados e prognósticos para o futuro.

O parâmetro morfométrico se trata de análises geomorfológicas, a partir da aplicação de índices morfométricos às Bacias Hidrográficas e canais fluviais (Santos, 2024), como, por exemplo, o índice de Hack (1973). O índice proposto por Hack (1973) permite fazer uma análise dos perfis longitudinais de rios, criando uma apoio para comparações entre cursos fluviais distintos. Ele foi

originalmente denominado como *Stream-gradient index* ou índice SL (relação *slope vs. length*) e elaborado para aplicação a margens ativas, embora o índice tenha sido utilizado e traduzido por diversos autores brasileiros (Rodriguez e Suguio, 1992; Rodriguez, 1993; Takiya, 1997), o trabalho elaborado por Etchebehere (2004) inova a aplicação do proposto por Hack, onde o autor propõe a aplicação do índice a uma margem passiva e o traduzindo como índice Relação Declividade Extensão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Compreender a dinâmica fluvial da Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio, localizada em ambiente semiárido, no município de Pesqueira, PE, a partir da aplicação do mapeamento das unidades geomórficas e parâmetro morfométrico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer as unidades geomórficas do canal principal com vista ao entendimento da dinâmica processual que atua sobre a elaboração e modificação das formas deposicionais;
- Aplicação do parâmetro morfométrico para identificação dos setores anômalos do canal, buscando evidenciar fatores que controlam sua morfogênese e criação de espaços de acomodação na área estudada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura buscou abordar questões relacionadas aos objetivos e às metodologias traçadas para este trabalho. Assim, tratou-se de estudos voltados ao mapeamento fluvial, a partir de uma revisão de trabalhos já produzidos com ênfase no ambiente semiárido do Nordeste brasileiro, e o mapeamento de unidades geomórficas. Também foi feita uma revisão sobre o parâmetro morfométrico e sua utilização em margens continentais passivas, e seu papel na esculturação e interferências no modelado, com foco na criação de espaços de acomodação em ambiente fluvial.

2.1 Mapeamentos Fluviais

Percebe-se que algumas metodologias de mapeamentos fluviais propõem uma abordagem holística do tema, buscando uma compreensão mais ampla com vistas a evidenciar o contexto geográfico ao qual o rio está inserido, como também ressaltar suas interrelações. Tal abordagem teve início a partir do trabalho de Frissell et al., (1986), seguido dos trabalhos de Rosgen (1994) e Montgomery e Buffington (1997).

Pelech (2021) fala que estas classificações apresentam objetivos como, o reconhecimento do funcionamento dos rios, associação entre feições geomorfológicas e recuperação fluvial. Assim, a busca por metodologias que integrem as diferentes relações entre a bacia hidrográfica, o contexto geológico, geomorfológico e climático, estimulou o surgimento de diferentes classificações

hierárquicas que buscam abranger desde as macroformas até as microformas das feições hidráulicas de canal.

Ao longo das últimas duas décadas percebe-se que os estudos que buscam caracterizar as dinâmicas e morfologias fluviais do semiárido brasileiro têm sido evidenciados por meio da aplicação da metodologia de mapeamento fluvial proposta por Brierley e Fryirs (2005). Esta classificação se baseia no conceito de estilos fluviais, que representam tipologias de rios que são identificadas na escala de trechos de canais.

A definição dos estilos inclui a identificação do grau e tipo de confinamento do vale, da forma do rio em planta, do número de canais, sinuosidade, restrição e estabilidade lateral, assim como das unidades geomórficas internas e externas ao canal, e da granulometria predominante dos materiais do leito fluvial (Brierley e Fryirs, 2005; Pelech, 2021).

As metodologias de classificação geomorfológicas de rios apresentadas no trabalho de Pelech (2021) também definem o tipo de rio por trecho do canal (Frissel et al., 1986; Rosgen, 1994; Montgomery e Buffington, 1997; Brierley e Fryirs, 2000; 2005). Essas classificações surgem a partir da consideração das unidades geomórficas, que são feições situadas dentro ou fora do canal.

2.2 Unidades Geomórficas

No Brasil, desde a década de 2010, percebe-se uma marcante e crescente influência da metodologia dos Estilos Fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2000; 2005) nos estudos voltados para a classificação geomorfológica de rios. Na última década igualmente surgiram estudos com enfoque na classificação fluvial em ambiente semiárido a partir da proposta de Brierley e Fryirs (2000; 2005), entre eles destacam-se trabalhos como o de Souza e Correa (2012); Souza (2014); Almeida (2017; 2021); Silva *et al.* (2019); e mais recentemente, destaca-se o trabalho de Santos (2024) que diferente dos trabalhos já realizados no semiárido brasileiro baseados em Brierley e Fryirs (2000; 2005) utilizou a metodologia proposta por Wheaton *et al.* (2015).

A metodologia de mapeamento fluvial proposto por Wheaton *et al.* (2015), apresenta um framework coerente, de fácil utilização, repetição e caráter genérico, para o mapeamento das paisagens fluviais. Utilizando como base os trabalhos de Brierley e Fryirs (2013), a taxonomia propõe muitos dos mesmos termos que já vêm sendo utilizados por diversos geomorfólogos ao longo dos anos para a descrição da morfologia dos rios, mas de uma forma mais coerente e a partir da criação de camadas interpretativas, levando a uma classificação mais completa.

São abordados procedimentos de identificação de elementos estruturais do canal (antrópicos ou naturais), que são objetos discretos que influenciam o fluxo do canal, e cuja presença constituem indicativos dos padrões e agrupamentos das unidades geomórficas. Portanto, os elementos estruturais são críticos pois distintas unidades geomórficas se formam devido às alterações hidráulicas.

As margens fluviais representam uma fronteira entre regiões distintas, podendo expressar a forma do rio e um limite no seu comportamento. As margens podem ser classificadas como antrópicas e naturais, sendo as antropogênicas classificadas como: diques, cercas, sebes, diques construídos, muros etc. Enquanto as margens naturais são definidas como margens de vale, de fundo de vale e de canal. Desta forma, Wheaton et al. (2015) definem as margens de vale como a margem que se estabelece entre a encosta coluvial e os depósitos que compõem o leito do vale, já a margem de fundo de vale compreende o canal ativo e a planície de inundação atual.

A construção dos mapas tem como ponto de partida a identificação dos desenhos das margens. À vista disso, a margem do vale é geralmente mapeada primeiro (quando estiver dentro da extensão do canal), seguida pela margem inferior e depois a margem do canal. Dentro das áreas delimitadas por diferentes margens, as unidades geomórficas que compõem as zonas do canal e da planície de inundação devem ser delimitadas e simbolizadas adequadamente.

As unidades geomórficas, por sua vez, são formas de relevo originadas a partir de processos erosivos e deposicionais de rochas e materiais sedimentares, sendo distinguidas a partir da sua posição ao longo do canal, também é considerado a distinção das unidades do leito, planície de inundação (Ativa ou inativa), encostas e unidades de leques (Wheaton *et al.*, 2015).

Ainda em Wheaton et al. (2015) vemos que para a classificação das unidades é proposta uma divisão em quatro táxons, onde o primeiro nível trata da identificação das unidades dentro e fora do canal, o segundo da definição da forma a partir de sua curvatura, o nível 3 lida com morfologias específicas (unidades dentro e fora do canal), enquanto o quarto nível identifica morfologias específicas.

2.3 Parâmetro Morfométrico

Análises morfométricas são partes de estudos geomorfológicos quantitativos, os quais são desenvolvidos por meio da aplicação de índices morfométricos às bacias hidrográficas e canais fluviais, bem como para a realização de análises estruturais do relevo através do uso de modelos digitais de terreno. O uso desses índices evidencia controles estruturais no relevo a partir da identificação e aferição de anomalias presentes em um canal fluvial, padrões de drenagem, além de descrever feições morfológicas que seguem direções preferenciais do controle estrutural.

Originalmente criado para aplicação em relevos em margem continental ativa, os índices passaram a ser utilizados largamente em contextos de margem passiva, como os trabalhos desenvolvidos no Nordeste brasileiro, que apresentam um leque de estudos com aplicações de índices morfométricos que revelam controles estruturais sobre a evolução do relevo. Destacam-se trabalhos como o de Monteiro (2015), Fonsêca (2018) e Silva (2022), que foram desenvolvidos no setor Oriental do Planalto da Borborema, e mais recentemente o trabalho de Santos (2024), que evidencia a aplicação do índice morfométrico em margem passiva.

Um dos principais índices morfométrico aplicado à rede de drenagem e canais foi estabelecido por Hack (1973), sendo originalmente chamado de *stream-gradient index* ou índice SL (relação declive (*slope*) vs. Comprimento de curso (*length*)). Ao empregar este índice em seu trabalho, Etchebehere (2004) o traduziu para o português como Relação Declividade Extensão-RDE. Para Hack (1973) a utilização do índice consideraria características climáticas e evolução da paisagem, enquanto Etchebehere (2004) dialoga que as anomalias de drenagem devem estar relacionadas a fatores como a diferença litológica além de controles estruturais e tectônicos.

3 Materiais e Métodos

3.1 Obtenção de Dados

3.1.1 Obtenção de dados para mapeamento fluvial

As imagens usadas para a identificação e delimitação das unidades geomórficas foram obtidas a partir do Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, modelo Mavic Pro 2 (figura 1), que permitiu obter o Modelo Digital de Terreno – MDT e a Ortofoto com resolução de 2,6 cm². O mapeamento fluvial foi iniciado com o trabalho de gabinete, a partir da utilização de condicionantes topográficos (elevação, curvatura e declividade) e a Ortofoto para identificação das margens fluviais, identificação das unidades geomórficas dentro e fora do canal e da sua forma por meio do *ArcGis 10.3*, tendo como base o MDT. Para a identificação das unidades geomórficas dentro e fora do canal a partir de seus processos formadores, foi realizado o trabalho de campo, que possibilitou a identificação in loco das feições fluviais e sua dinâmica.

Figura 1: VANT utilizado para obtenção de imagens.



Fonte: Rafael (2023).

Tendo em vista os objetivos da presente pesquisa, seguindo a metodologia abordada para a pesquisa, foi preparado um quadro adaptado

(Quadro 1) onde foram destacadas apenas a identificação das margens fluviais e as unidades geomórficas, a partir dos níveis taxonômicos 1, 2 e 3.

Quadro 1: Quadro ilustrando os procedimentos e níveis taxonômicos elencados para a área de estudo.

Margens Fluviais		Unidades Geomórficas		
Naturais	Margem do Vale	Nível 1	Fora do canal	Planície
				Terraço
				Leque
	Margem do Fundo do vale	Nível 2	Plana	
			Convexa	
	Margem do Canal		Côncava	
Antrópicas	Diques	Nível 3	Dentro do canal	Barras Fluviais
	Cercas			Cascatas (cascades)
	Sebes			Degraus (step)
	Diques construídos			Bancos (riffle)
	Ferrovias		Fora do canal	Encostas coluviais
	Estradas			Leques aluviais
	Muros			Terraços fluviais

Fonte: Adaptado de Wheaton et al. (2015)

3.1.2 Obtenção de dados morfométricos

Para a aplicação do Índice Relação Declividade Extensão foi utilizado a base de dados do *Copernicus*, extraindo o MDT com resolução de 30m. Os dados foram manipulados em ambiente SIG por meio do *software ArcGis 10.3*, no qual a partir do MDT foi extraída a drenagem através da ferramenta *Raster Surface*, extensão *Spatial Analyst Tools* e *Hydrology* (Ferramenta *Fill*, *Basin*, *Flow Direction*, *Flow Accumulation* e *Stream Order*), após isto foi destacado o canal principal da BHRM para o cálculo manual do RDE. Por conseguinte, a equidistância (L) definida foi de 25m, enquanto para a obtenção das medidas do ΔH e ΔL , foi utilizada a ferramenta *Measure (Measure Line)*, em seguida os valores foram inseridos no Excel para obtenção dos valores das anomalias (SANTOS, 2024).

3.1.3 Relação Declividade Extensão – RDE

Durante a elaboração da pesquisa foi aplicado o Índice de Declividade-Extensão sobre o recorte do canal principal da Bacia do Riacho do Meio - BHRM. O índice de Relação Declividade Extensão do canal - RDE é derivado do Índice de Hack e pode dar indicações da energia atual em um trecho de drenagem específico, variando com a inclinação da sua superfície e a descarga no trecho final. Este parâmetro está diretamente relacionado aos perfis longitudinais dos rios ou trechos de drenagem, calculados a partir da multiplicação do trecho do

rio pela distância entre este trecho e a nascente do rio (SCALCO, 2017), representado pela seguinte fórmula:

$$RDE_{trecho} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$$

Onde o ΔH corresponde à amplitude altimétrica entre os dois pontos selecionados do curso d'água, enquanto ΔL refere-se à extensão de todo trecho estudado e por fim, L é a extensão total do canal da nascente até o ponto final onde o índice RDE está sendo calculado.

4 Caracterização da Área de Estudo

A bacia do Riacho do Meio – BHRM, está localizada a leste do município de Pesqueira e oeste de Arcoverde, no distrito de Mimoso, estado de Pernambuco. A bacia integra o alto curso da bacia do rio Ipanema, localizada no setor oriental do Planalto da Borborema, na unidade dos Maciços Remobilizados da Zona Transversal, sendo circundado pela Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, Depressão Interplanáltica do Ipanema (Figura 2) (Corrêa et al., 2010).

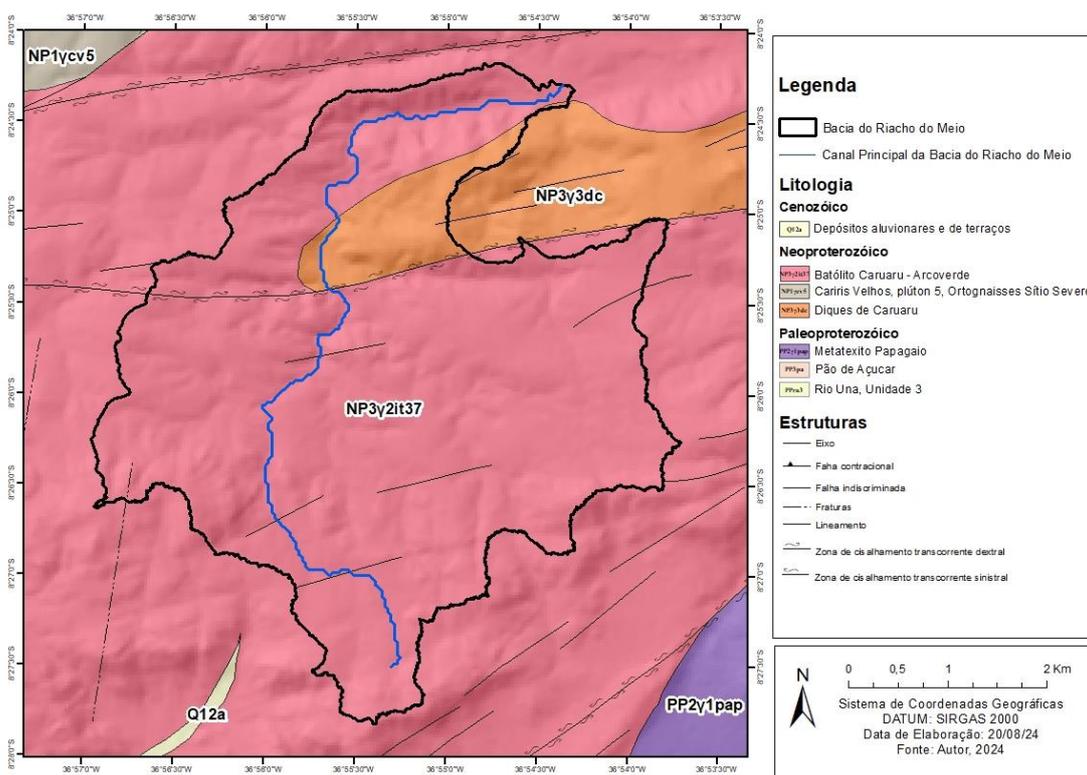
A área apresenta variação altimétrica entre 650 e 1.000 m (Figura 3), apresenta rios perenes, mas com pouca vazão os quais encontram-se sobrepostos a um relevo escarpado com vales profundos e estreitos, dissecados (Figura 4). O clima varia de tropical semiárido a sub-úmido (sobre as maiores elevações), com precipitação média anual de 655 mm, com verão seco e período chuvoso de outono/inverno, retornando as condições secas a partir de setembro/outubro (Figura 5).

A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT é o principal sistema produtor de chuva atuante no Nordeste brasileiro. Se trata de uma faixa de nuvens que circula o globo na faixa equatorial, são formadas a partir da convergência dos ventos alísios, que tem origem nos hemisférios Norte e Sul. Os ventos alísios são úmidos, e são influenciados pela alta temperatura da superfície do mar, o que influencia a sua posição e sua intensidade. Ao se deslocar para o hemisfério Sul no fim do verão, neste hemisfério, atua sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Os sistemas climáticos que influenciam e controlam o clima semiárido do Nordeste brasileiro atuam em uma escala intra-anual, ou seja, variam ao longo dos meses. Dentre esses sistemas, destaca-se o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que opera em escalas temporais interanuais e interdecadais, afetando a dinâmica climática, especialmente na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), influenciando sua intensidade (Ferreira, 2005; Polzin et al., 2014).

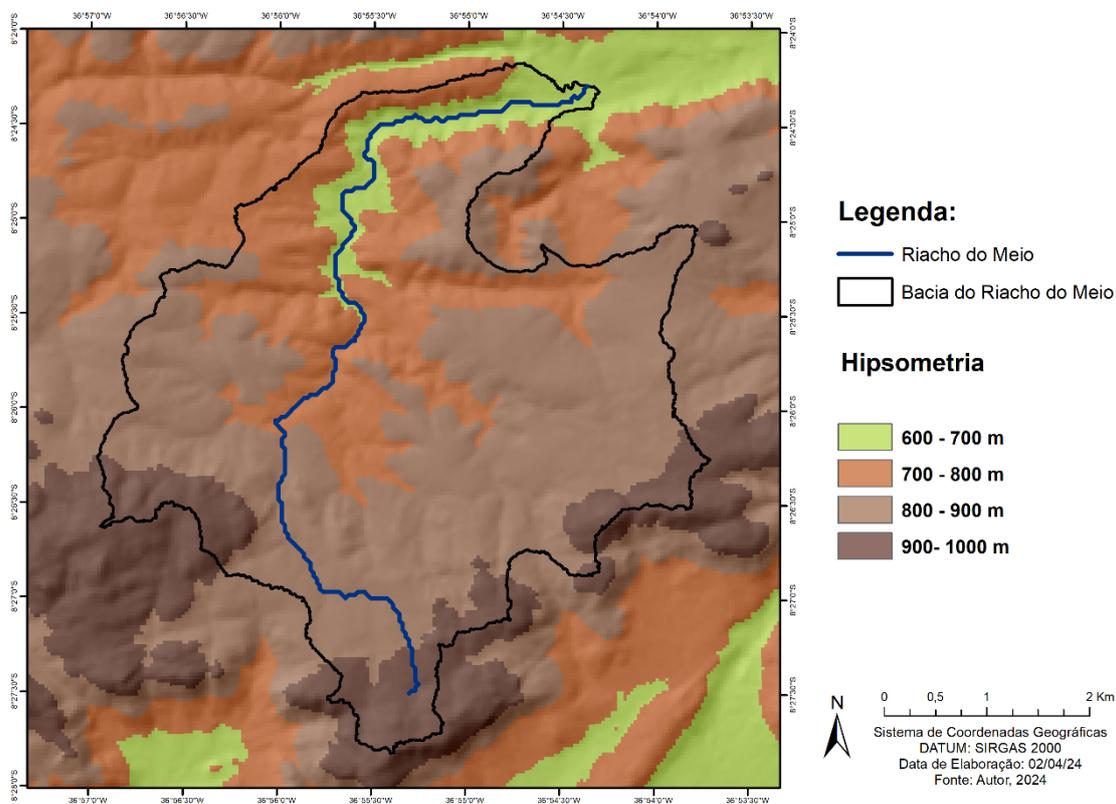
Atualmente, a área de estudo é caracterizada por um clima semiárido, onde eventos extremos de precipitação e períodos de seca são influenciados por teleconexões associadas ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Figura 2: Mapa Geológico da Área de Estudo



Fonte: Autor, 2024.

Figura 3: Mapa Hipsométrico da Bacia do Riacho do Meio



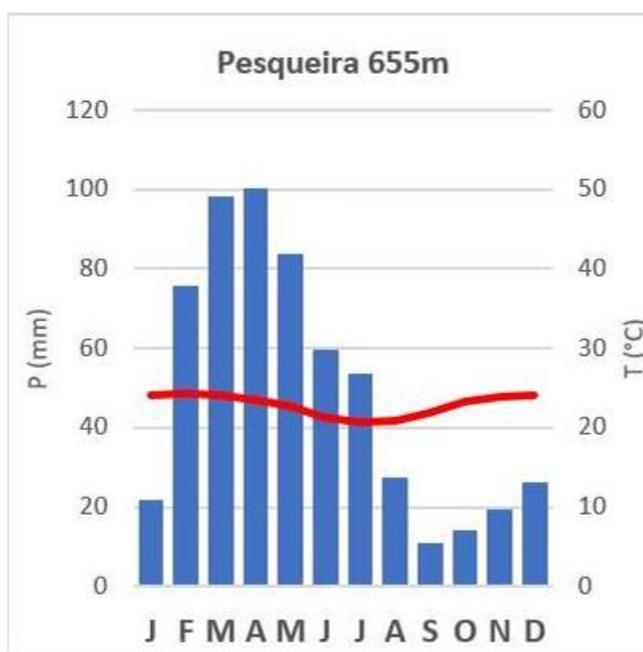
Fonte: Autor (2024)

Figura 4: Imagem do baixo curso da BHRM com a presença de um fluxo fluvial perene, mas com pouca vazão, sobre posto a um relevo escarpado com vales profundos e estreitos, dissecados.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5: Climograma de Pesqueira-PE



Fonte: Santos, 2023.

5 Resultados e Discussão

A partir da aplicação das metodologias propostas para a presente pesquisa, foram obtidos os seguintes resultados para a aplicação do parâmetro morfométrico, mapeamento fluvial e mapeamento das unidades geomórficas dentro e fora do canal.

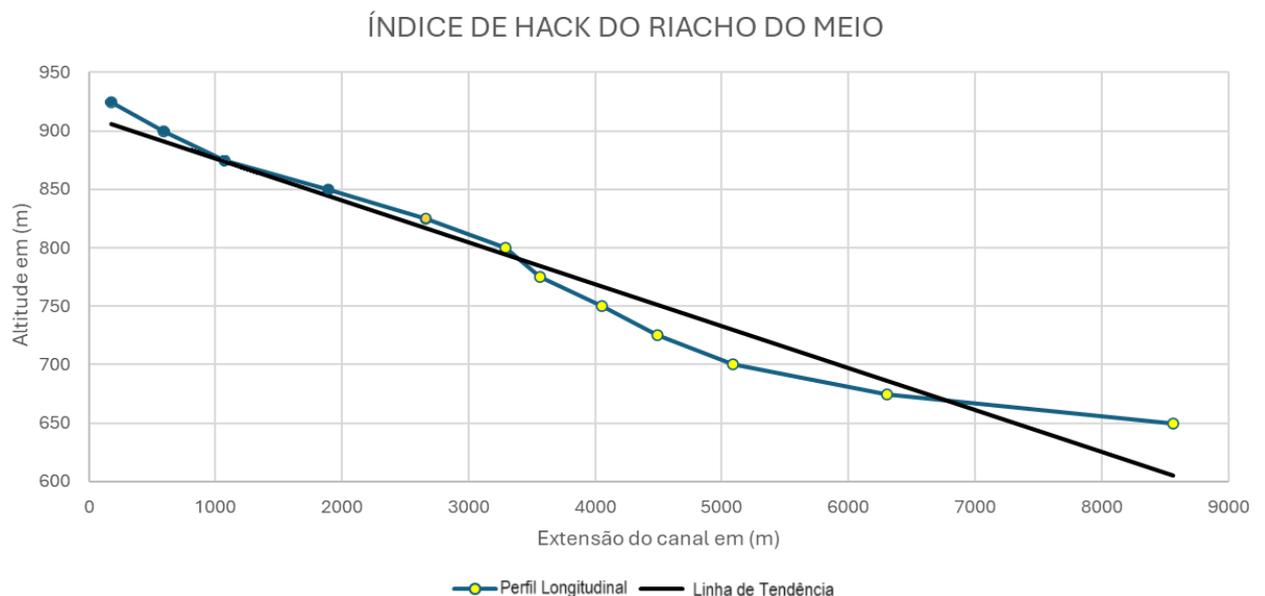
5.1 Análise da Relação Declividade Extensão - RDE

A partir da aplicação do Índice Declividade Extensão, sobre o recorte do canal principal da Bacia do Riacho do Meio – BHRM, foi elaborado um gráfico (Figura 6), onde foram identificados oito pontos que apresentam anomalias de 2ª Ordem. Essas anomalias estão localizadas entre as cotas altimétricas de 825m e 650m, a partir do médio curso do rio até o baixo curso, estando a última anomalia localizada na foz.

Dos oitos pontos, onde foram identificadas as anomalias, sete estão localizados sobre a unidade geológica do Batólito Caruaru – Arcoverde, e um está localizado sobre a litologia denominada Dique de Caruaru, onde existe contato litológico entre as duas unidades controlado pela presença da Zona de Cisalhamento Dextral. Foram ainda identificados mais quatro pontos, próximos à nascente, os quais não apresentam anomalias, visto que os valores apresentados a partir da aplicação do parâmetro morfométrico foram menores que 2, enquanto as anomalias de 2ª Ordem devem apresentar valores >2 e <10 .

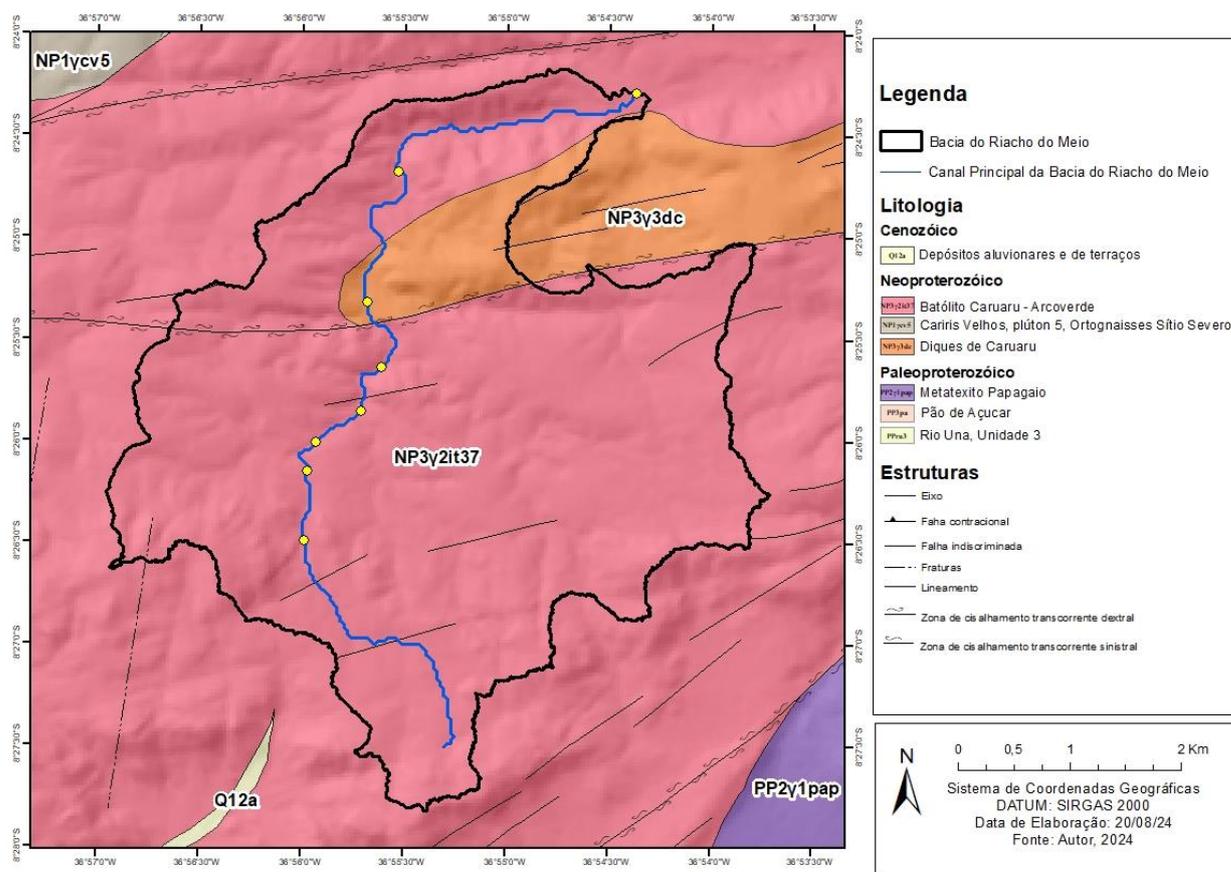
Os dados obtidos pela análise do índice RDE foram sobrepostos ao mapa litológico (Figura 7) onde podemos identificar todos os pontos de anomalia presentes no perfil longitudinal do canal, evidenciando sobre quais unidades litológicas eles estão posicionados. As anomalias identificadas se encontram sobre o Batólito Caruaru-Arcoverde, enquanto uma se encontra na estrutura Dique Caruaru. Pode-se notar também a presença de uma Zona de Cisalhamento Dextral, presente entre o médio e baixo curso do canal principal.

Figura 6: Perfil Longitudinal Riacho do Meio



Fonte: Autor (2024).

Figura 7: Mapa Litológico Estrutural da BHRM



Fonte: Autor (2024)

Na tabela abaixo (tabela 1) encontram-se listados os pontos em que as anomalias determinadas por meio da aplicação do RDE apresentaram maiores valores, essas se encontram entre as cotas altimétricas de 700 e 775m. A partir da análise dos resultados obtidos após a aplicação do índice de Hack ($SL_{total} = (\Delta H / \ln L)$), foram identificados 12 pontos de ruptura no perfil longitudinal do canal, 8 desses pontos apresentando anomalias de 2ª Ordem e 4 não apresentando anomalias.

Tabela 1: Valores do SL_{trecho} / SL_{total} das anomalias de 1ª ordem na bacia BHRM conforme Seeber e Gornitz

Isoipsa	Δh	Δl	L	$SL = (\Delta h / \Delta l) \cdot L$	Anomalia
775	25	410,741583	275,595267	217,04279	2ª Ordem
750	25	515,571673	483,267926	196,34554	2ª Ordem
725	25	553,489014	441,312075	202,82787	2ª Ordem
700	25	795,288385	598,13282	159,97446	2ª Ordem

Fonte: Autor (2024).

Os trechos do ponto um ao quatro encontram-se no alto curso do rio, entre as cotas altimétricas de 950 a 850 metros. Estes são os quatro pontos mais distantes da zona de cisalhamento, e, portanto, não apresentam anomalias. Os outros 8 pontos estão localizados no médio e baixo curso do rio, sendo os

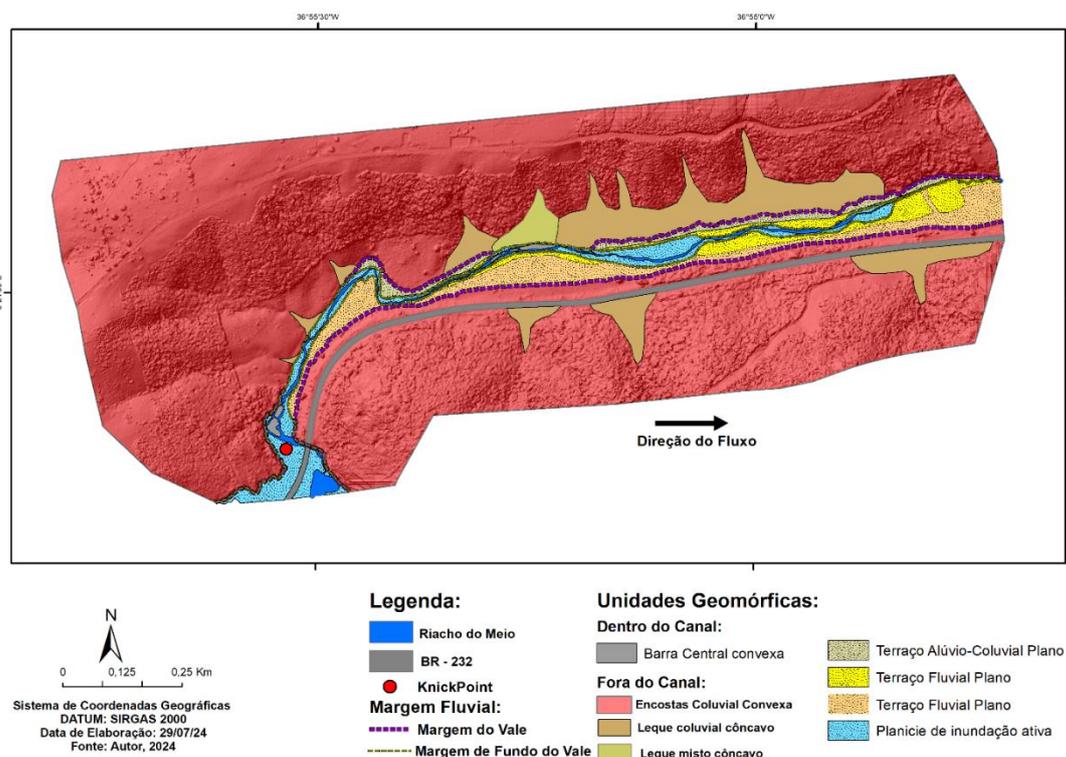
trechos que apresentam anomalias de segunda ordem. Essas refletem a presença de rupturas geradas por fatores estruturais, sobretudo relacionadas à proximidade da zona de cisalhamento, como mostrado no mapa.

Pode-se dizer então que a ocorrência de anomalias ao longo do canal é consequência de um controle estrutural, associado à proximidade da ZCPE. De fato, foi observado que quatro, dos oito pontos, que apresentam os maiores valores de anomalia se encontram no contato entre as unidades litológicas e a ZC. A análise do perfil longitudinal do canal principal da BHRM também evidenciou a presença de setores anômalos, o que configura um rio com setores ainda em desequilíbrio geomorfológico.

5.2 Análise do mapeamento das Unidades Geomórficas

A partir dos resultados obtidos pela análise morfométrica, destacou-se o baixo curso da BHRM para o mapeamento fluvial. A partir da metodologia de Wheaton et al. (2015), foi identificada a margem fluvial que tem origem natural, onde se destacam a margem do vale e a margem de fundo de vale, além da identificação das unidades geomórficas entre os níveis taxonômicos 1, 2 e 3. Estes procedimentos possibilitaram a identificação de unidades fora e dentro do canal, individualizadas como barra fluvial central, dois níveis de terraços, um alúvio-coluvial e outro fluvial, leques coluviais e mistos e a encosta coluvial (Figura 8). O mapeamento foi executado em gabinete, a partir do uso do *software* ArcGIS 10.3, além da utilização de imagens aéreas feitas por VANT e trabalho de campo para confirmação da identificação, classificação e registros das unidades geomórficas.

Figura 8: Mapeamento Fluvial e do Fundo de Vale com a identificação das margens fluviais e unidades geomórficas do baixo curso da BHRM.

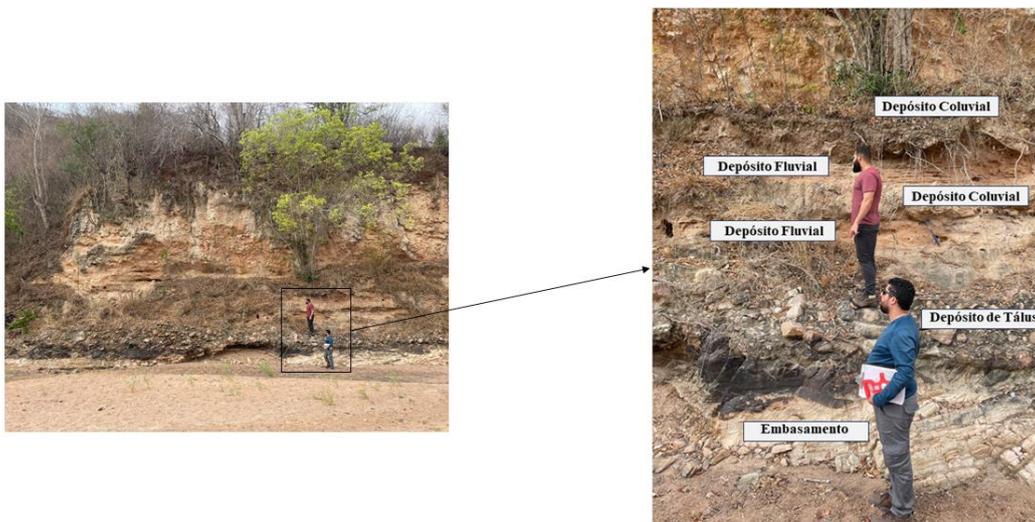


Fonte: Adaptado de Santos (2024).

O trabalho identificou um leque aluvial misto em perfil frontal, alternando entre depósitos de encosta e fluxo laminar. O perfil, da base ao topo, tem início no embasamento intemperizado, logo após foi identificado uma camada de depósito de tálus, depósito fluvial, depósito coluvial, um novo depósito fluvial e no topo um novo depósito coluvial (Figura 9). Ademais, foi identificado que entre a planície de inundação e o depósito alúvio-coluvial há um entalhe de 6 m, onde o terraço fluvial apresenta 1,40 m de altura e o depósito alúvio-coluvial 4,60 m (Figura 10).

A presença de unidades fora do canal, como os terraços fluviais e alúvio-coluviais, apontam dinâmicas climáticas que são diferentes das atuais, permitindo deduzir que o trecho estudado da BHRM passou por períodos de maiores vazões, propiciando o alargamento do vale, como também incisões que levou ao abandono da sua antiga planície de inundação, formando os terraços fluviais e alúvio-coluviais identificados. Enquanto as unidades dentro do canal, reflete o contexto climático atual, caracterizado por fluxo momentâneo e de grande magnitude responsável pelo transporte de uma grande quantidade de carga sedimentar, em que ao cessar leva à deposição de barras fluviais (figura 11), como as identificadas. As outras unidades fora do canal, como os leques coluviais (Figura 12), mistos e o terraço alúvio-coluvial, mostram uma significativa contribuição lateral, indicando um processo contínuo entre as unidades de encosta e o canal, como fica explicitado pela presença do leque misto, que apresenta camadas com matérias de origem distintas, apresentando fácies de encosta formada por fluxo de detritos, e em alguns momentos formadas por fluxo laminar.

Figura 9: Leque Misto

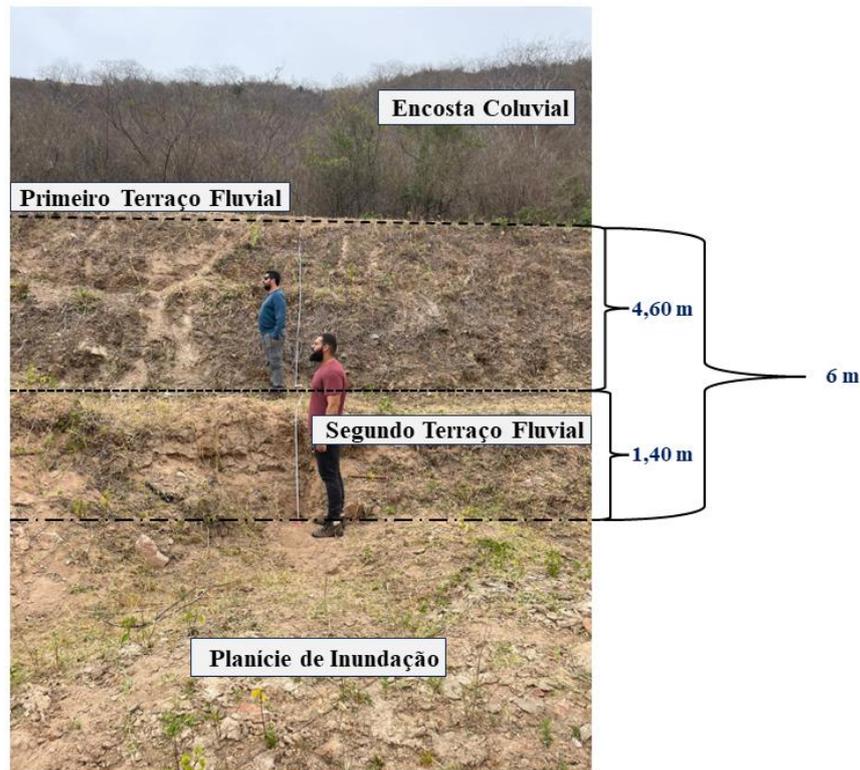


Fonte: Santos (2024).

Na Figura 9, observa-se o perfil de um leque misto, que permite analisar a sobreposição de diferentes camadas sedimentares. Na base do depósito, identifica-se o embasamento cristalino, sobre o qual se deposita uma camada de tálus, composta por sedimentos de granulometria mais grossa, resultantes de processos gravitacionais. Acima dessa camada, encontram-se depósitos aluviais, formados pelo transporte fluvial, e coluviais, compostos por materiais

transportados por gravidade ao longo de encostas. A disposição dessas camadas reflete diferentes processos de sedimentação, que no contexto climático atual não seria possível de ser formados, nos levando a considerar que a formação de tal depósito ocorreu sob uma condição climática diferente da atual, quando o canal fluvial possuía uma maior vazão, levando a uma variação em seu nível.

Figura 10: Terraço Alúvio-Coluvial e Terraço Fluvial



Fonte: Santos (2024).

Na figura 10, é possível observar dois níveis diferentes de terraços fluviais, além da barreira de inundação atual. O primeiro terraço, situado a 4,6 metros de altura, e o segundo, a 1,4 metros, indicam uma diferença de altitude significativa entre os dois. Essa variação altimétrica evidencia o processo de erosão vertical realizado pelo canal fluvial ao longo do tempo. A formação dos terraços reflete fases distintas de erosão e deposição, onde o rio, em períodos anteriores, rebaixou seu leito devido à intensificação da erosão vertical, causada por fatores como mudanças no fluxo do rio, variabilidade climática ou até mesmo atividades tectônicas. Esses terraços representam níveis mais antigos do leito do rio e são fundamentais para entender a evolução da paisagem fluvial e as dinâmicas ambientais.

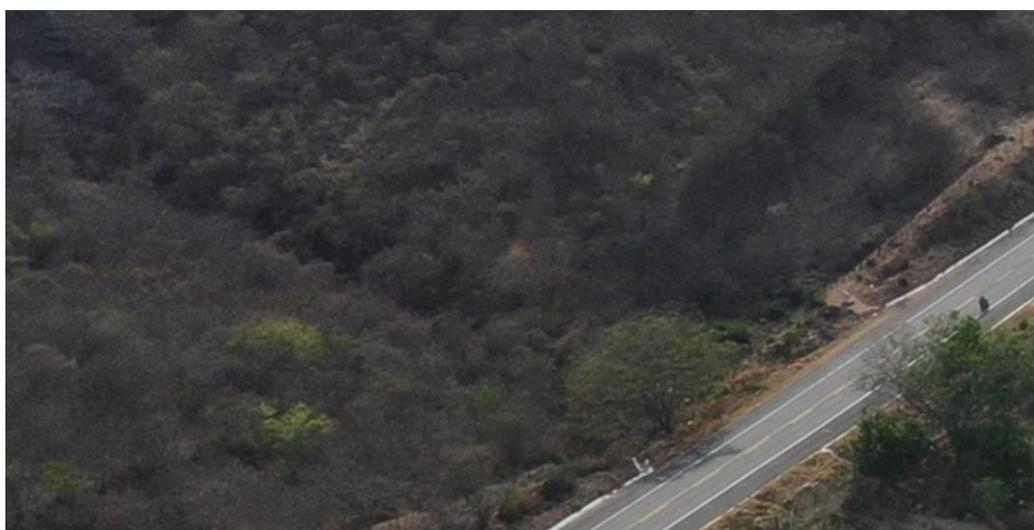
Figura 11: Barra Fluvial



Fonte: Santos (2024).

A presença de uma barra fluvial central (Figura 11) reflete as condições climáticas e hidrológicas atuais, especificadas por um rio de baixa vazão. A capacidade reduzida de transporte sedimentar faz com que o rio não consiga carregar seus sedimentos até a foz, resultando na deposição de materiais ao longo do canal. Esse processo favorece a formação de barras centrais, onde os sedimentos se acumulam no leito, moldando o curso do rio e refletindo um regime de fluxo mais fraco, comum em climas áridos ou semiáridos, ou em períodos de seca prolongada.

Figura 12: Leque Coluvial



Fonte: Santos (2024).

O leque coluvial, ilustrado na Figura 12, é formado por sedimentos provenientes de processos erosivos, que são transportados predominantemente pela ação da gravidade. Ao atingir áreas de menor declividade, esses materiais são depositados, exigindo uma configuração em forma de leque. Esse tipo de deposição ocorre tipicamente em encostas, onde a energia do transporte diminui drasticamente, permitindo o acúmulo de sedimentos que variam de tamanho, desde blocos maiores até partículas mais finas, conforme a dinâmica do movimento gravitacional.

6. CONCLUSÕES

A análise morfométrica mostra que a Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio apresenta um controle estrutural, influenciado pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, reativada pelos pulsos tectônicos pós-cretáceos. A análise do mapeamento fluvial aponta para morfologias que são consideradas atípicas para o ambiente fluvial semiárido do Nordeste. Estas unidades geomórficas foram influenciadas pelo contexto estrutural atuante na área de estudo, e destacadas pelas anomalias de drenagem identificadas (Knickpoint), o que nos leva a considerar um possível rearranjo fluvial e a criação de espaços de acomodação dos sedimentos. Contudo, uma análise da sedimentação de encostas e dos terraços fluviais na região sugere que a entrada de sedimentos no sistema fluvial pode ter sido mais intensa em períodos anteriores, possivelmente durante outros momentos do Holoceno ou até no Pleistoceno tardio. Isso indica que variações climáticas passadas, ambientes mais úmidos ou com maior atividade erosiva, que tiveram um papel crucial na formação das feições sedimentares.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia E Morfoestrutura Do Planalto Da Borborema. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31 (1/2), p.35-52, 2010.

ETCHEBEHERE, M. L., SAAD, A. R., FULFARO, V. J., PERINOTTO, J. A. de J. (2004). Aplicação do índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. *Geologia USP. Série Científica*, 4(2), 43-56.

FERREIRA, A.G; MELLO, N.G.S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. Revista Brasileira de Climatologia, vol.1, nº 1, p 15, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Diagnóstico do Município de Pesqueira.

PELECH, A. Classificações Geomorfológicas de rios: uma breve discussão teórica. William Morris Davis - Revista de Geomorfologia, v. 2, n. 2, 15 de

dezembro de 2021, p. 127. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v2n2.2021.170>. Pernambuco, 2005.

PEREIRA, C. R. P. et al. O papel da geomorfologia fluvial no gerenciamento de inundações urbanas. Anais do XIV ENANPEGE... Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/78730>>.

POLZIN, D.; HASTENRATH, S. Climate of Brazil's nordeste and tropical atlantic sector: preferred time scales of variability. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2014.

SANTOS, J. D. C. Evolução geomorfológica da paisagem da Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio, afluente do rio Ipanema, Pesqueira-PE. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

SILVA, W. F.; ALMEIDA, J. D. M.; SANTOS, L. D. J.; SOUSA, S. G.; LISTO, F. L. R. GIRÃO, O. A proposta de estilos fluviais na análise da morfodinâmica em rio semiárido: Rio Ipanema, Pernambuco. Revista OKARA: Geografia em debate, v. 13, n. 1, p. 252-272, 2019.

SOUZA, J. O. P. Modelos de Evolução da Dinâmica Fluvial em Ambiente Semiárido – Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco. Tese de Doutorado: Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

WHEATON M. J; FRYIRS, K.A; BRIERLEY, G; BANGEN, S.G; O'BRIEN, N.G. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms, Geomorphology, Volume 248, Pages 273-295, 2015.