

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

CARTOGRAFIA DETALHADA DO RELEVO: MAPEAMENTO SEMI-AUTOMATIZADO NA BACIA DO RIO TIGRE EM ERECHIM, RS

André Ricardo Furlan¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1927-6114>

Romario Trentin² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0615-2801>

Luís Eduardo De Souza Robaina³ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil*

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**

³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil***

Artigo recebido em 22/01/2024 e aceito em 10/08/2024

RESUMO

A cartografia do relevo desempenha um papel fundamental no Planejamento Ambiental e no Ordenamento Territorial, refletindo-se na atual discussão sobre a criação do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo. Este estudo concentra-se no desafio de elaborar um mapeamento geomorfológico detalhado, destacando a interação a estrutura física e processos geomorfológicos. A pesquisa identifica nove elementos do relevo em uma bacia hidrográfica, identificando áreas-chave e suas características morfológicas originais. A metodologia empregada, com base em Modelos Digitais de Terreno (MDT), permitiu a classificação minuciosa desses elementos, incluindo Planícies e Terraços Fluviais, Vales Encaixados, Vertentes Convexas e Côncavas, Patamares e Topos. Cada elemento foi descrito em termos de representatividade na área, abordando percentuais de ocupação e dimensões espaciais, morfometria, morfologia e morfodinâmica. Os resultados foram apresentados por meio de recortes espaciais da bacia hidrográfica, proporcionando uma visão detalhada da distribuição desses elementos na superfície terrestre. A abordagem semi-automatizada revelou-se eficaz na identificação precisa dos elementos do relevo, validando seu uso para caracterização em escala detalhada. Além disso, a integração de dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) enriqueceu a compreensão sobre a interação dos processos geomorfológicos.

Palavras-chave: cartografia do relevo; Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo; geotecnologias; Sistemas de Informações Geográficas.

* Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Professor de Geografia dos Anos Finais da Rede municipal de Flores da Cunha, Rio Grande do Sul (RS). E-mail: andre.ricardofurlan@gmail.com

** Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Professor do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: romario.trentin@gmail.com

*** Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Professor do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br

DETAILED RELIEF CARTOGRAPHY: SEMI-AUTOMATED APPROACHES IN THE TIGRE RIVER BASIN IN ERECHIM, RS

ABSTRACT

Relief cartography plays a pivotal role in Environmental Planning and Territorial Organization, reflecting ongoing discussions about establishing the Brazilian Relief Classification System. This study focuses on the challenge of developing a detailed geomorphological map, highlighting the interaction between physical structure and geomorphological processes. The research identifies nine relief elements within a watershed, pinpointing key areas and their original morphological characteristics. The methodology, based on Digital Terrain Models (DTM), allowed meticulous classification of these elements, encompassing Floodplains and River Terraces, Incised Valleys, Convex and Concave Slopes, Plateaus, and Summits. Each element was described in terms of its representation within the area, covering occupation percentages, spatial dimensions, morphometry, morphology, and morphodynamics. Results were showcased through spatial cutouts of the watershed, offering a detailed view of these elements' distribution on the Earth's surface. The semi-automated approach proved effective in accurately identifying relief elements, validating its use for detailed characterization. Furthermore, integrating data into Geographic Information Systems (GIS) enriched the understanding of geomorphological processes.

Keywords: relief cartography; Brazilian Relief Classification System; geotechnologies; Geographic Information Systems.

CARTOGRAFÍA DETALLADA DEL RELIEVE: MAPEO SEMIAUTOMATIZADO EN LA CUENCA DEL RÍO TIGRE EN ERECHIM, RS

RESUMEN

La cartografía del relieve desempeña un papel fundamental en la Planificación Ambiental y en el Ordenamiento Territorial, reflejándose en la actual discusión sobre la creación del Sistema Brasileño de Clasificación del Relieve. Este estudio se centra en el desafío de elaborar un mapeo geomorfológico detallado, destacando la interacción entre la estructura física y los procesos geomorfológicos. La investigación identifica nueve elementos del relieve en una cuenca hidrográfica, señalando áreas clave y sus características morfológicas originales. La metodología empleada, basada en Modelos Digitales de Terreno (MDT), permitió la clasificación meticulosa de estos elementos, incluyendo Llanuras y Terrazas Fluviales, Valles Encajados, Pendientes Convexas y Cóncavas, Mesetas y Cimas. Cada elemento se describió en términos de su representatividad en el área, abordando porcentajes de ocupación y dimensiones espaciales, morfometría, morfología y morfodinámica. Los resultados se presentaron mediante recortes espaciales de la cuenca hidrográfica, proporcionando una visión detallada de la distribución de estos elementos en la superficie terrestre. El enfoque semi-automatizado demostró ser eficaz en la identificación precisa de los elementos del relieve, validando su uso para la caracterización detallada. Además, la integración de datos en Sistemas de Información Geográfica (SIG) enriqueció la comprensión de la interacción de los procesos geomorfológicos.

Palabras clave: cartografía del relieve; Sistema Brasileño de Clasificación del Relieve; geotecnologías; Sistemas de Información Geográfica.

INTRODUÇÃO

A Ciência Geográfica, ao focar na Geomorfologia, explora e interpreta diferentes aspectos do ambiente, especialmente a estrutura e a evolução do relevo. Esse campo busca compreender as dinâmicas históricas e presentes que moldam as formas naturais do terreno, sistematizando sua organização e origens (Guerra; Marçal, 2012; Silva, 2021). Os mapas geomorfológicos, são documentos de alto valor científico e contêm grande quantidade de informações. O levantamento sistemático impulsionou a geomorfologia, gerando diversas aplicações, possibilitando estudos abrangentes do terreno por meio de observações de campo, laboratório e modelagem (Florezano, 2008; Verstappen, 2011; Ross, 2017).

A integração de dados em SIGs registra as características geomorfológicas atuais, facilitando a compreensão da interação entre os processos geomorfológicos. Isso se dá pela união do levantamento de campo, análises espaciais e cartografia histórica (Mandarino *et al.*, 2020). A elaboração eficaz do mapeamento geomorfológico exige novos dados e uma melhor interpretação dos existentes. Isso resulta em um mapa que destaca a sobreposição entre o ambiente urbano, a estrutura física e os processos geomorfológicos (Faccini *et al.*, 2020).

O mapeamento geomorfológico proposto tem como objetivo auxiliar no planejamento urbano e ambiental, seguindo uma análise geomorfológica e ambiental. Para atingir esse objetivo, foram adotados os pressupostos metodológicos indicados por Ross (1992, 2012, 2017) e também utilizada por Fujimoto (2001), Rehbein (2005) e Moroz-Caccia Gouveia (2010), em conjunto com processamentos em ambiente SIG. O resultado corresponde a complementos de relevância no nível detalhado, destacando a morfografia. Para facilitar a interpretação, foi elaborada uma legenda integrada, organizada em um quadro, que apresenta e inclui informações textuais do quinto táxon de Ross (1992, 2012, 2017) e Guerra e Guerra (2018) e ou quinta ordem na escala geomorfológica de Tricart, (1965), focada na análise de pequenas formas e diferentes especificidades de vertentes.

A justificativa para este trabalho reside no debate que emergiu na geomorfologia brasileira durante a transição para o século XXI. Essas discussões visam padronizar a cartografia geomorfológica no país, representando um esforço para estabelecer normas na produção cartográfica. Nesse sentido, a criação do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR) tem sido uma busca por essa padronização (Botelho; Pelech, 2019; Pelech *et al.*, 2019).

A pesquisa fundamenta-se na coleta, organização e análise de dados, utilizando ferramentas de geoprocessamento como *Quantum GIS* (QGIS) e *ArcGIS®* para mapear os resultados obtidos. O principal objetivo é a elaboração de um mapa detalhado da geomorfologia, enfocando a interação entre a estrutura

física e os processos geomorfológicos na bacia do rio Tigre. Este estudo propõe discutir o emprego de métodos semi-automatizados na produção de mapas detalhados da geomorfologia, com ênfase em representar as formas originais dos elementos do relevo em bacias hidrográficas.

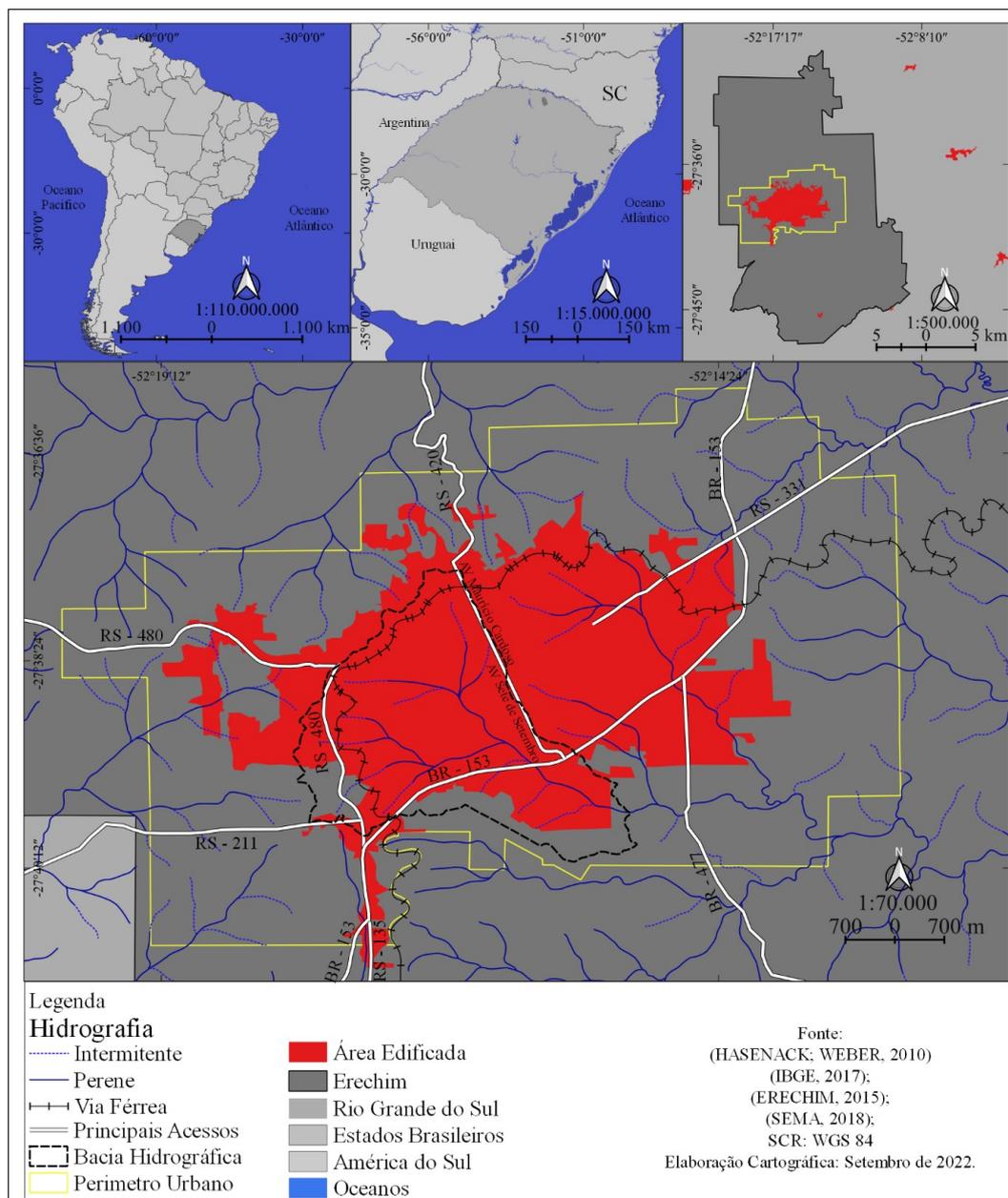
Área de estudo

Erechim está localizada na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas centrais de 27° 38' 30" de Latitude Sul e 52° 38' 30" de Longitude Oeste (Figura 1). O município de Erechim situa-se na porção norte do estado do Rio Grande do Sul, região do Alto Uruguai e microrregião geográfica de Erechim (IBGE, 2017).

A região é predominantemente composta por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, da Fácies Paranapanema (K1 beta pr) com cobertura pedológica de Latossolo Vermelho Alumíniférico (LVaf) (IBGE, 2003). Esta área exibe uma rede hidrográfica de padrão retangular, influenciada por falhas e fraturas geológicas (CPRM, 2007). No contexto urbano, Peretti (2013) destaca a presença de um relevo formado por derrames vulcânicos em patamares, onde a orientação das fraturas geológicas facilita o processo de dissecação. A região em estudo está associada às Unidades Geomorfológicas do Planalto das Missões conforme Projeto RADAMBRASIL (IBGE, 2008). O relevo exibe colinas onduladas, com topos geralmente planos e convexos, além de apresentar rupturas de declive originadas por falhas e fraturas geológicas, contribuindo para a formação de vales encaixados.

A precipitação anual varia de 1700 a 1900 mm, concentrando-se principalmente na primavera, quando são registrados entre 175 e 215 mm de chuva. As altitudes mais elevadas do Planalto Basáltico, aliadas aos padrões atmosféricos, contribuem significativamente para esse volume de chuvas. As características do relevo local desempenham um papel crucial nesses índices pluviométricos elevados, especialmente devido à posição do vale do rio Uruguai, situado no norte do estado do RS. Isso promove a ascensão de ar das direções de Santa Catarina (Norte) e Rio Grande do Sul (Sul) (Rossato, 2011).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Organização do autor (2024)

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados da área de estudo foram organizados por meio do software *Microsoft Excel* e posteriormente espacializados no *Quantum Gis* (QGIS) e *ArcGIS®*. O desenvolvimento dos mapas finais seguiu uma metodologia embasada no uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), conforme as diretrizes delineadas por Fitz (2008a, 2008b) e Menezes e Fernandes (2013).

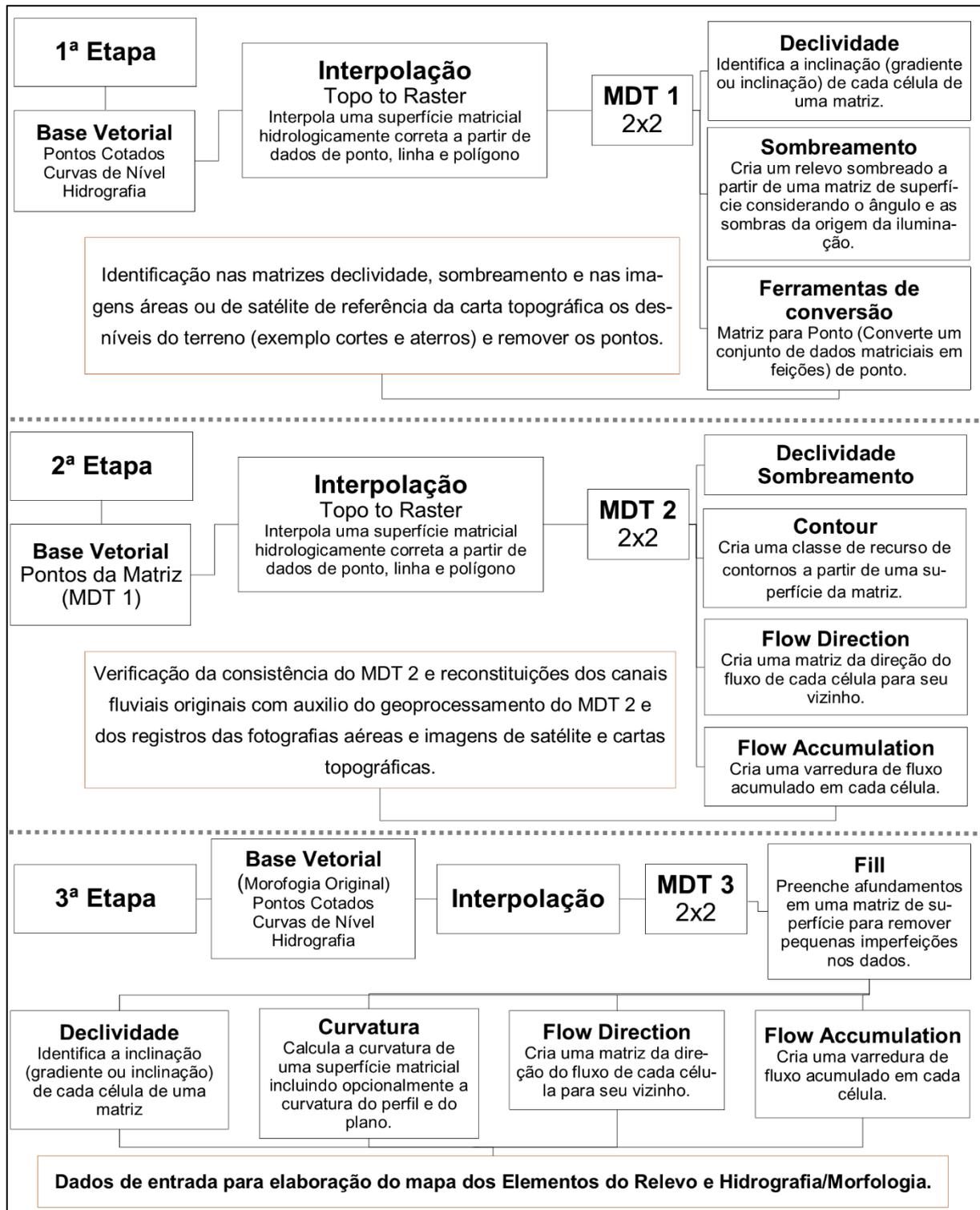
Base Cartográfica e Modelos Digitais do Terreno (MDT)

Para a análise da área de estudo em uma escala detalhada de 1:5.000, utilizou-se duas bases cartográficas identificadas. Para a reconstituição dos canais fluviais da área central, também, empregou-se uma planta na escala de 1:5.000, que continha curvas de nível com uma equidistância de 5 metros, juntamente com informações sobre os canais fluviais. No restante da bacia hidrográfica recorremos à utilização de 15 Cartas Topográficas, datadas de 1990, que foram digitalizadas com uma resolução de 900 DPI (Pontos por polegada). Essas cartas, originalmente em escala 1:2.000, atingiram a sua resolução nativa após o processo de digitalização.

Dessa forma, para reconstituição dos Canais Fluviais e Elementos do Relevo originais utilizou-se duas bases cartográficas e processamento de dados. A elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) seguiu três etapas (Figura 2). O resultado obtido pode ser identificado na Figura 3.

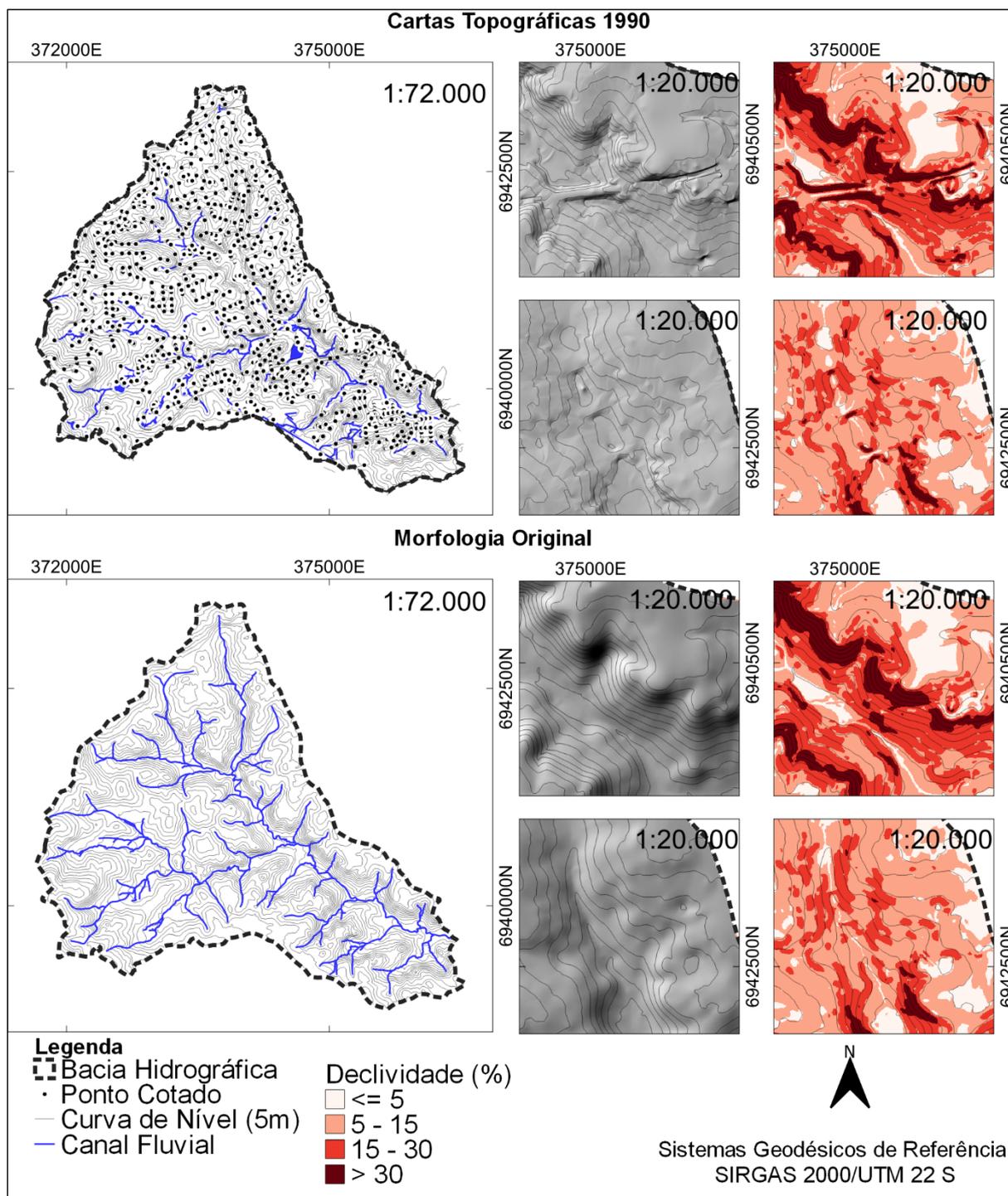
A criação do MDT se baseou em dados planialtimétricos vetoriais, provenientes das curvas de nível, pontos cotados e informações sobre hidrografia encontrados nas cartas topográficas. Os valores altimétricos do terreno foram extraídos, excluindo quaisquer elementos superficiais, como árvores ou construções (Silveira; Silveira, 2015; Furlan; Trentin, 2019). Para essa tarefa, utilizamos a ferramenta de interpolação do *ArcToolbox*, presente no *ArcGIS®*, como resultado desse processo, obtivemos um MDT com uma resolução de células de 2x2 metros, coerente com a escala de 1:5.000.

Figura 2 – Fluxograma para elaboração do Modelo Digital do Terreno



Fonte: Organização do autor (2024)

Figura 3 – Exemplos dos resultados obtidos na 1ª Etapa e 3ª Etapa



Fonte: Organização do autor (2024)

Cartografia Geomorfológica Original

Os dados morfológicos desempenham um papel fundamental na criação de um mapa geomorfológico, fornecendo informações sobre a forma e a quantificação do relevo por meio da morfometria. Esse elemento permite a captura de propriedades mensuráveis de uma área e a identificação das geometrias que delineiam os elementos geomorfológicos. A partir desses dados, foram desenvolvidos Modelos Digitais do Terreno (MDTs), que permitiram a distinção de oito classes hipsométricas (670 – 690, 690 – 710, 710 – 730, 730 – 750, 750 – 770, 770 – 790, 790 – 810 e 810 – 825), quatro classes de declividade (≤ 5 , 5 -15, 15 – 30 e $30 \geq$) e a categorização do perfil de vertente (Côncavo ou Convexo) e plano de vertente (Divergente ou Convergente).

As classes de declividade menores que 5% são locais, as quais encontram-se, geralmente, em topos planos e áreas de planície deposicional quando estão próximos de um canal fluvial. As declividades entre 5% e 15% representam áreas adequadas para construção de moradias e práticas agrícolas, geralmente apresentam maior capacidade de infiltração da água e menor risco de erosão. Contudo, declividades superiores a 15% indicam áreas propensas a processos erosivos mais intensos e têm maior probabilidade de apresentar deslizamentos e problemas de erosão. Além disso, de acordo com a Lei Lehmann nº 6.766 de 1979, o parcelamento do solo urbano não é permitido (salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes) em terrenos com declividade igual ou superior a 30%.

Para analisar o perfil e plano de curvatura, optou-se por realizar uma combinação binária usando o 0 ou nulo como parâmetro de corte, exibindo formas positivas e negativas. Essa designação é devido à raridade de encontrar vertentes com valores nulos na área de estudo, embora valores dentro de um intervalo de tolerância possam ser identificados na vizinhança (Furlan; Trentin, 2019).

A combinação da declividade e perfil e plano de vertente é crucial para compreender os diversos padrões de relevo e influencia diretamente nos processos hidrológicos, como infiltração e escoamento superficial. Na Figura 4 apresenta os Elementos do Relevo identificados na área de estudo. Todas as formas foram representadas como cobertura total por meio de polígonos, com base nos parâmetros de interpolação de dados que são apresentadas em três etapas.

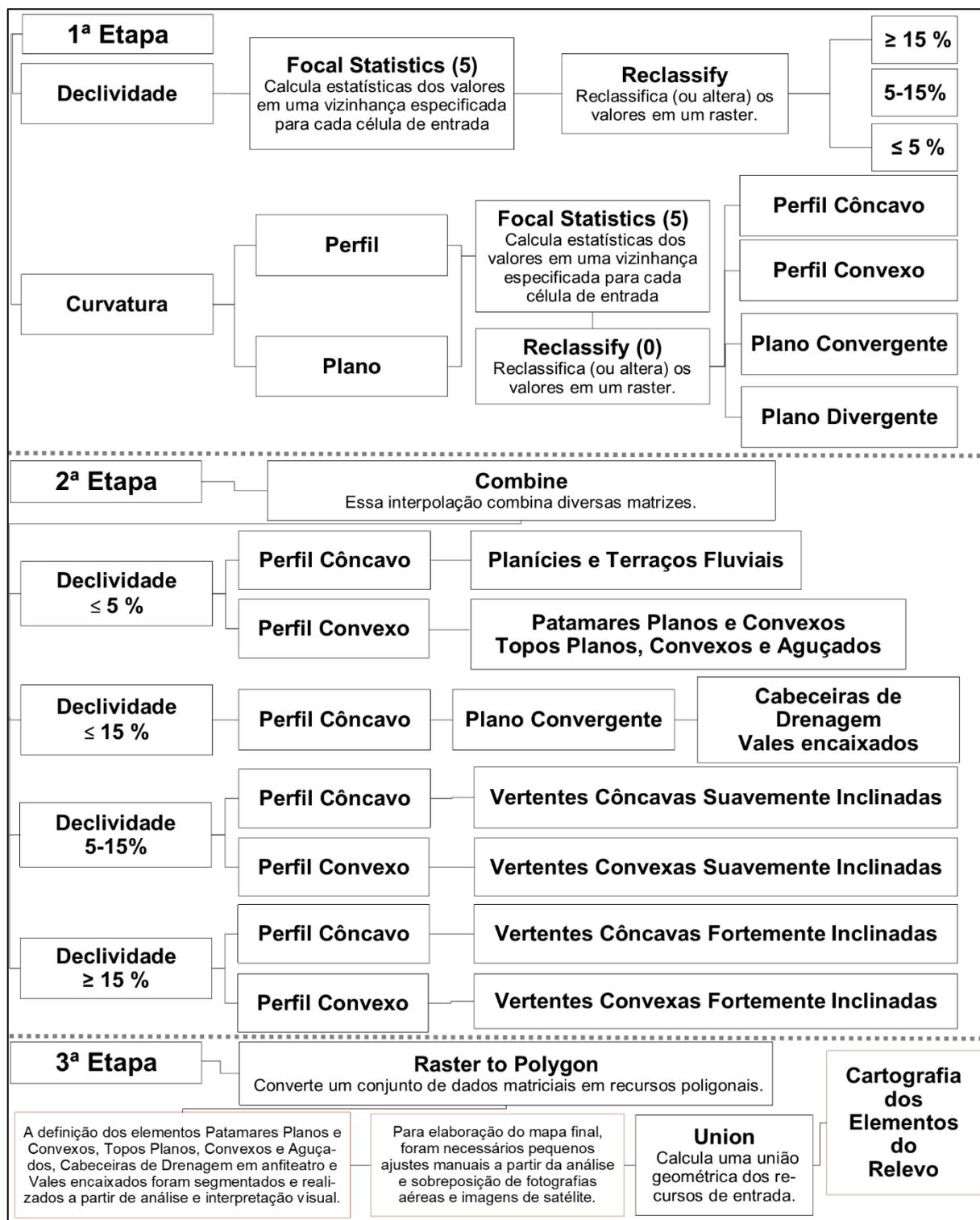
Para criar o mapa geomorfológico representando os Elementos do Relevo, foram permitidas três etapas. A primeira etapa envolveu a definição e classificação dos dados de entrada. Nesse caso, a declividade foi processada utilizando a técnica *Focal Statistics*, com parâmetro adotado como uma vizinhança de 5 células. Posteriormente, os dados de saída foram classificados em três matrizes,

contendo uma declividade. A segunda etapa incluiu uma análise do perfil e plano de curvatura, também utilizando a técnica *Focal Statistics* e um parâmetro de vizinhança de 5 células. Dessa forma, a partir dos dados de declividade e curvatura, resultaram três matrizes contendo declividade e quatro classes de curvatura.

A segunda etapa do processo visa combinar a declividade e a curvatura para criar o mapa preliminar dos Elementos do Relevo. Essa interpolação combina declividade, perfil e plano, com o objetivo de fornecer um valor de saída exclusivo para cada combinação única de valores de entrada.

A terceira etapa envolve a conversão dos dados matriciais para orientação, necessitando de classificação manual a partir da interpretação do usuário dos Patamares Planos e Convexos e Topos Planos, Convexos e Aguçados. Devido à baixa representatividade dos Topos Convexos e Aguçados optou-se em agrupá-los com os Topos Planos. Também é necessário distinguir manualmente os elementos Cabeceiras de Drenagem e Vales encaixados. Com as bases distribuídas sobrepostas, foram necessários pequenos ajustes manuais para melhor definição das formas.

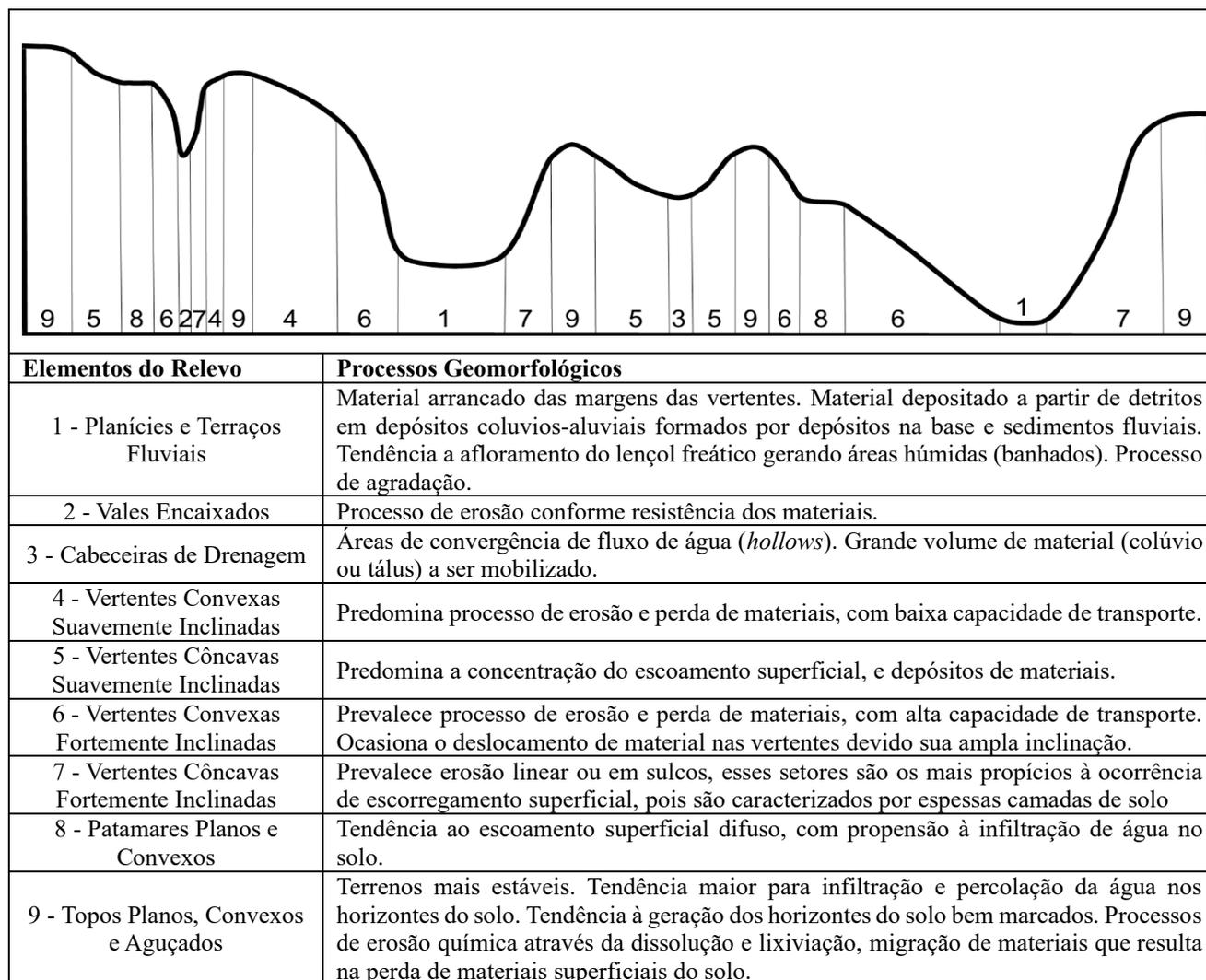
Figura 4 – Etapas da Elaboração Cartográfica dos Elementos do Relevo



Fonte: Organização do autor (2024)

A delimitação do elemento geomorfológico, apresenta uma área generalizada com forma, material e gênese homogênea. No Quadro 1 é possível identificar perfil hipotético com a representação dos elementos do relevo e os processos geomorfológicos.

Quadro 1 - Padrões de Formas Semelhantes e as Formas de Vertentes



Fonte: Organização do autor (2024)

A elaboração do mapa geomorfológico, contendo elementos originais do relevo, foi representada por meio de polígonos, seguindo as novas tendências na cartografia geomorfológica, que buscam uma transição dos tradicionais símbolos para representações baseadas em modelos de cobertura total, feitas a partir de polígonos. Essa abordagem possibilita uma representação mais detalhada e precisa do relevo (Dramisa; Guidab; Cestarc, 2011).

RESULTADOS

Essa seção apresenta primeiramente uma compreensão aprofundada dos parâmetros que moldam a configuração da bacia do rio Tigre a partir da análise de parâmetros morfométricos. Em sequência é apresentada a classificação detalhada dos elementos do relevo na bacia do rio Tigre que drena a cidade de Erechim, destacando características distintas desses elementos. Nesta seção,

inicialmente realiza-se uma análise detalhada dos parâmetros morfométricos que influenciam a configuração da bacia do rio Tigre. Em seguida, apresenta-se a classificação minuciosa dos elementos do relevo nessa bacia, evidenciando características distintivas desses elementos.

Análise morfométrica da bacia hidrográfica Rio Tigre

A bacia hidrográfica do rio Tigre está situada predominantemente em um relevo com padrão do tipo colinas onduladas, caracterizado por sua amplitude altimétrica inferior a 155 metros e abrange uma área de 11,60 km². No que diz respeito à altimetria, foi dividida em oito classes, enquanto a declividade foi subdividida em quatro classes, conforme apresentado nos Quadros 2 e 3 e na Figura 5. Os intervalos de altimetria mais abrangentes correspondem a variação entre 730m a 750m e de 750m a 770m, correspondendo juntos a 42,87% em área da bacia (Figura 5).

Quadro 2 – Hipsometria bacia hidrográfica do Rio Tigre

Hipsometria (m)	Área (km ²)	Área (%)
670 - 690	0,24	3,16
690 - 710	0,68	6,9
710 - 730	1,22	11,55
730 - 750	2,98	26,75
750 - 770	2,91	26,12
770 - 790	1,78	16,4
790 - 810	0,74	7,41
810 - 825	0,07	1,71

Fonte: Organização do autor (2024)

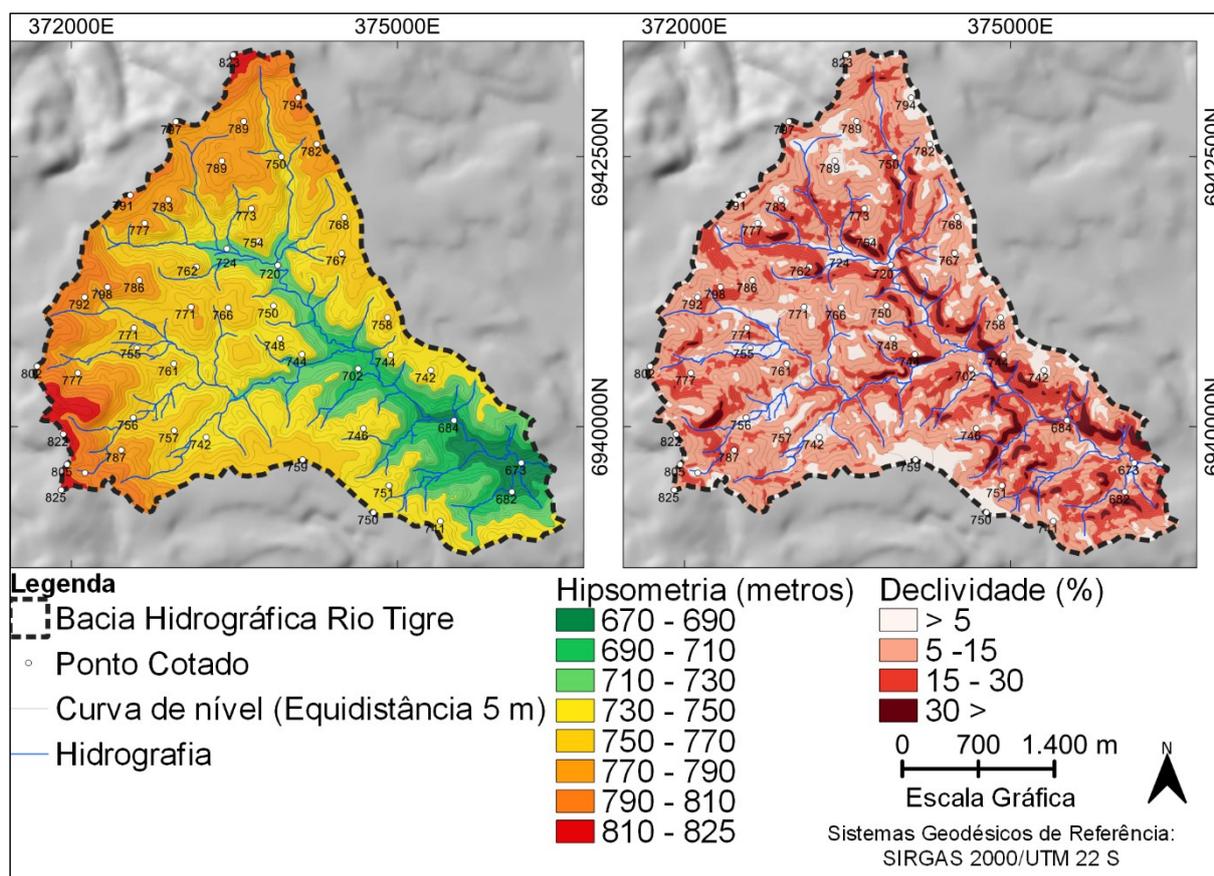
As declividades inferiores a 5% constituem a segunda menor parcela de terreno. Essas áreas localizam-se próximas ao curso fluvial e são caracterizadas por processos de sedimentação, bem como nas áreas de elevações mais altas das colinas, onde ocorrem processos de denudação do relevo. As áreas com declividades variando entre 5% e 15% compreendem a maior porcentagem da área total, superior a 57%. Essas áreas encontram-se distribuídas por toda a bacia hidrográfica e caracterizam o relevo ondulado como predominante (Quadro 3).

Quadro 3 – Declividade da bacia hidrográfica do Rio Tigre

Declividade em porcentagem	Área (km ²)	Área (%)
< 5	1,87	16,09
5 - 15	6,67	57,5
15 - 30	2,67	23
30 >	0,4	3,41

Fonte: Organização do autor (2024)

Figura 5 – Mapa hipsométrico e de declividade da bacia hidrográfica do Rio Tigre



Fonte: Organização do autor (2024)

As áreas que se enquadram nas classes de declividade entre 15% e 30% também apresentam uma proporção relevantes, equivalendo a 23,00% da extensão total. Essas áreas são principalmente identificadas nas encostas do terreno e caracterizam-se por apresentar rupturas na topografia. Isso indica que em algumas regiões, como nas proximidades da nascente, pode ocorrer a formação de vales encaixados, nos quais as encostas apresentam declividades que favorecem um aumento no escoamento de água. As declividades superiores a 30% abrangem uma porção relativamente pequena de terreno, representando apenas 3,41% da área total da bacia hidrográfica.

Análise Geomorfológica: Classificação dos Elementos do Relevo

Na análise da área de estudo foram definidos nove elementos que foram classificados em: 1 - Planícies e Terraços Fluviais, 2 - Vales encaixados, 3 - Cabeceiras de Drenagem, 4 - Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas, 5 - Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas, 6 - Vertentes

Convexas Fortemente Inclinadas, 7 - Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas, 8 - Patamares Planos e Convexos, 9 - Topos Planos, Convexos e Aguçados (Quadro 4 e Figura 6).

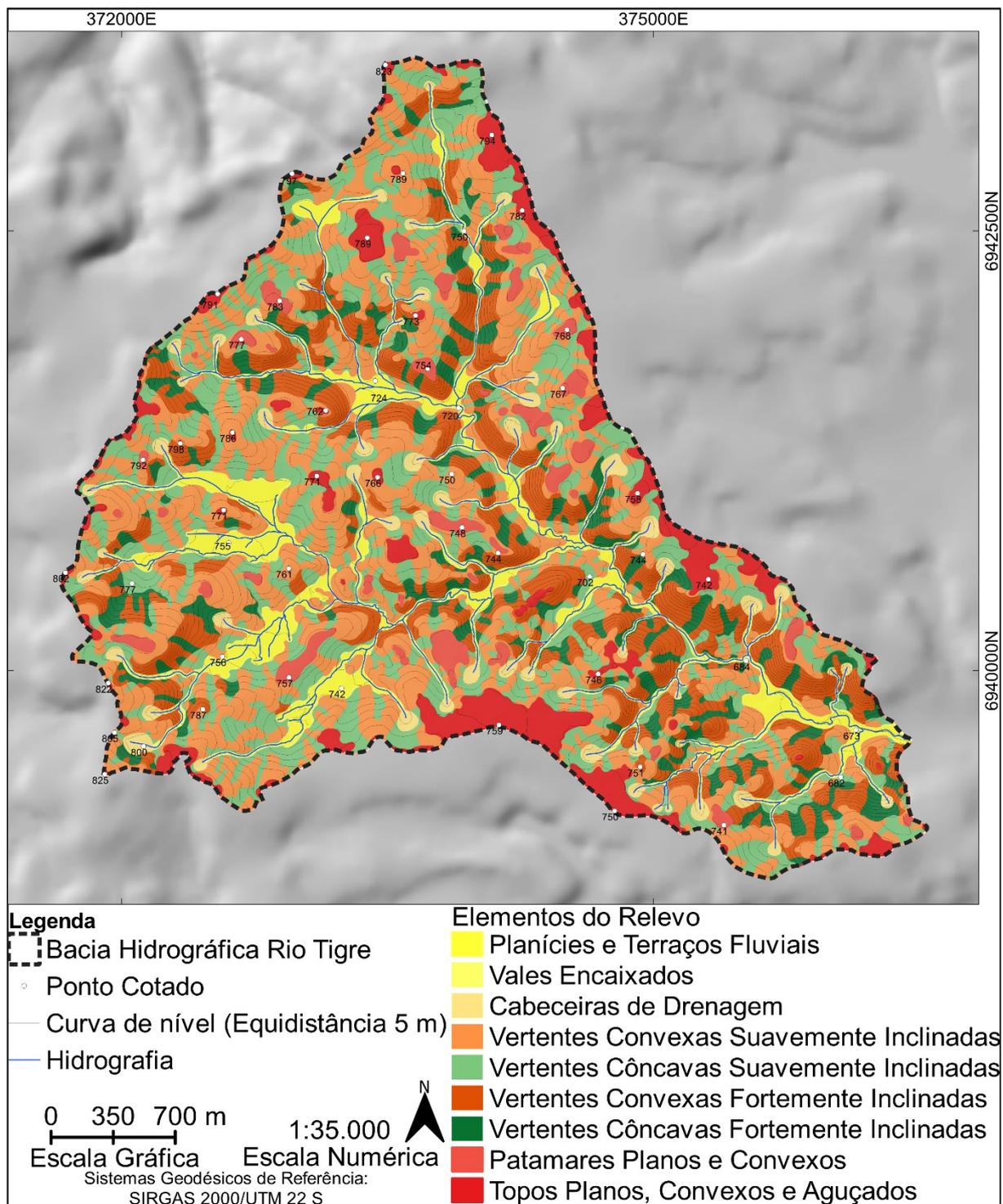
Quadro 4 – Disposição dos Elementos do Relevo: Bacia hidrográfica do Rio Tigre

Elementos do Relevo	Km²	%
1 - Planícies e Terraços Fluviais	0,85	7,32
2 - Vales Encaixados	0,39	3,33
3 - Cabeceiras de Drenagem	0,38	3,27
4 - Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas	3,49	29,82
5 - Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas	2,7	23,16
6 - Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas	1,85	15,98
7 - Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas	0,92	8,12
8 - Patamares Planos e Convexos	0,32	2,88
9 - Topos Planos, Convexos e Aguçados	0,71	6,13

Fonte: Organização do autor (2024)

Os três primeiros elementos se associam aos cursos fluviais que compõem a bacia e o Quadro 5 apresenta a descrição da morfografia e morfodinâmica desses Elementos do Relevo. As Planícies e Terraços Fluviais ocupam a quinta maior porção da Bacia Hidrográfica, abrangendo 7,32% da área total. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 5542,14 m² a 30.2152,67 m². Ocorrem nas áreas onde os vales fluviais se abrem e formam depósitos de planície de inundação.

Figura 6 – Mapa Geomorfológico: Bacia hidrográfica do Rio Tigre



Fonte: Organização do autor (2024)

Os Vales Encaixados compõem a terceira menor fração, representando 3,33% do total. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 886,95 m² a 68.606,00 m². Ocorrem associados a zonas de falhas e fraturas que controlem o escoamento e a dissecação. A representação das Cabeceiras de Drenagem constitui a segunda menor parcela da área, perfazendo 3,27%. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 596,84 m² a 17.121,37 m². Estas áreas são muito suscetíveis a mudanças que se desenvolvam na bacia, aumentando a ação dos processos erosivos (Guerra,1999; Silva; Fortes, 2023).

Quadro 5 – Morfografia e Morfodinâmica: Planícies e Terraços Fluviais, Vales Encaixados e Cabeceiras de Drenagem

Elementos do Relevo	Morfografia		Morfodinâmica
	Morfometria	Morfologia	
1 - Planícies e Terraços Fluviais	Altitude (m) Min - Max	660 - 775	Apresentam formas suavemente inclinadas em direção ao talvegue e estão distribuídas em diferentes setores da bacia hidrográfica.
	Amplitude (m) Min - Max	6 - 40	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 5	
	Curvatura de perfil	Côncavo	
2 - Vales Encaixados	Altitude (m) Min - Max	675 - 695	Formas suavemente inclinadas em direção ao talvegue. Forma topográfica constituída por talvegue e duas vertentes com dois sistemas de declives com plano côncavo
	Amplitude (m) Min - Max	3 - 54	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 15	
	Curvatura de perfil	Côncavo	
3 - Cabeceiras de Drenagem	Altitude (m) Min - Max	695 - 810	Caracteriza-se por uma bacia de primeira ordem. Com características topográficas em côncavo em planta e perfil convergente.
	Amplitude (m) Min - Max	2 - 23	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 15	
	Curvatura de perfil	Côncavo	
			Essas áreas são compostas por material arrancado das margens das vertentes. Material depositado a partir de detritos em depósitos colúvios-aluviais, formados por depósitos na base e sedimentos fluviais. Tendência a afloramento do lençol freático gerando áreas húmidas (banhados). Processo de agradacão. Além disso, são afetados pela erosão fluvial, evidenciando o aprofundamento do talvegue e demonstrando uma tendência à infiltração de água.
			A configuração desses vales está sujeita ao processo de erosão, que ocorre de acordo com a resistência dos materiais presentes. Sua característica morfodinâmica está associada ao processo de Erosão Fluvial.
			Áreas de convergência de fluxo de água (<i>hollows</i>). Grande volume de material residual (colúvio ou tálus) a ser mobilizado. Setores favoráveis à ocorrência de escorregamento superficial, caracterizam-se por espessas camadas de solo.

Fonte: Organização do autor (2024)

As áreas de vertentes se diferenciam pelo perfil e a inclinação. A descrição da morfografia e morfodinâmica dos elementos referentes as vertentes encontra-se no Quadro 6. As Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas apresentam a maior representatividade em área na bacia, abarcando 29,82%. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 126,00 m² a 153.603,68 m². As Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas possuem a segunda maior porcentagem, com 23,16%. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 257,81 m² a 75.811,47 m². As Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas ocupam a terceira maior extensão na bacia hidrográfica, abrangendo 15,98% da área total. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 605,47 m² a 49.278,46 m². As Vertentes Côncavas Fortemente

Inclinadas representam a quarta menor parcela, com 8,12% da área da bacia. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 380,10 m² a 36.712,90 m².

Quadro 6 – Morfografia e Morfodinâmica: Elementos de Vertente

Elementos do Relevo	Morfografia		Morfodinâmica
	Morfometria	Morfologia	
4 - Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas	Altitude (m) Min - Max	670 - 825	Superfícies pouco inclinadas com características de dispersão do escoamento superficial. Retrata a conexão entre os divisores de água e fundos de vale.
	Amplitude (m) Min - Max	2 - 72	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 15	
	Curvatura de perfil	Convexa	
5 - Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas	Altitude (m) Min - Max	670 - 821	Superfície pouco inclinada que concentra o escoamento superficial. Retrata a conexão entre os divisores de água e fundos de vale.
	Amplitude (m) Min - Max	2 - 45	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 15	
	Curvatura de perfil	Côncavo	
6 - Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas	Altitude (m) Min - Max	673 - 820	Superfície inclinada podendo chegar à declividade de 30%. Como características dispersam o escoamento superficial. Retrata a conexão entre os divisores de água e fundos de vale.
	Amplitude (m) Min - Max	5 - 52	
	Declividade (%) Min - Max	15 - 35	
	Curvatura de perfil	Convexa	
7 - Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas	Altitude (m) Min - Max	674 - 815	Superfície inclinada podendo chegar à declividade de 30%. As características concentram o escoamento superficial. Retrata a conexão entre os divisores de água e fundos de vale.
	Amplitude (m) Min - Max	3 - 57	
	Declividade (%) Min - Max	15 - 38	
	Curvatura de perfil	Côncavo	

Fonte: Organização do autor (2024)

Os Patamares Planos e Convexos constituem a menor porção em relação à área total da bacia, com 2,88%. No que diz respeito à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 476,33 m² a 35.519,58 m². Os Topos Planos, Convexos e Aguçados representam a quarta menor porção, abrangendo 6,13% da área total da bacia. Quanto à dimensão espacial dessa forma topográfica, esta pode variar de 189,99 m² a 16.3743,54 m². A descrição da morfografia e morfodinâmica dos Patamares Planos e Convexos e Topos Planos, Convexos e Aguçados encontram-se no Quadro 7.

Quadro 7 – Morfografia e Morfodinâmica: Patamares Planos e Convexos e Topos Planos, Convexos e Aguçados

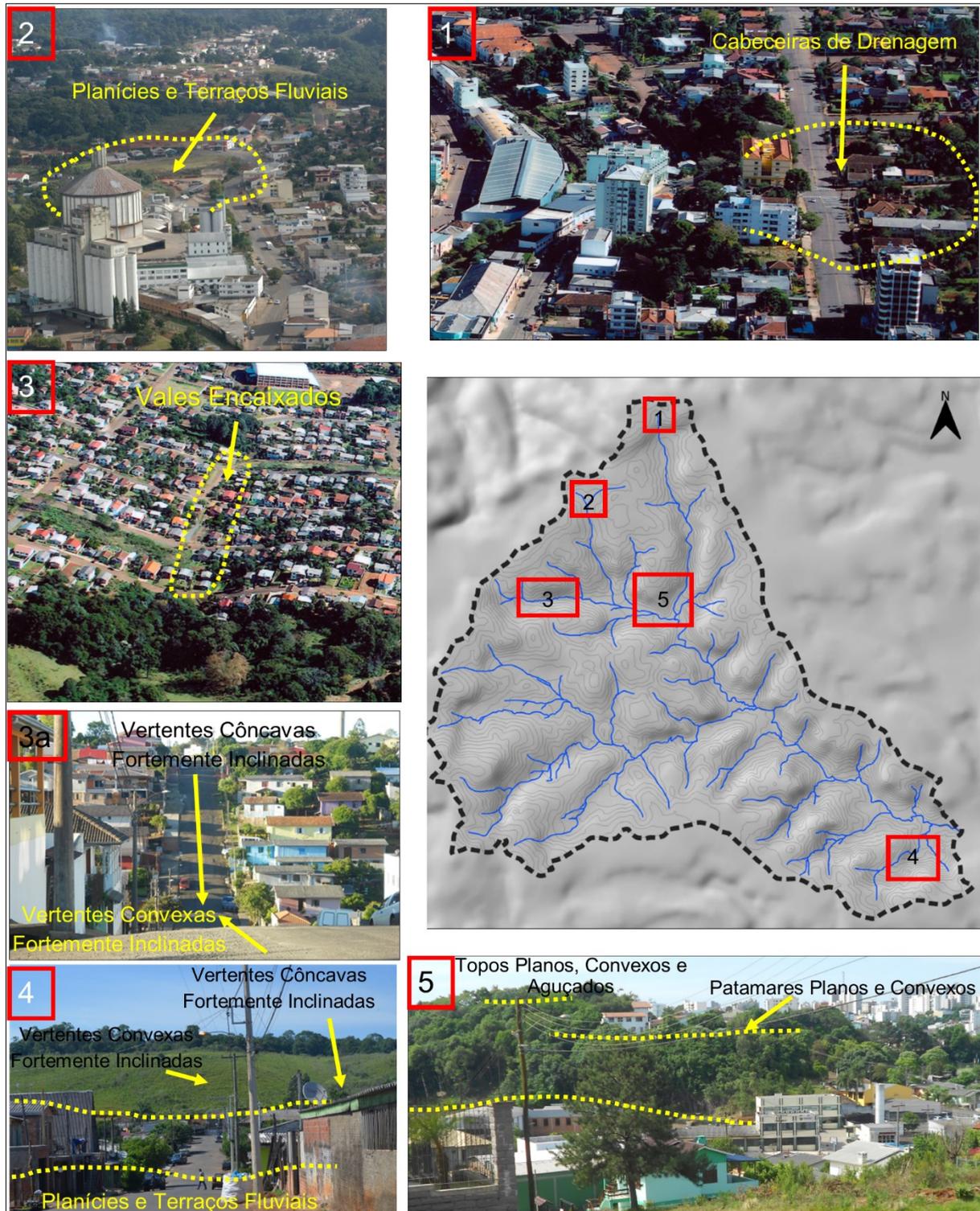
Elementos do Relevo	Morfografia		Morfodinâmica
	Morfometria	Morfologia	
8 - Patamares Planos e Convexos	Altitude (m) Min - Max	728 - 820	Superfície plana que interrompe a continuidade do declive de uma vertente, resultando na formação de um degrau na encosta.
	Amplitude (m) Min - Max	2 - 9	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 5	
	Curvatura de perfil	Convexa	
9 - Topos Planos, Convexos e Aguçados	Altitude (m) Min - Max	695 - 825	Parte mais elevada ou culminante de baixa inclinação com plano convergente e perfil divergente. Os Topos Aguçados, estão associados a pequenas superfícies pontiagudas..
	Amplitude (m) Min - Max	0 - 28	
	Declividade (%) Min - Max	0 - 5	
	Curvatura de perfil	Convexa	

Fonte: Organização do autor (2024)

Ao analisar as Figuras 6 e 7, são observados recortes espaciais da bacia hidrográfica, detalhados por meio de levantamentos de campo, nos quais se identificam distintos Elementos do Relevo. O recorte 1 da Figura 6 exibe uma imagem oblíqua das Cabeceiras de Drenagem, atualmente urbanizadas. Já o recorte 2 retrata, em fotografia oblíqua, as Planícies e Terraços Fluviais localizados na parte alta do curso da bacia hidrográfica.

O recorte 3 na Figura 6 exibe os Vales Encaixados, enquanto a figura numerada como 3a ilustra as características das Vertentes Côncavas Fortemente Inclínadas e Vertentes Convexas Fortemente Inclínadas. No recorte 4, há um fragmento do baixo curso da bacia hidrográfica, com destaque para as Planícies e Terraços Fluviais em primeiro plano e, em terceiro plano, as Vertentes Côncavas e Convexas Fortemente Inclínadas. O recorte 5 da Figura 6 do médio curso da bacia hidrográfica, destaca a distinção entre os Patamares Planos e Convexos e os Topos Planos, Convexos e Aguçados.

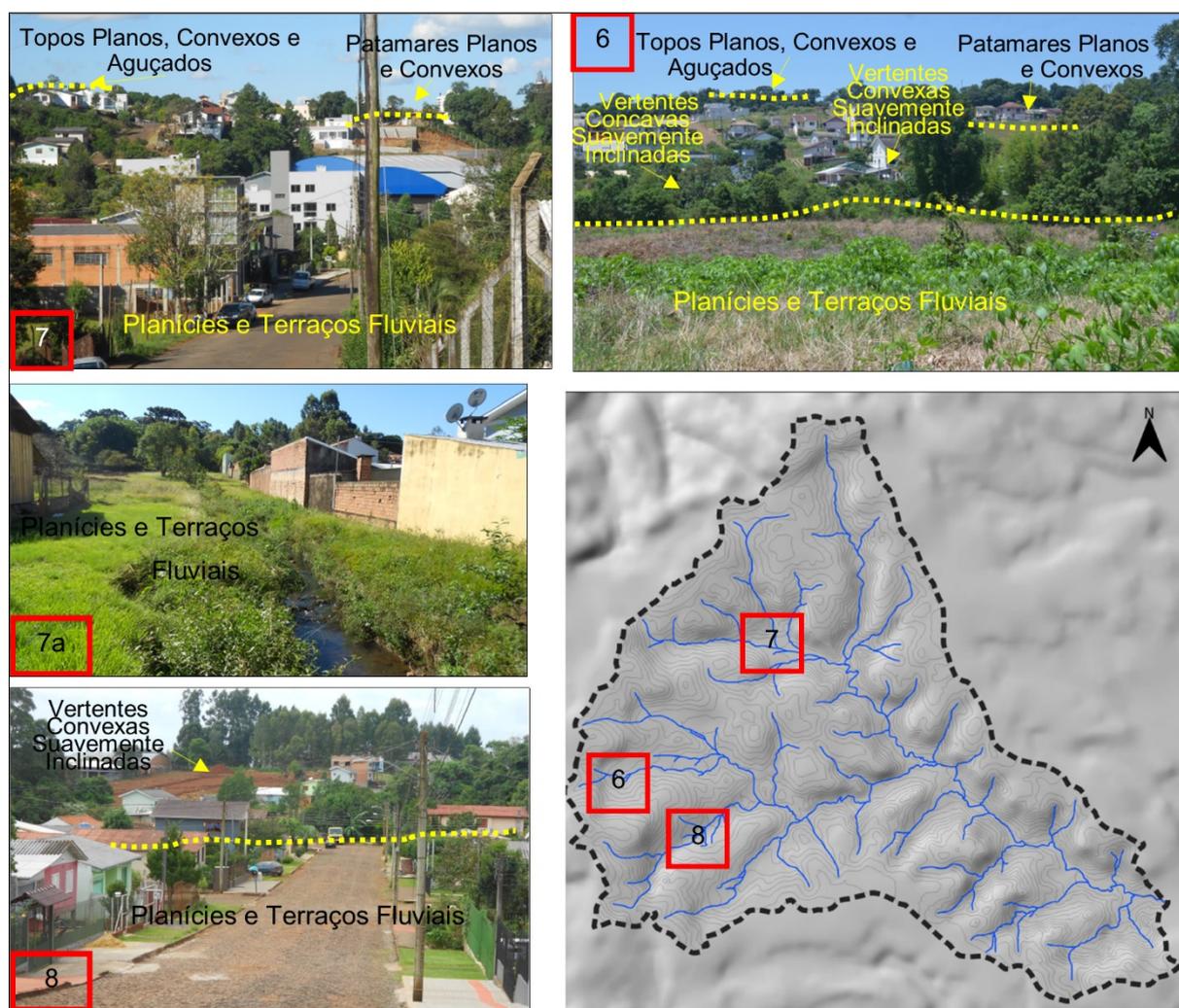
Figura 6 – Análise e confirmação em campo



Fonte: Organização do autor (2024)

No recorte 6 da Figura 7, do alto curso da bacia hidrográfica, há a representação do Elemento Planícies e Terraços Fluviais em primeiro plano, seguido pelas Vertentes Côncavas e Convexas Suavemente Onduladas em segundo plano, e pelos Patamares Planos e Convexos e Topos Planos, Convexos e Aguçados em terceiro plano.

Figura 7 – Análise e confirmação em campo



Fonte: Organização do autor (2024)

No recorte 7 da Figura 7, localizado no médio curso da bacia hidrográfica, observa-se em primeiro plano o Elemento Planícies e Terraços Fluviais, evidenciando a configuração dos Patamares Planos e Convexos e dos Topos Planos. A representação na imagem 7a destaca o Elemento Planícies e Terraços Fluviais presente nesse recorte. No recorte 8, é possível identificar em primeiro plano o

Elemento Planícies e Terraços Fluviais, e em segundo plano as Vertentes Convexas Suavemente Onduladas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se que a partir da metodologia foi possível produzir um mapa detalhado da geomorfologia na bacia do rio Tigre, destacando a interação entre a estrutura física e os processos geomorfológicos. A integração de dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) permite a compreensão da interação dos processos geomorfológicos. A metodologia semi-automatizada, utilizando Modelos Digitais de Terreno (MDT), foi validada pela eficácia na caracterização detalhada do relevo em uma escala de precisão. Nove elementos do relevo foram identificados na bacia hidrográfica: Planícies e Terraços Fluviais, Vales Encaixados, Cabeceiras de Drenagem, Vertentes Convexas Suavemente Inclínadas, Vertentes Côncavas Suavemente Inclínadas, Vertentes Convexas Fortemente Inclínadas, Vertentes Côncavas Fortemente Inclínadas, Patamares Planos e Convexos, e Topos Planos, Convexos e Aguçados.

A análise de campo foi crucial para confirmar e aferir as técnicas laboratoriais, validando a eficácia da metodologia empregada e a seleção criteriosa dos elementos representativos da morfologia original da bacia hidrográfica do rio Tigre. A criação de uma legenda geomorfológica, integrada a um SIG, foi crucial na interpretação das características do relevo, permitindo a investigação dos indícios morfológicos originais e a reconstrução das condições iniciais do relevo e dos canais fluviais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, R. G. M; PELECH, A. S. Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 64, p. 183-201, 2019.

DRAMISA, F; GUIDAB, D; CESTARIC, A. Nature and Aims of Geomorphological Mapping. *In*: SMITH, M. J.; PARON, P; GRIFFITHS, J. S (Eds.). **Geomorphological Mapping: Methods and Application**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 39-64.

FACCINI, F *et al.* Urban geomorphology of Genoa old city (Italy). **Journal of Maps**, v.17, n.4, p .51-64, 2020

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de textos, 2008a.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008b.

FLOREZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Gravataí – SH,22-X-CV**, escala 1:100.000: nota explicativa. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise ambiental urbana na área metropolitana de Porto Alegre/RS: sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio**. 2001. 236 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2001.

FURLAN, A. R; TRENTIN, R. Identificação das unidades geomorfométricas a partir da declividade e plano de curvatura na bacia hidrográfica do rio Henrique, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 1-19, 2019.

GUERRA, A.T; GUERRA, A. J.T. **Novo dicionário geológico – geomorfológico**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2018.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento Geomorfológico SG.22/21/23 CURITIBA/ASUNCIÓN/IGUAPE**. 1:1.000.000. Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais, n. 35. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

MANDARINO, A. *et al.* Urban geomorphology of a historical city straddling the Tanaro River (Alessandria, NW Italy). **Journal of Maps**, v.17, n. 4, p. 29 -41, 2020.

MENEZES, P. M. L de; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas**: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo. 2010. 363 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) –Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

PELECH, A. S *et al.* Considerações sobre o mapeamento geomorfológico do território brasileiro: algumas abordagens na representação regional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 681-690, 2019.

PERETTI, V. A. **Análise espaço-temporal dos desastres naturais no município de Erechim - RS, no período de 1986 a 2011**. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

REHBEIN, M. O. **Análise Ambiental Urbana: Vila Augusta/ Viamão/ RS**. 2005. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias**. Tese (Tese em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p.17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo, 9ª ed. Editora Contexto, 2017.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 291-336.

SILVA, T. M da. Mapeamentos Geomorfológicos: escalas, aplicações e técnicas de compartimentação do relevo. **Geo UERJ**, v. 1, p. 1-25, 2007.

SILVA, V. B. da; FORTES, E. R. P. O Estudo dos Processos Erosivos em Cabeceiras de Drenagem. **Revista Percorso – NEMO**, Maringá, v. 15, n. 1, p. 03-23, 2023.

SILVEIRA, R. M. P; da SILVEIRA, C. T. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição. **Boletim de Geografia** (Online), v. 33, p. 106-121, 2015.

TRICART, J. **Principes et methodes de la geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

VERSTAPPEN, H. T. Old and new trends in geomorphological and landform mapping. *In*: SMITH, M. J; PARON, P; GRIFFITHS, J. S (Eds.). **Geomorphological Mapping: Methods and Application**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 13-38.