

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE O RELEVO E A PRECIPITAÇÃO NA BACIA DOS RIOS GRANDE, NEGRO E DOIS RIOS (RJ)

Suelen Oliveira Alpino Rodrigues

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
sualpino@yahoo.com.br

Daiane Evangelista de Oliveira

Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Londrina, PR, Brasil
daiane.evangelista.oliveira@gmail.com

Cinthia Maria Amaral

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
cinthiaamaral@gmail.com

André de Souza Avelar

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
andreavelar@acd.ufrj.br

RESUMO

O conhecimento sobre a interação entre a distribuição espacial da chuva e o relevo permite técnicas mais precisas de mensuração e de identificação de padrões que auxiliem o planejamento e a gestão ambiental. Nessa perspectiva, este trabalho objetivou analisar essa relação por meio de técnicas de geoprocessamento que integraram a série histórica de chuvas à hipsometria, à declividade e ao cálculo de dissecação do relevo na Bacia Hidrográfica dos rios Grande, Negro e Dois Rios, localizada majoritariamente na região serrana do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Os resultados indicaram que a setorização da bacia favoreceu a análise da relação entre chuva e relevo, evidenciando tanto limitações quanto potencialidades na mensuração estatística por meio do índice de correlação de Pearson. Observou-se que o alto curso é o principal responsável pela entrada de água na bacia, especialmente nos meses de inverno. Verificou-se, ainda, um padrão de elevada dissecação do relevo nas áreas de maior altitude e de maior concentração de chuva. Esses resultados contribuem para o aprimoramento da caracterização do regime pluviométrico da área de estudo, de sua interação com o relevo e para a identificação de zonas mais suscetíveis à erosão, aos movimentos de massa e à recarga de mananciais.

Palavras-chave: Geomorfologia. Geoprocessamento. Hidrologia. Planejamento ambiental. Regime de chuva.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN RELIEF AND RAINFALL REGIME IN THE GRANDE, NEGRO, AND DOIS RIOS RIVER BASIN (RJ)

ABSTRACT

Understanding the interaction between the spatial distribution of rainfall and relief allows the establishment of more accurate measurement techniques and the identification of patterns that support environmental planning and management. From this perspective, this study aimed to analyze this relationship using geoprocessing techniques that integrated historical rainfall data with hypsometry, slope, and the calculation of relief dissection in the Grande, Negro, and Dois Rios River Basin, located mainly in the mountain region of the state of Rio de Janeiro, Brazil. The results indicated that the basin sectors favored the analysis of the relationship between rainfall and relief, highlighting both limitations and potential in the statistical assessment through Pearson's correlation coefficient. The upper course represents the main contributor to water inflow into the basin, especially during the winter months. A pattern of high relief dissection was also observed in areas with higher altitude and greater rainfall concentration. These results contribute to improving the characterization of the rainfall regime in the study area, its interaction with relief, and the identification of zones more susceptible to erosion, mass movements, and groundwater recharge.

Keywords: Geomorphology. Geoprocessing. Hydrology. Environmental Planning. Rainfall Regime.

INTRODUÇÃO

Na literatura geomorfológica, destacam-se os estudos voltados ao entendimento da dinâmica das chuvas associadas às formas do terreno, sobretudo em ambientes de clima tropical (Conti, 1989), onde a precipitação se configura como o principal agente modelador do relevo. Ao relacionar a hidrologia de encostas à geomorfologia, Coelho Netto (2005) define a precipitação como um fator-controle fundamental na regulação das condições ecológicas e geográficas de uma região.

Nimer (1979), por sua vez, ao discutir os fatores de formação do clima, destaca o relevo como um dos de maior influência na gênese das tipologias de tempo e clima na região Sudeste do Brasil. A relação clima-relevo perpassa distintos aspectos, como a formação de chuvas orográficas, a diminuição de temperaturas segundo o componente adiabático de dispersão do ar, a canalização dos ventos, entre outras interações, que se materializam em uma variabilidade espaço-temporal climática. Os aspectos do relevo também se relacionam às chuvas no que tange aos desastres associados: seja configurando-se como uma barreira aos ventos úmidos do oceano, ocasionando a diminuição das chuvas na vertente a sotavento e contribuindo para acentuar anos mais secos; seja pela interação entre a inclinação do terreno, a saturação do solo pelas chuvas e a ocorrência de movimentos de massa.

Silva e Silva (2017), ao descreverem a paisagem do estado do Rio de Janeiro e ao contrastarem sua beleza geomorfológica com a fragilidade ambiental, destacam a diversidade do relevo, que varia entre fortes declives, como nas áreas serranas, e terrenos de baixada, com declividades muito suaves. Os autores ressaltam ainda as características climáticas associadas à entrada de frentes frias do sul do país e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que favorecem a ocorrência de eventos de alta pluviosidade. Nessa perspectiva, a região serrana do estado do Rio de Janeiro apresenta um histórico recorrente de inundações e movimentos de massa, fenômenos diretamente relacionados ao comportamento das chuvas. Em contraposição aos meses de verão, o clima dessa região é caracterizado por invernos secos, o que intensifica a demanda crescente por recursos hídricos destinados ao abastecimento público, bem como a usos industriais e agrícolas. Santos (2016) destaca a disputa pelo uso das águas do rio Paraíba do Sul, que tem entre seus afluentes o rio Dois Rios, entre os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, conflito que chegou a ser judicializado em 2014.

Esse contexto reforça a importância do aprimoramento de metodologias e técnicas que contribuam para a identificação de áreas de recarga de mananciais e para a compreensão da dinâmica fluvial regional, o que configura a região serrana como um relevante *locus* de estudo. Tal cenário evidencia a necessidade de estudos geomorfológicos que integrem a análise da distribuição espacial das chuvas como instrumento de apoio ao planejamento e à gestão ambiental. Segundo Argento (2005), a geomorfologia constitui a base para a compreensão das estruturas espaciais, tanto de natureza física quanto socioeconômica.

Somado a essa necessidade de representação espacial de variados fenômenos, o avanço tecnológico vem promovendo um aumento na velocidade de exibição de dados e informações (Menezes; Fernandes, 2013), ampliando as possibilidades de técnicas de mapeamento que agreguem diferentes elementos da paisagem de maneira cada vez mais eficaz. O avanço tecnológico também tem promovido o aprimoramento da geração de modelos que representem a superfície terrestre, como os modelos digitais de elevação (MDE) e de terreno (MDT), bem como das análises geoestatísticas, essenciais às técnicas atuais de mapeamento, possibilitando uma representação relativamente detalhada da superfície e dos fenômenos naturais. Nesse contexto, as ferramentas de geoprocessamento destacam-se por possibilitarem a integração de modelos geomorfológicos à distribuição espacial das chuvas.

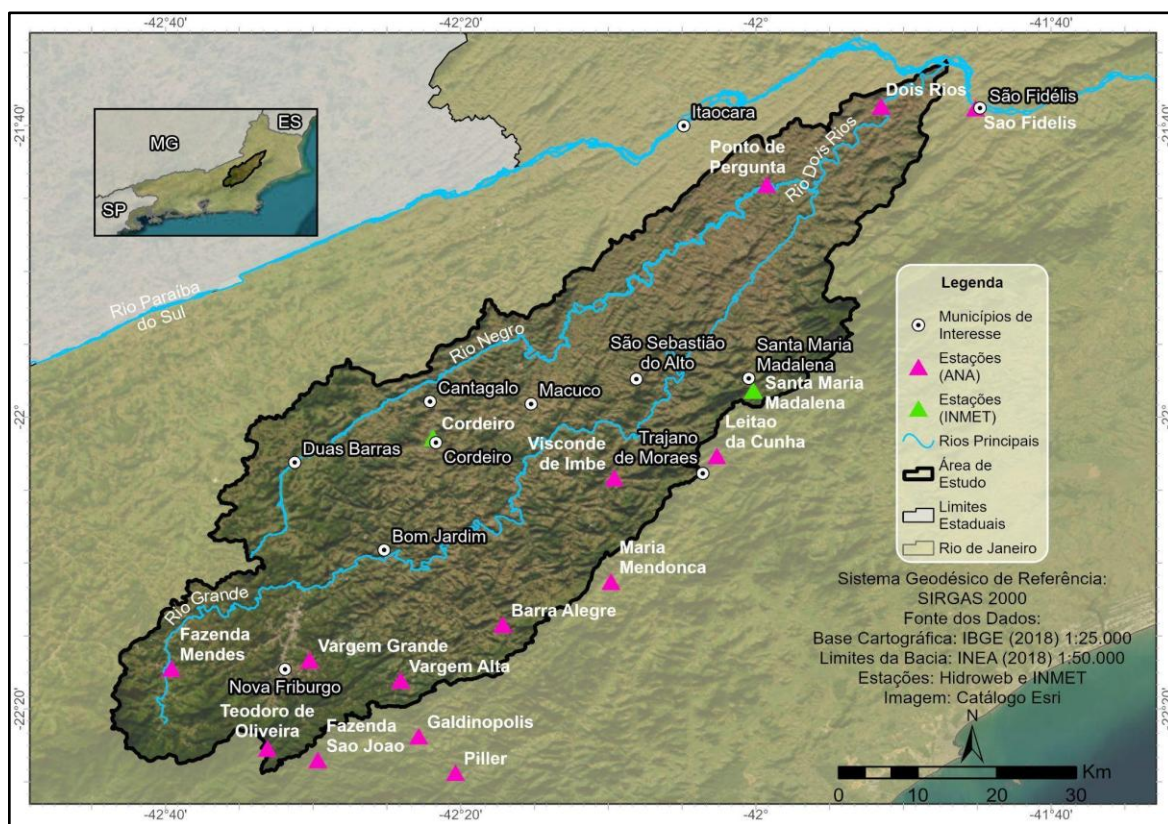
Diante disso, este trabalho teve como objetivo compreender a relação entre a distribuição espacial das chuvas e o relevo das bacias hidrográficas do Grande, do Negro e do Dois Rios, empregando técnicas de geoprocessamento que integram informações de hipsometria (altimetria), declividade e do Índice de Dissecação do Relevo (IDR) com dados tabulados de chuva. Para tanto, foram empregadas, ainda, técnicas estatísticas quantitativas, incluindo o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, além de análises qualitativas, permitindo integrar e interpretar os resultados obtidos a partir dos diferentes conjuntos de dados, bem como considerar abordagens que se complementam.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Grande, Negro e Dois Rios, conforme denominação do Inea (2018b), possui área aproximada de 3.165 km² e está localizada majoritariamente na região serrana do estado do Rio de Janeiro, conforme a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). A população total residente é de 364.773 habitantes (IBGE, 2022), dos quais 52,07% residem em Nova Friburgo (Figura 1). O rio Dois Rios tem origem na confluência dos rios Negro, que drena a porção mais ao norte da bacia, e do rio Grande, que nasce no município de Nova Friburgo e escoar até o município de São Fidélis. Esses três rios principais formam a bacia do Negro, do Grande e dos Dois Rios, cujo ex-afluente é o rio Paraíba do Sul.

Figura 1 - Mapa de localização da bacia do Grande, do Negro e dos Dois Rios



Fonte: Instituto Estadual do Ambiente (INEA), 2018b; IBGE, 2018. Elaboração: os autores, 2025.

O mapeamento de uso e cobertura da terra, realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em parceria com a Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) (INEA, 2018a), evidencia a predominância de Áreas Antrópicas Agrícolas, seguidas por Áreas Naturais Florestadas, o que demonstra a importância da região para a produção de alimentos. Destaca-se, ainda, a presença de Silvicultura, que ocupa uma área de 61,14 km², e a classe de Área Antrópica Não Agrícola, correspondente às áreas urbanas, que representa cerca de 2% da bacia. A litologia, com base no mapeamento de Heilbron, Heirado e Almeida (2016), é composta majoritariamente por granito, gnaisse de biotita e ortognaisse félsica. Os solos predominantes são os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, geralmente associados a Cambissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (Carvalho Filho *et al.*, 2003).

Considerando o mapeamento geomorfológico realizado por Dantas *et al.* (2020), em escala 1:25.000, a área de estudo é caracterizada pelo predomínio das unidades morfoestruturais do cinturão orogênico do Atlântico, que recobrem quase toda a bacia. No que tange às unidades geomorfológicas, a bacia insere-se quase integralmente no Planalto Reverso da Região Serrana. Na transição entre o médio e o

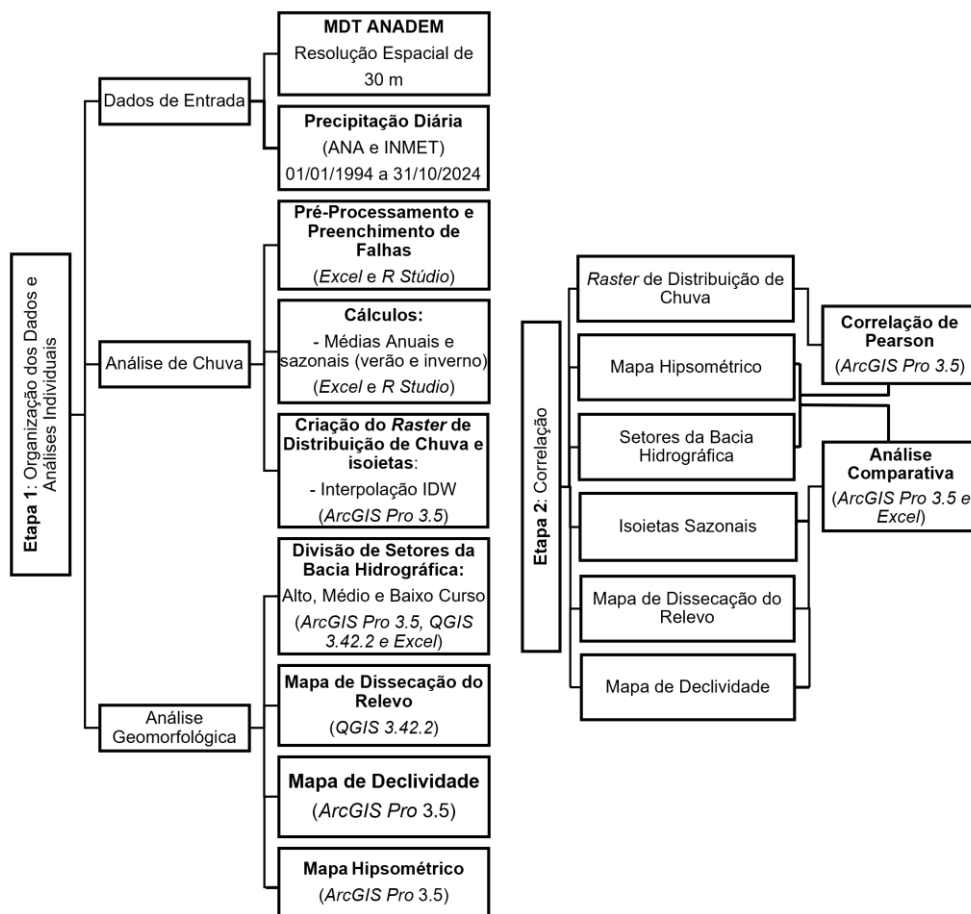
baixo curso destacam-se: a Escarpa Reversa da Serra do Desengano, situada entre os municípios de Santa Maria Madalena e São Fidélis; a depressão interplanáltica do baixo vale do rio Paraíba do Sul, em Itaocara; e a depressão interplanáltica do baixo vale do rio Negro, acompanhando as margens deste no trecho pertencente ao município de São Sebastião do Alto. Nas altitudes mais elevadas, nas cabeceiras do rio Grande, em Nova Friburgo, encontra-se o Domínio Alto Serrano, com elevações superiores a 2.000 m.

Climatologicamente, a bacia apresenta influência dos fatores de formação do clima na região, com destaque para o relevo e a posição em relação ao oceano (Nimer, 1979; Sant'Anna Netto, 2005). Esses fatores interagem com as massas de ar que adentram a região, produzindo tipologias climáticas caracterizadas pela heterogeneidade dos ambientes. Exemplos de topoclimas seriam aqueles apresentados nos estudos da SEA (2011), que apontam para a relação direta entre a temperatura e a geomorfologia na região. O estudo climatológico indicou temperaturas amenas nas áreas de serra e de topos de morro, com aumento nas áreas de baixada. Além disso, verificou-se uma sazonalidade bem definida da precipitação, com maiores concentrações no verão e ocorrência de *déficit* hídrico no inverno, característica do regime de monções da América do Sul. Estudos realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2011) apontam uma relação entre a variabilidade espacial das chuvas e a altitude, com maiores cotas associadas a maiores acumulados de chuva (2800 mm) e os menores localizando-se próximos à foz da bacia (1000 mm).

Etapas metodológicas

O procedimento metodológico adotado neste estudo foi desenvolvido em duas etapas, conforme o fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Os autores, 2025.

A primeira etapa consistiu no levantamento e no pré-processamento dos dados, bem como na obtenção de resultados parciais sobre as características do relevo e a distribuição da chuva. Nessa fase, foram elaborados um mapa hipsométrico, um de declividade e um do IDR para cada setor da bacia (alto, médio e baixo curso), além de um *raster* de distribuição espacial da chuva para toda a bacia. A segunda etapa correspondeu à correlação visual e estatística entre os aspectos pluviométricos e os do relevo desenvolvidos na etapa 1.

Escolha do MDT

O MDT Anadem, com resolução espacial de 30 m, foi desenvolvido a partir de esforços conjuntos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA; IPH, 2024), com o objetivo de minimizar a influência da vegetação nos valores de elevação do modelo de origem, o COPDEM (Laipelet *et al.*, 2023). Para isso, foram empregadas técnicas de aprendizado de máquina associadas ao uso de dados de elevação do *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI) e de produtos de sensoriamento remoto multiespectrais. Estudos de Laipelet *et al.* (2024) observaram delineamentos mais realistas e suavizados dos cursos d'água na América do Sul, área de abrangência do Anadem, resultado atribuído à expressiva redução de até 80% da influência da cobertura vegetal. Dessa forma, para os objetivos desta pesquisa, o Anadem mostrou-se uma opção promissora, uma vez que a extração da drenagem e a análise do relevo foram realizadas com base nesse produto.

A preparação inicial do MDT consistiu na mesclagem de duas cenas que abrangem a área de estudo, "anadem_v1_23K" e "anadem_v1_24K", e na reprojeção para as coordenadas UTM 23 S e para o Sistema Geodésico Sirgas 2000, no qual se insere a maior parte da bacia. O recorte da área de estudo foi realizado considerando ainda um buffer de 1 km em relação ao limite da bacia hidrográfica, visando anular possíveis efeitos de borda.

Mapa do Índice de Dissecação do Relevo (IDR) e Mapa de Declividade

Os procedimentos para a elaboração do IDR foram desenvolvidos no QGIS 3.42.2 (*software* livre) e basearam-se na metodologia de Guimarães *et al.* (2017), fundamentada na matriz de classificação proposta por Ross (1994). O cálculo de dissecação do relevo consistiu na associação do grau de entalhamento dos vales, representado pela dissecação vertical (DV), com a dissecação horizontal (DH), que corresponde à dimensão interfluvial média. A DV foi obtida a partir da amplitude relativa do relevo, enquanto a DH correspondeu à mensuração dos interflúvios.

Para o cálculo da DV, o MDT foi ajustado para remover possíveis depressões. Em seguida, os valores altimétricos foram invertidos multiplicando-os por -1 . A direção de fluxo foi então determinada com a ferramenta "r.fill.dir", seguida da correção de vazios para preencher áreas sem dados. Por fim, as meias-bacias foram delimitadas com o "r.watershed", cujos parâmetros foram definidos com base em testes ajustados às características da área de estudo.

Desse modo, após nova verificação de inconsistências, o arquivo matricial foi convertido para formato vetorial e aplicaram-se as Estatísticas Zonais ao MDT corrigido e não invertido, resultando na obtenção dos valores de amplitude altimétrica correspondentes à Dissecação Vertical. Na sequência, para a definição da DH, foram calculados os parâmetros morfométricos: área (A), perímetro (P), comprimento da bacia ($L = P/2$) e largura média ($\bar{L} = \text{altura}/L$), utilizando a ferramenta "calculadora de campo" na tabela de atributos, conforme os métodos descritos por Christofletti (1980) e Lima (2018), os quais também foram adotados por Amaral e Avelar (2023). Assim, o valor de DH foi igualado à largura média. Por fim, os valores de DV e DH foram convertidos segundo os intervalos propostos por Ross (1994) e testados nas três alternativas de Guimarães *et al.* (2017) (Figura 3).

Em suma, compreende-se que o somatório das dissecações vertical e horizontal (DV + DH) resultou no IDR. A proposta escolhida para representação da área de estudo desta pesquisa é a alternativa 3 de Guimarães *et al.* (2017), por apresentar resultados mais condizentes com a geomorfologia local.

Figura 3 - Propostas aplicadas para o Índice de Dissecação do Relevo



Fonte: Guimarães *et al.*, 2017.

O mapa de declividade foi desenvolvido no *software* ArcGIS Pro 3.5, por meio da ferramenta *Slope*, seguindo o critério de classes adotado por Coelho Netto *et al.* (2007) e Dias (2021). Esses autores associaram encostas menores que 10° a áreas potenciais de deposição; a classe de 10-20°, correspondente a áreas de fundo de vales; encostas entre 20-35°, relacionadas ao aumento da erosão superficial; e valores acima de 35°, com alto potencial de deslizamentos e quedas de blocos.

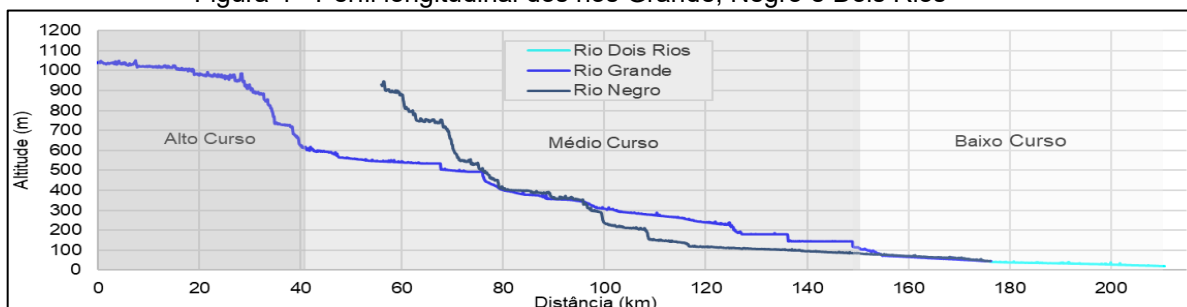
Setores da bacia

Diante do desafio imposto pela extensão da área de estudo, optou-se por subdividi-la em três setores — alto, médio e baixo curso —, de modo a possibilitar uma análise mais representativa de porções com características geomorfológicas semelhantes. O critério para definição dos limites desses setores baseou-se no perfil longitudinal dos rios principais da bacia.

Com o objetivo de compatibilizar a base cartográfica, realizou-se a extração automática da rede de drenagem a partir do MDT Anadem aqui adotado. O procedimento foi executado no *software* ArcGIS Pro 3.5, por meio da ferramenta *Hydrology* da extensão *Spatial Analyst*. Inicialmente, efetuou-se o preenchimento das depressões espúrias do MDT por meio da ferramenta *Fill Sinks*; em seguida, gerou-se o raster de direção de fluxo com *Flow Direction* e, posteriormente, o raster de acumulação de fluxo com *Flow Accumulation*. A drenagem obtida foi então convertida em formato vetorial por meio da calculadora *raster*. Após a extração da rede de drenagem, procedeu-se à delimitação da bacia hidrográfica, indicando o exutório por meio da ferramenta *Snap Pour Point* e, posteriormente, gerando sua delimitação com a ferramenta *Watershed*.

Na elaboração do perfil longitudinal, utilizou-se a base cartográfica do IBGE (2018), em escala 1:25.000, para identificar o local onde esses rios recebem suas respectivas denominações. Uma vez definidas visualmente as extensões dos canais, atribuíram-se os valores de altitude do MDT aos vetores da drenagem, por meio da ferramenta *Terrain Profile* do *software* QGIS 3.42.2. Por fim, os dados tabulares foram tratados no *Excel*, resultando nos perfis apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Perfil longitudinal dos rios Grande, Negro e Dois Rios



Fonte: MDT Anadem, 2024. Elaboração: os autores, 2025.

O alto curso foi definido a partir da confluência do rio Bengalas com o rio Grande, uma vez que, de sua nascente até este ponto, o rio Grande apresenta uma amplitude topográfica de aproximadamente 430 m e cerca de 40 km de comprimento, caracterizando um trecho de maior energia do canal. A partir da

cota 600, ocorre a redução dessa energia, uma vez que, para a mesma distância de 40 km (entre as extensões de 40 km e 80 km), a amplitude topográfica reduz-se a 200 metros, indicando o médio curso da bacia. O baixo curso foi delimitado considerando a cota de 100 m, tanto para o rio Negro quanto para o rio Grande, até a confluência (na cota 40), onde se forma o rio Dois Rios, que, por sua vez, deságua no rio Paraíba do Sul, na cota 20. Com base nessas definições, realizou-se a delimitação dos setores por meio dos procedimentos descritos na geração de bacias hidrográficas.

Base de dados pluviométricos: tratamento e lacunas

Foram utilizados dados históricos de precipitação provenientes de 16 postos pluviométricos localizados nas bacias hidrográficas do Grande, Negro e Dois Rios (Figura 1). Os dados foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do Portal Hidroweb (ANA, s. d.), e junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025), instituições reconhecidas pela confiabilidade e abrangência de seus registros hidrometeorológicos. A organização da série histórica e os cálculos das médias foram realizados em R (R Core Team, 2024), utilizando o ambiente de desenvolvimento *RStudio* (software livre) (Posit Software, 2023) e o *software Excel* (Microsoft Corporation, 2025).

A seleção dos postos considerou sua localização geográfica, priorizando aqueles situados dentro dos limites naturais da bacia de estudo, a fim de garantir maior abrangência espacial. O recorte temporal adotado compreendeu o período de 1º de janeiro de 1994 a 31 de outubro de 2024, totalizando 11.262 dias de observação contínua. Este intervalo, de aproximadamente 30 anos, segue a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM), segundo a qual o cálculo de normais climatológicas deve basear-se em períodos de, no mínimo, três décadas consecutivas, a fim de assegurar a consistência e a robustez estatística dos dados (OMM, 1989).

No processo de seleção dos postos, priorizaram-se aqueles com menor proporção de dados ausentes, tanto consecutivos quanto não consecutivos. Como critério adicional, adotou-se um limiar máximo de 10% de falhas nos registros por série histórica. Considerando tal critério, excetuando-se os postos de Cordeiro (3,143% de dias com falhas) e Santa Maria Madalena (8,950%), todos os demais apresentaram taxas de ausência inferiores a 0,5% dos dados totais, caracterizando uma base de dados altamente confiável, com níveis de completude superiores a 99,5% em 14 dos 16 postos analisados. Apesar disso, optou-se pelo preenchimento das lacunas existentes, a fim de uniformizar as séries temporais e possibilitar análises subseqüentes mais precisas. Para isso, foi aplicada a metodologia da média entre vizinhos, técnica amplamente utilizada em estudos hidrológicos para estimar valores ausentes com base na correlação espacial entre postos próximos.

Tabela 1 - Estatística das falhas nos dados

Estação	Contagem de falhos	% de falhos	Desvio padrão		
			Dados corrigidos	Dados originais	Varição entre dados originais e dados corrigidos
Leitão da Cunha	0	0,00	11,02	11,02	0,00
Galdinópolis	0	0,00	12,39	12,39	0,00
Visconde de Imbe	0	0,00	9,19	9,19	0,00
Teodoro de Oliveira	0	0,00	19,75	19,75	0,00
São Fidélis	2	0,02	8,95	8,95	0,00
Maria Mendonca	4	0,04	10,74	10,74	0,00
Piller	4	0,04	13,77	13,76	0,00
Vargem Alta	5	0,04	11,39	11,39	0,00
Barra Alegre	6	0,05	10,32	10,31	0,01
Fazenda Mendes	16	0,14	10,56	10,56	0,00
Ponto de Pergunta	21	0,19	8,98	8,98	0,00
Fazenda São João	28	0,25	13,64	13,62	0,01
Dois Rios	31	0,28	8,67	8,66	0,01
Vargem Grande	36	0,32	11,36	11,36	-0,01
Cordeiro	354	3,14	9,65	9,67	-0,02
Santa Maria Madalena	1008	8,95	9,94	9,98	-0,04

Fonte: ANA, 2025; INMET, 2025. Elaboração e Organização: os autores, 2025.

Por fim, fez-se a avaliação da qualidade do preenchimento dos dados por meio da análise da variação do desvio padrão entre os dados originais e os corrigidos. Observou-se que essa variação foi mínima na maior parte dos postos, indicando que o preenchimento não comprometeu significativamente a variabilidade natural dos dados (Tabela 1).

A aplicação da técnica considerou a realização de alterações estatísticas de baixa magnitude, de modo a manter a integridade das séries temporais e a confiabilidade dos dados utilizados nas análises subsequentes.

Interpolação e distribuição espacial de precipitação

Os mapas de distribuição espacial das chuvas foram gerados com base nas médias anuais da série histórica e nas médias dos acumulados totais por estação do ano obtidas na etapa anterior. Apesar de as médias generalizarem os dados, mascarando variações locais importantes e potencialmente relevantes para análises detalhadas (Monteiro, 1991), o emprego de médias é fundamental em determinados contextos, quando se busca uma abstração necessária para estudos que envolvam escalas menores ou para modelagens que demandam a simplificação dos dados originais. A interpolação foi realizada pelo método *Inverse Distance Weighting* (IDW, ou Ponderação pelo Inverso da Distância), em ambiente SIG e por meio da extensão *3D Analyst Tools* do software *ArcGIS Pro 3.5*. Aplicou-se o valor 4 como expoente de distância, por ter se mostrado o mais representativo nos testes. Utilizou-se um raio de busca variável, com o valor padrão (12), que especifica a distância, em unidades de mapa, a ser utilizada para limitar a busca aos pontos de amostra de entrada mais próximos (ESRI, 2025a). O número 12 representa o comprimento da diagonal da área selecionada para a interpolação. Para que a camada de dados de distribuição de chuva fosse compatível com o MDT, estabeleceu-se o mesmo tamanho de células na geração do *raster*. A partir do *raster* com as estimativas dos dados de chuva para a bacia, extraiu-se as isoietas, geradas através da ferramenta *Contour* da extensão *3D Analyst Tools*, utilizando intervalos de 100 mm para todas as análises

Ressalta-se que, embora diferentes métodos de interpolação tenham sido considerados, optou-se pelo emprego de um método determinístico, o Inverso do Quadrado da Distância (IDW), pois apresenta menor dependência de parâmetros estatísticos e de restrições operacionais, além de oferecer vantagens na criação de superfícies com valores mais próximos do real (Castro Filho; Steinke; Steinke, 2012). A adoção do IDW justifica-se tanto por sua natureza determinística quanto por sua robustez e ampla aceitação na literatura científica nacional, o que a torna a alternativa mais adequada para esta pesquisa.

Índice de correlação de Pearson (r)

A última etapa do trabalho consistiu na correlação linear entre os dados de precipitação e de elevação, utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, que, segundo Ferreira (2014), é adequado para avaliar a relação entre duas variáveis expressas em números reais, com base na dependência linear entre as séries de dados. Esse coeficiente é amplamente empregado em estudos meteorológicos e ambientais para mensurar o grau de associação entre variáveis quantitativas. Essa abordagem teórico-metodológica fundamenta-se na premissa de que o relevo constitui um fator estático na formação do clima, capaz de modular o regime pluviométrico e de explicar particularidades climáticas em escala regional. Especificamente na análise da relação entre relevo e precipitação, pesquisas internacionais, como as de Guan, Wilson e Makhnin (2005) e Buttafuoco e Conforti (2021), e estudos nacionais, como os de Mesquita (2016) e Roldão, Santos e Oliveira (2012), evidenciam esforços para aprimorar as abordagens estatísticas aplicadas à compreensão da dinâmica ambiental.

O cálculo foi realizado por meio do software *ArcGIS Pro 3.5*, pacote *3D Analyst Tools*, ferramenta “*Band Collection Statistics*”. A partir da inserção do MDT (formato *raster*) e do *raster* com a distribuição dos acumulados médios de chuva da série histórica. Além do cálculo realizado para a bacia, esse procedimento também foi aplicado a cada setor. O algoritmo gera valores estatísticos (mínimo, média, máximo e desvio padrão) e as matrizes de covariância dos *rasters* sobrepostos. A matriz de covariância contém valores de variâncias e covariâncias e é expressa em unidades de valor de célula ao quadrado, conforme a Equação 1 (ESRI, 2025b).

$$Cov_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_{ik} - \mu_i) (Z_{jk} - \mu_j)}{N-1} \quad (1)$$

Onde:

Z – valor de uma célula

i, j – camadas de uma pilha

μ – média de uma camada

N – número de células

k – denota uma célula específica

A matriz de correlação representa a dependência entre as camadas e é determinada pela razão da covariância entre elas, dividida pelo produto dos desvios-padrão, resultando em um valor sem unidade de medida, entre -1 e 1 (ESRI, 2025b). A Equação 2 é descrita a seguir.

$$Corr_{ij} = \frac{Cov_{ij}}{\delta_i \delta_j} \quad (2)$$

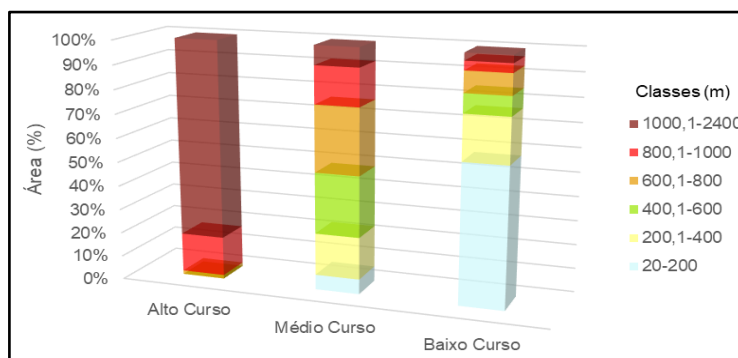
Dessa maneira, no ArcGIS Pro, o cálculo da correlação de Pearson é realizado em duas etapas: primeiro, calculam-se as covariâncias e, posteriormente, a matriz de correlações. Em valores mais próximos de 1, há uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis, enquanto valores mais próximos de -1 indicam uma correlação negativa perfeita (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Setorização geomorfológica e espacialização sazonal da precipitação

Os resultados da distribuição percentual das classes hipsométricas por setor da bacia (Figura 5) evidenciam a concentração de aproximadamente 80% das altitudes superiores a 1.000 m no alto curso. No médio curso, observam-se predominantemente elevações situadas entre 400 e 800 m, ao passo que o baixo curso é caracterizado, em sua maior parte, por cotas altimétricas inferiores a 200 m.

Figura 5 - Percentual de área ocupada pelas classes hipsométricas para cada setor da bacia



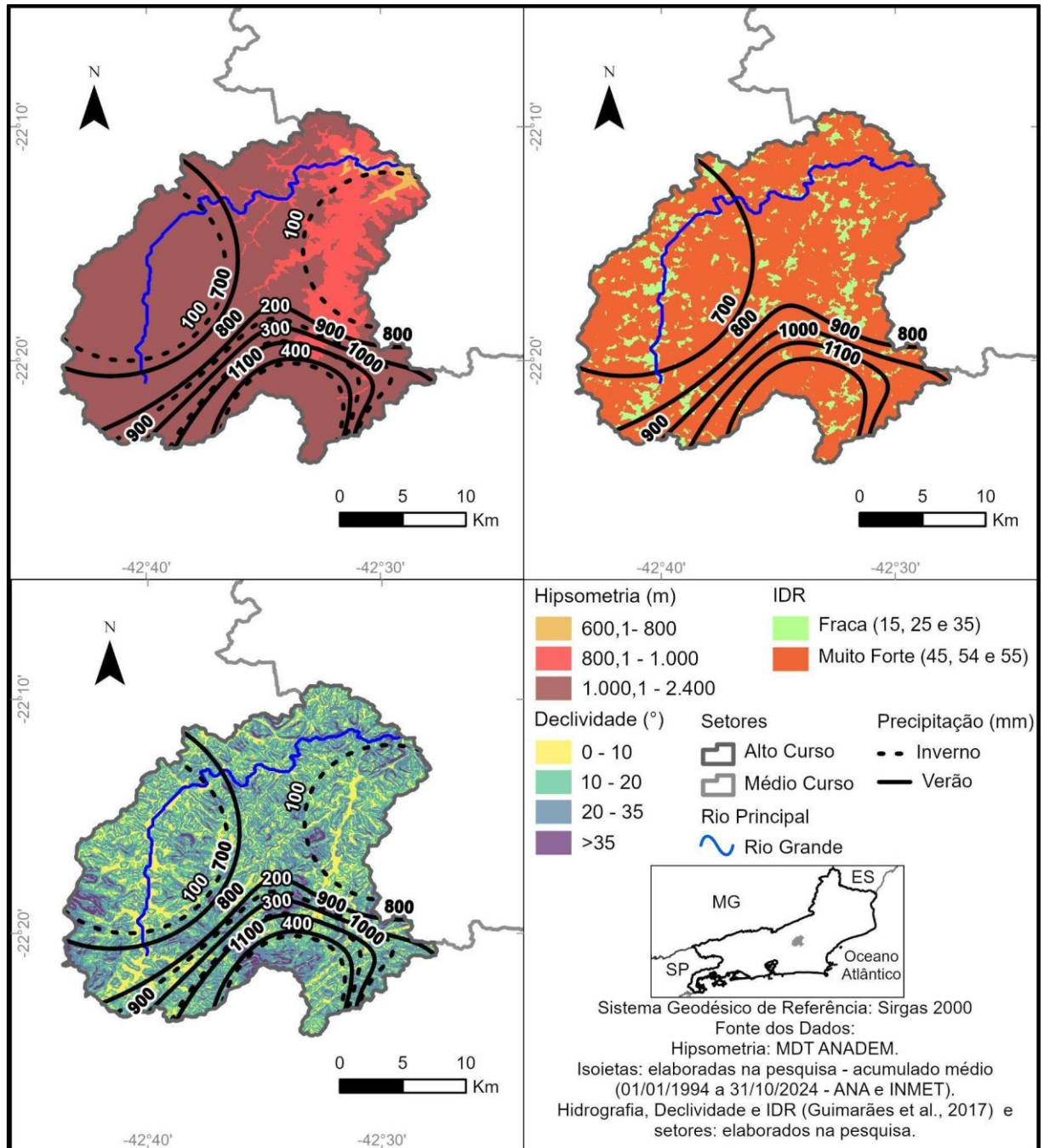
Fonte: MDT Anadem, 2024. Elaboração: os autores, 2025.

Essa diferenciação hipsométrica, evidenciada na Figura 5, reforça a relevância da setorização da bacia para uma análise mais assertiva, uma vez que permitiu estabelecer relações entre configurações geomorfológicas distintas em uma mesma bacia hidrográfica, delimitadas com base nas características dos rios principais identificadas no perfil longitudinal. Pinto *et al.* (2018), ao estudarem a bacia do rio Grande, destacam que os níveis de base do canal contribuem para a compreensão da dinâmica hidrológica da bacia, evidenciando sua influência direta nos processos erosivos. Nesse sentido, os dados geomorfológicos apresentados a seguir indicam que os mapas hipsométricos, de declividade e de IDR expressam as particularidades de cada setor, evidenciando que a dinâmica fluvial está associada às características do relevo local. Ademais, a análise da distribuição sazonal da chuva ressalta contrastes marcantes nos acumulados pluviométricos entre o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e o inverno (junho, julho e agosto). Esses períodos apresentam um padrão de distribuição

espaço-temporal bem definido nos setores da bacia, sugerindo a influência da hipsometria sobre os registros de precipitação.

O mapa referente ao alto curso (Figura 6) demonstra uma forte correlação entre a hipsometria e a distribuição de chuva, uma vez que as classes de maior elevação (1.000,1 a 2.400 m) coincidem com as isoietas de precipitação mais expressivas, tanto no inverno, quando os acumulados variam entre 100 e 400 mm, quanto no verão, com valores entre 700 e 1.100 mm.

Figura 6 - Mapa da distribuição sazonal da chuva, da hipsometria, da declividade e do IDR do alto curso da bacia do Grande, Negro e Dois Rios



Fonte: MDT Anadem (2023); ANA (2025); INMET (2025). Elaboração: os autores, 2025.

Esses registros evidenciam maior concentração de chuva nesse setor, que corresponde a apenas 15% da área total da bacia. Pinto *et al.* (2018) associam as altitudes elevadas do alto curso do rio Grande à presença de rochas graníticas, em especial o Granito Nova Friburgo, que confere resistência ao intemperismo e à erosão.

Ao integrar à análise do mapa de declividade da Figura 6 as classes do mapa de padrões de relevo de Dantas *et al.* (2020), verifica-se que as declividades superiores a 35° (5,2% do setor) estão associadas principalmente ao padrão Alto Serrano e correspondem às áreas de elevado potencial para deslizamentos, conforme as definições de Coelho Netto *et al.* (2007). Nesse setor, predominam as declividades entre 20 e 35° (39%), associadas aos Domínios Serranos, seguidas pelas áreas de morro com declividades entre 10 e 20° (37,4%) e pelas áreas correspondentes às colinas e às superfícies deposicionais, com declividades inferiores a 10° (18,5%). A sobreposição de elevadas declividades com altos índices pluviométricos, atingindo acumulado médio anual superior a 1.000 mm, contribui, dentre outros fatores, para uma maior tendência à geração de escoamento superficial rápido, intensificando os processos erosivos e evidenciando áreas do alto curso com elevada energia potencial para movimentos gravitacionais de massa e inundações (CPRM, 2015). Essas características também se refletem no alto grau de dissecação observado no mapa de IDR do setor.

Pinto e Freitas (2012) estudaram os fatores envolvidos em deslizamentos e enchentes na bacia do Córrego d'Antas, no alto curso, no contexto do que ficou conhecido como o Megadesastre da Região Serrana, no qual o município de Nova Friburgo foi um dos mais atingidos. No referido artigo, os autores identificaram que os eventos de chuva desempenharam papel fundamental no desencadeamento dos deslizamentos, em um ambiente com características geomorfológicas favoráveis a esse fenômeno. Por outro lado, nas áreas de fundo de vale, próximas à confluência com o rio Bengalas, ocorreu o represamento do fluxo em setores controlados pelos níveis de base locais. Dessa forma, o alto curso apresenta variações morfológicas e particularidades hidrológicas que configuram um ambiente desafiador para o planejamento ambiental.

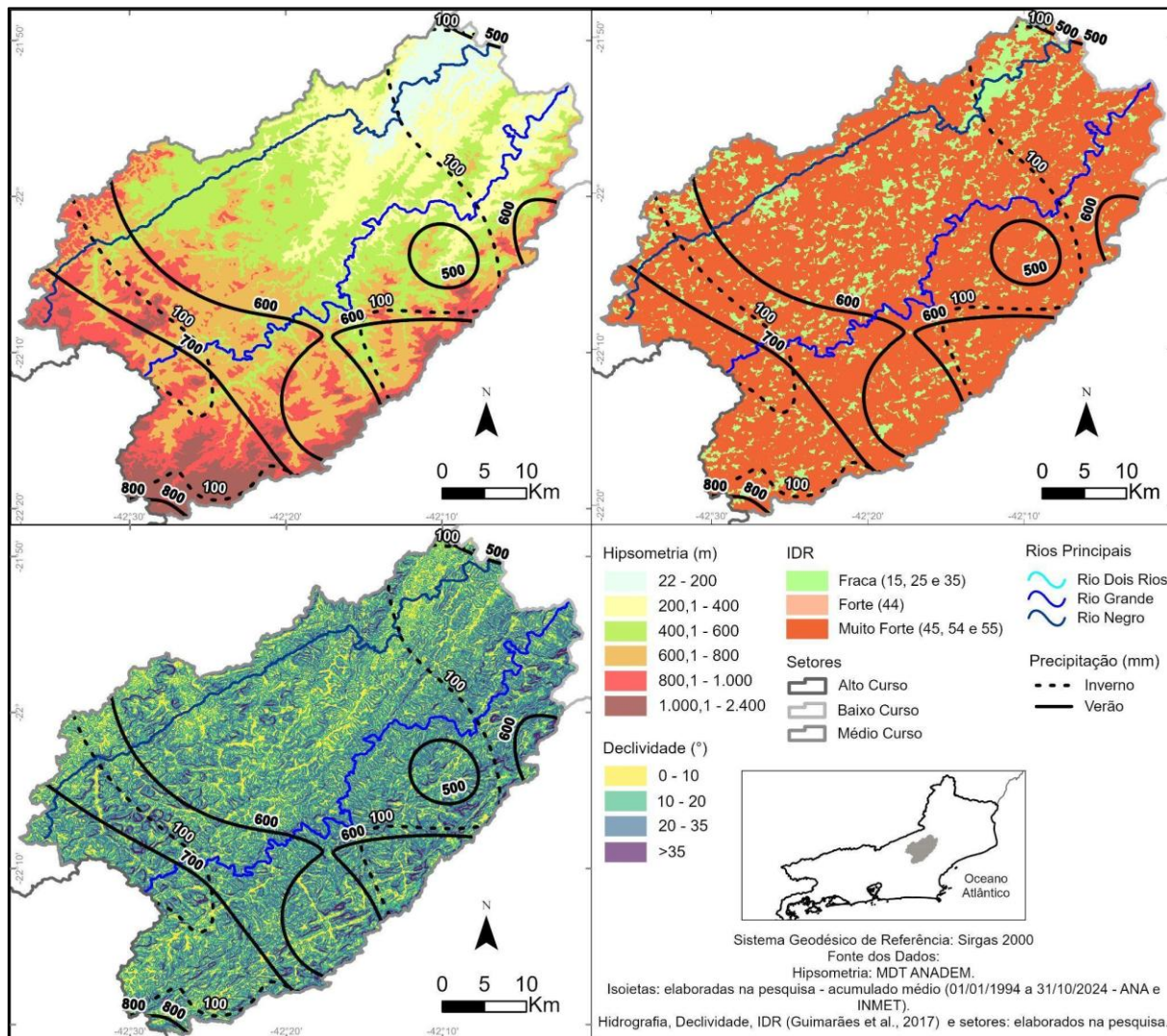
O médio curso, por sua vez (Figura 7), corresponde ao setor mais expressivo em termos de área, com aproximadamente 1.961 km², o que representa cerca de 62% da bacia. Caracteriza-se como um ambiente de transição entre o relevo mais elevado do alto curso e as menores altitudes do baixo curso, apresentando marcada heterogeneidade altimétrica, refletida na variação percentual das classes hipsométricas (Figura 5). Em relação ao alto curso, há semelhanças na proporção das classes de declividade, com discreta redução das áreas acima de 35° (4,4%) no Domínio Serrano e, em menor proporção, nas Escarpas de Borda de Planaltos, que se destacam nos municípios de Bom Jardim e Trajano de Moraes. A porção mais a norte do setor, nos municípios de Duas Barras, Cantagalo, Cordeiro, Macuco e São Sebastião do alto, predominam relevos entre 10-35° de declividade, prevalecendo os Morros Altos e Morros Baixos. Nas declividades inferiores a 10°, destacam-se as planícies de inundação, os depósitos de tálus e as rampas de alúvio-colúvio.

Tal setor também apresenta uma configuração climática de transição entre os maiores e menores registros de precipitação identificados na bacia, com valores máximos em torno de 800 mm, no limite com o alto curso, enquanto a maior parte da área apresenta médias próximas de 600 mm. Além disso, as áreas que concentram as maiores declividades, vinculadas a relevos de maiores altitudes e ao IDR classificado como muito forte, acompanham as isoietas de precipitação mais elevadas, especialmente as isoietas de verão, o que indica coerência entre os mapeamentos.

A associação dos aspectos geomorfológicos com a configuração das isolinhas indicam que apesar da similaridade na proporção da declividade entre o alto e médio curso, a concentração de maiores volumes de chuva se dá no alto curso, apontando uma relação direta com a hipsometria, enquanto que a declividade desempenha funções de distribuição da água no terreno e nos processos geomorfológicos da bacia, uma vez que existe uma associação entre as menores declividades (abaixo de 10°) com as áreas de IDR fraco a moderado (Figura 7).

O baixo curso ocupa uma área de 719,6 km² (Figura 8), o que corresponde a aproximadamente 23% da bacia. Observa-se correspondência direta entre isoietas e hipsometria, evidenciada pela sobreposição das isolinhas às cotas mais elevadas com acumulados de aproximadamente 500 mm nas cotas mais altas e 400 mm no exutório. Neste setor, encontra-se a maior proporção de vertentes com declividades inferiores a 10° (24,9%) e, diferentemente do alto e do médio curso, predomina a classe de 10-20° (37,4%), seguida pela classe de 20-35° (34,4%).

Figura 7 - Mapa de distribuição sazonal da chuva, hipsometria, declividade e IDR do médio curso da bacia do Grande, Negro e Dois Rios



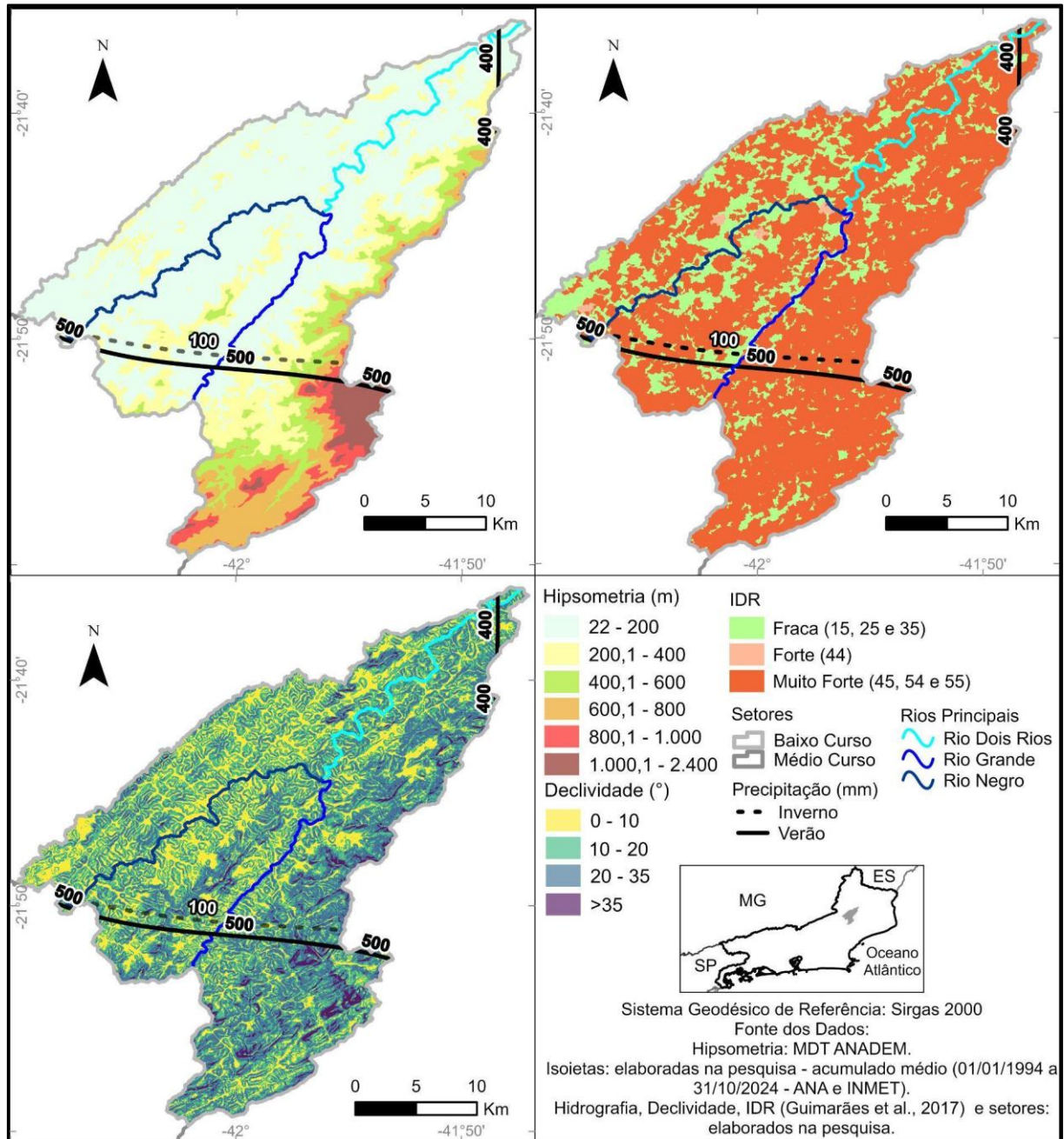
Fonte: MDT Anadem, 2024; ANA, 2025; INMET, 2025. Elaboração: os autores, 2025.

Comparado ao alto curso, o setor médio também apresenta menor proporção de encostas com declividades acima de 35° (3,3%), localizadas nos divisores da bacia, mais especificamente na Serra do Desengano e nas Escarpas de Borda de Planaltos (Dantas *et al.*, 2020), configurando a divisa entre os municípios de Santa Maria Madalena e São Fidélis. Do ponto de vista hidrológico, a predominância dessas menores declividades tende a favorecer maior infiltração, escoamento superficial mais lento e tempos de concentração mais longos. Próximo a esta área, Dias (2021) mapeou a declividade da bacia do Valão d'Anta, também afluente do rio Paraíba do Sul, constatando a predominância da classe de 0-20°, em contraste com pouca representatividade acima de 35°. Nos três setores analisados neste trabalho, os resultados são semelhantes e, no baixo curso, essa proporção se torna ainda mais expressiva (Figura 8).

No que se refere à sazonalidade, o inverno configura-se como um período de estiagem, em que, no baixo curso, predomina a isoieta de 100 mm, enquanto os maiores acumulados concentram-se no alto curso. Essa configuração reforça a função intrínseca do alto curso na recarga hídrica da bacia do rio Dois Rios, que apresenta tendência à redução de vazão no período seco. Os setores médio e baixo também registram maior concentração de precipitação nos divisores de drenagem da margem direita do rio Grande, onde se situam as maiores altitudes. Corroborando os achados, Silveira e Ramos (2007) identificaram resultados semelhantes em uma pesquisa que investigou a dinâmica hidrológica de uma bacia na Serra dos Órgãos. A pesquisa demonstrou uma relação direta entre a precipitação em

cabeceiras e a vazão no exutório, indicando a resposta hidrológica do canal principal e as particularidades intrabacias.

Figura 8 - Mapa da distribuição sazonal da chuva, da hipsometria, da declividade e do IDR no baixo curso das bacias do Grande, do Negro e dos Dois Rios



Fonte: MDT Anadem, 2024; ANA, 2025; INMET, 2025. Elaboração: os autores, 2025.

A análise conjunta dos resultados do IDR indica que 84% da bacia apresenta a classe muito fortemente dissecada (Tabela 2). Na sub-bacia do rio Grande, observa-se rarefação de classes de relevo fracamente dissecados, restringindo-se aos fundos de vale. No médio curso, evidencia-se um contraste marcante entre as sub-bacias dos rios Grande e Negro: enquanto a primeira apresenta maior intensidade de dissecação, a segunda caracteriza-se por um relevo mais suavizado, com predomínio de formas de fraca dissecação. O baixo curso, por sua vez, distingue-se por uma topografia mais suave,

com predomínio de áreas de baixo grau de dissecação. Assim, os mapas de IDR revelam a predominância de padrões fortes e muito fortemente dissecados, intercalados por áreas reduzidas de fraca dissecação, associadas aos fundos de vale e às planícies aluvionares.

Tabela 2 - Percentual de áreas segundo as classes de IDR

Classes de IDR	%			
	Bacia	Alto curso	Médio curso	Baixo curso
Fraco	15,7	11,8	14,4	22
Forte	0,2	0	0,2	0,5
Muito forte	84,1	88,2	85,4	77,5

Fonte: Os autores, 2025.

Estudos recentes desenvolvidos em âmbito nacional se assemelham aos resultados da pesquisa, reforçando a importância do mapeamento do IDR. Pereira e Silva (2024) ao realizarem o mapeamento do IDR na sub-bacia hidrográfica do rio Araçagi, no estado da Paraíba, seguindo os mesmos referenciais da presente pesquisa, Ross (1994) e Guimarães *et al.* (2017), também identificaram a classe de dissecação “muito forte” para áreas caracterizadas por maiores elevações e declividades, com canais fluviais mais encaixados; enquanto em ambientes deposicionais, de superfícies mais planas, com baixo grau de entalhamento dos vales, estavam associadas as classes de fraca dissecação. Outra semelhança deve-se à classe de “forte” dissecação, com ocorrências discretas, em comparação às áreas predominantes, classificadas como “fraca” ou “muito forte”. Por outro lado, devido às características locais, o referido mapeamento identificou algumas áreas de dissecação moderada, o que corresponde a uma classe superior à observada nesta pesquisa. Silva (2021) utilizou o IDR como um dos indicadores de vulnerabilidade à erosão dos solos no município de Rio Preto da Eva, no Amazonas, aplicando a classificação de Ross (1994) e identificando a predominância de relevo fracamente dissecado, seguida por dissecação moderada. Esse resultado traduziu, entre outras características geomorfológicas, o padrão de altimetria da bacia, em que predomina a elevação inferior a 152 m.

Somada à interpretação dos resultados do ponto de vista geomorfológico e fluvial, observa-se que a introdução de isoietas sazonais permitiu identificar espacialmente as entradas de chuva mais expressivas, em contrapartida aos períodos secos. Portanto, com caráter inovador, esses resultados indicam que a proposta metodológica deste trabalho contribui para a tomada de decisão, na qual a sazonalidade se configura como aspecto fundamental, como na gestão do uso da água.

O IDR é uma ferramenta de grande potencial para estudos geomorfológicos associados a outras dinâmicas da superfície e da atmosfera terrestre. Apesar disso, sua aplicação tem se concentrado principalmente em comparações e adaptações metodológicas, como observado por Guimarães *et al.* (2017), Amaral e Avelar (2023), Vieira e Oliveira (2024), entre outros. São poucos os trabalhos que exploram o IDR sob uma perspectiva geomorfológica correlacionada à climatológica e, em outras análises, o índice é utilizado como variável condicionante na elaboração de mapas de Fragilidade Ambiental, como no trabalho de Paula *et al.* (2024), para o município de Nova Friburgo (RJ). Nesse contexto, o presente estudo assume um caráter de ineditismo, sobretudo por abordar uma área amplamente pesquisada, porém ainda carente de aprofundamentos técnicos e conceituais.

Relação entre relevo e variabilidade pluviométrica: análise estatística e interpretativa

A análise dos dados pluviométricos anuais registrados entre 1994 e outubro de 2024 evidencia padrões espaciais e temporais distintos entre os diferentes pontos de coleta. De maneira geral, observa-se que a estação de Teodoro de Oliveira apresenta os maiores acumulados ao longo da série histórica, com diversos anos superando a marca de 4.000 mm, o que a destaca como um dos locais de maior pluviosidade. Em contraste, Santa Maria Madalena, São Fidélis e Dois Rios tendem a apresentar os menores valores, frequentemente com totais anuais inferiores a 1.000 mm.

Do ponto de vista da similaridade dos dados, é possível identificar certos agrupamentos com comportamentos pluviométricos próximos entre si. Por exemplo, Fazenda São João, Ponto de Pergunta e Fazenda Mendes apresentam totais anuais relativamente semelhantes ao longo de diversos anos, o

que indica possíveis condições orográficas ou microclimáticas similares. Do mesmo modo, os registros de Galdinópolis, Visconde de Imbé e Maria Mendonça demonstram comportamentos paralelos ao longo de diversos anos da série, o que sugere coerência regional no regime das chuvas.

Os anos com extremos de precipitação são evidentes em diversos pontos. O ano de 2005 se destaca como um dos mais chuvosos para a maioria das estações, com totais que ultrapassaram 4.000 mm em Teodoro de Oliveira e foram próximos ou acima de 2.000 mm em outras localidades, como Leitão da Cunha, Fazenda Mendes e Barra Alegre. Contudo, anos como 2014 e 2015 apresentam valores significativamente reduzidos em quase todos os pontos, caracterizando-se como anos com baixos acumulados anuais. Esse comportamento sugere a atuação de anomalias climáticas regionais ou globais que afetam o clima. Ressalta-se que o ano de 2024 não foi considerado na avaliação de anos extremos, uma vez que a análise se restringiu ao mês de outubro. Porém, a persistência de elevados acumulados em Teodoro de Oliveira, mesmo em anos secos, em outras localidades, reforça a influência de fatores locais, como o relevo, a orientação das vertentes e a canalização orográfica, que favorecem a concentração de umidade e a ocorrência de chuvas orográficas na região. Tal padrão também se evidencia ao comparar com as estações próximas, como Fazenda São João, que, embora próxima, apresenta totais inferiores.

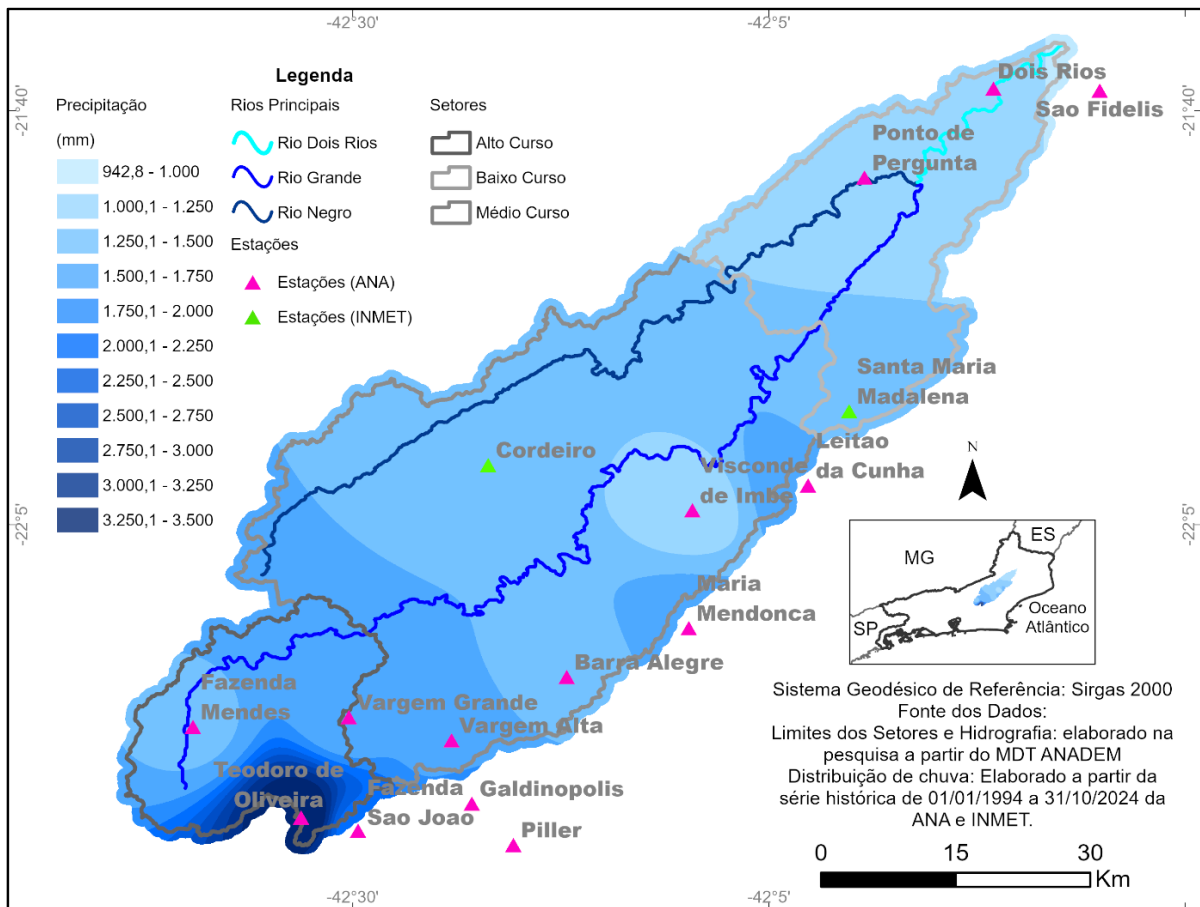
Apesar da proximidade entre os pontos de Teodoro Oliveira e de Fazenda São João, há variações significativas nos totais de precipitação registrados em ambos os pontos. Tal comportamento pode estar relacionado às características topográficas locais: enquanto a Fazenda São João está voltada para a vertente marítima, a Teodoro Oliveira está inserida em um vale mais encaixado, o que pode influenciar a dinâmica de entrada e retenção da umidade nestas áreas. O posto pluviométrico de Teodoro Oliveira pode ser definido como uma unidade climática específica, com totais anuais que, em determinados anos, se aproximam de 5.000 mm. Tais valores são consideravelmente elevados em comparação com os das demais estações estudadas. No entanto, a recorrência de acumulados elevados ao longo de diferentes anos sugere baixa probabilidade de erro sistemático ou falha humana nos registros, uma vez que inconsistências por falhas de medição tendem a se manifestar como valores pontuais e atípicos, e não como um padrão persistente.

Importa salientar que, apesar da sua representatividade anual, Medeiros (2013), ao investigar a estatística de eventos críticos no Brasil, constatou que os maiores índices diários não ocorreram no posto de Teodoro de Oliveira. O estudo aponta que estações como Vargem Alta (271,5 mm), Fazenda Mendes (225,4 mm) e Vargem Grande (183,5 mm) registraram volumes superiores aos 112,4 mm de Teodoro de Oliveira durante os eventos analisados em seus estudos. Tal questão merece destaque, pois são as excepcionalidades diárias as de maior potencial para desastres associados à dinâmica das chuvas. O fato é que os dados climáticos demonstram que, apesar das particularidades locais que influenciam os totais pluviométricos em cada ponto de medição, há correspondência com a distribuição do relevo. A ocorrência de anos extremamente chuvosos ou secos em diversos pontos simultaneamente sugere a influência de forçantes climáticos de maior escala, como eventos associados ao ENOS (*El Niño*–Oscilação Sul), à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a outros mecanismos atmosféricos de abrangência regional, sobrepondo-se às variações microclimáticas locais.

Os dados analisados demonstraram, portanto, coerência interna, embora apresentassem diferenças em relação às isoietas divulgadas pela CPRM. Essas divergências podem ser justificadas por aspectos meteorológicos específicos, como a localização dos pontos com valores extremos, que influenciam diretamente a distribuição espacial da precipitação na região estudada. Ao analisar os dados considerando a compartimentação em setores, verifica-se que, no alto curso da bacia, há maior variabilidade nos valores de precipitação, em contraste com o comportamento mais homogêneo observado nos setores médio e baixo (Figura 9).

Essa diferença indica que, nas porções mais elevadas, há uma influência mais complexa de fatores topográficos e atmosféricos sobre o regime pluviométrico, resultando em uma distribuição espacial menos uniforme das chuvas. A amplitude dos valores observada no alto curso revela que, embora o relevo elevado favoreça a ocorrência de precipitações mais intensas, a resposta climática não se apresenta linear nem constante em toda a área. A existência de setores com valores pluviométricos discrepantes no alto curso pode estar associada a particularidades geomorfológicas. Esse comportamento espacial indica que o relevo, ao mesmo tempo em que potencializa a formação de chuvas orográficas, também pode gerar microvariações decorrentes de sua compartimentação. Assim, o que, à primeira vista, poderia ser interpretado como uma anomalia representa, na realidade, uma característica intrínseca da morfologia da região, marcada pela complexidade de suas formas e pela influência direta da estrutura do terreno sobre os padrões de precipitação.

Figura 9 - Mapa da distribuição do acumulado médio anual de chuva por interpolação IDW



Fonte: MDT Anadem, 2024; ANA, 2025; INMET, 2025. Elaboração: os autores, 2025.

Tal interação é amplamente discutida na literatura internacional, com diversos estudos comprovando a sua atuação em diferentes escalas climáticas. Pesquisas realizadas por Pérez-Méndez, Tejeda-Martínez e Fitzjarrald (2019) na Costa do Golfo do México demonstraram que a precipitação está alinhada às barreiras montanhosas da região. Shrestha *et al.* (2021), por sua vez, ao investigar as chuvas orográficas na região dos Andes em termos de frequência, intensidade e tipos de chuva, constataram uma forte correspondência entre a precipitação e a topografia, com máximos de chuva ocorrendo sobre terrenos mais elevados no flanco oriental dos Andes, e que as relações entre precipitação e elevação diferem entre a Cordilheira Central e os Andes do Sul. O fato é que, apesar de os efeitos da orografia sobre as chuvas serem amplamente conhecidos, há particularidades locais e regionais que devem ser consideradas. Os estudos realizados por Luo *et al.* (2024) para o Sudeste do Planalto Tibetano vêm, nesse sentido, apontando especificidades locais na variabilidade espaço-temporal dos regimes climáticos. No caso citado, o padrão de variação da precipitação com a altitude pode ser resumido da seguinte maneira: em elevações abaixo de 3.000 m, a precipitação geralmente diminui com o aumento da altitude; entre 3.000 m e 4.000 m, o padrão torna-se mais complexo; acima de 4.000 m, até o ponto máximo de observação a 4.841 m, a precipitação volta a diminuir com o aumento da elevação; e acima de uma determinada elevação crítica, a taxa de precipitação diminui ainda mais com qualquer aumento adicional da altitude.

Os resultados obtidos na presente pesquisa mantêm coerência geral com os dados disponibilizados pela CPRM (2011), o que, de certa maneira, os valida e corrobora sua veracidade, embora apresentem divergências pontuais que podem ser atribuídas a diferenças metodológicas e temporais entre as bases analisadas. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais utilizou informações do período de 1977 a 2006, com integração de registros de abrangência nacional; já o presente estudo concentrou-se em dados mais recentes (1994-2024) provenientes exclusivamente de estações locais. Essa distinção temporal e espacial influencia diretamente a representatividade e a homogeneidade das séries, podendo justificar variações nas médias e nos padrões espaciais observados.

Em termos espaciais, tanto a base da CPRM (2011) quanto os resultados deste estudo indicam uma relação entre os maiores acumulados de precipitação e a altitude. A presença de vertentes com altitudes semelhantes, mas com diferentes regimes pluviométricos, evidencia que a orientação e a exposição das encostas também desempenham papel determinante na captação de umidade atmosférica. Observa-se, ainda, que a porção norte da bacia tende a apresentar menores volumes, não configurando anomalia, mas sim uma característica regional associada ao bloqueio orográfico e à dinâmica atmosférica locais. Tal situação, porém, precisa ser aprofundada em estudos futuros, para que haja maior detalhamento dessas interações.

Um exemplo expressivo é o caso da estação de Fazenda Mendes, que apresenta uma isolinha média anual de aproximadamente 1.452 mm, situada a cerca de 1.010 metros de altitude. Esse valor se destaca por representar uma anomalia local em relação ao padrão regional identificado, no qual áreas de altitude semelhante registram volumes pluviométricos mais elevados segundo a base da CPRM (2011). A divergência observada pode estar associada à presença de barreiras topográficas que interferem na dinâmica atmosférica local, dificultando a entrada de umidade e reduzindo a precipitação na área. Tal fenômeno é coerente com o comportamento espacial das chuvas na bacia, em que a orientação das vertentes e a posição relativa em relação às massas de ar úmidas também podem condicionar a distribuição pluviométrica mais do que a altitude isoladamente. Estudos anteriores (Medeiros, 2013) também apontam padrões semelhantes, indicando que a variação na captação de umidade, mesmo em altitudes próximas, é um traço recorrente em ambientes de relevo complexo.

Tavares e Ferreira (2020), ao investigarem a relação entre a orografia e os extremos de precipitação no município de Petrópolis (RJ), constataram que a topografia influencia significativamente a distribuição das chuvas e dos eventos extremos. Outra questão apontada pelas autoras diz respeito à variabilidade espaço-temporal identificada nos acumulados de chuva, quando em atuação de linhas de Instabilidade atmosférica, Sistemas Frontais e Massas de Ar de origem continental ou oceânica, que podem ter sido moduladas pela compartimentação geomorfológica representada pela Serra do Mar. As diferenças encontradas no presente estudo, portanto, não devem ser interpretadas como inconsistências entre os conjuntos de dados, mas como reflexo da heterogeneidade espacial e das peculiaridades microclimáticas que caracterizam a região. A CPRM (2011), ao integrar informações de longa duração em todo o Brasil, obteve uma média suavizada, enquanto os dados recentes deste estudo, baseados em estações locais, captam com maior sensibilidade as variações locais, revelando nuances que enriquecem a compreensão da dinâmica pluviométrica de detalhe.

Deve-se considerar, ainda, que parte das discrepâncias identificadas também pode estar relacionada à densidade e à cobertura das estações meteorológicas, uma vez que a região apresenta áreas com menor disponibilidade de dados observacionais ou com redução desses dados. Essa limitação pode contribuir para pequenas inconsistências espaciais entre as superfícies geradas, sem, contudo, comprometer a coerência geral dos resultados. Assim, as diferenças entre as duas bases refletem mais as particularidades metodológicas e a atualização temporal das informações do que as incongruências de natureza climática.

Por fim, a análise dos coeficientes de correlação de Pearson evidencia uma variação espacial significativa na intensidade das relações estatisticamente observadas entre os diferentes setores da bacia. O valor obtido para o conjunto da bacia ($r = 0,66$) indica correlação estatisticamente significativa, uma vez que se aproxima de 1, evidenciando certa coerência espacial entre os dados amostrais e a organização fisiográfica da área. Entretanto, quando os setores são analisados individualmente, verifica-se um comportamento heterogêneo: o alto curso apresenta o menor coeficiente ($r = 0,35$), enquanto o médio ($r = 0,57$) e o baixo curso ($r = 0,61$) exibem correlações mais elevadas (Tabela 3). Essa distribuição espacial sugere que a intensidade da relação entre as variáveis tende a aumentar à medida que se avança para as porções mais baixas da bacia, o que reflete a complexidade dos fatores locais que interferem na homogeneidade dos dados.

Do ponto de vista espacial, a variação dos valores de correlação acompanha a diferenciação morfométrica e climática interna da bacia, destacando a influência de padrões altimétricos e de gradientes ambientais distintos em cada setor (Tabela 3). O alto curso, marcado por relevo mais acidentado, maiores amplitudes altimétricas e pluviométricas, tende a apresentar maior dispersão nos valores analisados. Já nos setores de médio e baixo curso, onde as variações são menos abruptas e o relevo se apresenta mais suavizado, sugere-se uma correlação estatisticamente mais consistente. De forma geral, a distribuição espacial dos coeficientes de correlação indica que a bacia não apresenta padrões internos homogêneos, com setores de diferentes níveis de associação entre as variáveis. Essa

heterogeneidade evidencia a importância de uma abordagem setorizada na análise espacial da bacia, permitindo compreender com maior precisão as particularidades de cada setor.

Tabela 3 - Variação altimétrica e pluviométrica e correlação de Pearson ao longo da bacia e dos setores

	Altitude (m)			Precipitação (mm)			Correlação de Pearson (r)
	Menor cota	Maior cota	Amplitude	Acumulado mínimo	Acumulado máximo	Amplitude	
Bacia	22	2.272,9	2.250,9	953,6	3.490,6	2.537	0,66
Alto Curso	616,2	2.272,9	1.656,7	1.452,4	3.490,6	2.038,2	0,35
Médio Curso	93,5	1.629,9	1.536,4	1.177,1	2.088,7	911,6	0,57
Baixo Curso	22	1.738,2	1.716,2	953,8	1.497,44	543,6	0,61

Fonte: Os autores, 2025.

Mesquita (2016) utilizou a correlação de Pearson para analisar a relação entre o relevo e a precipitação na bacia do rio Doce, em Minas Gerais. O estudo comparou essa correlação em diferentes séries históricas, mantendo, todavia, a análise restrita à bacia como um todo, cuja área total é de 86.715 km². Identificou-se uma estação que, embora localizada em área de menor elevação, apresentou valores elevados de pluviosidade, o que resultou em dispersão em relação aos dados das demais estações e influenciou o índice de correlação. Nesse estudo, o coeficiente de Pearson variou de 0,38 a 0,68 no mesmo recorte espacial. O autor sugere que, para obter um índice que represente de forma mais fidedigna, seria necessário um maior detalhamento do modelo digital de elevação e uma distribuição mais homogênea das estações de monitoramento. O estudo também evidencia que o coeficiente de Pearson é um instrumento útil para compreender a relação relevo–chuva; entretanto, apresenta limitações inerentes às análises baseadas em modelos, sejam estes de interpolação de precipitação ou de representação do terreno.

O uso do coeficiente de correlação de Pearson, embora amplamente difundido em estudos ambientais, apresenta limitações quando aplicado a áreas de alta complexidade geomorfológica. Por se tratar de um índice estritamente linear, sua capacidade de representar relações entre variáveis ambientais é limitada, especialmente em contextos em que múltiplos fatores interagem de forma não linear, como ocorre em regiões com relevo fortemente variado. Nesses casos, o comportamento climático e topográfico tende a refletir uma dinâmica mais complexa do que a que pode ser expressa por uma simples medida de correlação.

Pesquisas realizadas por Maciel, Barcelos e Oliveira (2012), ao analisarem a influência da altitude na temperatura e na precipitação na mesorregião Norte de Minas Gerais, confirmaram a influência da condição local, com correlação fraca entre os resultados. Os mesmos autores também ressaltam a alta dispersão dos dados analisados como uma das possíveis justificativas para o valor de $R^2 = 0,00002$ nas análises entre precipitação e altitude. Neste contexto, o uso do coeficiente de Pearson deve ser feito com moderação e acompanhado de uma análise interpretativa mais abrangente, que considere as especificidades físicas e dinâmicas da paisagem. A linearidade do índice impõe limites à compreensão das relações entre clima e relevo, que não podem ser reduzidas a associações matemáticas diretas. A interpretação dos resultados deve, portanto, ir além da estatística, incorporando o conhecimento geográfico e os condicionantes naturais que estruturam o espaço analisado.

No presente estudo, a estatística é compreendida como um recurso teórico-metodológico auxiliar, útil para identificar tendências gerais, mas insuficiente para explicar integralmente a complexidade das interações ambientais. O emprego de ferramentas quantitativas deve ser criterioso e contextualizado, evitando interpretações simplistas de fenômenos cuja natureza é essencialmente dinâmica, relativa e multifatorial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os resultados demonstraram a eficácia da metodologia proposta para aprimorar a análise da influência do relevo nas entradas de água na bacia e da precipitação na configuração

geomorfológica, o que resulta em um relevo mais ou menos dissecado. O perfil longitudinal indicou que o rio Negro drena áreas situadas em cotas inferiores ao rio Grande, cuja nascente se localiza no alto curso. Essa disposição topográfica sugere que o rio Negro tende a receber, no sistema hidrográfico, a contribuição do rio Grande em períodos de estiagem. Embora o alto curso apresente menor área em km², sua importância para a manutenção das recargas superficiais e subterrâneas foi evidenciada. Por outro lado, essa mesma área se configura como mais suscetível a movimentos de massa e erosões.

Os mapas hipsométricos setoriais, associados às distribuições sazonais da precipitação, permitiram identificar uma acentuada relação espacial entre as áreas mais elevadas e a maior concentração de precipitação. Apesar da interpolação dos dados pluviométricos não ter sido realizada com base nas informações de altitude, as isoietas evidenciaram essa correlação. Os mapas do Índice de Dissecção do Relevo (IDR) revelaram um terreno fortemente dissecado em toda a bacia, corroborando os demais resultados, especialmente a correlação de Pearson, que, de modo geral, indicou uma relação significativa entre precipitação e altitude.

Observa-se que a introdução de isoietas sazonais permitiu identificar espacialmente as entradas de chuva mais expressivas, em contrapartida aos períodos secos. Portanto, com caráter inovador, esses resultados indicam que a proposta metodológica deste trabalho contribui para a tomada de decisão na qual a sazonalidade se configura como aspecto fundamental, por exemplo, na gestão do uso da água. Verificou-se também a correspondência qualitativa e quantitativa entre os dados de precipitação e o relevo na área de estudo. Sob uma perspectiva qualitativa, observou-se que a relação entre essas variáveis se manifesta de forma consistente tanto em escala setorial quanto ao longo da bacia como um todo, evidenciando a influência do gradiente altimétrico sobre o regime pluviométrico. Em termos quantitativos, o coeficiente de correlação indicou uma associação positiva, indicando que os valores de precipitação tendem a aumentar com a elevação. Quando analisada de maneira setorializada, contudo, constatou-se uma distribuição heterogênea dessa correlação, mais pronunciada nos setores de baixo e de médio curso da bacia, o que reforça a variabilidade espacial do controle topográfico sobre a precipitação.

As discussões ora apresentadas referem-se a uma síntese geral dos dados sobre a dinâmica das chuvas, que serviram como um dos aspectos centrais do presente estudo e que podem ter relação com o relevo. Sua análise aprofundada, porém, será apresentada em outros artigos posteriores, pois não cabe ao escopo dessa pesquisa e demandaria um aprofundamento mais detalhado das informações.

É importante salientar as limitações inerentes tanto ao número quanto à distribuição espacial das estações de monitoramento utilizadas neste estudo. A disponibilidade restrita de pontos amostrais e sua distribuição irregular na área de estudo podem ter resultado em lacunas na representação espacial da precipitação, sobretudo em setores da bacia não abrangidos por medições diretas. Nesse contexto, os métodos de interpolação mostraram-se ferramentas valiosas, permitindo estimar valores em áreas desprovidas de dados observacionais e viabilizando a construção de uma superfície contínua de precipitação. Não obstante, tais métodos, por se tratar de modelos, apresentam limitações intrínsecas, uma vez que sua eficácia depende fortemente da densidade e da representatividade espacial das estações. Quando a cobertura de dados é insuficiente ou desigual, os interpoladores podem gerar distorções ou superestimações em determinadas regiões, comprometendo a precisão local das estimativas e evidenciando a necessidade de cautela na interpretação dos resultados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M.; AVELAR, A. S. Análise do Índice de Dissecção do Relevo (IDR) na área urbana do município de Campos do Jordão (SP). *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO)*. 14., 2023, Corumbá. **Anais [...]**. Corumbá: UFMS, 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas. **HidroWeb**: Sistema de Informações Hidrológicas. Versão 3.3.8361.0. Brasília: ANA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ANA - Agência Nacional de Águas; IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **ANADEM – Modelo Digital de Terreno (MDT) para a América do Sul**. Versão 1.0, 2024. Brasília: ANA. Disponível em: [ANADEM – Modelo Digital de Terreno para a América do Sul](#). Acesso em: 10 out. 2025.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. *In: GUERRA, A, J, T.; CUNHA, S, B, da (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

BUTTAFUOCO, G.; CONFORTI, M. Improving mean annual precipitation prediction incorporating elevation and taking into account support size. *Water*, v. 13, n. 6, p. 830, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.3390/w13060830>

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. dos; CALDERANO FILHO, B.; OLIVEIRA, R. P. de; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de; CHAFFIN, C. E.; MOTHCI, E. P.; LARACH, J. O. I.; CONCEIÇÃO, M. da; TAVARES, N. P.; SANTOS, H. G. dos; GOMES, J. B. V.; CALDERANO, S. B.; GONCALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; BARRETO, W. de O.; CLAESSEN, M. E. C.; PAULA, J. L. de; SOUZA, J. L. R. de; LIMA, T. da C; ANTONELLO, L. L.; LIMA, P. C. de. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 221 p.

CASTRO FILHO, H. C.; STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A. Análise espacial da precipitação pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação. *Revista Geonorte*, Edição Especial 2, v.1, n.5, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

COELHO NETTO, A. L. Dinâmica de vertentes. In: GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. da (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 93–148.

COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A. S., FERNANDES, M. C., & LACERDA, W. A. Landslide susceptibility in a mountainous geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. *Geomorphology*, v. 87, n. 3, 2007, p. 120-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.041>

CONTI, J. B. O meio ambiente Tropical. *Geografia*, v. 14, n. 28, p. 69-79, 1989.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Levantamento Da Geodiversidade**: Projeto Atlas Pluviométrico Do Brasil: Isoietas Anuais Médias: período 1977 a 2006. Brasília, 2011. Disponível em <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22220>. Acesso em: 29 de nov. 2022.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação**: município de Nova Friburgo - RJ. Rio de Janeiro, 2015. 1 mapa, color. Escala 1:100.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15080>. Acesso em: 28 jan. 2026.

DANTAS, M. E.; SANTANA, M. S.; SIMÃO, G. F. DE C.; MAIA, M. A. M.; SHINZATO, E. **Cartas de padrões de relevo municipais, escala 1:25.000**. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2020. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21682>. Acesso em: 8 jan. 2024.

DIAS, L. R. **Análise geoambiental e mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do Valão D'Anta, Cambuci (RJ)**. Dissertação (mestrado) – Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro: 2021. 172p.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Pro**: Geographic Information System. Versão 3.5. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2025a. Software. Utilizado sob licença institucional [UFRJ Acadêmico](https://www.ufrj.br/academico).

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **How Band Collection Statistics** — ArcGIS Pro: tool reference (Spatial Analyst). Redlands, 2025b. Disponível em: [How Band Collection Statistics works—ArcGIS Pro | Documentation](https://www.esri.com/help/9.6/arcgispro/demos/How_Band_Collection_Statistics_works—ArcGIS_Pro_|_Documentation). Acesso em: 16 out. 2025.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014. 344 p. ISBN 978-85-393-0537-7.

GUAN, H.; WILSON, J. L.; MAKHNIN, O. Geostatistical mapping of mountain precipitation incorporating autosearched effects of terrain and climatic characteristics. *Journal of Hydrometeorology*, 6(6), 1018-1031, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM448.1>

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do Índice de Dissecção do Relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, p. 155-167, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163>

HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. de (org.). **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro**: escala 1:400.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2016. Disponível em: [Repositório Institucional de Geociências: Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro](#). Acesso em: 21 jun. 2025

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro - 1:25 000 versão 2018 (2ª edição). [Bases cartográficas contínuas - Estados | IBGE](#). Acesso em: 09 de out. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**: Características dos domicílios/Resultado do Universo. Rio de Janeiro: IBGE. 2023. Disponível em: [Censo 2022 | IBGE](#). Acesso em: 4 set. 2025.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **Mapa de uso e cobertura do solo**. Elaboração: Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2018. Rio de Janeiro: INEA, 2018a. Disponível em: [INDE - Catálogo de Metadados Geográficos](#). Acesso em: 13 jun. 2025.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **Bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (dados vetoriais shapefile): escala 1:50.000**. Rio de Janeiro: INEA, 2018b. Disponível em: <https://www.geoinea.inea.rj.gov.br/>. Acesso em: 3 de nov. 2025.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP)**. Brasília: INMET, [2025]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

LAIPELT, L.; ANDRADE, B. C. C. de; COLLISCHONN, W.; TEIXEIRA, A. de A.; PAIVA, R. C. D.; RUHOFF, A. ANADEM: a digital terrain model for South America. **Remote Sensing**, v. 16, n. 2321, 2024. DOI: [10.20944/preprints202404.1305.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202404.1305.v1)

LAIPELT, L.; ANDRADE, B. C. C. de; REICHERT, F. C.; AMORIM, A.; SILVA, A. H. da; RUHOFF, A. **Proposta de correção do viés da vegetação para elaboração de um modelo digital de terreno em escala continental**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2023. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0588-1-20230612-104200.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2025.

LIMA, J. S. **Estudo integrado da paisagem, geomorfologia e geotecnologias**: proposta de automatização dos índices de dissecação do relevo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. 37p.

LUO, L.; ZHAO, Y.; DUAN, Y.; DAN, Z.; ARCHARYA, S.; JIMI, G.; BAI, P.; YAN, J.; CHEN, L.; YANG, B.; XU, T.; Relationships between precipitation and elevation in the Southeastern Tibetan Plateau during the active phase of the Indian Monsoon. **Water**, v. 16, n. 18, p. 2700, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16182700>

MACIEL, S. A.; BARCELOS, B. F.; OLIVEIRA, L.A. A análise da influência da altitude na temperatura e na precipitação da mesorregião Norte de Minas–Minas Gerais. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 250-261, 2012.

MEDEIROS, V. S. **Análise estatística de eventos críticos de precipitação relacionados a desastres naturais em diferentes regiões do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-04102013-113054/> . Acesso em: 2 out. 2025.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C. **Roteiro de cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. ISBN 978-85-7975-084-7.

MESQUITA, B.F. **Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da precipitação pluvial na bacia do rio Doce – MG e ES**. Monografia de conclusão de curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental) – IV Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2016. Disponível em: [2016 BrislyFreitasMesquita tcc.pdf](#). Acesso em: 16 out. 2025.

- MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel**. Versão 365. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2025.
- MONTEIRO, C.A.G. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. UFSC: Florianópolis. 1991.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979, 427p.
- OMM - Organização Meteorológica Mundial. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Washington: **World Meteorological Organization**, wcpd n.10. 1989. Disponível em: [MET-481-WMO-341.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/education/teaching_materials/teaching_materials/481-WMO-341.pdf). Acesso em: 12 maio 2022.
- PAULA, R. T.; FREITAS, M. M.; NUNES, R. S.; CARVALHO, A. C. M. G. Análise da fragilidade ambiental do município de Nova Friburgo – RJ, através da abordagem morfodinâmica. **Territorium**, n. 31 (II), 2024. ISSN: 0872-8941. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-2_1
- PEREIRA, G. S.; SILVA, F. M. da. **Análise morfométrica do Índice de Dissecação do Relevo (IDR) da sub-bacia hidrográfica do rio Araçagi, estado da Paraíba (PB)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 20., 2024, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CCEN — UFPB, 21 a 27 out. 2024.
- PÉREZ-MÉNDEZ, M.; TEJEDA-MARTÍNEZ, A.; FITZJARRALD, D. Diurnal variation of rainfall in a tropical coastal region with complex orography. **Atmosphere**, v. 10, n. 10, p. 604, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos10100604>
- PINTO, R. W. P.; FREITAS, M. M. de. Considerações a respeito dos movimentos de massa ocorridos em janeiro de 2011 na bacia do córrego D'Antas, Nova Friburgo – RJ. **GeoPUC – Revista do Departamento de Geografia da PUC-Rio**, Rio de Janeiro, ano 5, n. 9, p. 79-96, jul./dez. 2012. ISSN 1983-3644. Disponível em: <https://geopuc.geo.puc-rio.br/media/4artigo9.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- PINTO, R. W. P.; FREITAS, M. M.; Almeida, J. H.; Silva, L. G. (2018). Evolução geomorfológica do Rio Grande, RJ: influências geológicas e capturas de drenagem. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 19(2), 407–422. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.972>
- POSIT SOFTWARE, PBC. **RStudio**: Integrated Development Environment for R [software]. Boston, MA: Posit Software, PBC, 2023. Disponível em: <https://posit.co/>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.42.2. Münster: Open Source Geospatial Foundation, 2025. Software.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing** [software]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- SEA - Secretaria de Estado do Ambiente - **O estado do ambiente**: indicadores ambientais do Rio de Janeiro. Organizadoras: Júlia Bastos; Patrícia Napoleão. Rio de Janeiro: SEA; INEA, 2011. 160 p. il. ISBN 978-85-63884-05-3.
- ROLDÃO, A. F.; SANTOS, J. G.; OLIVEIRA, L. A. Correlação entre variáveis climáticas (altitude, temperatura e precipitação) na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais – MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.515 – 525, 2012.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, n. 8, p. 63-74, 1994. DOI: [10.7154/RDG.1994.0008.0006](https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006)
- SANT'ANNA NETTO, J.L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 1, 2005.
- SANTOS, B. B. M. Segurança hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: contribuições para o debate. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 103–120, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150132R1V1912016>
- SHRESTHA, D.; SHARMA, S.; TALCHABHADEL, R.; DESHAR, R.; HAMAL, K.; KHADKA, N.; NAKAMURA, K. Detection of Spatial Rainfall Variation over the Andean Region Demonstrated by Satellite-Based Observations. **Atmosphere**, v. 12, n. 9, p. 1204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12091204>

SILVA, G. M. da. **Geomorfologia aplicada a caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos em Rio Preto da Eva (AM)**. 2021. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021. Disponível em: [TEDE: Geomorfologia aplicada a caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos em Rio Preto da Eva \(AM\)](#). Acesso em: 21 de nov. 2025.

SILVA, T. M.; SILVA, S. L. S. O relevo do estado do Rio de Janeiro: cenário de beleza e fragilidade ambiental. In: MARAFON, G. J.; RIBEIRO, M. A. (orgs.). **Revisitando o território fluminense**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2017. p. 43-64. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788575114575.0004>

SILVEIRA, C. S.; RAMOS, J. A. Análise espacial com SIG de parâmetros ambientais e comportamento hidrológico(chuva-vazão) de uma bacia de drenagem montanhosa na Serra dos órgãos: Bacia do Paquequer, município de Teresópolis, R.J. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 23-34, 2007. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i1.83>

TAVARES, C.; FERREIRA, C. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis-RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.71123>

VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, T. A. Estudo da matriz do índice de dissecação do relevo (IDR) e aplicação no município de Caldas – MG. **Geografia**, Rio Claro – SP, v. 49, n. 1, 2024. ISSN: 1983-8700. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v49i1.18344>.

Recebido em: 22/11/2025

Aceito para publicação em: 11/02/2026