https://rbgeomorfologia.org.br/
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 3 (2025)

http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i3.2624

Notas Técnica

Cartografia das formas de relevo original e tecnogênicas na bacia hidrográfica do rio Tigre, Erechim, RS

Cartography of original and technogenic landform in the Tigre watershed, Erechim, RS

André Ricardo Furlan[1], Romario Trentin[2] e Luís Eduardo de Souza Robaina[3]

[1] Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil. E-mail: andre.ricardofurlan@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1927-6114

[2] Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil. E-mail: romario.trentin@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0615-2801

[3] Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, Brasil. E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2390-6417

Recebido: 05/10/2024; Aceito: 16/06/2025; Publicado: 16/07/2025

Resumo: Este estudo examina a importância dos mapas geomorfológicos na análise espacial e no planejamento urbano, com foco na representação do relevo antropogênico. O objetivo é apresentar métodos para mapear as mudanças morfológicas decorrentes da urbanização, utilizando cartografia das formas originais e tecnogênicas ao longo de 48 anos. A pesquisa combina revisão bibliográfica, trabalho de campo e uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), gerando Modelos Digitais de Terreno. Os resultados mostram que a urbanização na bacia do rio Tigre aumentou de 35,43% em 1975 para 79,22% em 2023. Uma análise em escalas de 1:25.000 e 1:5.000 revelou mudanças substanciais na morfologia original, com transformações nas planícies e terraços fluviais, além da formação de vertentes tecnogênicas. Esse processo intensificou o escoamento superficial devido à redução da infiltração. As intervenções humanas intensificaram processos erosivos e alteraram a morfologia natural, criando superfícies tecnogênicas suscetíveis a alagamentos, enxurradas, inundações e erosão. Conclui-se que a urbanização mudou drasticamente a dinâmica hidrogeomorfológica, exigindo uma abordagem integrada no planejamento urbano e ambiental para mitigar esses impactos sobre a população.

Palavras-chave: Mapeamento geomorfológico; Geomorfologia antropogênica; Diretrizes metodológicas; Expansão urbana.

Abstract: This study examines the importance of geomorphological maps in spatial analysis and urban planning, focusing on the representation of anthropogenic relief. The objective is to present methods for mapping morphological changes resulting from urbanization, using cartography of original and technogenic forms over 48 years. The research combines literature review, fieldwork, and the use of Geographic Information Systems (GIS), generating Digital Terrain Models. The results show that urbanization in the Tigre River basin increased from 35.43% in 1975 to 79.22% in 2023. An analysis at scales of 1:25,000 and 1:5,000 revealed substantial changes in the original morphology, with transformations in plain and terraces fluvial as well as the formation of technogenic slopes. This process intensified surface runoff due to reduced infiltration. Human interventions intensified erosive processes and altered the natural morphology, creating technogenic surfaces susceptible flooding, flash floods, inundation and erosion. It is concluded that urbanization drastically changed the

hydrogeomorphological dynamics, requiring an integrated approach in urban and environmental planning to mitigate these impacts on the population.

Keywords: Geomorphological mapping; Anthropogenic geomorphology; Methodological guidelines; Urban sprawl.

1. Introdução

A Ciência geográfica apresenta diversas possibilidades metodológica e analítica para compreender as relações sociedade-natureza. A Geomorfologia é uma das especialidades dos estudos geográficos, que corresponde em sistematizar a organização dos elementos do relevo para entender as dinâmicas passadas e atuais que constituem e que modelam as formas do relevo (MARQUES, 2018; SILVA, 2021). Considera-se que Geomorfologia de caráter geográfico busca analisar a gênese das formas, reconstituindo os processos passados, alcançando os estudos morfogenéticos e valorizando o tempo para compreender o presente (GUERRA; MARÇAL, 2012; SUERTEGARAY, 2017). A Cartografia Geomorfológica ascende como uma disciplina proeminente, derivada da filogênese das teorias clássicas da Geomorfologia, e se integra de forma essencial a projetos de planejamento ambiental e ordenamento territorial, constituindo uma parte intrínseca da pesquisa geomorfológica (ABREU, 1983; ROSS, 2017; NUNES, 2019).

Os mapas geomorfológicos são documentos de alto valor científico e contêm grande quantidade de informações compondo a identificação das espacialidades das relações estabelecidas nos compartimentos geográficos. Corresponde a um instrumento analítico e de síntese (SIMON; CUNHA, 2008; MOURA, 2008; VERSTAPPEN, 2011). Em âmbito nacional e internacional encontra-se a discussão de uma sistematização padronizada de legenda para o mapeamento geomorfológico, porém alguns elementos essenciais encontram-se padronizados: morfometria, a morfografia, morfodinâmica e morfocronologia (COLTRINARI, 2011; RĂDOANE; CRISTEA; RĂDOANE, 2011). Destaca-se que as maiores distinções entre os sistemas correspondem à adoção de cores e de símbolos adotados por cada sistema (PARONA; CLAESSENS, 2011; SILVEIRA; SILVEIRA, 2021).

No período de 1971 a 1985, o RADAMBRASIL, programa coordenado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) realizou extenso mapeamento sistemático de todo o país em escala de 1:1.000.000. Entre os resultados apresentados incluem o mapeamento geomorfológico (BARBOSA et al., 1984; PARONA; CLAESSENS, 2011). No ano de 1985 foi publicada primeira versão de Manual Técnico de Geomorfologia (NUNES et al., 1995), no século XXI ganha nova versão (IBGE, 2009), atualizando a forma de interpretação do relevo a partir da evolução do mapeamento geomorfológico brasileiro. Essa versão inseriu a utilização de imagens digitais, de geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) em bancos de dados, assim buscando compreender grandeza geralmente mapeada em escalas de 1:250.000.

No início do século XXI, surgiram discussões na geomorfologia brasileira sobre a padronização da cartografia geomorfológica. Nesse contexto, o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR) representa um esforço nessa direção (BOTELHO; PELECH, 2019; PELECH et al., 2019). A partir do SBCR as paisagens urbanizadas também se apresentam como um foco da cartografia geomorfológica, explorando estratégias de representação (MARQUES NETO, 2020). A abordagem das paisagens urbanas encontra-se sob o prisma da geomorfologia antropogênica (GUERRA; LOUREIRO, 2023), ou formas de relevo tecnogênicas (MOURA et al., 2023).

A geomorfologia urbana abrange o estudo das atividades humanas nas formas naturais, identifica as atividades antrópicas como um processo físico de mudança nos cenários geográficos (COOKE, 1976, COOKE, et al., 1982; DOUGLAS, 1988; DIAO, 1996; JORGE, 2011; MANDARINO et al., 2020). Verifica-se, que o ser humano vem aumentando, constantemente, a capacidade de remodelar e de utilizar a natureza (NIR, 1983; JÓZSEF; LÓRÁNT; DÉNES, 2010; LUZ; RODRIGUES, 2013, 2020; LI et al., 2017). Dessa forma, o ser humano é identificado como agente geomorfológico, e deve ser considerado importante no processo de formação e de evolução da geomorfologia moderna (NIR, 1983; RODRIGUES, 2005; SIMON; CUNHA, 2008; THORNBUSH, 2015; LUZ, 2015; PASCHOAL; SIMON; CUNHA, 2015).

O mapeamento do relevo urbano em escala de detalhe é um material fundamental para o planejamento urbano. Esses mapas são valiosos como referência para o planejamento ambiental e ordenamento territorial atual e para orientar futuras melhorias na gestão urbana. Esses documentos fornecem um inventário detalhado do relevo e permitem a avaliação do impacto do ser humano na paisagem, sua extensão e, principalmente, a durabilidade

dos efeitos ambientais da atividade humana passada (LATOCHA, 2009; DEL MONTE et al., 2016; BRANDOLINI et al., 2020; FACCINI et al., 2020).

Para o reconhecimento da morfologia original e as feições antropogênicas (morfologia atual) necessita escala espacial de grande detalhe, entre 1: 25.000 ou maiores (RODRIGUES, 2005; FACCINI et al., 2020). A escala temporal auxilia na análise retrospectiva abrangente das características geomorfológicas, a abordagem histórica do relevo, permite verificar as transformações na superfície terrestre ao longo do processo de urbanização (MOURA, 2005, 2011; PELFINI et al., 2020). A cartografia do relevo de cunho retrospectivo incorpora as transformações produzidas nas formas, nos materiais e nos processos em decorrência da urbanização (RODRIGUES, 2005; MOROZ–CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2017; GOMES; MOURA, 2017; MOURA et al., 2023). Dessa forma, o processo de urbanização impacta diretamente o sistema hidrogeomorfológico, afetando tanto os sistemas fluviais quanto os de vertentes. Assim, as alterações na geometria desses componentes podem afetar a dinâmica dos processos subsuperficiais e superficiais, modificando seus fluxos para padrões concentrados e dispersos (RODRIGUES, 2010; RODRIGUES; MOROZ–CACCIA GOUVEIA, 2013; RODRIGUES et al., 2019; BRANDOLINI et al., 2020; CHIRICO et al., 2021).

O trabalho utiliza a definição da taxonomia do relevo, seguindo do quarto, quinto e sexto táxons (ROSS, 1992). Desta forma, busca-se identificar a morfologia original (4º e 5º Táxon) e as formas do relevo tecnogênico (5º e 6º Táxon), que podem ser classificados em dois níveis, atribuindo a sua Categoria e Tipo (MOURA et al, 2023). O relevo antropogênico necessita ser tratado a partir das formas de menores dimensões, assim, pode ser identificada as mudanças ocorridas no relevo com o advento de novas formas, que a partir das atividades humanas são capazes de conceber ou impulsionar novos processos, alterando as características das formas originais (PELOGGIA, 2005; PELOGGIA; SILVA; NUNES, 2014).

Destaca–se, nessa perspectiva de análise geomorfológica o trabalho de Fujimoto (2001), que estuda a bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, Rehbein (2011), o qual faz a análise na bacia hidrográfica do Arroio Feijó, ambos na região Metropolitana de Porto Alegre. O trabalho de Moroz–Caccia Gouveia (2010), na Bacia Hidrográfica do rio Tamanduateí, na Região metropolitana de São Paulo, Fagundes e Lupinacci (2017), que realizaram estudo na Bacia Hidrográfica do Córrego Lavapés – Rio Claro (SP). Chirico et al., (2021) realizou estudo na bacia hidrográfica Piney Branch em Vienna, Condado de Fairfax, Virgínia, um subúrbio de Washington, Distrito de Columbia e Barbosa e Furrier (2023) empreenderam esforços para realizar mapeamento do Setor Central da Região Metropolitana de João Pessoa (PB).

O estudo de caso tem como objetivo apresentar os métodos e instrumentos utilizados para representar as mudanças morfológicas retrospectivas decorrentes do processo de urbanização. Para isso, faz uso da cartografia das formas originais e do relevo antropogênico atual. Busca-se implementar abordagem alinhada às recentes tendências da cartografia geomorfológica com suporte de tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em ambiente digital, que visa substituir os símbolos tradicionais por representações baseadas em modelos de cobertura total, foi adotada para representar os elementos originais do relevo, utilizando polígono (BISCI; DRAMIS, 1991; DRAMIS; GUIDAB; CESTARIC, 2011). Portanto, a delimitação do elemento geomorfológico apresenta uma área generalizada, com forma, material e gênese homogênea.

A síntese deste trabalho está expressa nos produtos cartográficos e no sistema de legendas, os quais integram polígonos de cobertura total e simbologias específicas. Foi desenvolvido um modelo de cartografia geomorfológica, caracterizado pela representação das formas do relevo por meio de procedimentos morfométricos. A abordagem adotada considera a 4ª e 5ª ordem na escala geomorfológica de Tricart (1965), os 4º, 5º e 6º táxons de Ross (1992, 2012, 2017) e o Complexo de Formas (Nível 0) proposto pelo SGI (2023), representados em escalas detalhadas (>1:5.000 a 1:25.000), conforme os padrões de legendas de mapas geomorfológicos de grande escala. O produto da pesquisa é facilmente interpretado por especialistas em planejamento urbano, tornando-se um documento essencial para o planejamento ambiental e ordenamento territorial, seguindo uma análise geomorfológica e ambiental.

2. Área de Estudo

Erechim está localizada na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas centrais de 27º 38′ 30″ de Latitude Sul e 52º 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 e

possui 105.705 habitantes (IBGE, 2022), 96.087 habitantes no censo de 2010 e 90.552 urbana e a rural 5.535 (IBGE, 2011).

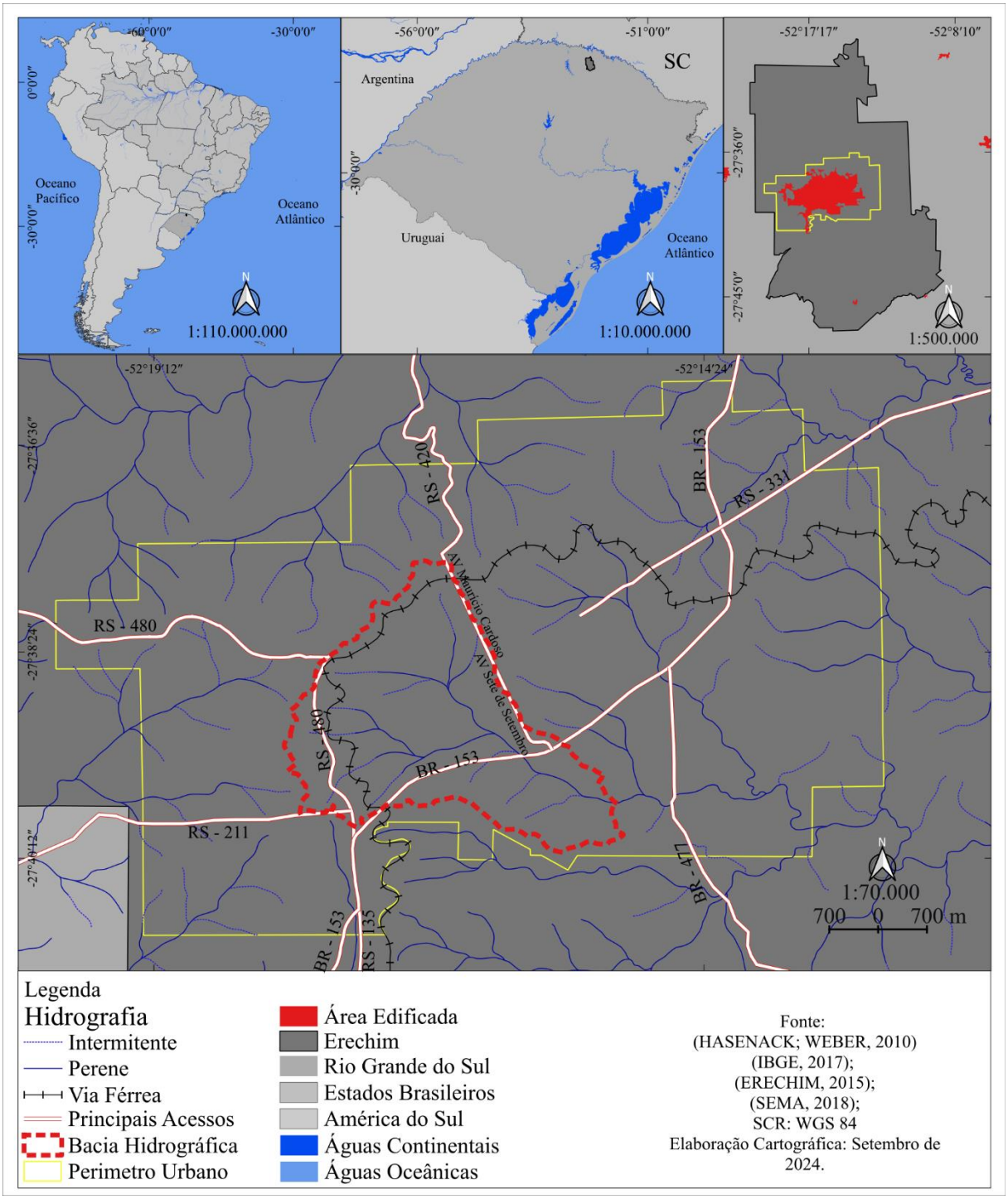


Figura 1. Localização da área de estudo.

Na bacia hidrográfica, são identificadas áreas de uso urbano, pastagem/pousio e vegetação arbórea, além de algumas áreas verdes, parques e Áreas de Preservação Permanente (APP) (ERECHIM, 2011). Dentre as bacias localizadas no perímetro urbano, essa se destaca por apresentar a maior extensão de área urbanizada (FURLAN; SPINELLI, 2019). O processo de urbanização tem como consequência a exposição de determinadas áreas ao risco de inundação, evidenciando, assim, as transformações morfodinâmicas ocorridas na bacia (FURLAN; SPINELLI, 2020).

A área de estudo localiza-se no Planalto das Missões, uma unidade geomorfológica inserida na Região Geomorfológica de mesmo nome, no sul do Brasil, conforme o Projeto RADAMBRASIL (IBGE, 2008). A região apresenta altitudes que variam entre 200 e 400 metros, sendo caracterizada por elevações arredondadas e de pequena extensão, conhecidas localmente como coxilhas. Os vales associados possuem aprofundamento médio de 20 a 30 metros, configurando um relevo suavemente ondulado. Em áreas pontuais, são identificadas superfícies de aplainamento que revelam relevos residuais, associados a um planalto mais antigo (IBGE, 2023).

O substrato geológico é formado predominantemente por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, pertencentes à Fácies Paranapanema (K1 beta pr), recobertas por solos profundos, com espessuras superiores a dois metros, sendo a maior parte classificada como Latossolo Vermelho Aluminoférrico (LVaf). Este solo é caracterizado por textura muito argilosa, horizonte superficial A proeminente e relevo suave ondulado a ondulado. Como componente secundário, ocorrem Nitossolos Vermelhos Alumínicos típicos, também associados a condições de relevo semelhantes. Esses solos são o produto de processos de dissecação homogênea em substrato vulcânico, que moldam o relevo de forma uniforme (IBGE, 2003; IBGE, 2023).

A paisagem também exibe uma rede hidrográfica de padrão retangular, fortemente influenciada por falhas e fraturas geológicas (CPRM, 2007). Peretti (2013) destaca que o relevo local, formado por derrames vulcânicos em patamares, é condicionado pela orientação das fraturas, facilitando o processo de dissecação. Nas vertentes suaves das colinas, bem como em algumas situações transpondo-as, são observadas feições erosivas como sulcos, ravinas e voçorocas, algumas estabilizadas ao longo do tempo. Esses elementos evidenciam a interação entre fatores litológicos, climáticos e erosivos, que configuram a paisagem atual. Além disso, o relevo é marcado por colinas onduladas com topos geralmente planos e convexos, e por rupturas de declive geradas por falhas e fraturas geológicas, que contribuem 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 Rio Grande do Sul. Isso promove a ascensão de ar das direções de Santa Catarina (norte) e Rio Grande do Sul (sul) (ROSSATO, 2011).

3. Materiais e Métodos

Este estudo baseou-se em extensas pesquisas para reunir informações bibliográficas e cartográficas essenciais. Diversas fontes teóricas e metodologias foram consultadas para conduzir o mapeamento geomorfológico. As inúmeras saídas de campo desempenharam um papel fundamental no refinamento desse mapeamento, ocorrendo simultaneamente à elaboração de croquis e à verificação *in loco*. Isso garantiu uma representação fiel da realidade, ao permitir a avaliação direta dos elementos cruciais para a confecção cartográfica, bem como a captura de imagens fotográficas para documentação.

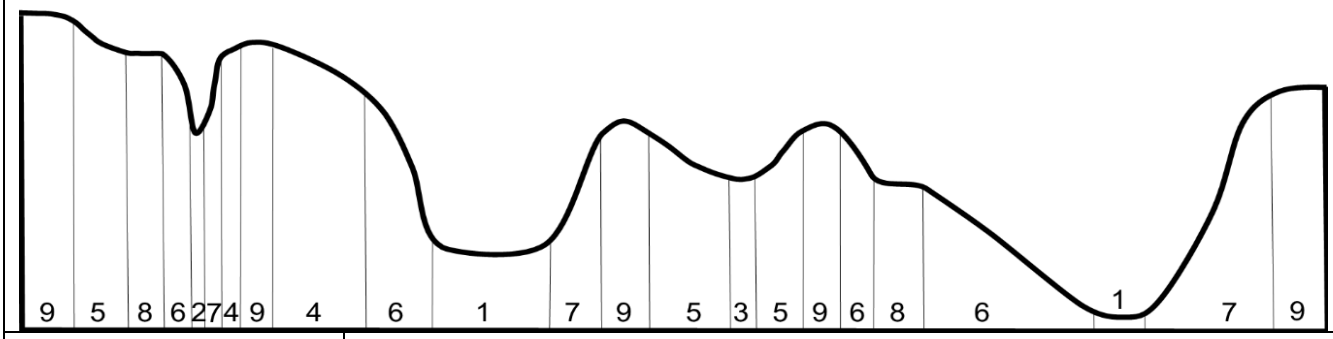
3.1 Cartografia Geomorfológica Original

Para a análise da área de estudo em uma escala detalhada de 1:5.000, utilizou–se duas bases cartográficas. 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 a hidrografia. 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.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi desenvolvido a partir de dados planialtimétricos vetoriais, os quais incluíam informações das curvas de nível, pontos cotados e detalhes sobre hidrografia disponíveis nas cartas topográficas. Os valores altimétricos do terreno foram extraídos, eliminando elementos superficiais como árvores ou edifícios. Para essa finalidade, a ferramenta de interpolação do *ArcToolbox*, no software ArcGIS®, foi empregada. Como resultado desse processo, um MDT foi gerado com uma resolução de células de 2x2 metros, alinhada com a escala de 1:5.000 (SILVEIRA; SILVEIRA, 2015; FURLAN; TRENTIN, 2019).

Para atingir esse objetivo, foram adotados os pressupostos metodológicos indicados por Ross (1992, 2012, 2017) e também utilizados por Fujimoto (2001), Rehbein (2005) e Moroz-Caccia Gouveia (2010), em conjunto com processamentos em ambiente SIG (FURLAN; TRENTIN; ROBAINA, 2024). 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 4º e 5º táxon, conforme proposto por Ross (1992, 2012, 2017) e Guerra e Guerra (2018) e ou 5º ordem na escala geomorfológica de Tricart, (1965), focada na análise de pequenas formas e diferentes especificidades de vertentes.

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



Elementos do Relevo	Processos Geomorfológicos
1 - Planícies e Terraços Fluviais	O processo predominante é o de agradação, caracterizado pela deposição contínua de sedimentos em depósitos colúvio-aluviais. Esse processo envolve a formação de depósitos compostos por sedimentos transportados e acumulados, oriundos da remoção de materiais das vertentes. Nessas áreas, há uma tendência ao afloramento do lençol freático, o que favorece a criação de zonas úmidas, como banhados.
2 - Vales Encaixados	Processo de erosão conforme resistência dos materiais.
3 - Cabeceiras de Drenagem	Áreas de convergência de fluxo de água (*hollows*). Grande volume de material (colúvio ou tálus) a ser mobilizado.
4 - Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas	Predomina processo de erosão e perda de materiais, com baixa capacidade de transporte.
5 - Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas	Predomina a concentração do escoamento superficial, e depósitos de materiais.
6 - Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas	Prevalece processo de erosão e perda de materiais, com alta capacidade de transporte. Ocasiona o deslocamento de material nas vertentes devido sua ampla inclinação.
7 - Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas	Prevalece erosão linear ou em sulcos, esses setores são os mais propícios à ocorrência de escorregamento superficial, pois são caracterizados por espessas camadas de solo.
8 - Patamares Planos e Convexos	Tendência ao escoamento superficial difuso, com propensão à infiltração de água no solo.
9 - Topos Planos, Convexos e Aguçados	Terrenos mais estáveis. Tendência maior para infiltração e percolação da água nos horizontes do solo. Tendência à geração dos horizontes do solo bem marcados. Processos de erosão química através da dissolução e lixiviação, migração de materiais que resulta na perda de materiais superficiais do solo.

Fonte: Organização do autor (2024)

3.2 Cartografia Geomorfologia Antropogênica

Para analisar a cobertura superficial e os processos atuais, buscou–se realizar uma análise histórico–geográfica e cartográfica a partir de interpretação de fotografias aéreas, com a utilização de novas técnicas de Sensoriamento Remoto para a medição da superfície terrestre, investigação de solos e monitoramento de processos de superfície (ROCCATI et al., 2020). As transformações da cobertura e do uso da terra foram identificadas a partir da sobreposição de fotografias aéreas do levantamento aerofotogramétrico utilizando-se de fotogrametria foram criados ortomosaicos no software *PhotoScan*, da *Agisoft* para o ano de 1975 e 1989 e, também, de imagens de satélite *World View*2 datada de 2010 e do *Google*© Satélite para o ano de 2023, abarcando nessa avaliação o período de 48 anos. Dessa forma, foi possível identificar as principais áreas em que ocorrem transformações antropogênicas decorrentes da urbanização. A partir de varreduras detalhadas e interpretação dos elementos destacados é factível reconhecer as particularidades das categorias de usos urbanos de origem antropogênica, acompanhadas de suas características específicas singulares em cada classificação.

As formas de relevo tecnogênicas são categorizadas em dois níveis, onde são atribuídos Categoria (1º Nível) e Tipo (2º Nível) (MOURA et al., 2023). No contexto deste estudo, identificaram-se dois níveis de formas de relevo tecnogênicas. No primeiro nível, encontram-se as Elevações e Superposições Tecnogênicas, enquanto no segundo nível são observadas as Tecnoformas de Acumulação, que se expressam no terreno como formas associadas a depósitos tecnogênicos construídos e ao processo morfogenético de acréscimo direto de material. A Representação Cartográfica para esse elemento caracteriza-se por formas Areolares como as rampas de aterro que são áreas caracterizadas por declividades variáveis, resultado da acumulação direta de materiais superficiais e Planícies fluviais e terraços tecnogênicos, por sua vez, são originados pelo processo de deposição de materiais tecnogênicos. As rupturas de declive causadas por aterro são definidas como elementos lineares, representando o limite superior das rampas de aterro sobre o terreno, a simbologia da forma segue indicações de Rodrigues (2005).

No primeiro nível, temos as Cicatrizes e Depressões Tecnogênicas, enquanto no segundo nível são observadas as "Tecnoformas de Escavação". Essas últimas se manifestam no terreno como cicatrizes resultantes de escavações tecnogênicas, caracterizadas pela remoção direta de material. As cicatrizes de mineração são representadas cartograficamente por meio de formas areolares (FUJIMOTO, 2001; MOROZ–CACCIA GOUVEIA, 2010). Os Elementos lineares Rupturas de declive por corte referem-se à interrupção abrupta do declive de um terreno devido à criação de taludes ou degraus de corte que são indicados por Rodrigues (2005). Os arruamentos, que correspondem a vias de transporte, como ruas, avenidas e pontes, assim como as linhas férreas e outras estruturas semelhantes, como degraus de corte ou aterro, são representados por linhas (FUJIMOTO, 2001; RODRIGUES, 2005; PELOGGIA; SILVA; NUNES, 2014)

As formas lineares que correspondem à hidrografia antropogênica Canal Tamponado e Canal Retificado (1:25.000) foram estabelecidas por Moroz–Caccia Gouveia (2010). Na escala 1:5.000 optou-se em classificar Hidrografia em ativa ou modificado ou inativo classificando a morfologia naturais e modificados em Vale de Fundo Côncavo, Vale em "V", Vale de Fundo Chato e Canalizado (DEL MONTE et al., 2016). Para aprimorar a análise da morfologia antropogênica, foram empregados polígonos para representar as áreas de represas e açudes. As simbologias para representação dos açudes foram ancoradas nos trabalhos de Fujimoto (2001) e Moroz–Caccia Gouveia (2010) e Peloggia, Silva e Nunes (2014).

A representação das Equiformas Tecnogênicas (1º Nível) classificadas em Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície (2º Nível) são representadas no formato areolar. Essa classificação apresenta características presentes no terreno decorrentes da presença de solos tecnogênicos que implicam em uma transformação direta ou indireta na composição ou na estrutura física da superfície terrestre (MOURA et al., 2023). Porém, torna-se importante salientar, que a implicação dessa categoria, está relacionado a característica da forma em que ela encontra-se sobreposta, assim, ocasionando em processos morfodinâmicos diferenciados.

4. Resultados

A análise das transformações antropogênicas da bacia hidrográfica do rio Tigre busca compreender a relação processual entre os processos morfológicos das alterações ocorridas a partir da ocupação realizada pelo ser humano. Dessa forma, o quadro natural perde suas características, e torna–se necessário realizar estudos geomorfológicos com o objetivo de mensurar os efeitos da ação antrópica sobre o relevo em um sentido amplamente geomorfológico (JORGE, 2011).

A partir da cartografia geomorfológica na área urbana, pode–se verificar a compreensão e a identificação de variáveis relevantes como no caso do traçado de ruas e a mancha urbana em relação à morfologia original (MOROZ–CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2017). Dessa maneira, por meio de intervenções humanas, que modificaram a morfologia original para uma configuração predominantemente antropogênica, a área urbana de Erechim foi gradualmente construída e estruturada. Essas intervenções representam um aspecto fundamental no desenvolvimento da cidade e desempenharam um papel crucial na adaptação do ambiente natural às necessidades urbanas. No processo de sobreposição desse traçado urbano em Erechim, uma série de obras de engenharia foi empreendida, incluindo a construção de galerias profundas no centro da cidade. Paralelamente à construção dessas galerias, foi necessário realizar aterros e implementar sistemas de drenagem em áreas de banhado para possibilitar a criação de muitas das ruas previstas no plano inicial de implantação urbana. Consequentemente, por meio de diversas intervenções humanas que transformaram a morfologia original em uma configuração predominantemente antropogênica, a área urbana de Erechim foi gradualmente construída e organizada.

A urbanização na bacia hidrográfica teve aumento expressivo durante os quatro períodos analisados. Ao verificar a Tabela 1, identifica–se que os dados apresentam uma elevação ascendente das áreas urbanizadas. Destaca–se que, entre os anos de 1975 até 1989 a área urbanizada teve um incremento. Entre o ano de 1989 e 2010 o acréscimo da área urbanizada também é relevante. Entre o ano de 2010 e 2023, observou–se o menor acréscimo em área urbana sobre a bacia. É possível observar um elemento importante, além da expansão da mancha urbana, evidencia–se também a expansão no traçado de ruas.

Tabela 1. Evolução das áreas urbanizadas na bacia hidrográfica do Rio Tigre

Período	**1975**	**1989**	**2010**	**2023**
Km²	4,11	7,44	8,80	9,19
%	35,43	64,14	75,86	79,22

Fonte: Organizada pelos Autores (2024)

Observa–se que a urbanização em 1975 se encontra principalmente na área onde se localiza o bairro centro. Em 1989 ocorre a expansão urbana para outras áreas da bacia hidrográfica. No ano de 2010 a urbanização torna–se homogênea em toda área da bacia hidrográfica, exceto em pequenas porções. Para o ano de 2023 a urbanização avança sobre áreas no setor oeste e leste da bacia, apenas poucos espaços encontram–se sem urbanização. Dessa forma, em 2023 a urbanização atinge 79,22% da área da bacia hidrográfica.

4.1 A urbanização sobre os Elementos do Relevo

A sobreposição da urbanização em relação aos elementos do relevo torna–se evidente (Tabela S1, Figura S1, S2, S3 e S4 documento suplementar 1). Esse processo provocou drásticas alterações na morfologia da bacia hidrográfica. Destaca–se que as Planícies e Terraços Fluviais possuíam 24,85% de sua área alterada. Os Vales Encaixados encontravam–se com 28,14% de suas áreas alteradas pela urbanização, assim como as Cabeceiras de Drenagem contemplando 29,09% de sua área modificada. As Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas e Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas foram os elementos de vertente que mais sofreram pressão da urbanização, com percentual de 36,42% e 39,24%. Já as Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas 29,70% e as Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas com 27,29% de suas áreas alteradas pela urbanização. Os Patamares Planos e Convexos foram os elementos que mais receberam alterações antropogênicas, totalizando 59,98% de sua área. Os Topos Planos, Convexos e Aguçados também tiveram sua área modificada pelo efeito da urbanização vislumbrando 50,63%.

A urbanização no ano de 1989 apresentou um quadro de alteração morfológica nos elementos do relevo como pode ser identificado na Figura 2. As Planícies e Terraços Fluviais encontram–se com 57,98% de sua área urbanizada. Os Vales Encaixados com 51,16% de suas áreas alteradas. As Cabeceiras de Drenagem tiveram um aumento expressivo, totalizando 58,18%. As Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas obtiveram 67,96 % de suas áreas modificadas a partir da urbanização. As Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas tiveram acréscimo em suas áreas urbanizadas, para esse elemento do relevo a urbanização atingiu 68,86 % de sua área total. Nas Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas a urbanização em 1989 atingiu um percentual de sua área que corresponde a 56,15%. As Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas possuem 54,58 % de sua área sobre efeitos da urbanização. Os Patamares Planos e Convexos foram os elementos do relevo que tiveram acréscimo expressivo em sua área modificada a partir do processo de urbanização em 1989, atingindo 82,07%. Os Topos Planos, Convexos e Aguçados, também sofreram aumento apresentado em 1989, 70,32 % de sua área urbanizada.

Os dados indicam que, em 2010, a urbanização se expandiu na bacia hidrográfica do rio Tigre, como é possível visualizar na Figura 2. As Planícies e Terraços Fluviais apresentaram um aumento em suas áreas modificadas pelo processo de urbanização, atingindo 74,54% de sua área urbanizada. Os Vales Encaixados também demonstraram um acréscimo em sua área, totalizando 63,95% de sua área urbanizada. Os Elementos Cabeceiras de Drenagem apresentaram uma área urbanizada de 66,11%. As Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas apresentaram uma área urbanizada de 80,87%, enquanto as Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas apresentaram uma área

urbanizada de 79,22%. As Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas apresentaram uma área urbanizada de 70,19%, enquanto as Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas apresentaram uma área urbanizada de 65,50%.

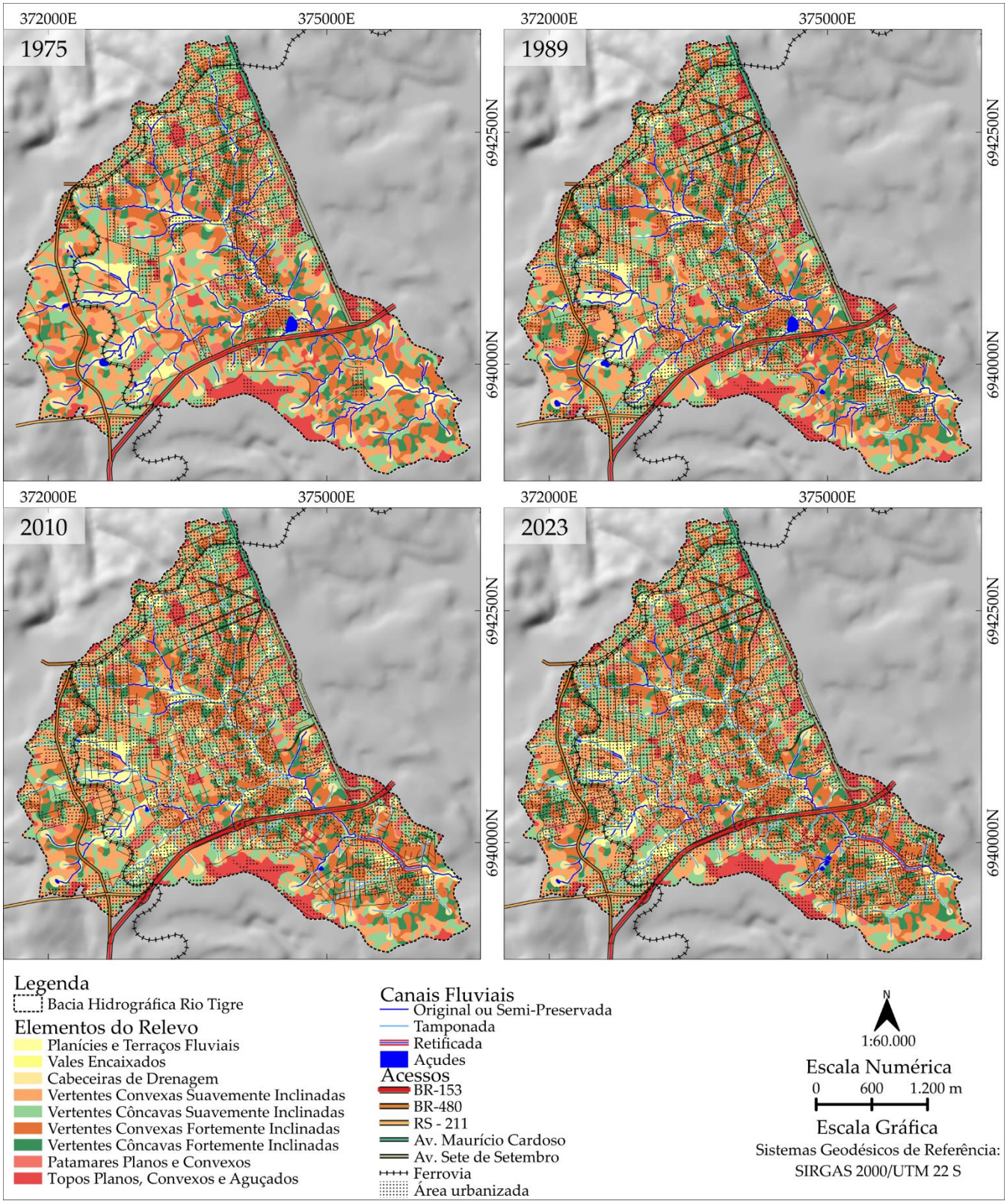


Figura 2. Expansão urbana sobre os elementos do relevo (1:60.000).

Os Patamares Planos e Convexos apresentaram uma área urbanizada de 88,39%, enquanto os Topos Planos, Convexos e Aguçados apresentaram uma área urbanizada de 74,53%. Ao observar a Figura 2, que representa a urbanização em 2023, identifica–se nesse período uma configuração predominantemente antropogênica em detrimento da morfologia original.

As Planícies e Terraços Fluviais, apresentaram um aumento de áreas urbanizadas, atingindo 81,64% de sua área total. Os Vales Encaixados também demonstraram um acréscimo em sua área, totalizando 66,51% de sua área urbanizada. As Cabeceiras de Drenagem apresentaram uma área urbanizada de 71,40%. As Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas apresentaram 84,02% de sua área urbanizada, enquanto as Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas apresentaram 81,81%. As Vertentes Convexas Fortemente Inclinadas apresentaram 72,89% de sua área urbanizada, enquanto as Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas apresentaram 67,68%. Os Patamares Planos e Convexos apresentaram 94,70% de sua área urbanizada, enquanto os Topos Planos, Convexos e Aguçados apresentaram 78,75%. Esses dados indicam uma expansão da urbanização na bacia hidrográfica em questão, com impactos em diferentes elementos do relevo.

Ao analisar a bacia hidrográfica como uma unidade hidrogeomorfológica de estudo, torna–se evidente que ela exibe padrões característicos em seus segmentos. Podemos observar essa compartimentação dos elementos do relevo, o que nos permite identificar os elementos de vertente e sua funcionalidade a partir da morfologia original e antropogênica. É possível identificar que todos os Elementos do Relevo foram alterados devido ao processo de urbanização. Os dados apresentados mostram a evolução da área urbanizada em diferentes elementos do relevo ao longo dos anos de 1975, 1989, 2010 e 2023. Observa–se um aumento expressivo na área urbanizada das Planícies e Terraços Fluviais, que passou de 24,85% em 1975 para 81,64% em 2023. Esse processo de urbanização pode ter impactos negativos na bacia hidrográfica, como a diminuição da infiltração e do escoamento subsuperficial, o que pode levar a um aumento no escoamento superficial. É importante destacar que a urbanização pode afetar os processos hidrológicos de uma região, provocando a substituição de áreas naturais por ambientes construídos e impermeabilizados.

Ao analisar a dinâmica da urbanização sobre os elementos do relevo, percebemos aumentos expressivos na área urbanizada em diferentes feições. Nos Vales Encaixados, houve um crescimento de 28,14% em 1975 para 66,51% em 2023. Da mesma forma, nas Cabeceiras de Drenagem, observa–se um aumento de 29,09% em 1975 para 71,40% em 2023. Houve, também, um expressivo incremento nas Vertentes Côncavas Suavemente Inclinadas, passando de 39,24% em 1975 para 81,81% em 2023. Já nas Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas, a porcentagem de área urbanizada subiu de 27,29% em 1975 para 67,68% em 2023. Estes dados indicam uma tendência à concentração do fluxo de água nas vertentes de geometria côncava. Com o avanço da urbanização, esses elementos passam a apresentar um aumento no escoamento superficial concentrado, uma vez que a capacidade de infiltração diminui drasticamente.

A expansão da área urbanizada nas Vertentes Convexas Suavemente Inclinadas foi notável, elevando–se de 36,42% em 1975 para 84,02% em 2023. Observou–se um crescimento na área urbanizada nas Vertentes Côncavas Fortemente Inclinadas, passando de 27,29% em 1975 para 67,68% em 2023. Os Patamares Planos e Convexos acompanharam essa tendência, registrando um expressivo aumento na área urbana, de 59,98% em 1975 para 94,7% em 2023. Já os Topos Planos, Convexos e Aguçados ampliaram a área urbanizada, passando de 50,63% em 1975 para 78,75% em 2023. Quando sujeitos a modificações antropogênicas, esses elementos do relevo parecem dispersar o fluxo de água, mesmo em sua forma original, que já possui capacidade de absorção limitada. No entanto, durante o processo de urbanização, essa capacidade é drasticamente reduzida, ocasionando um escoamento difuso em algumas partes das vertentes e um escoamento concentrado em outras, resultando em alterações no sistema hidrogeomorfológico.

As Planícies e Terraços Fluviais, passaram de 24,85% em 1975 para 81,64% em 2023. Esse processo de urbanização pode ter impactos negativos na bacia hidrográfica, como a diminuição da infiltração e do escoamento subsuperficial, o que pode levar a um aumento no escoamento superficial. É importante destacar que a urbanização pode afetar os processos hidrológicos de uma região, provocando a substituição de áreas naturais por ambientes construídos e impermeabilizados.

4.2 Representações Cartográficas e Interpretação do Relevo Antropogênico

Os resultados apresentam os elementos do relevo (4º e 5º Táxon), classificados como de Morfologia Original Semi-Preservada. As formas de relevo Tecnogênicas são categorizadas em elevações e superposições tecnogênicas, além de equiformas tecnogênicas (1º Nível), que se subdividem em tecnoformas de acumulação e tecnoformas de modificação em superfície (2º Nível).

A organização espacial abrange planícies e terraços fluviais (4º Táxon), cuja morfografia facilita a compreensão dos processos naturais. A classificação tecnogênica dessas formas corresponde ao processo de acumulação (2º Nível). Nessas áreas, problemas de drenagem são comuns devido a canalizações e aterros, que aumentam a frequência de inundações bruscas. Além disso, a deposição de materiais tecnogênicos contribui para o assoreamento do leito fluvial. Tais locais apresentam padrões de drenagem modificados, frequentemente transformando ruas em leitos fluviais e pluviais durante chuvas intensas.

Os vales encaixados (5º Táxon) destacam-se por processos erosivos. A canalização de canais fluviais e a criação de aterros resultam em vales tecnogênicos (2º Nível), que apresentam maior suscetibilidade a enxurradas devido às alterações na morfologia original. As cabeceiras de drenagem (5º Táxon), como formadoras iniciais da rede de drenagem, desempenham papel essencial no equilíbrio hidrogeomorfológico. Alterações tecnogênicas, como a inclusão de rampas de aterro (2º Nível), modificam significativamente a dinâmica hidrológica e geomorfológica dessas áreas, tornando-as mais suscetíveis a alagamentos e escorregamentos superficiais. Detalhes adicionais encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2. Elementos do Relevo Planícies e terraços fluviais, Vales Encaixados e Cabeceiras de drenagem

Planícies e terraços fluviais		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia e Morfometria	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Apresentam suaves inclinações em direção ao talvegue, distribuindo-se por diferentes setores da bacia hidrográfica. **Morfometria:** Variam de 660 a 775 metros de altitude, com amplitudes entre 6 a 40 metros, declividades de 0 a 5%, e perfil côncavo.	Compostas por material erodido das margens das vertentes e depositado como detritos em depósitos colúvio-aluviais, formados por sedimentos fluviais na base. São afetadas pela erosão fluvial, que aprofunda o talvegue. Propiciam o afloramento do lençol freático, originando áreas úmidas (banhados), que favorecem a retenção de água.	Morfologia é alterada pelo processo de deposição de materiais em aterros, resultando em formas descontínuas e escoamento superficial concentrado. Deposição de materiais com origem tecnogênica nos canais fluviais tamponados ou depósitos tecnogênico-sedimentares induzidos próximos às vertentes.
Vales Encaixados		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Esses elementos apresentam formas topográficas com inclinações suaves em direção ao talvegue. **Morfometria:** Caracterizando-se por altitudes que variam entre 675 e 695 metros, amplitudes de 3 a 54 metros, declividades de 0 a 15%, e com plano de perfil côncavo.	A configuração desses vales está moldada pelo processo contínuo de erosão, influenciado pela resistência dos materiais presentes. A morfodinâmica desses vales é predominantemente associada aos processos de erosão fluvial.	Retificação e tamponamento dos canais fluviais e a construção de aterros. Morfologia: criam formas descontínuas com rampa de aterros com declividades variáveis devido à acumulação direta de materiais superficiais. Processo de escoamento superficial laminar concentrado.
Cabeceiras de drenagem		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: são caracterizadas por bacias de primeira ordem, apresentando um formato côncavo em planta e um perfil convergente. **Morfometria:** A altitude dessas áreas varia entre 695 e 810 metros, a amplitude oscila entre 2 e 23 metros, a declividade vai de 0 a 15%, e a curvatura de perfil é côncava.	São áreas de convergência de fluxo de água (*hollows*), acumulando um grande volume de material residual, como colúvio ou tálus, que está pronto para ser mobilizado. Erosão regressiva das cabeceiras.	Incluem rampas de aterro nesses locais, o que torna os fluxos laminares e superficiais descontínuos. Apresentam baixa infiltração e diminuição do fluxo subsuperficial, o que tende a eliminar a vertente de água.

O setor das vertentes (5º Táxon) apresenta uma diversidade em termos de morfologia e morfodinâmica. Essas formas tecnogênicas representam equiformas tecnogênicas (1º Nível) e equiformas tecnogênicas de modificação em superfície (2º Nível). Detalhes adicionais encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3. Elementos do Relevo setores das vertentes

Vertentes convexas suavemente inclinadas		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Possuem superfícies pouco inclinadas e retratam a conexão entre os divisores de água e os fundos de vale. **Morfometria:** A altitude dessas áreas varia entre 670 e 825 metros, a amplitude oscila entre 2 e 72 metros, a declividade vai de 0 a 15%, e a curvatura de perfil é convexa.	A morfologia que facilita a dispersão do escoamento superficial. Essas vertentes estão sujeitas a processos erosivos influenciados por fatores pluviométricos. Predomina o processo de erosão e perda de materiais, embora a capacidade de transporte de sedimentos seja baixa.	Morfologia é alterada pelo processo de deposição de materiais em aterros, e retirada de materiais devido aos cortes. O escoamento superficial e subsuperficial torna-se tanto difuso devido às modificações no terreno e concentrado nos arruamentos. Tendência a dispersão do escoamento superficial quanto a dinâmica dos sedimentos.
Vertentes côncavas suavemente inclinadas		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: superfícies pouco inclinadas que facilitam a concentração do escoamento superficial, enquanto efetivamente conectam os divisores de água aos fundos de vale. **Morfometria:** Altitudes variando entre 670 e 821 metros, e amplitudes de 2 a 45 metros, apresentam declividades que variam de 0 a 15% e perfil côncavo.	Na morfodinâmica das vertentes côncavas suavemente inclinadas, predominam processos erosivos influenciados por fatores pluviométricos. Esses processos se caracterizam pela concentração do escoamento superficial e pela formação de depósitos de materiais na área**.**	Morfologia descontínua a partir dos cortes no terreno resultam em declividades acentuadas e rupturas de declive. E as rampas de aterro, com suas declividades variáveis, são formadas pela acumulação direta de materiais superficiais. Aumentam a concentração do fluxo superficial, isso gera um grande volume hídrico e um escoamento superficial concentrado.
Vertentes convexas fortemente inclinadas		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Superfícies inclinadas, que dispersam o escoamento superficial enquanto conectam efetivamente os divisores de água aos fundos de vale. **Morfometria:** altitudes variando entre 673 e 820 metros, e amplitudes de 5 a 52 metros, essas vertentes têm declividades que vão de 15% a 35% e perfil convexo.	São altamente suscetíveis a processos erosivos influenciados por fatores pluviométricos. Prevalece o processo de erosão e perda de materiais, com uma alta capacidade de transporte de sedimentos. Essa inclinação ampla facilita o deslocamento de material ao longo das vertentes, tornando essas áreas dinamicamente ativas na redistribuição de sedimentos ou queda de blocos rochosos de basalto.	Presença de cortes e aterros ao longo dessas vertentes resultando em declives acentuados e rupturas de declives. Pequenos patamares são frequentemente encontrados, esses patamares podem ser delimitados por degraus de cortes e rampas de aterros. Modificações no escoamento superficial quanto o subsuperficial, que podem ser difusos ou concentrados, dependendo das características do terreno modificado.
Vertentes côncavas fortemente inclinadas		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Superfícies inclinadas que facilitam a concentração do escoamento superficial, enquanto efetivamente conectam os divisores de água aos fundos de vale. **Morfometria:** altitude de 674 a 815 metros, com uma amplitude altimétrica entre 3 e 57 metros. A declividade dessas áreas varia de 15% a 38%, e seu perfil é predominantemente côncavo.	São propensas a processos erosivos intensificados, especialmente devido aos fatores pluviométricos. Esses processos favorecem a erosão linear ou em sulcos ao longo das vertentes. Esses setores são particularmente suscetíveis à ocorrência de escorregamentos superficiais devido à presença de espessas camadas de solo, que aumentam a instabilidade e a mobilidade dos materiais na superfície.	Incluem degraus de corte e rampas de aterro nesses locais torna os fluxos laminares e superficiais descontínuos. Aumento considerável no volume hídrico e na concentração do escoamento superficial devido às infraestruturas como cortes e aterros alterando a estabilidade das encostas. Maior transporte de sedimentos ao longo das vertentes, intensificando processos erosivos lineares e a mobilização de materiais.

As vertentes convexas suavemente inclinadas desempenham um papel essencial no relevo. Elas conectam os divisores de água aos fundos de vale e facilitam a dispersão do escoamento superficial. As vertentes tecnogênicas intensificam a erosão e a remoção do solo. A remobilização de materiais é comum, e a presença de pequenos patamares, criados pelo remanejamento de materiais superficiais, é frequente. Esses patamares podem ser delimitados por degraus de cortes e rampas de aterro, dependendo da extensão e tipo de intervenção realizada. As superfícies modificadas influenciam o comportamento hidrológico e geomorfológico da área, contribuindo para o rebaixamento do lençol freático.

As vertentes côncavas suavemente inclinadas têm uma morfologia específica e variabilidade na morfometria, caracterizadas pela concentração de fluxo. Essas vertentes tecnogênicas são alteradas por intervenções humanas, que intensificam a erosão e remobilizam materiais. Durante chuvas, as ruas se transformam em leitos pluviais devido ao escoamento hídrico concentrado. As formas deposicionais resultam de depósitos tecnogênicos coluviais. Intervenções humanas geram cicatrizes de solapamento e cortes, aumentando a erosão, especialmente por causa da impermeabilização urbana.

As vertentes convexas fortemente inclinadas têm características de dispersão de fluxo e sofrem modificações devido a cortes e aterros, resultando em declives acentuados. Essas alterações facilitam tanto o escoamento superficial quanto o subsuperficial, que podem ser difusos ou concentrados. São suscetíveis a deslizamentos e queda de blocos basálticos, além de intensificar a erosão, resultando na remoção dos horizontes superficiais do solo e comprometendo sua estabilidade. Isso pode causar problemas de instabilidade, afetando as áreas urbanas adjacentes.

As vertentes côncavas fortemente inclinadas são propensas a deslizamentos e escorregamentos. As intervenções humanas agravam a instabilidade, resultando em maior transporte de sedimentos e intensificação da erosão linear. A concentração do escoamento hídrico e a impermeabilização do solo devido às infraestruturas urbanas pioram os problemas de drenagem. As modificações tecnogênicas causam impactos diretos na dinâmica do relevo, comprometendo a estabilidade do solo e aumentando a mobilização de materiais.

Os patamares e topos possuem sua descrição completa no sistema de legendas representado no Quadro 4. Os patamares planos e convexos (5º Táxon) são elementos do relevo caracterizados por superfícies relativamente planas e ligeiramente elevadas. Esses patamares estão sujeitos a processos erosivos influenciados pelas condições pluviométricas. O escoamento superficial difuso favorece a infiltração de água no solo, contribuindo para a estabilidade e conservação do relevo. Nas áreas tecnogênicas (2º Nível), o escoamento superficial se concentra nas ruas e avenidas devido à impermeabilização urbana. Os topos planos, convexos e aguçados (5º Táxon) se destacam por suas características morfográficas específicas. Morfodinamicamente, essas formações estão sujeitas a processos erosivos influenciados pela pluviometria. Nos topos planos, convexos e aguçados tecnogênicos (2º Nível), as intervenções humanas modificam a morfologia e a dinâmica natural dessas formações. Durante chuvas intensas, os padrões de drenagem alterados transformam as ruas em leitos pluviais, aumentando o volume e a velocidade do escoamento de água. Isso pode intensificar a erosão e o transporte de sedimentos, afetando a estabilidade do solo e a integridade das infraestruturas urbanas.

Quadro 4. Elementos do Relevo Patamares e Topos

Patamares planos e convexos		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: Caracterizados por superfícies planas que interrompem a continuidade do declive das vertentes, formando degraus na encosta. **Morfometria:** altitudes variam entre 728 e 820 metros, com amplitudes que oscilam de 2 a 9 metros e declividades entre 0 e 5%. e perfil convexo.	O escoamento superficial difuso favorece a infiltração de água no solo, contribuindo para a estabilidade e conservação dessa forma de relevo. Estão sujeitos a processos erosivos influenciados pelas condições pluviométricas.	A configuração dos lotes e arruamentos é bem definida, o que favorece a remoção dos horizontes superficiais dos solos através da erosão linear. A presença de rede hídrica subterrânea contribui para a modificação do fluxo de água no subsolo, afetando o comportamento hidrológico.
Topos planos, convexos e aguçados		
Original Semi-Preservado		Tecnogênico
Morfografia	**Materiais / Morfogênese / Morfodinâmica**	**Hidromorfologia**
Morfologia: São partes mais elevadas com superfícies de baixa inclinação. Já os topos aguçados são associados a pequenas superfícies pontiagudas. **Morfometria:** Altitude variando entre 695 e 825 metros, com amplitudes que vão de 0 a 28 metros e declividades que não ultrapassam 5% e perfil convexo.	Sujeitas a processos erosivos influenciados pelos fatores pluviométricos. Tendência maior para infiltração e percolação da água nos horizontes do solo, o que pode promover a geração de horizontes bem marcados. Ocorrem processos de erosão química através da dissolução e lixiviação, resultando na migração de materiais e na perda de componentes superficiais do solo.	Observam-se superfícies com declividades acentuadas, resultantes da retirada de materiais por meio de cortes e aterros no terreno, o que causa rupturas nas bordas da forma. O escoamento superficial tende a se concentrar nos arruamentos, que são bem definidos e configurados, facilitando a remoção dos horizontes superficiais dos solos. Suscetível a processos de erosão linear.

Para a representação cartográfica em escala de 1:28.000 (Figura 3), observa-se a disposição dos elementos do relevo com Morfologia Original Semi-Preservada e aqueles com morfologia Tecnogênica/Antropogênica. Nessa escala, foi elaborada uma legenda com simbologia simplificada, oferecendo menos detalhamento.

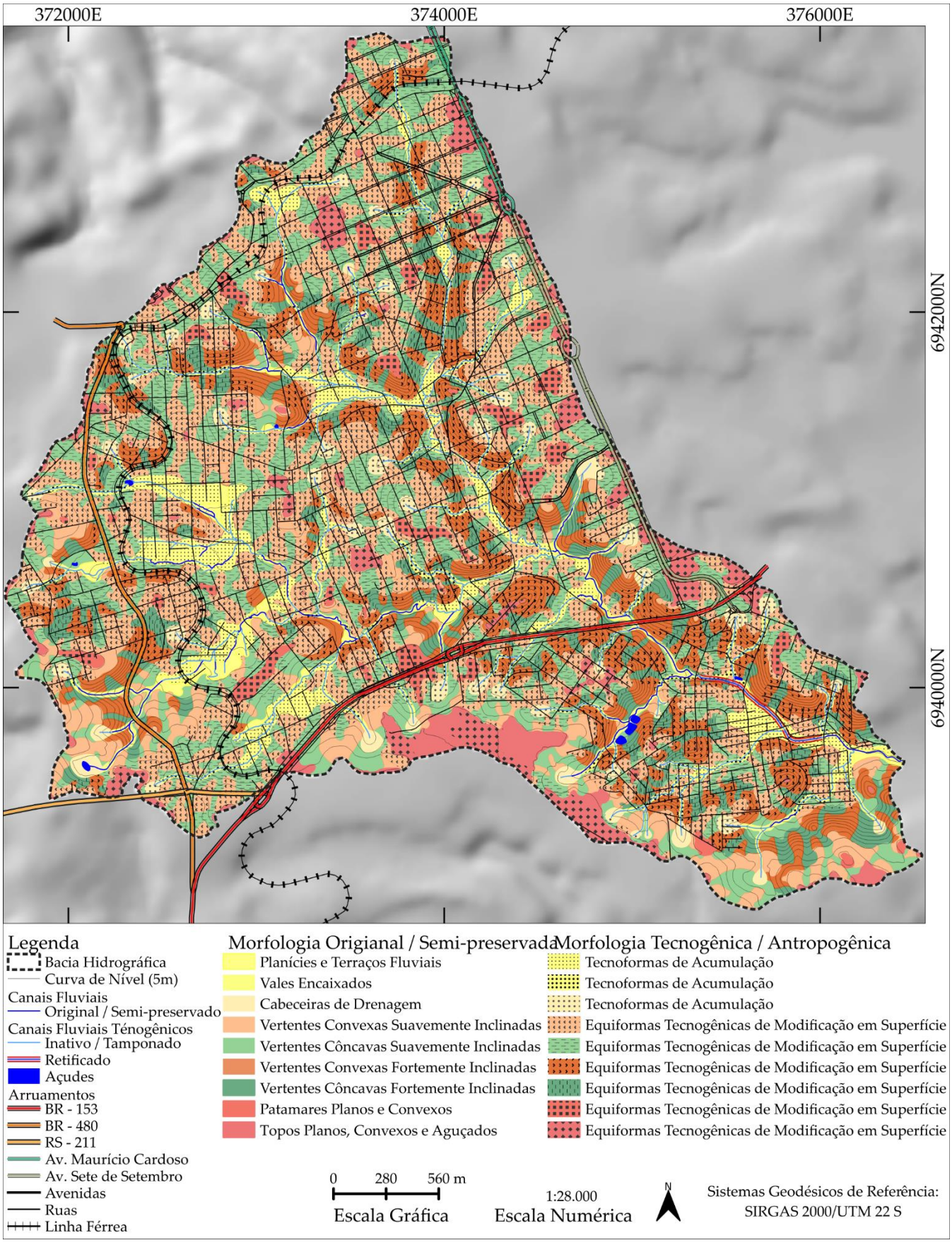


Figura 3. Morfologia Original e Tecnogênica da bacia do rio Tigre (1:28.000), Erechim, RS

Em uma segunda análise, foram relacionados exemplos de diversos recorte espacial da bacia hidrográfica, e a fotografia como chaves de interpretação. Na escala de 1:5.000, é possível identificar maior detalhamento das formas tecnogênicas, com a inserção de símbolos específicos para representar a hidrografia ativa, modificada e inativa, além das morfologias tecnogênicas (observar o mapa em A0 na escala de 1:6.000 nos documento suplementares 2). Esse maior nível de detalhamento contribui para a interpretação mais precisa dos processos geomorfológicos atuais. Na Figura 4, verifica-se a apresentação de quatro recortes espaciais da bacia hidrográfica, com a Figura 6 complementando a ilustração desses recortes.

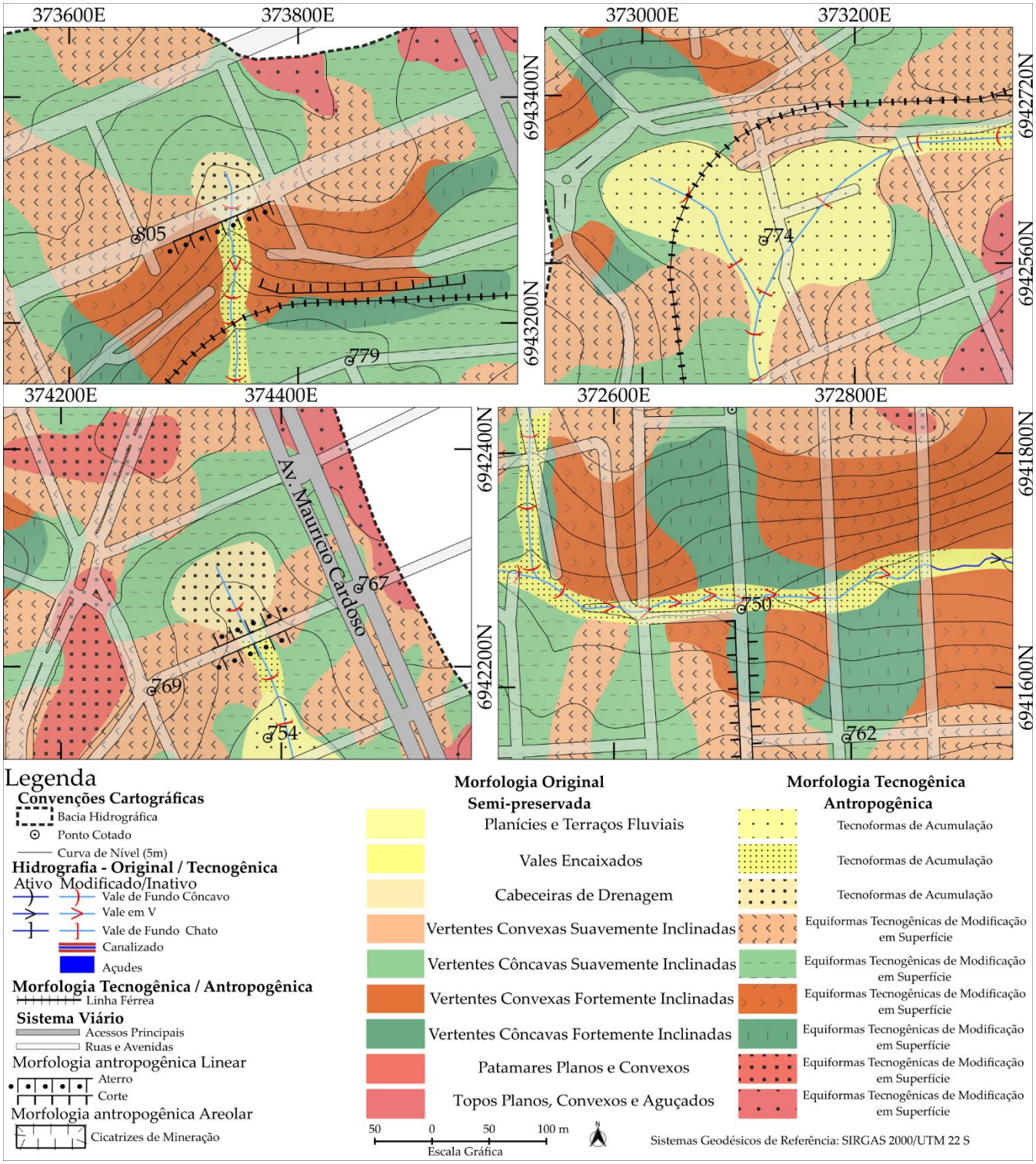


Figura 4. Recorte espacial 1 - Morfologia Original e Tecnogênica da bacia do rio Tigre, Erechim, RS

O recorte visualizado no canto superior esquerdo da Figura 4 representa a área onde se localiza uma cabeceira de drenagem, especificamente a nascente do canal principal do rio Tigre. Nesse recorte, identifica-se a presença de elementos como corte e aterro, além de ruas e avenidas, conforme visualizado na Figura 6a. O recorte visualizado no canto superior direito da Figura 4 ilustra uma área de planícies e terraços fluviais situados no alto curso do rio. Na Figura 6b, identifica-se a disposição dessa área. A Figura 5 exibe dois recortes dessa área em períodos distintos (2014-2024), evidenciando a inserção de dois grandes empreendimentos no recorte à direita. Essas modificações afetam drasticamente o processo hidrogeomorfológico, uma vez que a impermeabilização da superfície no alto curso resulta em um maior fluxo hídrico durante precipitações, impactando áreas a jusante.

Figura 5. Recortes Google Earth (2014 – 2024)

No canto inferior esquerdo da Figura 4, observa-se outra área do alto curso, que apresenta uma cabeceira de drenagem, vertentes convexas suavemente inclinadas e vales encaixados. A Figura 6b identifica o grau de impermeabilização dessa área, bem como o adensamento da infraestrutura. Para a implementação da rua sobre a área dos vales encaixados, foi necessário a construção de aterros e a canalização da hidrografia, classificada neste local como de fundo côncavo. O último recorte, no canto inferior direito da Figura 4, identifica a presença de um vale encaixado com hidrografia em vale em V e morfologia modificada e tamponada. Na Figura 6d, uma fotografia panorâmica dessa área é apresentada, com setas amarelas indicando a direção ao talvegue e a rua onde a Figura 6e foi fotografada.

Figura 6. Recorte espacial 1. (a) Fotografia aérea destaque para Cabeceira de Drenagem (2007); (b) Fotografia área destaque para Planícies e Terraços Fluviais (2007); (c) Fotografia representando Vertentes convexas suavemente inclinadas e o Vale Encaixado (2019); (d) Fotografia aérea destaque para Vale Encaixado e Vertentes Fortemente Inclinadas (2007); (e) Fotografia representando o Vale em V e Vertentes Fortemente Inclinadas (2019).

Na Figura 7, são apresentados recortes espaciais da bacia hidrográfica, enquanto a Figura 8 complementa a ilustração desses recortes. Nesses recortes, destacam-se diversos elementos, com ênfase para planícies e terraços fluviais, além de vertentes fortemente inclinadas. Outros pontos de destaque incluem cortes, aterros e cicatrizes de mineração. Ao observar a Figura 8a, verifica-se a disposição das ruas e avenidas. As setas em destaque indicam a direção das tomadas fotográficas (Figuras 8b e 8c). A Figura 8b mostra a direção da maior seta, apontando para a rua José do Patrocínio, enquanto a Figura 8c (menor seta) direciona para a rua Santos Dumont. Nessas fotografias, é possível identificar a presença de planícies e terraços fluviais que estão sob processo de Tecnoformas de Acumulação. Além disso, observa-se a transição das planícies e terraços fluviais para as vertentes fortemente inclinadas, representadas como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície.

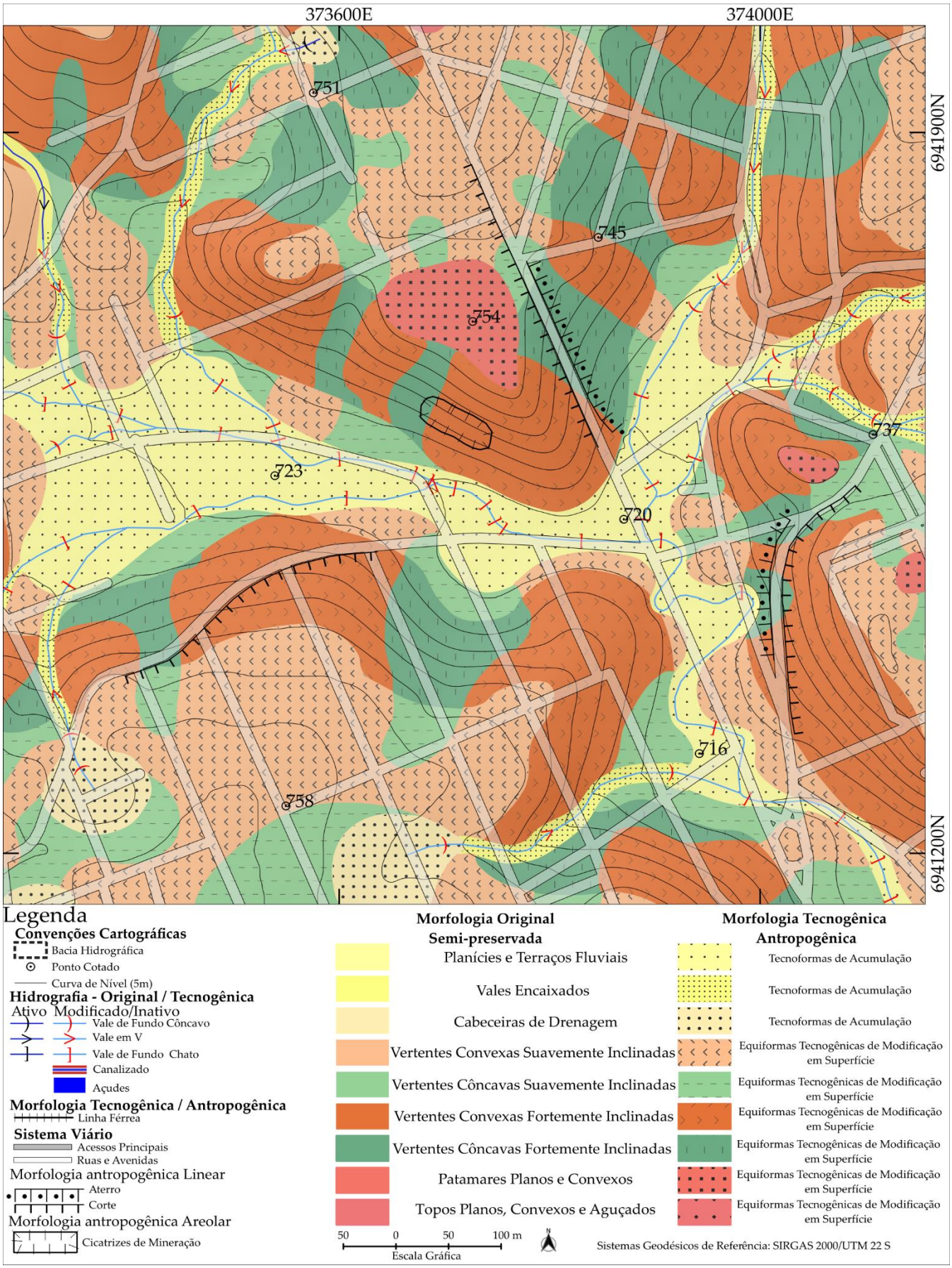


Figura 7. Recorte espacial 2 - Morfologia Original e Técnogenica da bacia do rio Tigre, Erechim, RS

A Figura 8d representa um recorte onde é possível observar planícies e terraços fluviais sob o processo de Tecnoformas de Acumulação. Também se verifica a presença de vertentes fortemente inclinadas, patamares planos e convexos, e topos planos, convexos e aguçados, todos classificados como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície. Nessa área, foi identificada uma transformação nos elementos das planícies e terraços fluviais. A Figura 9 ilustra essa transformação com um recorte espaço-temporal (2014-2024), mostrando a inserção de um condomínio. Anteriormente coberta por gramíneas, a área agora encontra-se impermeabilizada, modificando completamente o sistema hidrogeomorfológico. Além da impermeabilização, foram implementadas canalizações na hidrografia local.

Figura 8. Recorte espacial 2. (a) Fotografia aérea (2007); (b) Fotografia área destaque para Planícies e Terraços Fluviais (2007); (c) Fotografia representando Vertentes convexas suavemente inclinadas e o Vale Encaixado (2019); (d) Fotografia área destaque para Planícies e Terraços Fluviais (2019); (e) Fotografia representando Vertentes Fortemente Inclinadas e Cicatriz de Mineração (2019).

A Figura 9e representa um recorte onde é possível observar vertentes fortemente inclinadas com a presença de uma cicatriz de mineração, atualmente desativada. Essa área correspondia à extração de basalto, provavelmente utilizado para pavimentação (paralelepípedos) ou destinado à construção civil. Destaca-se também a presença do elemento patamar plano e convexo, classificado como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície.

Figura 9. Recortes Google Earth (2014 – 2024)

A Figura 10 representa um recorte espacial do médio curso da bacia hidrográfica, enquanto a Figura 11a auxilia na compreensão dos elementos do relevo dispostos nessa área. Verifica-se o adensamento de residências nos elementos do relevo. A seta em amarelo indica o ponto em que as fotografias das Figuras 11b e 11c foram tiradas.

A Figura 11b apresenta, no primeiro plano, planícies e terraços fluviais sob o processo de Tecnoformas de Acumulação. Conforme identificado na Figura 10, essa área é uma conjunção hidrográfica, porém a hidrografia passou por um processo de canalização, com a construção de galerias subterrâneas que se estendem por todo o recorte espacial, terminando na Figura 12c. Em segundo plano (Figura 11b), identificam-se elementos como vertentes fortemente inclinadas e patamares planos e convexos, classificados como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície.

A Figura 11d demonstra outra prática de canalização da hidrografia. Verifica-se que esse canal fluvial tamponado percorre uma área muito próxima às residências adensadas. Dessa forma, verifica-se que essas residências estão localizadas em planícies e terraços fluviais sob o processo de Tecnoformas de Acumulação.

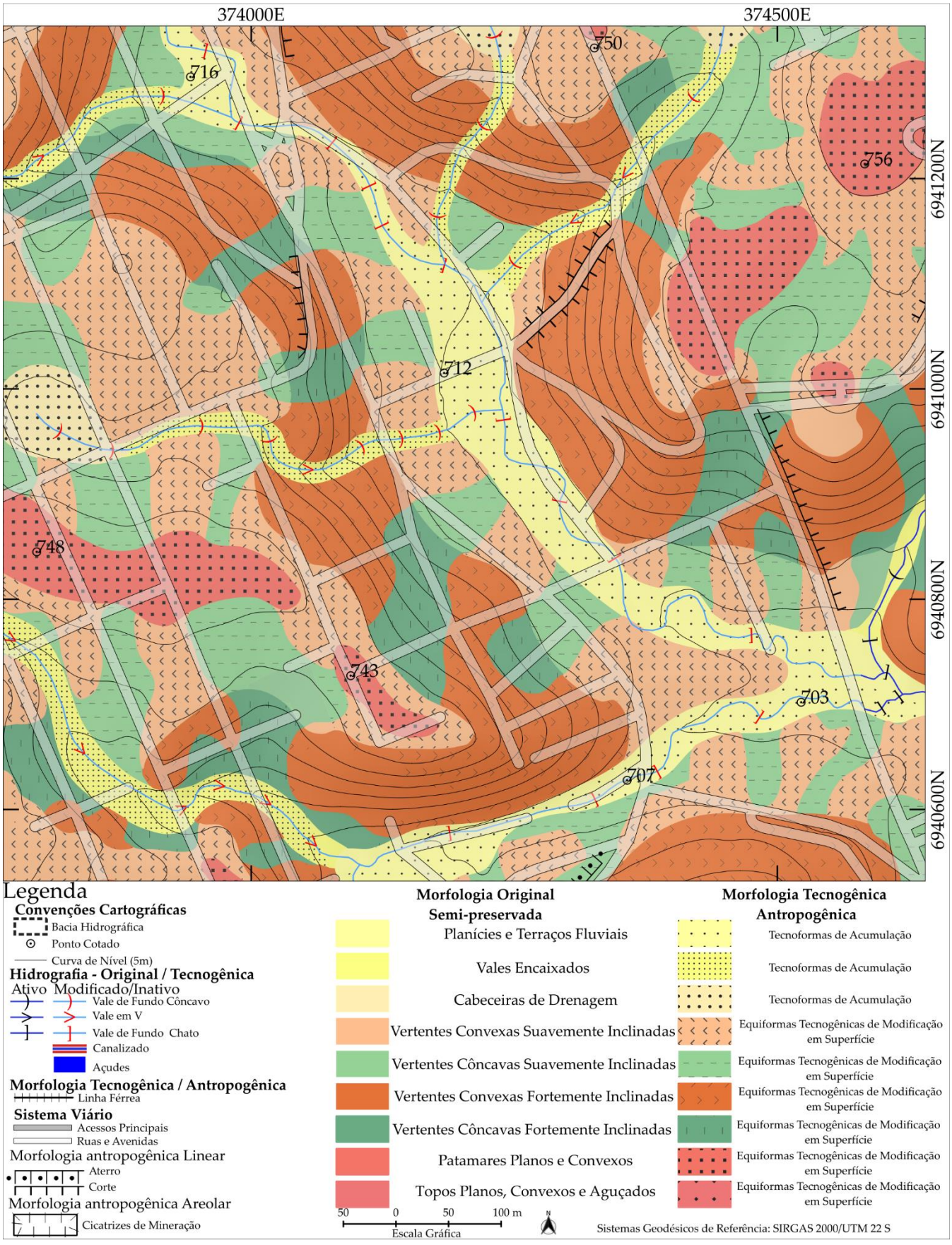


Figura 10. Recorte 3. Morfologia Original e Tecnogênica da bacia do rio Tigre, Erechim, RS

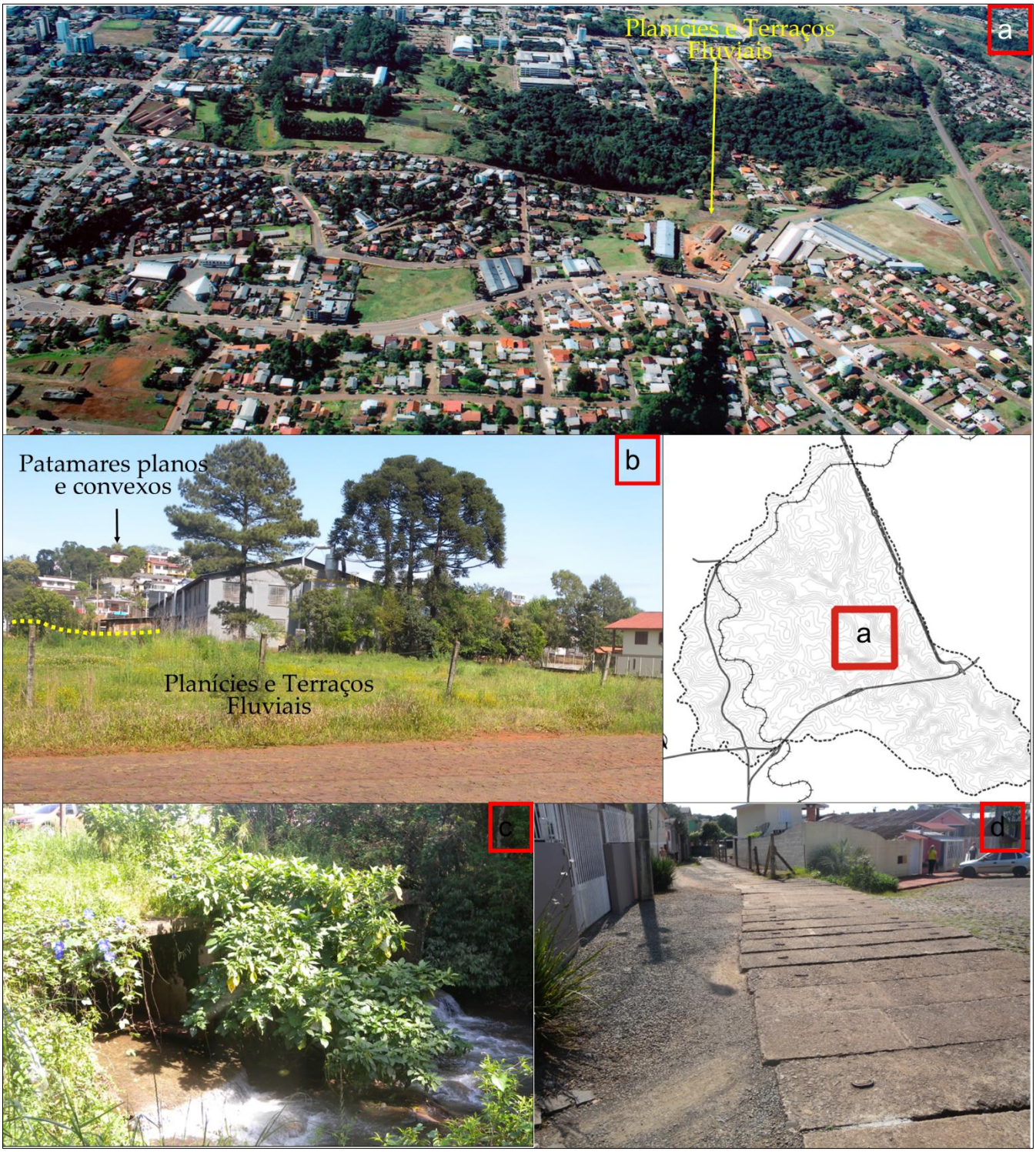


Figura 11. Recorte espacial 3. (a) Fotografia aérea (2007); (b) Fotografia área destaque para Planícies e Terraços Fluviais (2019); (c) Fotografia representando final das galerias (Hidrografia Tamponada) (2019); (d) Fotografia área destaque de galerias (Hidrografia Tamponada) (2019).

O quarto recorte espacial da bacia hidrográfica do rio Tigre (Figura 12) destaca as alterações morfológicas decorrentes da instalação da BR-153 e como essa via modificou a dinâmica do relevo com a implantação de cortes e aterros. A Figura 13a e 13b oferecem um detalhamento maior a partir de fotografias aéreas. Já a Figura 13c demonstra a extensão completa dos dois recortes espaciais.

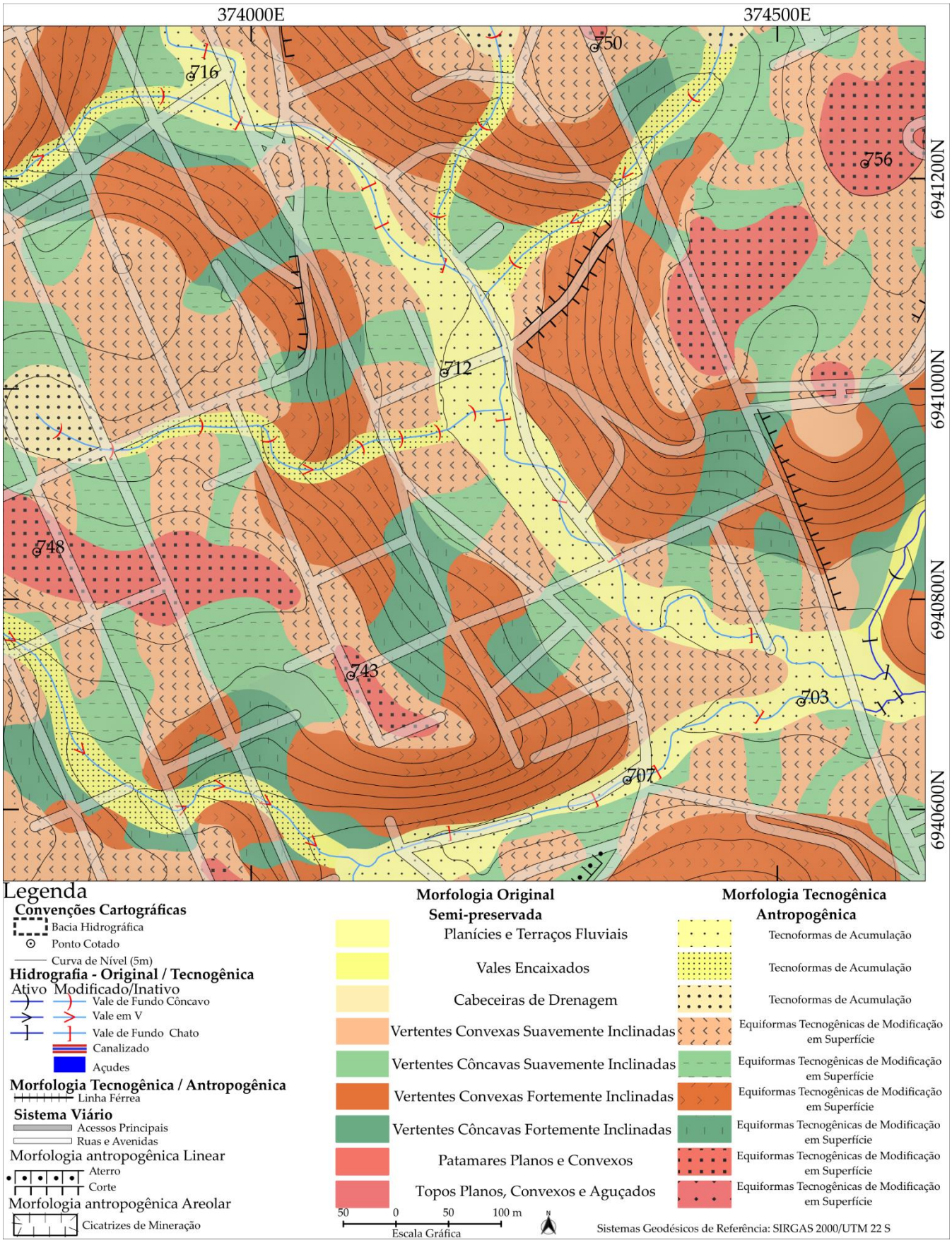


Figura 12. Recorte espacial 4. Morfologia Original e Técnogenica da bacia do rio Tigre, Erechim, RS

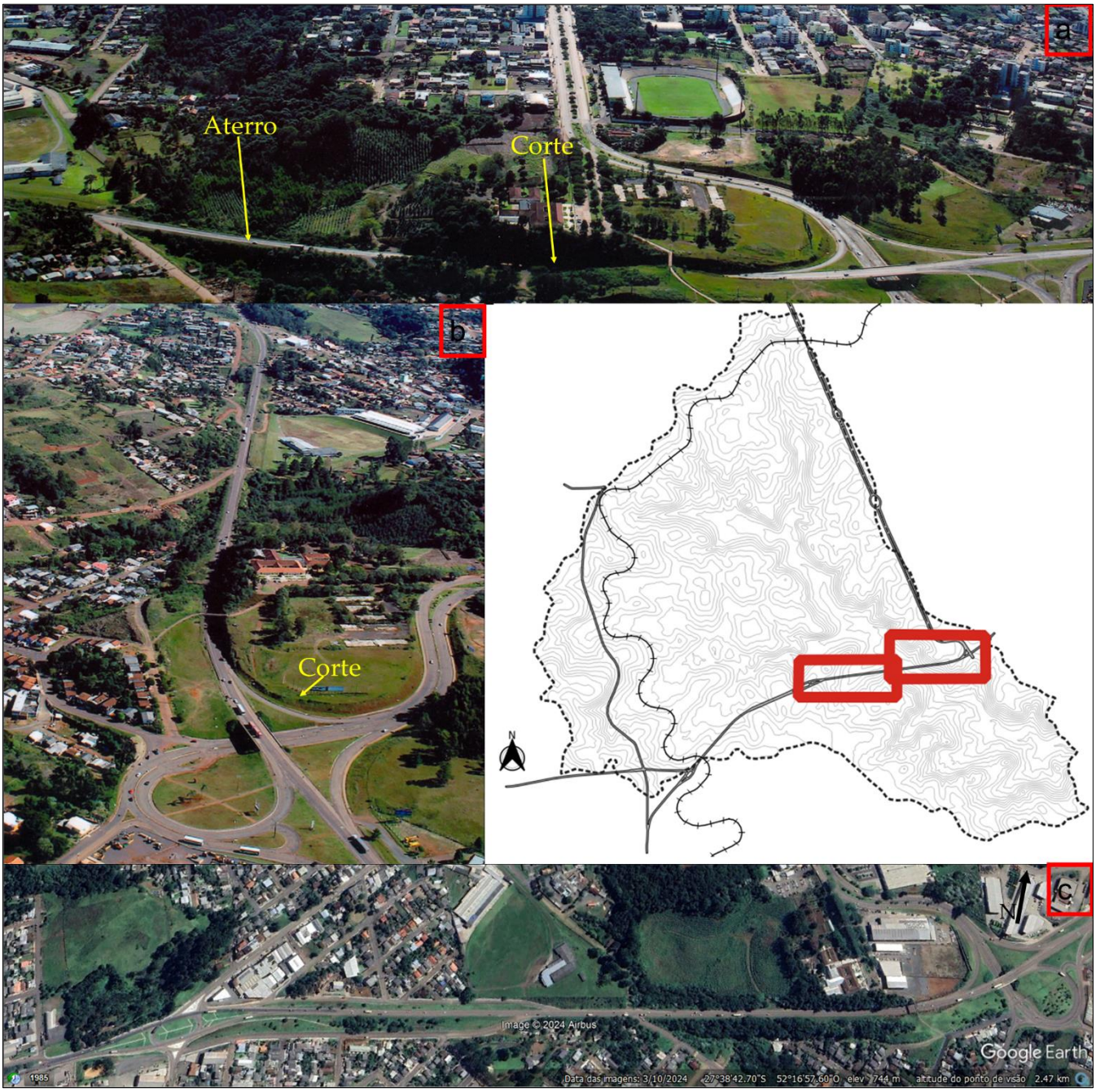


Figura 13. Recorte espacial 4. (a) Fotografia aérea (2007); (b) Fotografia aérea (2007); (c) Recortes Google Earth (2024).

O último recorte espacial (Figura 14) apresenta a dinâmica do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Tigre. Na Figura 15a, é possível identificar a presença do vale encaixado, onde se encontra uma hidrografia com canal de fundo côncavo. A Figura 16b destaca as vertentes fortemente inclinadas e, como referência, um topo plano, convexo e aguçado, localizado a uma cota de 721 metros (Figura 14). Nesta área, observa-se um adensamento urbano significativo, com vertentes e topos patamares classificados como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície.

Em primeiro plano na Figura 15b, são visíveis as planícies e terraços fluviais sob o processo de Tecnoformas de Acumulação, situados a uma cota de 673 metros (Figura 14). Em segundo plano, podem ser identificadas as áreas de vertentes fortemente inclinadas, que ainda mantêm sua forma Semi-Preservada.

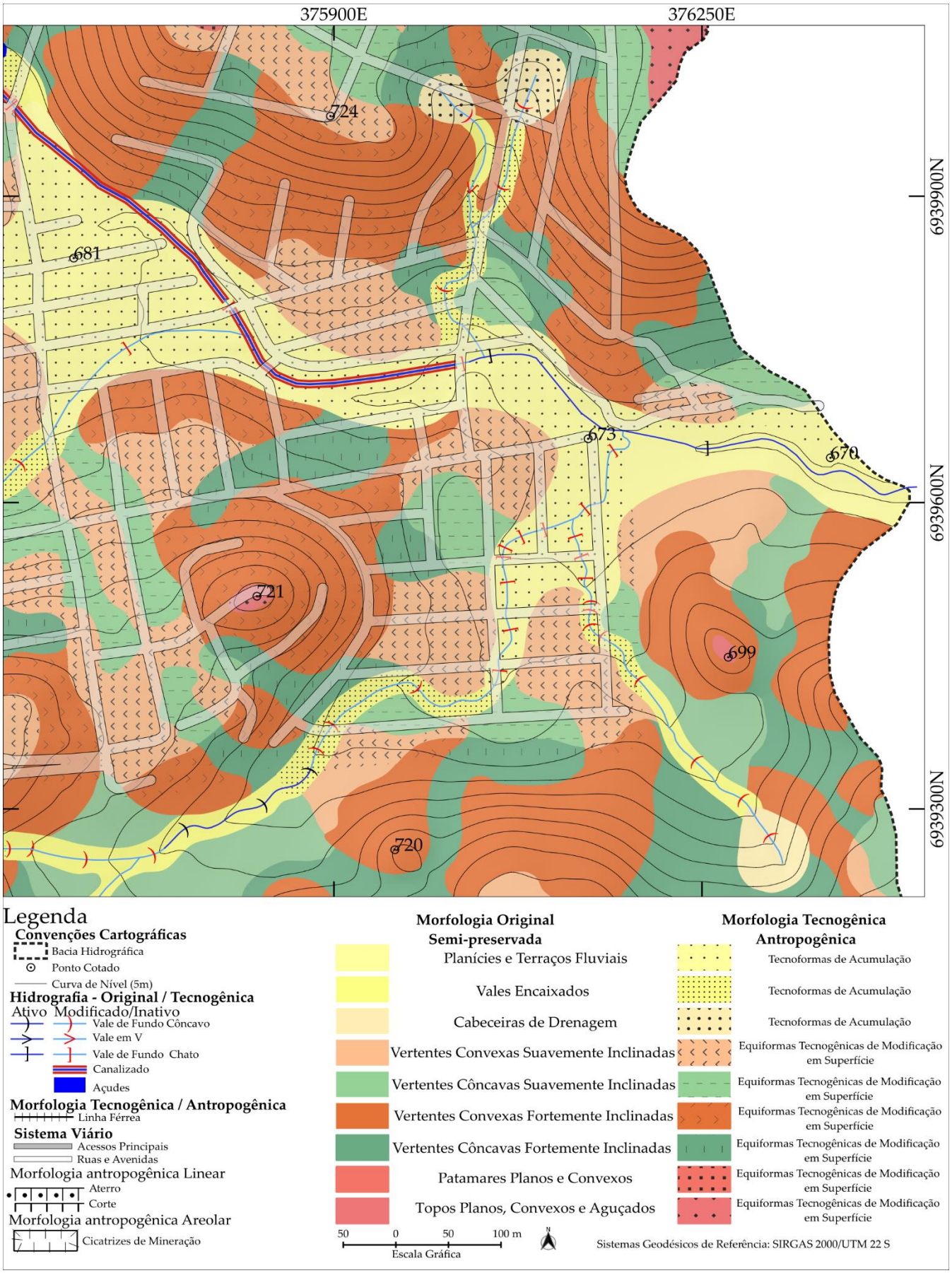


Figura 14. Recorte 5. Morfologia Original e Técnogenica da bacia do rio Tigre, Erechim, RS

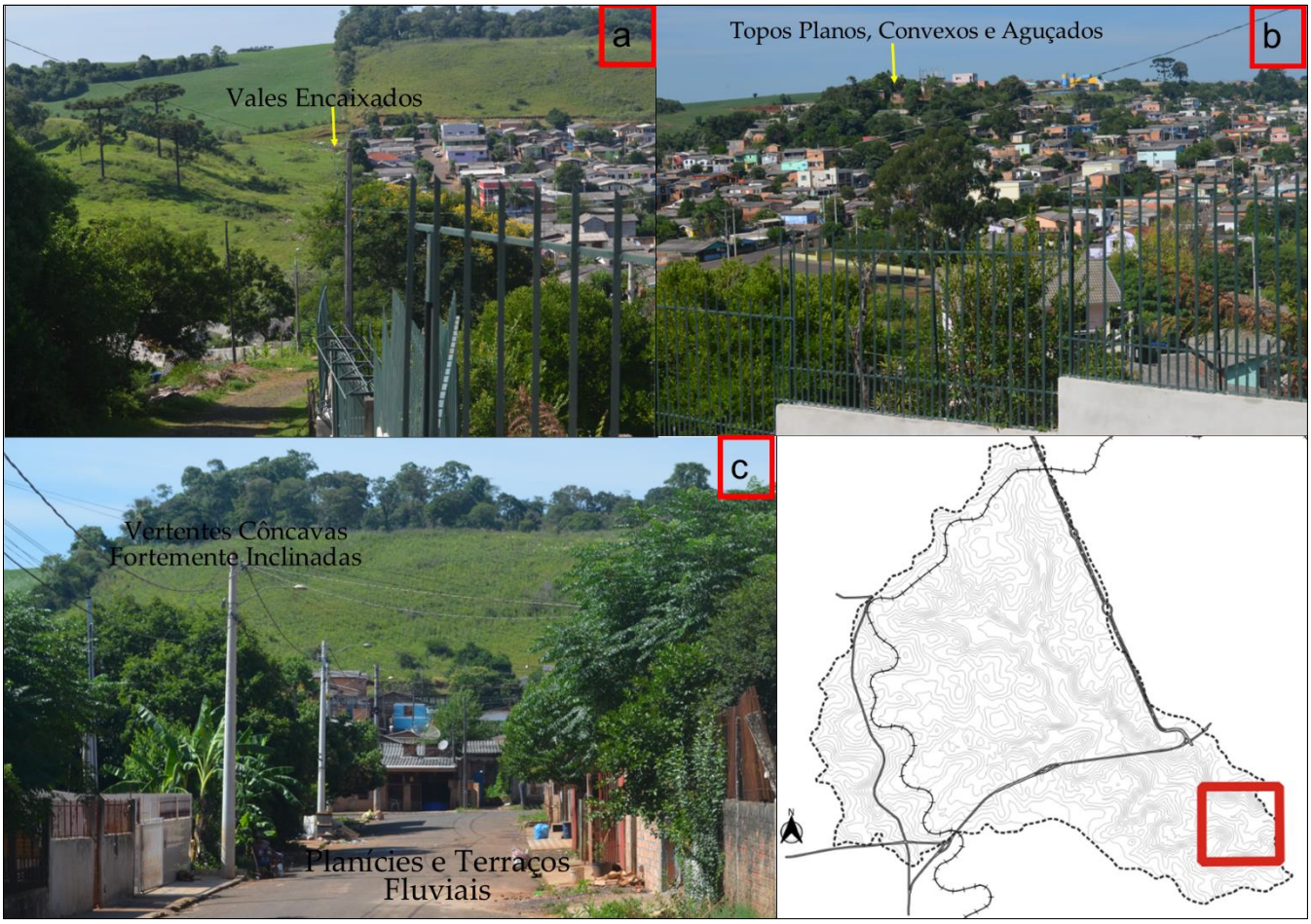


Figura 15. Recorte espacial 5. (a) Fotografia com destaque para planícies e terraços fluviais (2019); (b) Fotografia vertentes fortemente inclinadas e topo plano convexo, e aguçado (2019); (c) Fotografia planícies e terraços fluviais (2019).

A Figura 16 apresenta recortes espaciais do baixo curso, demonstrando as dinâmicas hídricas da região. Na Figura 16a, é mostrada uma área onde o canal fluvial foi retificado com canalização aberta. É importante destacar que, devido ao período de estiagem durante o trabalho de campo, o fluxo dos canais fluviais estava baixo. A Figura 16b apresenta uma área onde a hidrografia ainda se encontra preservada; ao observar a linha pontilhada, verifica-se o processo de aterro das margens. Nas Figuras 16c e 16d, é possível identificar Geotecnoformas de Acumulação que não são visíveis na escala de 1:5.000. Essas formas estão associadas a depósitos tecnogênicos induzidos, cuja morfogênese é resultado do acréscimo induzido de material.

Figura 16. Recorte espacial 5. (a) Fotografia com destaque para planícies e terraços fluviais (2019); (b) Fotografia vertentes fortemente inclinadas e topo plano convexo, e aguçado (2019); (c) Fotografia planícies e terraços fluviais (2019).

Dessa forma, compreende-se que a bacia hidrográfica do rio Tigre está sob forte influência da urbanização. Verifica-se que muitas áreas ocupadas estão dispostas em elementos do relevo que deveriam ter sua ocupação restrita. Observa-se que grande parte da hidrografia foi alterada devido à urbanização, e muitas residências encontram-se sob ou muito próximas aos canais fluviais tamponados, retificados ou Semi-preservados, o que aumenta a suscetibilidade a processos de enxurradas, enchentes ou inundações.

5. Discussão

Com o aumento da demanda por terras e a contínua expansão das áreas urbanas, que frequentemente afetam e transformam os sistemas naturais, torna-se fundamental compreender as dinâmicas do ambiente urbano e sua evolução física. Nesse contexto, os autores apresentaram uma abordagem metodológica e aplicada para investigar o ambiente urbano, com ênfase nos processos físicos, especialmente os de caráter geomorfológico, histórico e antropogênico. As reconstruções geomorfológicas em áreas urbanas se mostram ferramentas essenciais para analisar a dinâmica geomorfológica, particularmente em contextos nos quais as intervenções humanas alteraram substancialmente o ambiente natural, como no caso da drenagem de cursos d'água, canalização e cobertura de leitos fluviais.

A crescente atenção dedicada à geomorfologia urbana (MOURA et al., 2023) e à legenda geomorfológica, tema amplamente debatido no Brasil (BOTELHO; PELECH, 2019; PELECH et al., 2019), reforça a relevância de estudos voltados para essa área. A partir dos estudos realizados e da metodologia aplicada, foi possível identificar questões relevantes, incluindo a necessidade de aprofundar a discussão sobre a escala adotada, considerando a diversidade de formas e feições antropogênicas, tanto pequenas quanto de grande extensão. De forma geral, no Brasil, os municípios não possuem bases cartográficas em escalas de detalhe e, este trabalho procurou desenvolver a avaliação geomorfológica usando uma base cartográfica de detalhe. Nesse sentido, a classificação morfológica

original dos elementos do relevo, conforme Ross (1992, 2012, 2017), abrange: planícies e terraços fluviais, vales encaixados, cabeceiras de drenagem, vertentes concavas e convexas, patamares e topos.

A distribuição espacial desses elementos foi analisada em diferentes escalas — 1:50.000, 1:25.000 e 1:5.000 — o que permitiu identificar características distintas e processos hidrogeomorfológicos variados. Essa análise também envolveu a associação dos elementos do relevo a formas tecnogênicas, como elevações, sobreposições em tecnoformas de acumulação e escavação, sendo necessário o uso de simbologias específicas, como "incisão em forma de V", para representar feições antropogênicas.

Além da representação gráfica, os quadros descritivos, que detalham morfologia, materiais, morfogênese, morfodinâmica e hidromorfologia de cada elemento — tanto original quanto tecnogênico — atuam como recursos complementares ao mapa. A distribuição dessas informações em materiais auxiliares, como relatórios ou mapas em camadas, reduz a complexidade visual no mapa principal, garantindo que os profissionais possam acessar os dados detalhados conforme necessário. É fundamental que, além de atender às exigências científicas, a metodologia proposta seja prática e útil para os profissionais que necessitam desses mapas no contexto do planejamento urbano e gestão de riscos. A legibilidade e acessibilidade dos produtos cartográficos são prioritárias, assegurando sua aplicabilidade em diversas esferas, como no poder público e na gestão de áreas urbanas. Um bom mapa geomorfológico não se caracteriza pela quantidade de informações, mas pela sua praticidade e legibilidade.

A metodologia proposta precisa ser avaliada e aplicada por outros pesquisadores em diferentes áreas urbanas com variados tipos de relevo. Comentários analíticos e sugestões são essenciais para a aplicação abrangente e validação complementar. Essas metodologias são replicáveis em distintos contextos e têm o potencial de contribuir para a elaboração de zonas urbanas classificadas com base em riscos mensuráveis, impactando, inclusive, o valor das propriedades urbanas. Para melhorar a legibilidade, pode-se sugerir o uso de escalas diferenciadas.

Uma das principais contribuições deste estudo para a reconstrução da paisagem é o levantamento de campo detalhado, que permite compreender o papel das atividades antrópicas na reconfiguração do espaço. A adoção de uma abordagem integrada para reconstruir a geomorfologia e a história urbanas se configura como uma estratégia essencial para aprimorar o entendimento das características da cidade atual e oferecer uma compreensão mais precisa da dinâmica fluvial, das encostas e dos possíveis cenários de risco.

Os exemplos apresentados ressaltam a importância de considerar a interação entre processos antropogênicos e naturais na avaliação de riscos. Essa interação é particularmente significativa em áreas urbanas, onde a alta densidade populacional e a infraestrutura estão expostas aos riscos provenientes das transformações na dinâmica natural. A reconstrução da evolução geomorfológica em paisagens urbanas pode fornecer subsídios valiosos para o planejamento urbano e a gestão de emergências.

6. Conclusões

A análise detalhada das representações cartográficas e da interpretação do relevo antropogênico na bacia do rio Tigre revela uma complexa interação entre as formas originais e as modificações tecnogênicas. A partir da escala de 1:25.000, observa-se a disposição geral dos elementos do relevo, tanto em suas formas originais quanto tecnogênicas. Esta representação inicial fornece um panorama abrangente da morfologia e da distribuição espacial dessas formas. Ao ampliar a escala para 1:5.000, é possível identificar detalhes das formas tecnogênicas, incluindo a hidrografia modificada e os detalhes das infraestruturas urbanas que impactam diretamente a dinâmica hidrogeomorfológica local. Essa maior resolução revela como as intervenções humanas, como cortes, aterros e canalizações, alteram não apenas a morfologia superficial, mas também a dinâmica de escoamento e a susceptibilidade a eventos extremos, como inundações repentinas.

Os recortes espaciais complementam essa análise ao focar áreas específicas da bacia, evidenciando como diferentes tipos de intervenção afetam o comportamento do relevo. Por exemplo, nas cabeceiras de drenagem, a construção de aterros e a canalização da hidrografia modificam a paisagem, aumentando a potencialidade dos processos erosivos e a problemas de drenagem. Assim, a representação cartográfica e a interpretação do relevo antropogênico na bacia do rio Tigre destacam a importância de uma abordagem integrada para o planejamento ambiental e ordenamento territorial, considerando tanto as características naturais quanto as intervenções humanas. Essa abordagem é fundamental para mitigar os impactos ambientais e melhorar a resiliência das áreas urbanas frente aos desafios climáticos e hidrológicos emergentes.

Neste estudo, buscou-se oferecer diretrizes para o mapeamento geomorfológico antropogênico, focando no mapeamento detalhado de elementos do relevo Semi-Preservados e Tecnogênicos decorrentes do processo de urbanização. Para mapear esses elementos, utilizou-se os preceitos metodológicos estabelecidos por Ross (1992, 2012, 2017), complementados por técnicas de geoprocessamento em SIGs. A utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite, conforme Rodrigues (2005), Moroz–Caccia Gouveia (2010) e Chirico et al. (2021), auxiliou na identificação das alterações no terreno desenvolvidas a partir do processo histórico de ocupação.

Os resultados obtidos na análise da bacia hidrográfica do rio Tigre evidenciam a influência da urbanização sobre a dinâmica geomorfológica e hidrológica, como apontam estudos em outras áreas desenvolvidos por Fujimoto (2001), Rehbein (2011) e Faccini et al. (2020). A ocupação do solo, aliada à intensa modificação das formas de relevo por meio de cortes, aterros e construção de infraestrutura urbana, tem provocado alterações substanciais nos processos naturais de erosão, escoamento superficial e transporte de sedimentos.

A partir da análise realizada, percebe-se a identificação e contribuição para a interpretação do relevo antropogênico. A análise preliminar em escala de 1:50.000 contribui para a compreensão do avanço da urbanização e sua expressividade nas alterações quantitativas dos elementos do relevo, revelando uma dinâmica de transformação antrópica na bacia hidrográfica, conforme aplicado por Rodrigues (2010). Na segunda análise, seguindo as diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR) (MOURA et al., 2023), realizou-se uma análise em escala de 1:25.000. Identificou-se Equiformas Tecnogênicas e Elevações e Superposições Tecnogênicas (1º Nível), classificadas também como Equiformas Tecnogênicas de Modificação em Superfície e Tecnoformas de Acumulação (2º Nível), utilizando formas areolares como configuração gráfica. Em uma análise detalhada em escala de 1:5.000, explorou-se simbologias que representam as formas do relevo tecnogênico, como cortes e aterros.

Este estudo oferece uma análise detalhada das consequências da urbanização sobre uma bacia hidrográfica específica, integrando aspectos geomorfológicos e hidrológicos. Os resultados destacam a importância de políticas de ordenamento territorial e planejamento ambiental que considerem tanto os processos naturais quanto a necessidade de infraestrutura resiliente. A metodologia utilizada pode servir como modelo para estudos similares em outras regiões urbanizadas, oferecendo uma base para o desenvolvimento de estratégias de mitigação dos impactos socioambientais.

Em suma, a metodologia apresentada demonstra ser eficaz para o mapeamento geomorfológico antropogênico, revelando a complexa interação entre urbanização e dinâmicas naturais. Este trabalho contribui para o entendimento das transformações do relevo em áreas urbanizadas e destaca a necessidade de uma abordagem integrada no planejamento urbano. Há uma série de questões a serem avaliadas ao se planejar um mapeamento desse tipo, e cada uma delas pode influenciar a escolha da metodologia mais adequada, conforme as características específicas da área a ser mapeada. Ajustes metodológicos serão inevitáveis, considerando as particularidades regionais e locais.

Contribuições dos Autores: Concepção, A.R.F.; metodologia, A.R.F. e R.T.; software, A.R.F.; validação, A.R.F., R.T. e L.E.de S.R.; análise formal, A.R.F., R.T. e L.E.de S.R.; pesquisa, A.R.F.; recursos, R.T. e L.E.de S.R.; preparação de dados, A.R.F.; escrita do artigo, A.R.F.; revisão, R.T. e L.E.de S.R.; supervisão, R.T. e L.E.de S.R.; aquisição de financiamento, A.R.F., R.T. e L.E.de S.R. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

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

Agradecimentos: Agradecemos às contribuições dos pareceristas deste artigo, bem como do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (PPGGEO/UFSM) pela infraestrutura para desenvolvimento da presente pesquisa.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ABREU, A. A. de. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista Instituto de Geociência,** São Paulo, n. 4, p. 5-23, 1983.

2. BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radambrasil. **Boletim Técnico, Série Geomorfologia. Salvador**. n. 1, 187 p., 1984
3. BARBOSA, T. S.; FURRIER, M. Anthropogenic Geomorphological Mapping of the Central Sector of the João Pessoa Metropolitan Region (PB), Brazil. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 24, n. 4, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i4.2401
4. BISCI, C.; DRAMIS, F. Il concetto di attività in Geomorfologia: problemi e metodi di valutazione: The Concept of activity in Geomorphology: problems and evaluation methods. **Geografia Fisica E Dinamica Quaternaria**, v.14, n.2, p.193-199, 1991.
5. 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. DOI: 10.21579/issn.2526-0375_2019_n1_183-201.
6. BRANDOLINI, P.; MANDARINO, A.; PALIAGA, G.; FACCINI, F. Anthropogenic landforms in an urbanized alluvial-coastal plain (Rapallo city, Italy). **Journal of Maps**, v.17, n. 4, 86–97. 2020. DOI:10.1080/17445647.2020.1793818.
7. CHIRICO, P. G.; BERGSTRESSER, S. E.; DEWITT, J. D.; ALESSI, M. A. Geomorphological mapping and anthropogenic landform change in an urbanizing watershed using structure-from-motion photogrammetry and geospatial modeling techniques. **Journal of Maps**, v. 17, n. 4, p. 241 – 252, 2021. DOI: 10.1080/17445647.2020.1746419.
8. COLTRINARI, L. Cartografia geomorfológica detalhada: A representação gráfica do relevo entre 1950-1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo. v.12, n.3, p.121-130, 2011. DOI:10.20502/rbg.v12i0.265.
9. COOKE, R. U. Urban geomorphology. **The Geographical Journal**, v. 142, n .1, p. 59–65, 1976. DOI: 10.2307/1796025
10. COOKE, R. U.; BRUNSDEN, D.; DOORNKAMP, J. C.; JONES, D. K. C. **Urban geomorphology in drylands**. Oxford: Oxford University Press, 1982.
11. CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Gravataí – SH,22-X-CV**, escala 1:100.000: nota explicativa. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007.
12. DEL MONTE, M.; D'OREFICE, M.; LUBERTI, G. M.; MARINI, R.; PICA, A.; VERGARI, F. Geomorphological classification of urban landscapes: the case study of Rome (Italy). **Journal of Maps**, v. 12, p. 178–189, 2016. DOI: 10.1080/17445647.2016.1187977.
13. DIAO, C. An approach to theory and methods of urban geomorphology. **Chinese Geographical Science**, v. 6, n. 1, p. 88 – 95, 1996. DOI: 10.1007/s11769-996-0039-9
14. DOUGLAS, I. Urban planning policies for physical constraints and environmental change. In: HOOKE, J. M (Ed.). **Geomorphology in environmental planning**. New York: John Wiley & Sons, 1988. p.63-86.
15. DRAMIS, F.; GUIDAB, D.; CESTARIC, A. Nature and Aims of Geomorphological Mapping. In: SMITH, Mike. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S (Ed.). **Geomorphological Mapping**: Methods and Application. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 39 - 64.
16. ERECHIM. **Plano Ambiental Municipal**. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Erechim, 2011. Disponível em: <https://www.pmerechim.rs.gov.br/uploads/paginas/870b621148f625e60007c2fff319cff3.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2016.
17. FACCINI, F.; GIARDINO, M.; PALIAGA, G.; PEROTTI, L.; BRANDOLINI, P. Urban geomorphology of Genoa old city (Italy). **Journal of Maps**, v.17, n.4, p .51-64, 2020. DOI:10.1080/17445647.2020.1777214
18. FAGUNDES, A.; LUPINACCI, C. M. Urbanização e Alterações geomorfológicas: O Caso d a Bacia Hidrográfica do Córrego Lavapés - Rio Claro (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 47- 62, 2017. DOI: 10.11606/rdg.v33i0.118918
19. FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise ambiental urbana na área metropolitana de Porto Alegre/RS**: sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2001. 2001. 236p.
20. FURLAN, A. R.; SPINELLI, J. Planejamento e Hidrografia: estudo das bacias hidrográficas do perímetro urbano de Erechim/RS, utilizando software QGIS. **OKARA: Geografia em debate**, v. 13, p. 3-25, 2019. DOI: 1.10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n1.35399.
21. FURLAN, A. R.; SPINELLI, J. Inundações e Vulnerabilidade Socioeconômica na Área Urbana de Erechim, RS (Brasil). **Estudos Geográficos** (UNESP), v. 18, p. 198-220, 2020. DOI: 10.5016/estgeo.v19i2.15773.
22. 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. DOI: 10.21170/geonorte.2019.V.10.N.34.01.19
23. FURLAN, A. R.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Cartografia detalhada do relevo: mapeamento semi-automatizado na bacia do rio Tigre em Erechim, RS. **Revista De Geografia**, v.41, n.2, p. 92–116, 2024. DOI: 10.51359/2238-6211.2024.261291

24. GOMES, T C.; MOURA, N. S. V. A complexidade da expansão urbana, as intervenções antropogeomorfológicas e as derivações ambientais sobre os compartimentos do relevo da cidade de Santa Maria/RS. In: PESSÔA, V. L. S.; RUCKERT, A. A.; RAMIRES, J. C. de L. (Ed.). **Pesquisa qualitativa**: aplicações em geografia. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2017, p. 288-320.
25. GUERRA, A. T.; GUERRA, A. T. J. **Dicionário geológico – geomorfológico**. 12ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2018.
26. GUERRA, A. T. J.; T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
27. GUERRA, A. T. J.; T.; LOUREIRO, H. A. S (Ed.). **Paisagens da geomorfologia**: Temas e conceitos no século XXI. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2023.
28. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento Pedológico**. 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.
29. 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.
30. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 175 p., 2009.
31. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010:** Resultados do Universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
32. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Informações Ambientais** | BDiA - web, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/23382-banco-de-informacoes-ambientais.html>. Acesso em: 23 dezembro de 2024.
33. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/erechim/panorama> Acesso em 20 de março de 2024.
34. JORGE, M. do C. O. Geomorfologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Teorias. In: GUERRA, A. J. T. (ORG.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 117-145.
35. JÓZSEF, S.; LÓRÁNT, D.; DÉNES, L. **Anthropogenic Geomorphology**: A Guide to Man–made Landforms. Dordrecht – Heidelberg – London – New York: Springer, 2010.
36. LATOCHA, A. The Geomorphological Map as a Tool for Assessing Human Impact on Landforms. **Journal of Maps**, v. 5, n.1, p.103-107, 2009. DOI: 10.4113/jom.2009.1047.
37. LI, J.; YANG, L.; PU, R. A review on anthropogenic geomorphology. **Journal of Geographical Sciences**, v. 27, n. 1, p. 109-128, 2017. DOI: 10.1007/s11442-017-1367-7.
38. LUZ, R. A. da.; RODRIGUES, C. Reconstituição Geomorfológica de Planícies Fluviais Urbanizadas: O caso do Rio Pinheiros, São Paulo-SP. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, p.47-57, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i1.354.
39. LUZ, R. A. da. Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2015. 246 p.
40. LUZ, R. A. da.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, Brasil, v. 24, n. 2, p. 340–360, 2020. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2020.164499.
41. MANDARINO, A.; LUINO, F.; TURCONI, L.; FACCINI, F. Urban geomorphology of a historical city straddling the Tanaro River (Alessandria, NW Italy). **Journal of Maps**, v.17, n. 4, p. 29 -41, 2020. DOI: 10.1080/17445647.2020.1746420.
42. MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, Antonio José; CUNHA, Sandra Baptista da (Org.). **Geomorfologia**: Uma Atualização de Bases e Conceitos. 14. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018, p. 23–50.
43. MARQUES NETO, R. **Cartografia Geomorfológica**: revisões, aplicações e proposições. Curitiba: Editora CRV, 2020.
44. 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. 363p.
45. MOROZ–CACCIA GOUVEIA, I. C.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – RMSP. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, Brasil, v. 21, p. 257–283, 2017. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.105342.
46. MOURA, N. S. V. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 76-80, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0016.0008.
47. MOURA, N. S. V. Alterações Ambientais na Região Metropolitana de Porto Alegre – RS: Um estudo geográfico com ênfase na Geomorfologia Urbana. In: NUNES; J. O. R.; ROCHA, P. C. **Geomorfologia: aplicação e metodologia**. São Paulo: Expressão popular. 2008, p .95 – 115.

48. MOURA, N. S. V. Estudos geográficos com ênfase na geomorfologia: questões teóricas, metodológicas, mapeamentos e aplicações em estudos ambientais. **Brazilian Geographical Journal.**v. 2, n.1, p.171-181, 2011.
49. MOURA, N. S. V.; SILVA, T. M. DA.; MOROZ–CACCIA GOUVEIA, I. C.; PEIXOTO, M. N. DE O.; FELIPPE, M. F.; OLIVEIRA, A. M. DOS S.; PELOGGIA, A. U. G.; NOLASCO, M. C. Diretrizes para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 24, n. 4, 2023. DOI:10.20502/rbgeomorfologia.v24i4.2466.
50. NIR, D. **Man, a geomorphological agent**: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalem, Ketem Pub. House, 1983.
51. NUNES, B. A; RIBEIRO, M. I. C; ALMEIDA, V. J; FILHO, T.N. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos em geociências, n 5, 1995.
52. NUNES, J. O. R. Reflexões sobre as teorias geomorfológicas e sua relação com a Geografia. **Revista Geografia em Atos,** v. 11, n. 04, p. 125–133, 2019. DOI: 10.35416/geoatos.v4i11.6501.
53. PARONA, P.; CLAESSENS, L. Makers and Users of Geomorphological Maps. In: SMITH, M. J.; PARON, P; GRIFFITHS, J. S (Ed.). **Geomorphological Mapping**: Methods and Application. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 75–103.
54. PASCHOAL, L. G.; SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Geomorfologia antropogênica e sua inserção em pesquisas brasileiras. **Geographia Meridionalis**, v. 1, n. 1, p. 95–126, 2015. DOI: 10.15210/gm.v1i1.5691.
55. PELFINI, M.; BRANDOLINI, F.; D'ARCHI, S.; PELLEGRINI, L.; BOLLATI, I. Papia civitas gloriosa: urban geomorphology for a thematic itinerary on geocultural heritage in Pavia (Central Po Plain, N Italy). **Journal of Maps**, v.17, n. 4, p. 42 – 50, 2020. DOI: 10.1080/17445647.2020.1736198.
56. PELECH, A. S.; NUNES, B. T. DE A.; GATTO, L. C. S.; BOTELHO, R. G. M. 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. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1565.
57. PELOGGIA, A.U.G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do Homem no Município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia,** n. 16, p .24 - 31, 2005.
58. PELOGGIA, A. U. G.; SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 28-40, 2014. DOI: 10.5380/abequa.v5i2.34811
59. PERETTI, V. A. **Análise espaço-temporal dos desastres naturais no município de Erechim - RS**, no período de 1986 a 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013. 101p.
60. RĂDOANE, M; CRISTEA, I; RĂDOANE, N. Geomorphological Mapping: Evolution and Trends. **Revista de Geomorfologie**, v. 13, p. 19 – 39, 2011.
61. REHBEIN, M. O. **Análise Ambiental Urbana**: Vila Augusta/ Viamão/ RS. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005. 173 p.
62. REHBEIN, M. O. **Mapeamento geomorfológico aplicado na análise de impactos ambientais urbanos**: contribuições ao (re) conhecimento de morfologias, morfocronogêneses e morfodinâmicas do relevo da bacia hidrográfica do arroio Feijó/ RS. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011. 339 p.
63. ROCCATI, A.; MANDARINO, A.; PERASSO, L.; ROBBIANO, A.; LUINO, F.; FACCINI, F. Large–scale geomorphology of the Entella River floodplain (Italy) for coastal urban áreas management**. Journal of Maps**, v. 17, n. 4, p. 1 –15, 2020. DOI: 10.1080/17445647.2020.1738281.
64. RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 101-111, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0008.
65. RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidro–geomorfológicos: Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 111–125, 2010. DOI: 10.7154/RDG.2010.0020.0008.
66. RODRIGUES, C.; MOROZ–CACCIA GOUVEIA, I. C. A importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na grande São Paulo. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O (Ed.). **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, p. 66–94.
67. RODRIGUES, C.; MOROZ–CACCIA GOUVEIA, I, C.; LUZ, R, A, da.; VENEZIANI, Y.; SIMA, I, T, H.; SILVA, J, de P. Antropoceno e Mudanças Geomorfológicas: Sistemas Fluviais no Processo Centenário de Urbanização de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v.40, n.1, p.105–123, 2019. DOI: 10.33958/revig.v40i1.631

68. ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, p. 17 – 29, 1992. DOI: 10.7154/RDG.1992.0006.0002.
69. ROSS, J.L.S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs–RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Ed.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 291–336.
70. ROSS, J.L.S. Geomorfologia, Ambiente e Planejamento. 9ed. São Paulo: Editora Contexto, 2017.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias**. Tese (Tese em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2011. 240p.

71. SGI - Servizio Geologico D'Italia**. Proposta di un nuovo modello di cartografia geomorfologica a indirizzo applicativo** - carta geomorfologica D'Italia - 1:50.000. Roma, 2023.
72. SILVA, T. M. da. Raízes dos mapeamentos geomorfológicos e perspectivas atuais. **Humboldt – Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 1 – 27, 2021.
73. SILVEIRA, R. M. P; SILVEIRA, C. T. da. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição. **Boletim de Geografia** (Online), v. 33, p. 106–121, 2015. DOI: 10.4025/bolgeogr.v33i0.31930
74. SILVEIRA, R. M. P; SILVEIRA, C. T. Análise Temática e Conceitual de Mapas Geomorfológicos: A Transcrição Gráfica da Complexidade do Relevo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 574–597, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n2-54437.
75. SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção de atividades antrópicas: análise temporal na bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, p. 29 – 38, 2008. DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v9i2.107
76. SUERTEGARAY, D. M. A. **(Re) Ligar a Geografia**: Natureza e Sociedade. Porto Alegre: Compasso Lugar –Cultura, 2017.
77. THORNBUSH, M. J. Geography, urban geomorphology and sustainability. **Area**, v. 47, n. 4, p. 350–353, 2015. DOI: 10,1111/área.12218.
78. TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris:Mas. et Cie. Éditeurs, 1965. 469 p.
79. VERSTAPPEN, H. T. Old and new trends in geomorphological and landform mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S (Ed.). **Geomorphological Mapping:** Methods and Application. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 13–38.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.