



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Análise hidrogeomorfológica em bacia hidrográfica da Serra do Mar Paranaense

Jerusa da Silva Peixoto¹, Rodrigo Bradasch Osternack², Masato Kobiyama³, Ezequiel Antonio de Moura⁴, Vera Cristina Scheller dos Santos Rocha⁵, Franciele Marilies Estevam⁶

¹ Bolsista da Fundação Araucária, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba- PR, 81530-000, Brasil. (jerusaspeixoto@gmail.com). ² Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba- PR, 81530-000, Brasil. (rodrigo.b.osternack@gmail.br). ³ Bolsista do CNPq, Professor Titular do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre – RS, 91501-970, Brasil. (masato.kobiyama@ufrgs.br). ⁴ Professor do Instituto Federal do Paraná, Av. Antônio Carlos Rodrigues, 453, Porto Seguro, Paranaguá, PR, 83215-750, Brasil. (ezequiel.moura@ifpr.edu.br). ⁵ Mestra em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná. (vera.cristina.ssr@gmail.com). ⁶ Mestra em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba- PR, 81530-000, Brasil. (fran.marilies@gmail.com).

Artigo recebido em 13/02/2026 e aceito em 15/07/2026

RESUMO

Em ambientes de montanha, caracterizados pela intensa produção e transporte de sedimentos nos canais fluviais, parâmetros como tamanho e forma dos sedimentos são variáveis conforme sua origem. Este estudo investigou as características hidrogeomorfológicas da bacia do rio Nhundiaquara (Serra do Mar Paranaense), com o objetivo de caracterizar o tamanho e forma dos sedimentos fluviais e sua relação com a litologia. A metodologia envolveu levantamentos de campo em quatro seções transversais (rios Mãe Catira, Ipiranga, Nhundiaquara e Marumbi), utilizando o método de Wolman para contagem de sedimentos e a técnica de Zingg para medição dos eixos. Posteriormente aos trabalhos de campo, foi realizada a classificação do tamanho e forma dos sedimentos e a quantificação dos tipos litológicos na área de drenagem de cada seção. Os resultados revelaram a predominância de sedimentos grosseiros, com 69,25% das amostras classificadas como matacões e um D_{50} médio de 101,38 mm. Quanto à forma, observou-se prevalência das classes compacta e oblata, indicando tendência ao formato esférico. Geologicamente, as unidades Serra da Graciosa e Gnáissico Migmatítico apresentaram maior representatividade. A classificação indica que o rio Ipiranga apresenta diferença em relação aos demais, com sedimentos maiores e mais compactos, possivelmente associados à predominância de depósitos coluviais holocênicos imediatamente a montante da seção. Conclui-se que a bacia apresenta comportamento típico de rios de montanha, com a coleta empírica de dados eficaz para as análises. Recomenda-se para estudos futuros a integração da declividade e eventos extremos para aprofundar a compreensão da dinâmica dos sedimentos.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia; rios de montanha; sedimentos; litologia.

Hydrogeomorphological analysis in the watershed of the Serra do Mar Paranaense mountain range

ABSTRACT

In mountain environments, characterized by the intense production and transport of sediments in river channels, parameters such as sediment size and shape vary according to their origin. This study investigated the hydrogeomorphological characteristics of the Nhundiaquara River basin (Serra do Mar Paranaense), aiming to characterize the size and shape of fluvial sediments and their relationship with lithology. The methodology involved field surveys at four cross-sections (Mãe Catira, Ipiranga, Nhundiaquara, and Marumbi rivers), using the Wolman method for sediment counting and the Zingg technique for measuring the axes. After the fieldwork, the size and shape of the sediments were classified, and the lithological types were quantified in the drainage area of each section. The results revealed a predominance of coarse sediments, with 69.25% of the samples classified as boulders and an average D_{50} of 101.38 mm. Regarding shape, the compact and oblate classes were prevalent, indicating a tendency towards a spheroidal shape. Geologically, the Serra da Graciosa and Migmatitic Gneissic units were the most representative. The classification indicates that the Ipiranga River differs from the others, with larger and more compact sediments. It may be associated with the predominance of Holocene colluvial deposits immediately upstream of its section. It is concluded that the basin exhibits typical mountain river behavior, with empirical data collection proving effective for the analysis. Future studies should integrate slope and extreme events to further understand sediment dynamics.

Keywords: Hydrogeomorphology; mountain rivers; sediments; lithology.

Introdução

Rios montanhosos apresentam canais com gradientes elevados, alta rugosidade do leito, grande variabilidade na forma do canal e no tamanho dos grãos, fluxo turbulento e incluem canais de primeira ordem (Paixão & Kobiyama, 2019). Suas características desencadeiam perigos principalmente na forma de inundações e fluxos de detritos (Wohl, 2010). Ao ocorrer elevadas vazões, desencadeando esses perigos naturais, os sedimentos são facilmente transportados das porções mais altas até as mais baixas no leito do rio (Ohmori & Shimazu, 1994).

O tamanho, quantidade e disposição dos sedimentos no leito do rio influenciam significativamente as variáveis hidráulicas da vazão (Hohermuth & Weitbrecht, 2018), visto que a vazão é o principal responsável pelo transporte de sedimentos em rios de montanha (Kalathil & Chandra, 2019). Da mesma forma, os sedimentos dos rios possuem características determinadas pelo clima, geologia e geomorfologia das bacias hidrográficas, influenciando no seu transporte (Dinis, 2019). A litologia e a resistência das rochas também influenciam nos fluxos de sedimentos das encostas para os canais (Roda-Boluda et al., 2018).

Com o intuito de compreender a dinâmica fluvial de transporte e deposição de sedimentos, estudos são direcionados sobre os fatores que controlam e influenciam na variação do tamanho dos sedimentos ao longo de um sistema fluvial, especialmente em regiões montanhosas geologicamente dinâmicas (Purinton & Bookhagen, 2021) e em ambientes tectonicamente ativos (Li et al., 2026).

Estudos demonstram que variáveis como resistência das rochas, inclinação dos canais (Takahashi, 2025) e litologia (Fratkin et al., 2020) influenciam na morfologia dos canais fluviais e no transporte de sedimentos. A influência das características litológicas das rochas também exerce um controle na composição dos sedimentos (Liedel et al., 2024). Estudo desenvolvido por Ma et al., (2025) enfatiza como diferentes variáveis de declividade, litologia e a resistência da rocha, controlam as distribuições granulométricas dos sedimentos ao longo do curso de rios montanhosos no Planalto Tibetano. A caracterização de ambientes montanhosos é indispensável para reduzir erros nas estimativas de transporte de sedimentos, onde o monitoramento in situ propicia estimar variáveis importantes como largura do canal, nível de água e tamanho do sedimento (Menezes & Kobiyama, 2023).

Desse modo, pesquisas bem consolidadas desenvolvidas em diversas regiões do mundo evidenciam a conexão entre a litologia, o transporte de sedimentos, parâmetros hidráulicos da vazão e a forma do canal em rios de montanhas. No Brasil, apenas nos últimos anos houve um aumento de estudos para avaliar as características hidrossedimentológicas em canais de rios montanhosos, limitados na compreensão da dinâmica dos sedimentos e variáveis hidráulicas (Faria, 2014; Merten & Minella, 2015; Paz & Paula, 2022; Menezes & Kobiyama, 2023; Paixão & Kobiyama, 2022; Campagnolo et al., 2024; Zambrano et al., 2025; Kominecki et al., 2026). Além disso, devido à ocorrência de megadesastre no estado do Rio Grande do Sul em 2024 (Collischonn et al., 2025), Feyt et al. (2026) e Minella et al. (2026) relataram as interações hidrogeomorfológicas em uma bacia montanhosa com base no monitoramento em campo. Esses trabalhos afirmaram a importância do estudo para a gestão de risco de desastres relacionados aos sedimentos.

Entretanto, percebe-se uma carência de estudos em território brasileiro direcionados no entendimento da relação entre a litologia e tamanho dos sedimentos em ambiente fluvial montanhoso. Devido à grande diversidade dos rios brasileiros, especialmente rios montanhosos e localizados em regiões costeiras, como na Serra do Mar, se faz necessário empreender pesquisas para entender os processos hidrogeomorfológicos (caracterização de sedimentos, litologia, vazão do rio, hidráulica do canal etc.) desses ambientes.

A Serra do Mar se configura como um conjunto de escarpas com cerca de 1.000 km de extensão, estendendo-se do Rio de Janeiro ao norte de Santa Catarina. Ela possui unidade orográfica da borda escarpada de planalto, formando cordões de serras paralelas e montanhas isoladas drenadas diretamente para o oceano atlântico. No estado do Paraná é caracterizada como uma cadeia de montanhas com cimos elevados de até 1.800 m de altitude (Almeida & Carneiro, 1998). Por outro lado, a região costeira paranaense apresenta diversos rios montanhosos, dentre esses se encontra o rio Nhundiaquara, sendo um dos rios mais significativos para o desenvolvimento econômico, especialmente o turismo, no município de Morretes. Com suas nascentes na Serra do Mar, o rio Nhundiaquara atravessa a área urbana de Morretes e deságua na baía de Paranaguá.

Os atrativos ecoturísticos do rio Nhundiaquara também são condicionantes para desastres naturais. Morretes possui histórico de

alagamentos, deslizamentos e inundações bruscas, como o evento extremo de chuvas ocorrido em março de 2011, ocasionando mortes e grandes danos à população (Esteves, 2015; Facuri & Picanço, 2021; Dias et al., 2022; Paz & Paula, 2022). Isso ainda mais necessita estudos relacionados aos sedimentos da região.

Devido a essas características presentes nos rios da Serra do Mar Paranaense, especificamente no município de Morretes (PR), o presente estudo visa contribuir para o desenvolvimento de estudos da geomorfologia fluvial no Brasil. Desse modo, o objetivo do estudo foi investigar, empiricamente, o tamanho e forma dos sedimentos fluviais de rios de montanha, analisando a relação das características desses sedimentos com a litologia local em diferentes trechos dos rios que compõem a bacia hidrográfica do Nhundiaquara (Morretes – PR).

Material e métodos

Área de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Nhundiaquara, a qual possui em sua totalidade 520,90 km², abrangendo os municípios de Morretes, Piraquara e Quatro Barras, localizados na região do litoral paranaense (Taveira & Santos, 2019). Com imenso patrimônio histórico e cultural, Morretes encanta seus visitantes com sua história, cultura e belezas naturais. Até desaguar na Baía de Antonina, o rio Nhundiaquara recebe diversos afluentes, entre eles o rio Ipiranga, rio Mãe Catira e o rio Marumbi (IBGE, 2022). A área de estudo se limitou em quatro trechos dos rios Mãe Catira, Ipiranga, Nhundiaquara e do rio Marumbi (Figura 1).

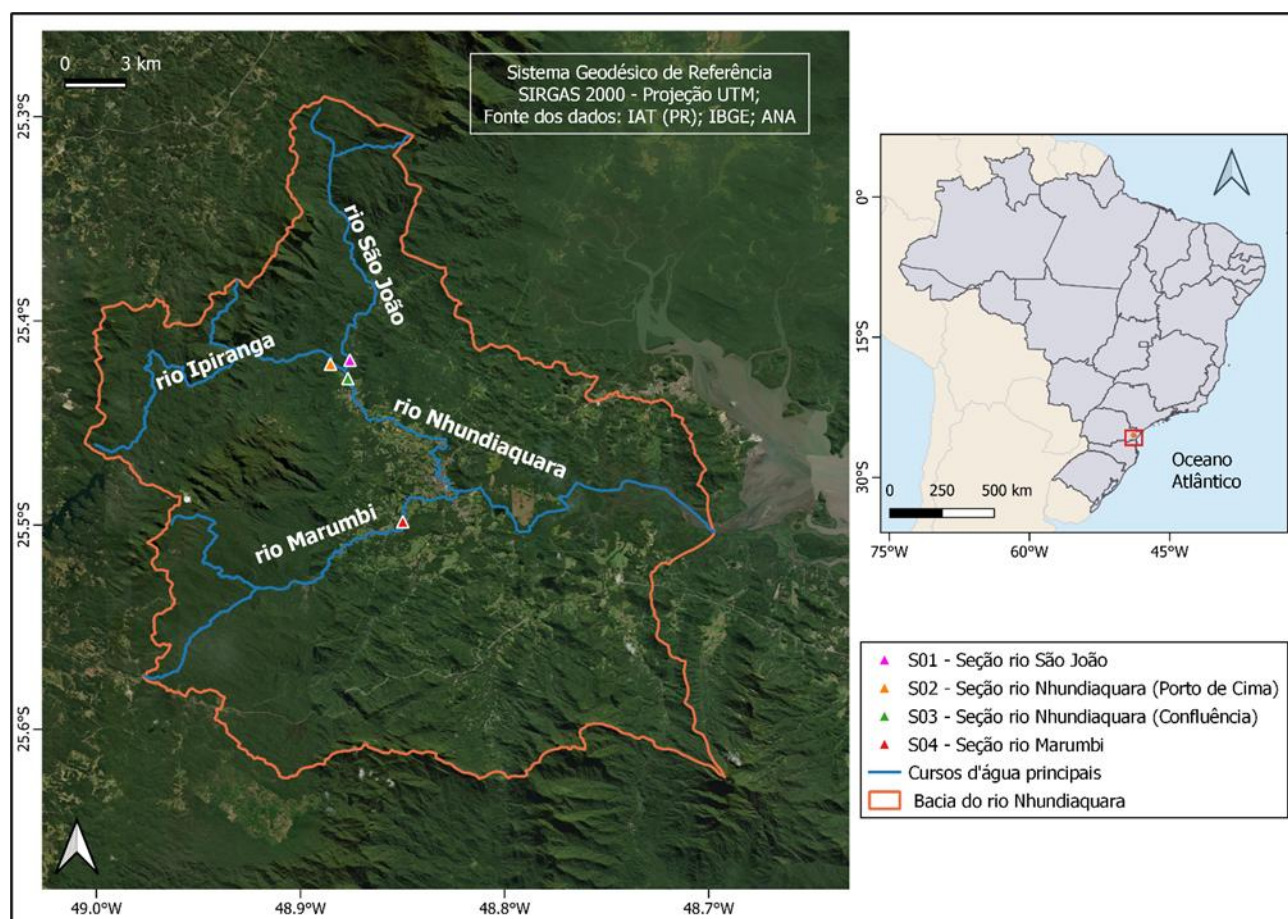


Figura 1. Localização da área de estudo, com as quatro seções do levantamento de campo.

Segundo classificação Köppen, o clima da planície costeira do Paraná é do tipo Cfa (Clima temperado chuvoso e moderadamente quente), subtropical com verões quentes, temperatura média no mês mais quente superior a 22°C e no mês mais

frio inferior a 18°C. Em direção a Serra do Mar, há ocorrência do clima tipo Cfa até altitude de 700m, a partir daqui passa a predominar o tipo climático Cfb (Subtropical úmido - mesotérmico com verão fresco), com maior abundância de precipitações e

temperatura média no mês mais quente não ultrapassando 22°C. Os maiores índices pluviométricos se concentram nos meses de verão, atingindo aproximadamente 2.500 mm/ano (Cunico, 2016).

A Bacia Hidrográfica Litorânea é composta por duas Unidades Morfoestruturais: Cinturão Orogênico do Atlântico e Bacias Sedimentares Cenozóicas. Cada uma das unidades morfoestruturais que compõem a bacia possuem classificações em unidades morfoestruturais: Serra do Mar, Primeiro Planalto Paranaense e Planícies (Instituto Água e Terra [IAT], 2017).

As subunidades morfoestruturais que compõem a área de estudo são: - Planície Litorânea e Planícies Fluviomarinhas, altitudes variando de 0 a 200 m, declividade predominante inferior a 6%, suas formas predominantes são as planícies de restinga e fluviomarinhas, terraços arenosos, dunas e praias, modeladas em sedimentos marinhos e fluviomarinhas; - Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas, encontra-se entre a Serra do Mar e a Planície Litorânea, apresentando declividade predominante de 6-30% e altitude variando de 200 a 600 m; - Serra do Mar Paranaense, apresenta um gradiente com altitudes variando de 20 a 1340 m e declividade predominante entre 12 – 30%; - Blocos Soerguidos da Serra do Mar, com um relevo de altitude variando entre 320 e 1360 m e declividade predominante entre 30 – 47% (IAT, 2017).

Geologicamente, a região de Morretes é marcada pela presença de rochas metamórficas, como gnaisses e quartzitos, e abundantes rochas ígneas, sedimentares e depósitos de sedimentos recentes. Essas características geológicas não apenas definem a paisagem da região, mas também influenciam a biodiversidade local, criando habitats únicos para diversas espécies de fauna e flora (Cunico, 2016).

A cobertura florestal da área de drenagem a montante dos trechos onde foram realizadas as medições é predominantemente de Mata Atlântica Ombrófila Densa, com diferentes fitofisionomias relacionadas com a diferença altimétrica. Nesse ecossistema ocorre vegetação de florestas de terras baixas, submontana, montana e altamontana. Parte da bacia do rio Nhundiaquara está protegida pelo Parque Estadual Pico do Marumbi e parte da bacia do rio Mãe Catira é protegida pelo Parque Estadual da Graciosa, ambas unidades de conservação geridas por IAT (2024).

O padrão de drenagem do rio Nhundiaquara é do tipo dendrítico (Gordon et al., 2004). As unidades geomórficas do canal nas

quatro seções analisadas são do tipo aluvial Riffle-Pool (Figura 2).

Levantamento de campo – Seção Transversal

As medições foram realizadas em quatro seções, distribuídas ao longo da bacia do rio Nhundiaquara, nomeadas como S01 (rio Mãe Catira), S02 (rio Ipiranga), S03 (rio Nhundiaquara – confluência do rio Mãe Catira e Ipiranga) e S04 (rio Marumbi) (Figura 1 e Figura 2). A contagem dos sedimentos foi realizada por meio do método proposto por Wolman (1954), considerando 100 amostras de sedimentos por seção analisada.

Os levantamentos foram realizados em momentos de baixo fluxo dos rios e sem ocorrência de chuva. Em cada seção de estudo, foram medidos sedimentos a cada 1 metro de distância, para tanto, foi estendida uma trena de fibra longa de 50 metros e amarrada nas duas margens do leito do rio. Assim, medindo também a largura do rio.

Para o levantamento das dimensões dos sedimentos foi utilizada a metodologia apresentada por Zingg (1935), com o auxílio de uma Suta Florestal (Mantax Blue – 800mm) (Figura 3a), na qual foram medidos os três eixos principais $a > b > c$ de cada sedimento (Angelidakis et al., 2022; Kobiyama et al., 2020). O diâmetro nominal (D_n) foi calculado como parâmetro geral de tamanho das amostras, conforme Bevenger e King (1995), descrito na Equação 1:

$$D_n = (a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

onde D_n é o diâmetro nominal; a é eixo mais longo; b é o eixo do meio; e c é o eixo mais curto.



Figura 2. Aspecto e morfologia das seções estudadas: (a) S01; (b) S02; (c) S03; e (d) S04.

Levantamento da Profundidade

O levantamento da profundidade na seção transversal em cada ponto analisado, consistiu na medição da largura da seção (W) com a trena de fibra e da profundidade vertical (H). Foi utilizado uma estaca para medir a profundidade a cada 1 metro da seção transversal, e uma trena básica de 5 metros (Figura 3b). Dessa forma, caracterizou-se a batimetria em cada trecho analisado.

Classificação de tamanho e forma dos sedimentos

A classificação do tamanho dos sedimentos (Tabela 1) foi realizada a partir do método proposto por Blott & Pye (2012), que utiliza a escala de $\log_2$ (mm) para a discretização do tamanho e considera classes de argila ($< 1/8192$ mm) a megaclastos (> 2048 mm). Foi utilizado o Dn como referência do tamanho das amostras nesta etapa.

Para a classificação da forma de cada amostra, a partir das dimensões dos eixos a, b, e c, foram empregados os métodos de Zingg (1935) e de Sneed e Folk (1958) (Figura 4). A classificação de Zingg propõe um diagrama bivariado entre os índices de alongamento (b/a) e de achatamento (c/b). O método utiliza razões de 2/3 para classificar os pontos em quatro categorias: compacta, oblata, prolata e laminar.

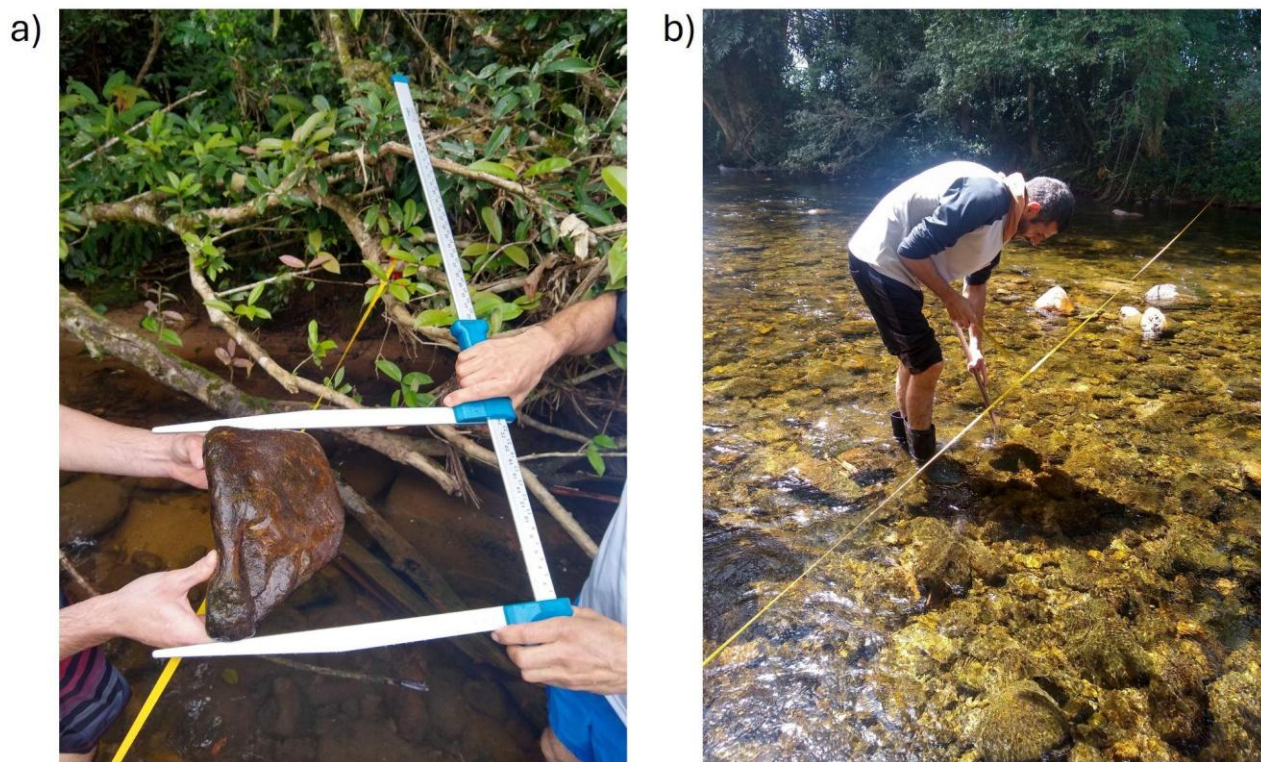


Figura 3. Trabalho em campo: a) Medição dos sedimentos com Suta Florestal; e b) medição da profundidade.

Tabela 1. Classes dos tamanhos dos sedimentos.

Primeira Ordem	Classes Segunda Ordem	Diâmetro nominal (mm)
Cascalho	Muito fino	2 a 4
	Fino	4 a 8
	Médio	8 a 16
	Grosso	16 a 32
	Muito grosso	32 a 64
Matacão	Muito pequeno	64 a 128
	Pequeno	128 a 256
	Médio	256 a 512
	Grande	512 a 1024
	Muito grande	1024 a 2048

A classificação de Sneed e Folk propõe a disposição dos dados em um diagrama ternário, a partir de um índice de equilíbrio (c/a) e pelo índice $(a-b)/(a-c)$, que representa uma relação entre achatamento e alongamento. O índice b/a é inversamente proporcional ao alongamento, o índice c/b é inversamente proporcional ao achatamento e o índice c/a é proporcional à compacidade, de maneira que representam as principais relações de forma (Blott & Pye, 2008).

Para a descrição da forma das amostras, foram computados índices de primeira ordem entre os eixos medidos.

Análise dos dados

Considerando que as quatro seções possuem amostragem significativa ($n=100$), foi realizada a análise de variância (ANOVA) e de testes post-hoc de Tukey para avaliação das séries de valores de D_n das amostras entre as seções medidas. Foram realizadas análises comparativas entre classes de forma dos sedimentos obtidas pelos métodos de Zingg (1935) e Sneed e Folk (1958), bem como entre as classes de tamanho (Blott & Pye, 2012), a partir de testes qui-quadrado (X^2) entre seções. Todas as análises foram realizadas considerando nível de confiança $\alpha = 0,05$ e processadas nos pacotes estatísticos statsmodels (v0.14.2) e SciPy stats (v1.11.4).

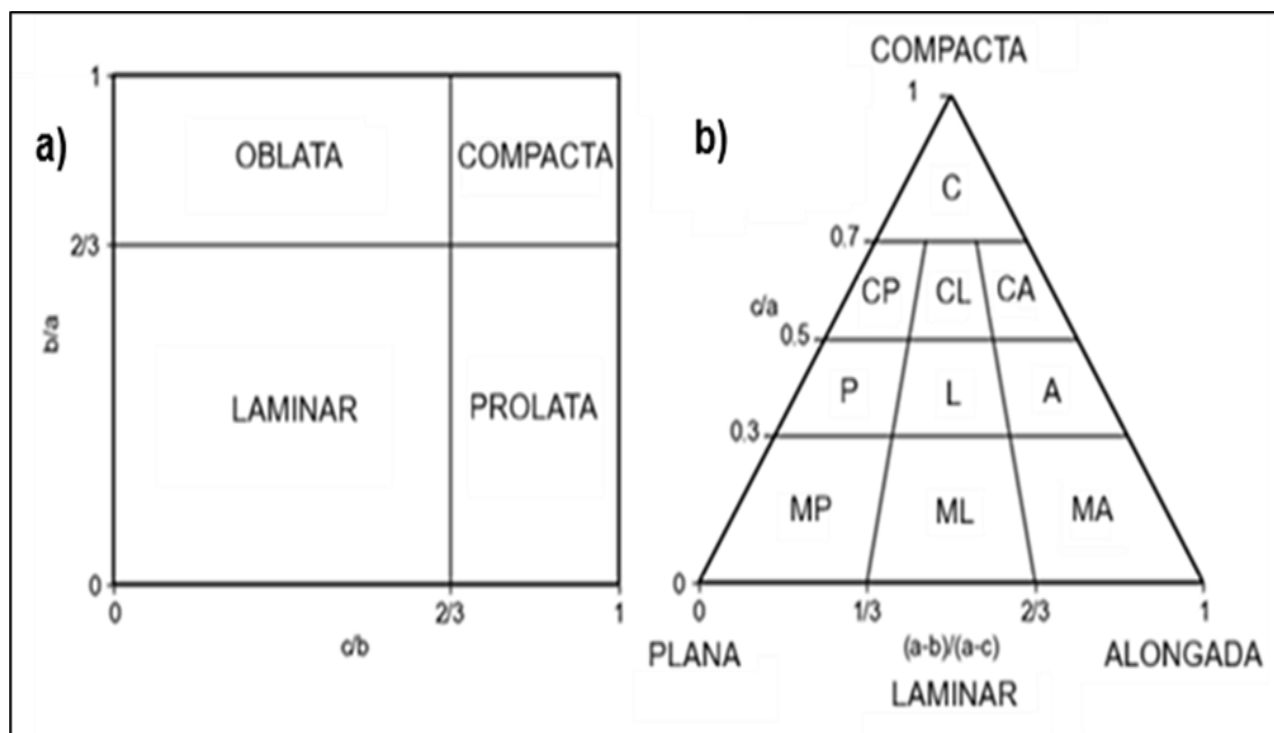


Figura 4. Classificação das formas dos sedimentos: (a) Diagrama de Zingg (1935); e (b) Diagrama de Sneed e Folk (1958).

Caracterização Geológica

As unidades geológicas da área de estudo foram determinadas a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do projeto Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil (IBGE, 2018). Este projeto consiste na produção, compilação, armazenamento e disseminação de informações relacionadas aos recursos naturais, abrangendo quatro áreas temáticas: geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação. A versão do projeto, utilizada no presente trabalho, é do ano de 2023.

Consistindo em arquivos vetoriais, no formato polígono e georreferenciados, escala compatível com 1:250.000, os arquivos foram manuseados no software ArcGis 10.5, sendo recortados os vetores da temática geologia no formato das 4 sub-bacias. A fim de mensurar a quantificação de cada unidade geológica presente nas 4 sub-bacias, foi realizado o cálculo por meio da calculadora de campo disponível no ArcGis, o que permitiu calcular a porcentagem de cada unidade geológica presente nas sub-bacias.

Resultados e discussões

Morfologia das seções e estatísticas descritivas

Os dados das variáveis hidráulicas obtidas com o levantamento em campo são apresentados na Tabela 2. A maior largura foi observada no canal de S03 (43 m), assim como os maiores valores dos parâmetros hidráulicos calculados. Esta característica pode estar associada à localização, uma vez que a seção está situada imediatamente a jusante da confluência dos rios de S01 e S02. No entanto, é importante ressaltar que as campanhas foram realizadas em datas distintas, de forma que a variação do nível da água oferece incerteza sobre a comparação dos valores medidos.

Tabela 2. Características da morfologia das seções e estatísticas descritivas de tamanho das amostras.

Seção	Morfologia da seção					Estatística descritiva – <i>D_n</i> (mm)						
	<i>W</i> (m)	<i>H</i> (m)	<i>W/H</i>	Área (m ²)	Perim (m)	Média	CV (%)	<i>D</i> ₁₀	<i>D</i> ₂₅	<i>D</i> ₅₀	<i>D</i> ₇₅	<i>D</i> ₉₀
S01	25	0,32	78,1	7,9	25,3	142,2	8,4	39,7	65,4	112,5	164,4	275,6
S02	20	0,28	71,7	5,5	20,2	208,5	9,0	53,1	75,2	143,8	282,4	459,3
S03	43	0,41	105,3	16,6	43,4	151,1	12,9	30,2	44,8	78,8	158,3	428,6
S04	22	0,25	86,5	5,9	23,2	98,8	8,3	24,3	45,7	70,4	119,7	207,1

Os dados apontam que todas as séries apresentam distribuição assimétrica positiva de *D_n*, cuja concentração ocorre em faixas de menor tamanho. Em S03 foi observada a maior amplitude e coeficiente de variância, enquanto característica inversa foi observada em S04. A análise de variância apontou diferença estatisticamente significativa para as médias das séries de *D_n* nas quatro seções. Os testes post-hoc identificam diferenças envolvendo apenas S02 em relação a todas as demais ($p < 0,05$).

Nas quatro seções amostradas, o valor médio de *D*₅₀ foi de 101,38 mm, classificado conforme a Tabela 1, em matacão muito pequeno. Classificação aproximada foi encontrada em um estudo desenvolvido por Menezes e Kobiyama (2023) no rio Forqueta (estado do Rio Grande do Sul), encontrando um valor médio de *D*₅₀ nas seções analisadas de 63,8 mm, classificando os sedimentos como cascalho muito grosso, o que demonstra a predominância de sedimentos entre as classes cascalho muito grosso (32 a 64 mm) e matacão muito pequeno (64 a 128 mm) em rios de montanha da região Sul do Brasil. Característica semelhante foram encontradas por Fratkin et al. (2020), em uma bacia hidrográfica caracterizada geologicamente por basalto, apresentando granulometria grossa, valor médio de *D*₅₀ = 53 mm, em uma região montanhosa na Cordilheira da Costa do Oregon (EUA). Já em uma bacia de composição de arenito, o mesmo estudo apresentou uma granulometria mais fina, média de *D*₅₀ = 30 mm.

Classificação do tamanho dos sedimentos

A análise da curva granulométrica (Figura 5) indica distribuição similar da ocorrência de classes intermediárias nas S01 e S02, bem como de classes de menor tamanho entre as seções S03 e S04. De forma geral, a predominância do tamanho

dos sedimentos amostrados se deu na classe de matações, correspondendo a 69,25% das amostras. A faixa de maior frequência está entre as classes de cascalho muito grosso e de matacão muito pequeno, entre 64 – 256 mm, que correspondem a 76,5%.

As seções S01 e S02 apresentaram significativa concentração de matações, que correspondem a 77% e 84%, das amostras em cada trecho, respectivamente. A predominância de sedimentos grosseiros – matações e cascalho muito grossos – encontradas nas quatro seções analisadas evidencia um comportamento sedimentológico típico de rios de montanhas, conforme apresentado por Wohl (2010) que identificou um suprimento limitado de sedimentos de cascalho fino e de tamanho menor em rios de montanhas.

Forma dos sedimentos

A análise da classificação de Zingg (Figura 6) aponta a predominância das classes de forma compacta (35,5%) e oblata (37%) nas quatro seções. Observa-se que o limite dos coeficientes de achatamento (*c/b*) e de alongamento (*b/a*) são próximos de 0,5 para todas as seções, indicando que os sedimentos da região tendem para formato esferoidal, com raras ocorrências nos extremos das demais classes.

Os diagramas de Sneed e Folk (Figura 7) demonstram predominância das classes laminar (23,25%), compacta-laminar (17,5%) e plana (14,5%), indicando equilíbrio entre os parâmetros de achatamento e de alongamento. Ainda, nota-se um limite inferior de *c/a* próximo à linha de referência 1/3, o que indica que os eixos apresentam valores próximos entre si, refletindo uma baixa ocorrência das classes muito-plana (0,75%), muito-alongada (1,5%) e muito-laminar (4,5%).

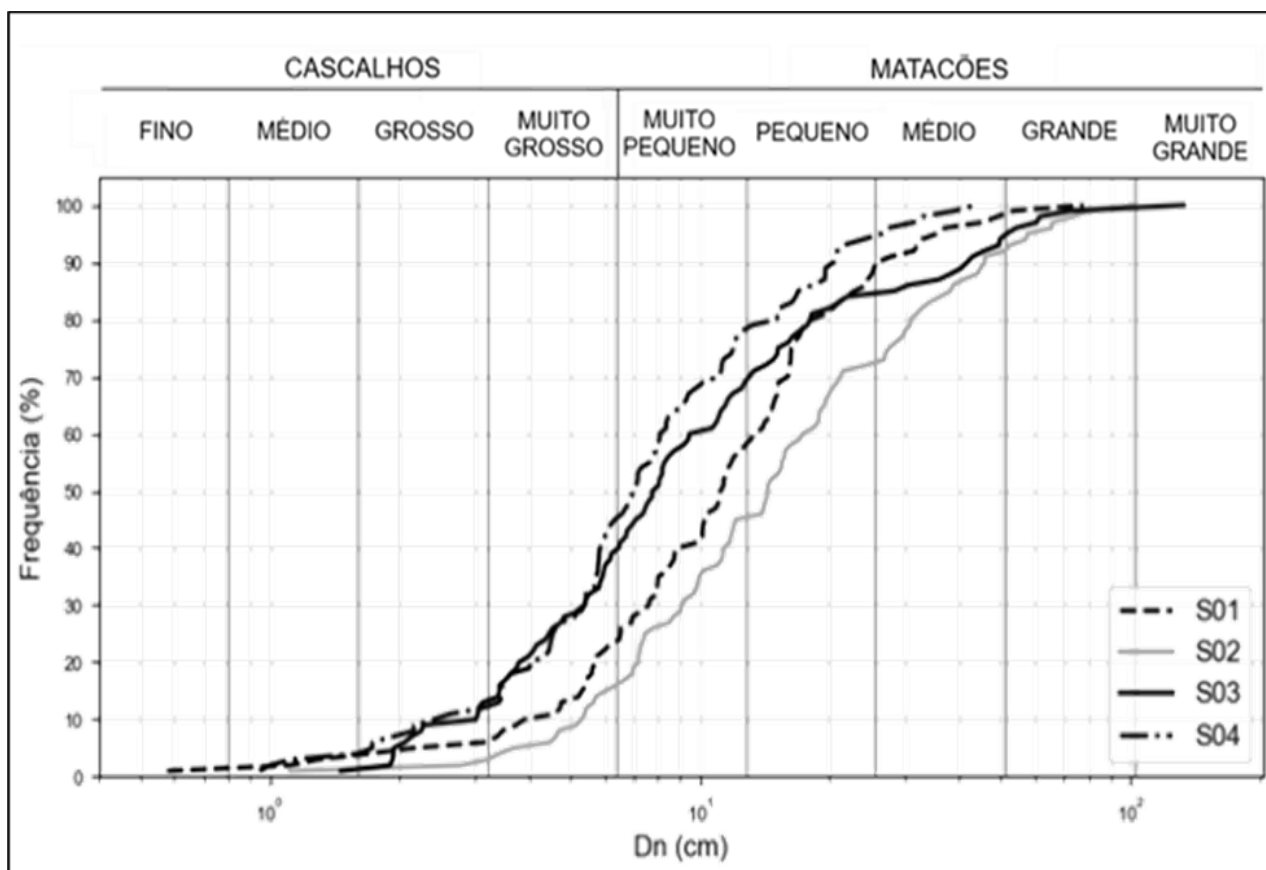


Figura 5. Curva da distribuição do tamanho dos sedimentos para as quatro seções.

A análise dos valores médios de cada seção indica que a forma dos sedimentos é similar nas quatro seções em termos de alongamento (índices b/a e $(a-b)/(a-c)$, nos diagramas de Zingg e de Sneed e Folk, respectivamente). No entanto, nota-se que a classificação da média da seção S02 difere das demais por apresentar menor achatamento (c/b) e maior compactidade (c/a), nos diagramas de Zingg e de Sneed e Folk, respectivamente.

Li et al. (2026) indicam que a forma alongada dos sedimentos tende a diminuir com o aumento do tamanho do grão, um padrão influenciado principalmente pela litologia. Sedimentos mais grossos geralmente possuem origem em rochas maciças e isotrópicas, como granitos ou quartzitos, que, ao sofrerem fraturamento, geram fragmentos em formato de blocos (equidimensionais), reduzindo o seu alongamento. O oposto ocorre com as frações mais finas, geralmente resultantes da clivagem de litologias do tipo xisto ou folhelho, originando sedimentos predominantemente alongados ou tabulares (Blott & Pye, 2008). Essas relações – litologia, forma e tamanho – converge com as nossas análises, que apontam uma predominância

de formatos compactos, oblatos e esferoidais, com poucas formas muito alongadas (Figura 6). Da mesma forma, nossos dados demonstram um equilíbrio entre parâmetros de achatamento e alongamento (Figura 7), o que indica sedimentos de origem litológica mista. Essa característica pode ser influenciada pela coexistência de rochas graníticas (favorecendo o predomínio de blocos) e rochas metamórficas (favorecendo formas alongadas), que representam as classes litológicas predominantes na área de estudo (Figura 8) (Tabela 3).

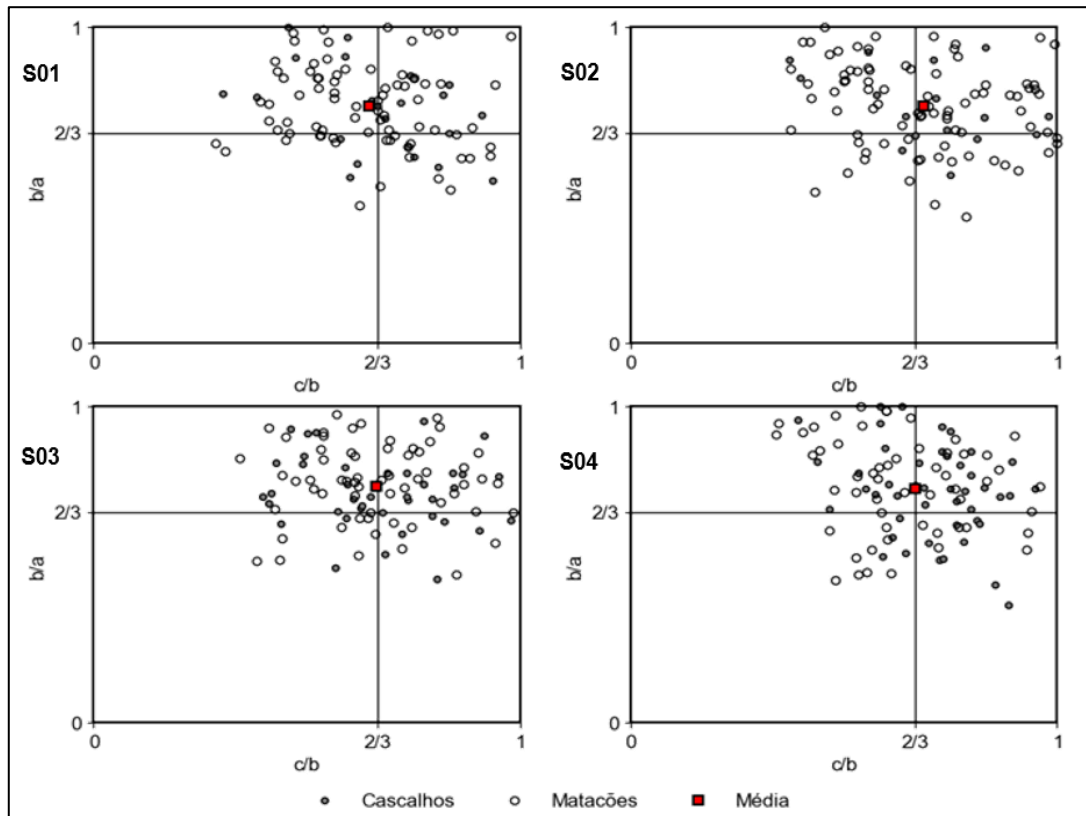


Figura 6. Diagrama de Zingg para as quatro seções.

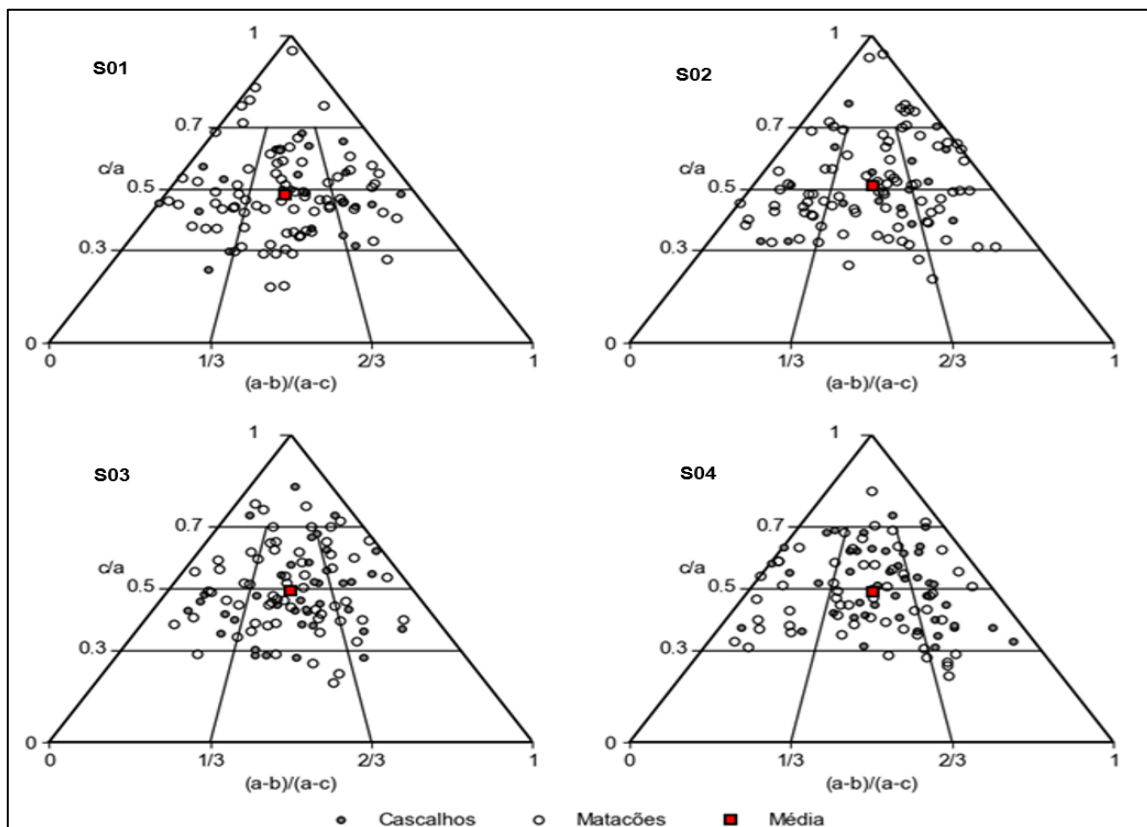


Figura 7. Diagrama de Sneed & Folk para as quatro seções.

Características geológicas

A partir da análise da base de dados obtidas do IBGE, foram identificadas, no total, oito unidades geológicas na área de estudo, distribuídas nas quatro sub-bacias analisadas (Figura 8). Com base na mensuração das unidades geológicas em cada sub-bacia das seções analisadas (Tabela 3), a unidade Telêmaco Borba é a que possui menor proporção em todas as sub-bacias. Esta unidade corresponde ao vulcanismo fissural da Bacia do Paraná, composta de apenas duas composições litológicas, diabásios e gabros (IBGE, 2018).

Já a unidade Serra da Graciosa, caracterizada pela presença de granito, é encontrada em maior proporção nas sub-bacias S01, S02 e S03. Diferentemente da sub-bacia S04, onde a unidade Gnáissico Migmatítico possui maior representação (38,26%), destaca-se que a Serra da Graciosa vem como segunda maior unidade nesta sub-bacia (34,75%).

A unidade Complexo Atuba, caracterizada por rocha metavulcânica e xisto, composta por gnaisses granodiorítico a monzogranítico, granítico, além de quartzito, é encontrada com considerada representação nas sub-bacias S01, S02 e S03, o que não ocorre na sub-bacia S04. Por outro lado, a sub-bacia S04 possui três unidades geológicas que não estão presentes nas demais sub-bacias: o Granito Miringuava (1,86%); A unidade Guaratubinha (2,67%), formada por rocha ígnea, é representada por concentrações litológicas de siltito, argilito, conglomerados e riolitos; O Complexo Gnáissico Migmatítico, constituído por gnaisses, graníticos e quartzitos, pertence à subprovincia Curitiba-Luis Alves Itajaí (IBGE, 2018).

Os Depósitos Aluvionares Holocênicos, unidade caracterizada por depósitos grosseiros a conglomeráticos, com uma litologia composta por arenito, areia quartzosa, cascalheira, silte e argila, estão presentes em todas as sub-bacias analisadas, sendo sua maior concentração na sub-bacia S04

(18,75%). Também se encontra em todas as sub-bacias, os Depósitos Coluviais Holocênicos, sua maior proporção está na sub-bacia S02 (15,55%). Esta unidade é caracterizada por material grosseiro, com partículas que vão desde silte a argila até matações, com pouco transporte, a composição litológica desta unidade é representada por arcósio, areia, argila, argilito, cascalho, silte e siltito (IBGE, 2018).

Os resultados da classificação dos sedimentos da seção S02, que difere das demais em tamanho e forma, podem estar relacionados à característica das unidades litológicas na bacia. É observada maior proporção de Depósitos Coluviais na bacia da seção S02 em relação às demais, com significativa ocorrência no trecho imediatamente a montante da seção. Também ocorre grande proporção da presença da unidade Serra da Graciosa, composta por granito, caracterizada por ser uma rocha com alta resistência. O trecho da sub-bacia S04 apresenta predomínio da presença de rocha metamórfica, o que pode estar atribuído a uma maior concentração de sedimentos grosseiros, como cascalho.

De forma geral, os resultados obtidos demonstram pequenas diferenças entre o tamanho e forma dos sedimentos nas seções analisadas, assim como algumas diferenças no tipo de litologia. A relação do tipo litológico e tamanho dos sedimentos também foi observada em bacia hidrográfica montanhosa do Planalto Tibetano, Ma et al. (2025) constataram que cascalhos de granito são 1,5 a 2 vezes maiores do que cascalhos de arenito, e calcário em áreas a montante do rio. No entanto, os autores indicam que na maioria das áreas a jusante, o tamanho dos sedimentos se tornou quase uniforme. Atribuindo essa característica a outros fatores como o transporte hidráulico ou à deposição a montante

Tabela 3. Unidades Geológicas presentes em cada sub-bacia analisada.

Unidade Geológica	Bacia S01 (%)	Bacia S02 (%)	Bacia S03 (%)	Bacia S04 (%)
Atuba (metamórficas)	19,18	15,12	16,76	-
Depósitos Aluvionares Holocênicos	5,21	2,03	3,9	18,75
Depósitos Coluviais Holocênicos	6,85	15,55	11,61	2,14
Granito Miringuava	-	-	-	1,86
Guaratubinha (Ígnea)	-	-	-	2,67
Gnáissico Migmatítico (metamórfica)	-	-	-	38,26
Serra da Graciosa (graníticas e metamórficas)	64,23	66,03	65,1	34,75
Telêmaco Borba (Ígnea)	4,5	1,25	2,6	1,54

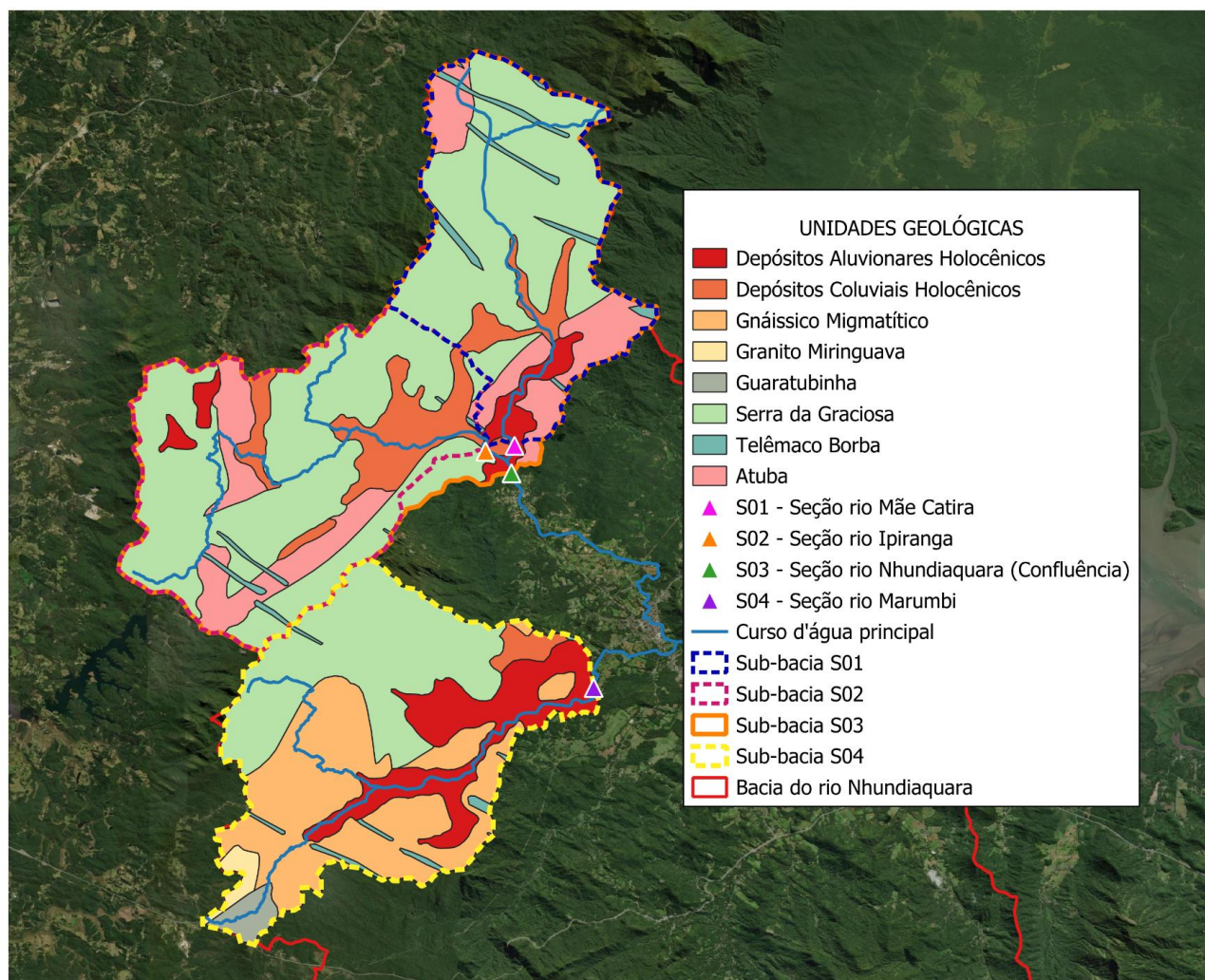


Figura 8. Unidades geológicas presentes nas 4 sub-bacias analisadas.

De acordo com Rutyna (2024), a litologia atua em conjunto com os processos de intemperismo, erosão e transporte de sedimentos na modulação dos padrões de sedimentação em sistemas fluviais, especialmente em estuários como a Baía de Antonina. O autor enfatiza que a litologia na região da Serra do Mar é a variável mais determinante para estimar o Stream Length-Gradient Index (SL) (Hack, 1973), o que influencia diretamente a capacidade de erosão e deposição ao longo dos canais.

Em contrapartida, Roda-Boluda et al., (2018) destacam que a resistência da rocha e o suprimento de tamanho de grão variam significativamente em um mesmo grupo litológico, ocorrendo uma dependência do grau local de intemperismo e fraturamento, e, ao considerar apenas a resistência da rocha não explica a diferença no tamanho de grão. Dessa forma, além da litologia, aspectos como declividade, grau de intemperismo e de fraturamento e capacidade de

transporte hidráulico devem ser considerados em estudos sobre hidrogeomorfologia.

Conclusão

O presente estudo permitiu caracterizar os aspectos hidrogeomorfológicos de quatro seções da bacia do rio Nhundiaquara, revelando as características de sedimentos de rios de montanha. Demonstrando a predominância de sedimentos grosseiros, em sua maioria classificados como matacões. A classificação de tamanho dos sedimentos indica predomínio de cascalhos muito grossos a matacões muito pequenos, sendo que 76,5% das amostras estão na faixa 64 – 256 mm. A classificação de forma indica predomínio de formas compactas, com baixa ocorrência de sedimentos excessivamente alongados ou achatados.

A análise das unidades litológicas indica predominância de granitos nas vertentes mais

elevadas e ocorrência de depósitos aluvionares e coluvionares próximo aos canais fluviais. Os testes estatísticos de tamanho e forma dos sedimentos apontaram diferença na S02 em relação às demais. A diferença em S02 também foi apontada na classificação do tamanho dos sedimentos e média da forma dos sedimentos pelos métodos de Zingg e de Snedd & Folk. Destacando que essas diferenças podem estar associadas à maior ocorrência de depósitos coluvionares imediatamente a montante da S02.

A metodologia utilizada, com amostragem em campo e posterior análise com métodos estatísticos, se mostrou satisfatória para caracterizar o tamanho e forma dos sedimentos fluviais, demonstrando que a aplicação *in loco* é uma técnica eficaz para estudos de sedimentologia.

Cabe salientar que para realizar uma relação aprofundada quanto ao tipo de sedimento (tamanho e forma) e a influência da litologia é necessário empreender estudos mais detalhados e considerando outros fatores como a declividade, a vazão, clima, o grau de intemperismo e a ocorrência de eventos hidrológicos, como enxurradas, deslizamentos, fluxos de detritos e cabeça d'água, como agentes transformadores do canal do rio e do transporte de sedimentos. Dessa forma, estudos futuros envolvendo parâmetros hidrogeomorfológicos adicionais, como a declividade do canal e rugosidade da seção, podem aprofundar a compreensão da relação entre tamanho e forma dos sedimentos na área de estudo. De forma similar, a avaliação do grau de intemperismo, transporte de sedimentos e ocorrência de eventos hidrológicos podem auxiliar a esclarecer a influência da litologia sobre a geomorfologia da seção.

Por fim, os resultados demonstraram a caracterização dos sedimentos e da litologia em diferentes cursos d'água da bacia do rio Nhundiaquara, evidenciando o predomínio de sedimentos típico de rios de montanha da região costeira do Sul do Brasil. Como a região de estudo está coberta pela rica Mata Atlântica, há presença de muitos troncos nos cursos d'água, os quais significativamente influenciam a dinâmica hidrogeomorfológica (Campagnolo & Kobiyama, 2021; Campagnolo et al., 2024). Assim sendo, recomenda-se empreender mais pesquisas que incorporem demais fatores influenciadores da dinâmica hidrogeomorfológica, tal como a dinâmica da vegetação lenhosa no rio na área de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa (CNPq/MCTI Nº 10/2023 – UNIVERSAL).

Referências

- Almeida, F. F. M. de, & Carneiro, C. D. R. (1998). Origem e evolução da Serra do Mar. *Brazilian Journal of Geology*, 28(2), 135–150.
- Angelidakis, V., Nadimi, S., & Utili, S. (2022). Elongation, flatness and compactness indices to characterise particle form. *Powder Technology*, 396, 689–695.
- Bevenger, G. S., & King, R. M. (1995). *A pebble count procedure for assessing watershed cumulative effects* (Res Pap RM-RP-319). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. <https://doi.org/10.2737/RM-RP-319>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2008). Particle shape: A review and new methods of characterization and classification. *Sedimentology*, 55(1), 31–63.
- Blott, S. J., & Pye, K. (2012). Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59(7), 2071–2096.
- Campagnolo, K.; Kobiyama, M. (2021) Woody debris characterization in a small basin with araucaria forest. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(2), 463-474. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i2.1984>.
- Campagnolo, K.; Kobiyama, M.; Fagundes, M.R.; Menezes, D.; Iroumé, A.; Michel, G.P.; Rodrigues, M.F. (2024) Influence of large wood dynamics on flow and channel morphology in a forest stream. *Geomorphology*, 459, 109268. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109268>.
- Collischonn, W., Fan, F. M., Possanti, I., Dornelles, F., Paiva, R., Medeiros, M. S., Michel, G. P., Magalhães Filho, F. J. C., Moraes, S. R., Marcuzzo, F. F. N., Michel, R. D. L., Beskow, T. L. C., Beskow, S., Fernandes, E. H. L., Santos, L. L., Ruhoff, A., Kobiyama, M., Collares, G. L., Buffon, F., . . . Piccilli, D. G. A. (2025). The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. *Brazilian Journal of Water Resources*, 30, e1.

- <https://doi.org/10.1590/23180331.302520240119>.
- Cunico, C. (2016). *Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Paraná-Litoral*. ITCG. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterterra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/zeepirlitoralweb.pdf
- Dias, V.C., McDougall, S., & Vieira, B.C. (2022). Geomorphic analyses of two recent debris flows in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 113, 103675. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103675>
- Dinis, P. A., Freitas, M. C., & Santos, P. P. (2019). Sedimentos. In M. J. Feio & V. Ferreira (Orgs.), *Rios de Portugal: Comunidades, processos e alterações*. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Esteves, C. J. de O. (2015). Vulnerabilidade socioambiental na área de ocupação contínua do litoral do paraná – Brasil. *Ra'e Ga: O Espaço Geográfico Em Análise*, 34, 214–245. <https://doi.org/10.5380/raega.v34i0.39133>
- Facuri, G. G., & Picanço, J. L. (2021). Evaluations and proposals for the debris flow hazard mapping method of the GIDES Project. *Landslides*, 18, 339–352.
- Faria, A. P. (2014). Transport of sediments in first order streams: Geomorphological responses. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(2), 191–202.
- Feyh, G.A., Minella, J. P. G., Saatkamp, E.D., Buligon, L., Merten, G.H., Bernardi, F., Silva, C. C., Costa, A.G., & Dambroz, A.P.B. (2026). Geomorphic Effectiveness of an Extreme Flood in a Mountain River: Evidence From Pre-and Post-Event Surveys in a Subtropical Region of Southern Brazil. *Hydrological Processes*, 40, e70555. <https://doi.org/10.1002/hyp.70555>
- Fratkin, M. M., Segura, C., & Bywater-Reyes, S. (2020). The influence of lithology on channel geometry and bed sediment organization in mountainous hillslope-coupled streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(10), 2365–2379. <https://doi.org/10.1002/esp.4885>
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., & Nathan, R. J. (2004). *Stream hydrology: An introduction for ecologists*. John Wiley and Sons.
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1(4), 421–429.
- Hohermuth, B., & Weitbrecht, V. (2018). Influence of bed-load transport on flow resistance of step-pool channels. *Water Resources Research*, 54(8), 5567–5583.
- IAT – Instituto Água e Terra. (2017). *Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea*. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterterra/arquivos_restritos/files/documento/202005/p01_caracterizacao_geral_rev02-lr.pdf
- IAT – Instituto Água e Terra (2024). *Parque Estadual Pico do Marumbi (PEPM)*. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Parque-Estadual-Pico-do-Marumbi-PEPM>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Mapeamento de recursos naturais do Brasil: Documentação técnica geral*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo de 2022: Morretes, PR*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/morretes/historico>
- Kalathil, S. T., & Chandra, V. (2019). Review of step-pool hydrodynamics in mountain streams. *Progress in Physical Geography*, 43(5), 607–626.
- Kobiyama, M., Campagnolo, K., Menezes, D. de, & Paixão, M. A. (2020). Manejo da zona ripária para redução de risco de desastres no ambiente montanhoso. In L. Magnoni Jr. et al. (Orgs.), *Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano* (2ª ed., pp. 764–794). CPS.
- Kominecki, A., Lima, A.G. & Vestena, L.R. (2026) Junction angle as a primary control on bed sediment characteristics in bedrock river confluences. *Geomorphology*, 504, 110307. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2026.110307>
- Menezes, D. de, & Kobiyama, M. (2023). Hydrosedimentological characterization of a reach in the Forqueta River catchment, south Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 128, Artigo 104430.
- Minella, J. P. G., Buligon, L., Silva, C. C., Londero, A.L., Dambroz, A.P.B., Silva, P.R.B., Feyh, G.A., Saatkamp, E.D., Schlesner, A., Fernando, E., Merten, G.H., Carvalho, L.F.D., Papalia, D., & Rubert, T. (2026) Extreme Hydrological and Erosive Processes During the April 2024 Event: A Small Catchment-Monitoring Experience in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 50,

- e0250117. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20250117>
- Li, K., Ma, X., Luo, M., & Nie, R. (2026). Sediment shape as a proxy for fluvial processes: A factorial analysis in the Yarlung Tsangpo Grand Canyon. *Sedimentology*, 1–22. <https://doi.org/10.1111/sed.70108>
- Liedel, S., Caracciolo, L., Beltrán-Triviño, A., Restrepo, J. C., Restrepo Ángel, J. D., & Szczerba, M. (2024). A quantitative provenance analysis (QPA) approach to quantify controls on sediment generation and sediment flux in the upper reaches of the Magdalena River (Colombia): 2. Lithological control on contribution to silt- to clay-sized fractions. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 129(5), e2023JF007379. <https://doi.org/10.1029/2023JF007379>
- Ma, Z., Ma, Y., Zhao, X., Zhang, J., & Zhang, H. (2025). Downstream fining of fluvial gravels along the eastern Tibetan Plateau rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 50(2), e70016. <https://doi.org/10.1002/esp.70016>
- Merten, G. H., & Minella, J. P. G. (2015). Bedload flux in southern Brazilian basalt scarp. *IAHS Publication*, 367, 185–192.
- Ohmori, H., & Shimazu, H. (1994). Distribution of hazard types in a drainage basin and its relation to geomorphological setting. In *Geomorphology and Natural Hazards* (pp. 95–106). Elsevier.
- Paixão, M. A., & Kobiyama, M. (2019). Relevant parameters for characterizing mountain rivers: A review. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24, 1–13.
- Paixão, M. A., & Kobiyama, M. (2022). Flow resistance in a subtropical canyon river. *Journal of Hydrology*, 613(Part B), Artigo 128428. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128428>
- Paz, P.L.S. & Paula, E.V. (2022) Sedimentologia e reconstituição volumétrica de depósitos de corridas de lama em planície aluvial: estudo na bacia do rio Jacareí, Paraná. *Sociedade & Natureza*, 34, e64381.
- Purinton, B., & Bookhagen, B. (2021). Tracking downstream variability in large grain-size distributions in the south-central Andes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 126(8), e2021JF006260. <https://doi.org/10.1029/2021JF006260>
- Roda-Boluda, D. C., D’Arcy, M., McDonald, J., & Whittaker, A. C. (2018). Lithological controls on hillslope sediment supply: Insights from landslide activity and grain size distributions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(5), 956–977.
- Rutyna, B. B. (2024). *O aporte fluvial para a baía de Antonina (PR) e as suas consequências sobre os depósitos sedimentares estuarinos* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná].
- Sneed, E. D., & Folk, R. L. (1958). Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: A study in particle morphogenesis. *The Journal of Geology*, 66(2), 114–150.
- Takahashi, N.O. (2025) Relative role of rock erodibility and sediment load in setting channel slope of mountain rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 50(2), e70017. Available from: <https://doi.org/10.1002/esp.70017>
- Taveira, B. D. de A., & Santos, I. dos. (2019). Avaliação do efeito de mudanças climáticas na vazão e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Nhundiaquara, Serra do Mar Paranaense. *Boletim de Geografia*, 37(2).
- Wohl, E. (2010). *Mountain rivers revisited*. John Wiley & Sons.
- Wolman, M. G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 35(6), 951–956.
- Zambrano, F. C., Kobiyama, M., & Narvaez Campo, G. (2025). Uncertainty analysis of sediment size estimations in gravel-bed reaches in Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105544>
- Zingg, T. (1935). Beitrag zur schotteranalyse. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 15, 39–140.