

CURVA-CHAVE DE VAZÕES E SEDIMENTOS COMO FERRAMENTA PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DO RIO SAPUCAÍ

KEY CURVE OF FLOW AND SEDIMENT AS A TOOL FOR THE WATER SUSTAINABILITY OF THE SAPUCAÍ RIVER

CURVA CLAVE DE CAUDALES Y SEDIMENTOS COMO HERRAMIENTA PARA LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA DEL RÍO SAPUCAÍ

Alexandre Germano Marciano¹

Alexandre Augusto Barbosa²

Franciele Marilies Estevam³

Vera Cristina Scheller dos Santos Rocha⁴

André Luiz Vieira Barouch⁵

Resumo

A sedimentação e o transporte são capazes de evidenciar importantes processos de degradação do meio ambiente, que comprometem a qualidade da água. O estudo em áreas com intenso transporte de sedimentos permite avaliar o assoreamento dos cursos d'água, o que é especialmente relevante em locais sujeitos a inundações. Neste estudo, foi feita a determinação da caracterização sedimentológica e das descargas sólidas e líquidas de uma seção da bacia do Alto Sapucaí. A partir desses dados, foi elaborada uma curva-chave para relacionar diferentes valores de descarga sólida. Essa abordagem permitiu avaliar de forma rápida e eficaz o transporte de sedimentos na bacia do rio Sapucaí. Os resultados obtidos permitiram avaliar a qualidade e a quantidade da água disponível nos cursos d'água dessa região. A curva-chave é de grande utilidade para trabalhos futuros relacionados à avaliação da descarga de sedimentos na bacia do rio Sapucaí.

Palavras-chave: descarga sólida; descarga líquida; modelo empírico; curva de sedimentos; rio Sapucaí.

Abstract

Sedimentation and transport are capable of highlighting important environmental degradation processes that compromise water quality. The study of areas with intense sediment transport allows for the assessment of river channel siltation, which is especially relevant in regions prone to flooding. In this study, sedimentological characterization and solid and liquid discharges were determined for a section of the Alto Sapucaí basin. Based on these data, a key curve was developed to relate different values of solid discharge. This approach enabled a quick and effective evaluation of sediment transport in the Sapucaí River basin. The results allowed for an assessment of both the quality and quantity of water available in the region's watercourses. The key curve is highly useful for future studies related to sediment discharge evaluation in the Sapucaí River basin.

Keywords: solid discharge; liquid discharge; empirical model; sediment curve; Sapucaí river.

¹ Servidor público da Universidade Federal de Itajubá. Tem experiência na área de Engenharia Hídrica e Meteorologia, com ênfase em Inundações.

² Graduação em engenharia mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1988). Mestrado em engenharia mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1991). Doutorado em engenharia ambiental pela Universidade de São Paulo (1999).

Professor titular da Universidade Federal de Itajubá (MG), desde 1993. Atividades atuais principais: ensino e controle de enchentes.

³ Docente de curso na modalidade EAD do Centro Universitário Internacional - UNINTER, no qual integra o Grupo de Pesquisa Atlas Nacional da Educação Superior Geociências.

⁴ Pertence ao corpo docente - Escola Superior de Educação do Centro Universitário Internacional - UNINTER.

⁵ Possui graduação pela Universidade Vale do Rio Verde (2008). Tem experiência na área de Engenharia Ambiental, com ênfase em Geomática.

Resumen

La sedimentación y el transporte son capaces de evidenciar importantes procesos de degradación ambiental que comprometen la calidad del agua. El estudio en zonas con intenso transporte de sedimentos permite evaluar el embancamiento de los cursos de agua, lo cual es especialmente relevante en regiones propensas a inundaciones. En este estudio se realizó la caracterización sedimentológica y la determinación de las descargas sólidas y líquidas en una sección de la cuenca del Alto Sapucaí. A partir de estos datos, se elaboró una curva clave para relacionar diferentes valores de descarga sólida. Este enfoque permitió evaluar de manera rápida y eficaz el transporte de sedimentos en la cuenca del río Sapucaí. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la calidad y la cantidad de agua disponible en los cursos de agua de esta región. La curva clave es de gran utilidad para futuros trabajos relacionados con la evaluación de la descarga de sedimentos en la cuenca del río Sapucaí.

Palabras clave: descarga sólida; descarga líquida; modelo empírico; curva de sedimentos; río Sapucaí.

1 Introdução

O aumento da sedimentação nos cursos d'água, agravado por processos de urbanização desordenada e uso inadequado do solo, tem provocado sérios impactos hidrológicos e ambientais, como o assoreamento de rios, a degradação da qualidade da água e a intensificação de inundações (Souza; Perez Filho; Stefanuto, 2025). Esses impactos são preocupantes nas zonas urbanas onde há áreas de várzeas e de pouca capacidade de infiltração do solo. A compreensão da dinâmica do transporte de sedimentos se torna fundamental para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, sobretudo em bacias hidrográficas sujeitas à intensa pressão antrópica.

A expansão urbana e a intensificação das atividades agropecuárias têm promovido a ocupação desordenada do espaço, especialmente em períodos históricos com limitada preocupação com a conservação dos recursos naturais, como água e solo, devido à baixa disseminação de informações ambientais (Tucci, 2020). Como consequência, observa-se uma pressão significativa sobre os ecossistemas, desencadeando problemas como a degradação dos recursos hídricos (Marcondes; Barbosa, 2010).

A gestão integrada dos recursos hídricos busca garantir a disponibilidade de água em qualidade e quantidade adequadas às necessidades da sociedade, considerando as interações entre as atividades humanas e o meio natural no contexto das bacias hidrográficas (Tundisi; Tundisi, 2021). Alterações nos cursos dos rios, decorrentes de intervenções antrópicas, impactam diretamente a qualidade e a quantidade da água, modificando o ciclo hidrossedimentológico. Essas mudanças favorecem o aumento do assoreamento e a ocorrência de inundações, especialmente em sistemas de drenagem urbana, devido ao acúmulo de sedimentos nas calhas dos rios (Issaka; Ashraf, 2017).

As principais práticas que afetam o ciclo hidrossedimentológico incluem o desmatamento, a agricultura intensiva, a urbanização, a mineração, a construção de infraestrutura viária, a

retificação e o barramento dos cursos d'água, que alteram a dinâmica e o regime fluvial (Traskurkemb, 2023). A urbanização, em particular, reduz a infiltração de água no solo, aumentando a velocidade do escoamento superficial e a energia cinética do fluxo, o que intensifica o transporte de sedimentos para os corpos d'água (Sari; Poletto; Castro, 2013).

De acordo com Carvalho *et al.* (2000) e Borella *et al.* (2020), os sedimentos em suspensão representam a maior parte da descarga sólida total em sistemas fluviais, frequentemente compreendendo até 95% do material transportado. A sedimentação e o transporte desses sedimentos comprometem a qualidade da água, uma vez que o aumento de nutrientes carregados pode acelerar processos de eutrofização, além de alterar a fertilidade do solo e gerar perdas significativas de material (Gadelha *et al.*, 2023). Esses processos também contribuem para o assoreamento, reduzindo o volume útil dos corpos hídricos, diminuindo sua vida útil e elevando os riscos de inundações.

Os sedimentos têm origem no ciclo das rochas, resultando da degradação de rochas ígneas ou sedimentares por processos de intemperismo, sendo posteriormente transportados por mecanismos erosivos (Carvalho, 2020). O transporte é influenciado por fatores físicos, como a granulometria dos sedimentos, e por aspectos químicos e biológicos. No âmbito biológico, a vegetação desempenha um papel crucial, pois as faixas de mata ciliar atuam como barreiras naturais, reduzindo o carreamento de sedimentos (Privado; Trindade; Gonçalves, 2024). Já no aspecto químico, a composição do solo e das rochas influencia diretamente o volume de sedimentos mobilizados.

A curva-chave do rio Sapucaí, no município de Itajubá / MG, é uma ferramenta essencial para o monitoramento hidrológico da região. Ela estabelece a relação entre o nível da água (cota) e a vazão do rio em uma seção específica, permitindo a conversão de leituras de nível em estimativas de vazão, fundamentais para a gestão de recursos hídricos e o planejamento de ações em situações de cheia ou de estiagem.

A elaboração de curvas-chave de sedimentos é uma metodologia eficaz para estimar a carga sólida em suspensão, como demonstrado por Marcondes e Barbosa (2010) no próprio rio Sapucaí, em Itajubá, e por Bellinaso e Paiva (2007) na bacia do rio Arroio Vacacaí-Mirim em Santa Maria/RS. Esses estudos reforçam que a relação entre vazão e sedimentos varia conforme as características locais e a sazonalidade, especialmente durante eventos de cheia. Em contraste, métodos alternativos como o uso de sensores automáticos de turbidez, adotado por Pinto *et al.* (2016) na bacia do Paraíba do Sul, permite o monitoramento em tempo real, mas depende de infraestrutura e dados contínuos. Assim, em regiões urbanas com limitações técnicas, como

Itajubá, a construção de curvas-chave empíricas permanece como uma solução prática, acessível e tecnicamente robusta para o monitoramento hidrossedimentológico.

Diante da importância do monitoramento do ciclo hidrossedimentológico para a gestão dos recursos hídricos, este estudo tem como objetivo avaliar o transporte de sedimentos no rio Sapucaí, com ênfase na descarga sólida em uma seção localizada no bairro Santa Rosa, em Itajubá. A escolha dessa área se justifica pela presença de uma estação de monitoramento de inundações, o que possibilita a coleta eficiente de dados. A caracterização da descarga sólida nessa seção permitirá compreender os efeitos das intervenções antrópicas na dinâmica fluvial e fornecer subsídios para ações de controle da sedimentação e mitigação de impactos, como assoreamento e inundações.

2 Materiais e métodos

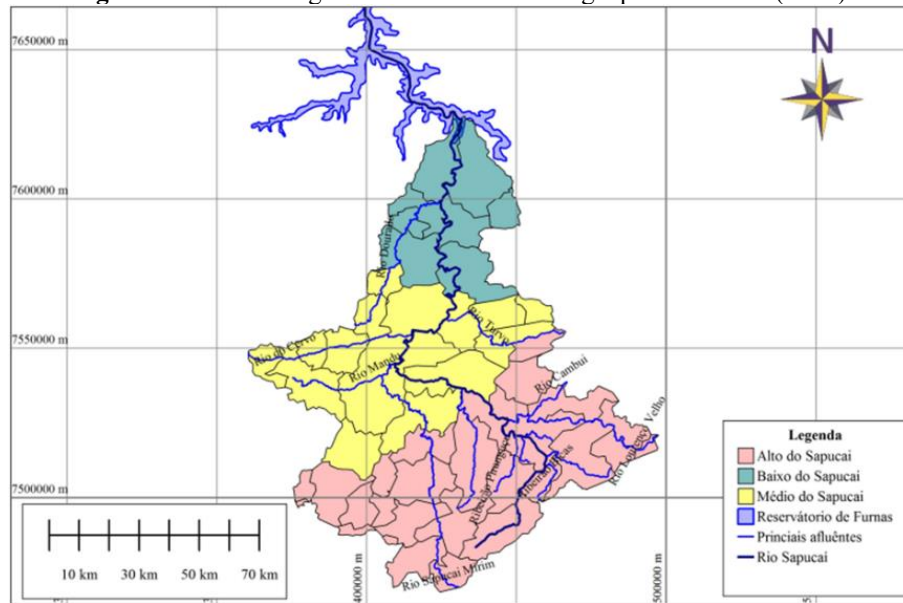
2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na seção do rio Sapucaí, na estação de captação de água operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), situada no bairro Santa Rosa, no município de Itajubá, Minas Gerais. Nesta estação, encontra-se instalada uma unidade de monitoramento de inundações, que auxilia na coleta de dados hidrológicos (Vianna *et al.*, 2021).

Nessa área, o relevo é predominantemente com topos arredondados, vertentes côncavo-convexas, planícies aluvionares abertas e vales encaixados, com drenagem do tipo dendrítica. As declividades variam de até 25% nas áreas de nascente, diminuindo para valores médios ao longo das planícies (Marciano, 2019). O clima da região varia entre tropical e temperado, influenciado pela elevada altitude, o que provoca oscilações de temperatura. As temperaturas médias anuais ficam entre 18 °C e 19 °C, com precipitação média anual em torno de 1.314 mm (Marciano; Barbosa; Moni Silva, 2018).

O rio Sapucaí tem sua nascente a aproximadamente 1.750 metros de altitude, no município de Campos do Jordão, estado de São Paulo, fluindo em direção a Minas Gerais (Figura 1). A bacia hidrográfica do rio Sapucaí é dividida em três segmentos distintos: o curso superior (Alto Sapucaí), o curso médio (Médio Sapucaí) e o curso inferior (Baixo Sapucaí). Este estudo foca-se no segmento do Alto Sapucaí, que abrange uma área de aproximadamente 50 km² (Marciano, 2019).

Figura 1: Bacia hidrográfica conforme divisão geopolítica IBGE (2007).



Fonte: Marciano (2019)

A Figura 2 mostra a foto da estação de monitoramento de inundação, esta estação foi utilizada no trabalho de Marciano (2019), que fez simulações de inundação para cidade de Itajubá.

Figura 2: Foto da estação de monitoramento de inundação de Itajubá – MG.



Fonte: Marciano (2019)

2.2 Coleta de dados sedimentológicos

Para realizar coleta, foi necessário fazer a seção topobatimétrica da estação, com equipamentos topográficos. Foram utilizados, uma Estação Total Leica modelo TS02 e um receptor GNSS Leica L1 e L2 modelos CS09. Foram coletados pontos detalhando o terreno, o nível d'água no momento da medição, a altitude de alerta e atenção que o sistema de monitoramento utiliza.

Para a determinação da descarga líquida (vazão) foi utilizado o equipamento de medições hidrométricas OTT Qliner modelo 247840, que possui sensores ultrassônicos, e usa o princípio do efeito Doppler para calcular a velocidade do escoamento e a profundidade da seção. As medições com o Qliner ocorrem de forma estática, o equipamento foi posicionado nas verticais, com espaçamento de 1 metro para as medições. A Figura 3 mostra a realização do levantamento da topografia com o receptor GNSS Leica (A) e da medição da vazão com equipamento Qliner (B).

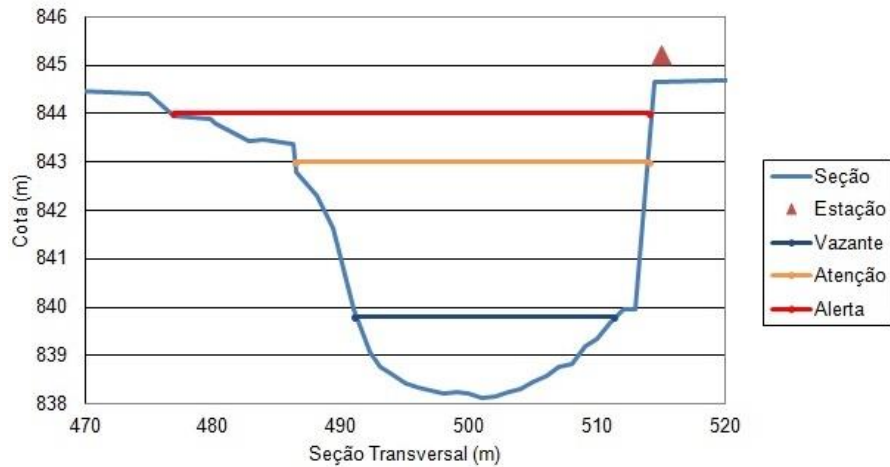
Figura 3: Foto do levantamento da topobatimétrica (A) e da medição de vazão (B).



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Após esses procedimentos foi feita a representação gráfica da seção topobatimétrica do monitoramento de inundação (Figura 4). Essa seção é fundamental para planejamento urbano e prevenção de desastres naturais, pois fornece dados precisos sobre a capacidade hidráulica da calha e os níveis críticos para inundações.

Figura 4: Seção topobatimétrica da estação de monitoramento de inundação da estação de captação da COPASA.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Com a medição da descarga líquida e com a seção topobatimétrica foi feita uma interpolação de áreas. Com essas áreas foi possível calcular as descargas líquidas para cada altitude da seção pela Equação 1 conforme Chow (1959) e Sturm (2021).

Por meio desses cálculos foi possível traçar a curva chave da seção de estudo. A curva-chave serve como base para sistemas de monitoramento e alerta de inundações, para prever o crescimento do nível do Rio Sapucaí em seções de interesse, a partir do nível observado em pontos a montante.

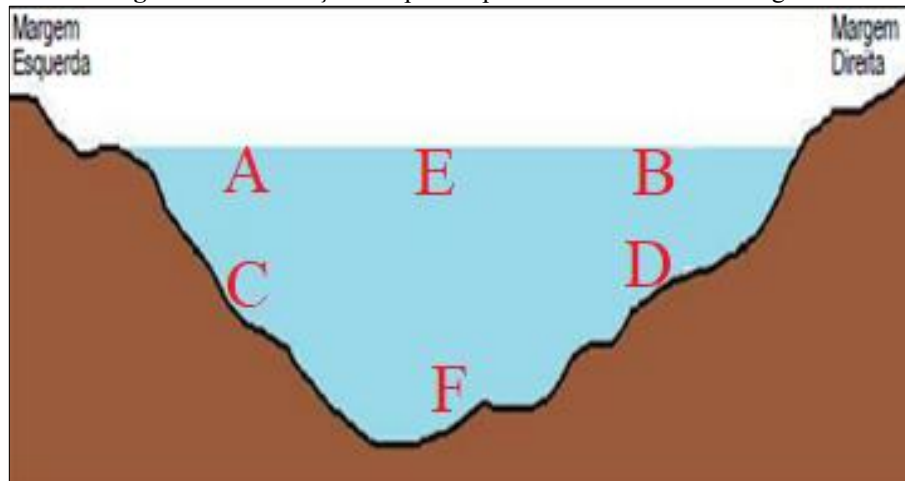
$$Q = \frac{1}{n} * A^{\frac{5}{3}} * P^{-\frac{2}{3}} * S^{1/2} \quad 1$$

Onde: A é área da seção transversal do escoamento (m²); P é o perímetro molhado (m); n é o parâmetro de rugosidade da parede do canal; S é a declividade da linha d'água (m/m) e; Q é a vazão (m³/s)

A coleta de amostras de água para determinação dos sólidos totais se baseou no procedimento de Marcondes e Barbosa (2011), que fez 6 amostragens na seção. A estratégia de amostragem, prioriza pontos verticais ao longo da seção transversal do rio para aumentar a representatividade dos resultados. A Figura 5 apresenta esquematicamente a distribuição dos pontos de coleta, que foram:

- 2 amostras na superfície das margens esquerda (A) e direita (B);
- 2 amostras de fundo das margens esquerda (C) e direita (D);
- 2 amostras de superfície (E) e de fundo (F) da região central da seção.

Figura 5: Distribuição dos pontos para coleta da amostra de água.



Fonte: Marcondes e Barbosa (2010)

As amostras foram coletadas nos dias 26 de dezembro de 2018 e 10 de junho de 2019, para ilustrar a sazonalidade pluviométrica. Em dezembro de 2018 a vazão medida foi de 14.653 m³/s, a qual estava consideravelmente maior devido ao volume de chuvas, a precipitação foi de 167 mm. Em junho de 2019, não houve grande volume de chuvas, a precipitação foi de 11 mm e a vazão medida foi de 9,678 m³/s.

As amostras de água foram coletadas manualmente nas superfícies, e nas regiões mais profundas. Foi utilizada uma garrafa do tipo VanDorn em PVC. Todas as amostras foram armazenadas em recipientes apropriados de um litro e preservadas em caixas térmicas com gelo a aproximadamente 4°C para manter sua integridade para análise.

2.3 Análise dos dados sedimentológicos

As amostras de água armazenadas foram encaminhadas para análise laboratorial, para calcular a descarga de sólidos em suspensão. A metodologia aplicada foi o Método 2540D do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al. 2012). Esse procedimento técnico é usado para a análise da qualidade da água e do esgoto e como referência internacional por diversos laboratórios, pesquisadores e órgãos ambientais.

Para manter a confiabilidade dos resultados, os cadinhos de porcelana com capacidade para 100 ml foram esterilizados na mufla por 2 horas a uma temperatura de 550°C. Em seguida foram pesados e sua massa foi anotada. Nos cadinhos foram colocados 100 ml da amostra, e inseridos na estufa de esterilização a uma temperatura de 105°C por 24 horas. Após esses procedimentos, os cadinhos foram armazenados em dessecador de vidro, para extrair a umidade

excedente. Após resfriamento, foi feita a pesagem da massa dos cadinhos. Esses procedimentos foram realizados em triplicata com o objetivo de minimizar o erro.

Os valores de carga sólida são referentes aos sólidos totais presentes no meio aquático no momento da amostragem. Esses sólidos podem conter minerais, substâncias orgânicas ou substâncias poluentes que se associam aos sedimentos e que podem contribuir para a deterioração do ambiente aquático.

A Equação 2 (Rice *et al.*, 2012) mostra como foi feita o cálculo da quantidade de sólidos totais presentes em cada uma das amostras.

$$S = \frac{(P_1 - P_2)}{V} \quad 2$$

Onde: S são os sólidos totais (mg/l); P_1 é a massa anotada do cadinho em mg, após a esterilização; P_2 é a massa anotada do cadinho em mg, após a passagem pela estufas e; V é o volume da amostra em litro (L).

Para calcular a descarga sólida em suspensão da seção, calculou-se a concentração média de sedimentos da seção transversal, realizando integrações com valores das concentrações pontuais de cada vertical e dividindo o resultado pelo valor da área molhada, conforme mostra a Equação 3 (Edwards; Glysson, 1999; Carvalho, 2020).

$$\bar{S} = \frac{1}{A} \int C_p * dA = \frac{1}{A} \iint C_p * dx * dy \quad 3$$

Onde: C_p é a concentração pontual (mg/L); A é a área da seção molhada (m^2); x, y são os comprimentos horizontais e verticais e os pontos de estudo (m) e; \bar{S} é concentração média de sedimentos na seção.

A Equação 4 utilizada por Rasmussen (2009) e Carvalho (2020), mostra como foi feito para transformar a concentração média de sedimentos na seção em volume diário. Para isso, foi feito o cálculo da descarga sólida em suspensão na seção transversal, sendo utilizado o fator de multiplicação 0,0864 para transformar a unidade de mg/s em t/dia.

$$Q_{ss} = 0,0864 * \bar{S} * Q \quad 4$$

Onde: Q_{ss} é a descarga sólida em suspensão na seção (t/dia); \bar{S} é a concentração média na seção e; Q é a vazão líquida (m^3/s).

3 Resultados e discussão

3.1 Curva-chave

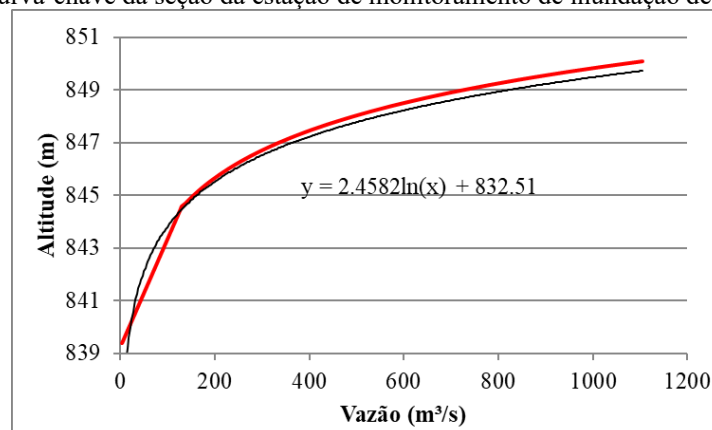
A Figura 6 mostra a curva chave da estação de monitoramento de inundação da cidade de Itajubá. Essa curva chave é essencial para transformar medições de nível de água (altitude) em vazão (m^3/s), ou seja, calcular o quanto de água está passando por um determinado ponto do rio.

Marciano (2019), fez a curva-chave do evento de inundação do ano de 2000 da mesma seção utilizando o programa de simulação hidráulica HEC -RAS. A curva-chave desse evento de inundação foi dividida em duas partes, a parte do início até atingir a vazão e a cota máxima, e a segunda parte, da vazão e da cota máxima até o término da simulação. O autor aferiu a curva chave com medições de vazão *in loco* e com o georreferenciamento do nível d'água, feito em diversas datas.

A curva-chave desse estudo é bem semelhante à do trabalho de Marciano (2019), o que difere são as vazões iniciais, que são 4% inferior. No trabalho de Marciano (2019), na vazão de $100 m^3/s$, a cota altimétrica correspondeu a 843,48 m enquanto nesta pesquisa foi de 843,35 m, uma diferença de 0,13 m. Essa diferença pode estar associada ao fato de a curva-chave do estudo de Marciano ter sido feita numa metodologia diferente, mas ainda assim a curva-chave desse estudo foi considerada satisfatória. A equação da linha de tendência da curva de sedimentos exprime confiabilidade para: monitoramento hidrológico, gestão de recursos hídricos e previsão de enchentes.

Não houve preocupação em comparar a curva-chave criada neste estudo com as criadas em outras pesquisas, pois a curva-chave é uma relação empírica entre a vazão e a cota (ou nível d'água) estabelecida para uma seção específica de um rio (Bleznius *et al.*, 2024). Essa relação depende diretamente das características geométricas e hidráulicas do local, como a forma da calha, rugosidade, inclinação do leito, presença de vegetação e estruturas construídas. Cada curva-chave é única e representa exclusivamente o comportamento hidrodinâmico daquela seção.

Figura 6: Curva-chave da seção da estação de monitoramento de inundação de Itajubá – MG.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

3.2 Curva de sedimentos

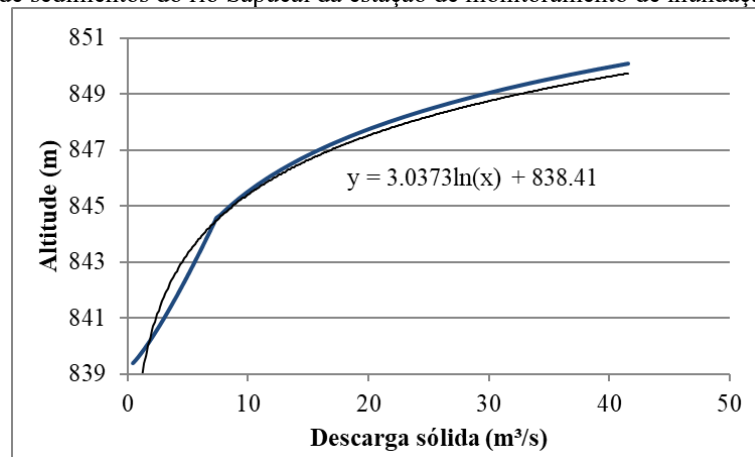
A Figura 7 mostra a curva de sedimentos (ou curva de descarga sólida) da estação de monitoramento de inundação de Itajubá, representa a relação entre a descarga sólida (sedimentos transportados pelo rio) e a altura do nível da água (altitude). Essa curva de sedimentos mostra que, à medida que o nível da água sobe (como em eventos de cheia), há um aumento significativo na quantidade de sedimentos transportados. Isso ocorre por causa da maior energia do fluxo, que mobiliza mais material do leito e das margens do rio. Ela complementa a curva-chave de vazão líquida, fornecendo uma visão mais completa do comportamento do rio Sapucaí em diferentes níveis de água. Ajudando a entender não apenas a quantidade de água, mas também o material que essa água carrega, o que é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, a proteção de infraestruturas e a avaliação dos riscos ambientais.

Marcondes e Barbosa (2010) elaborou a curva de sedimentos para essa mesma seção, utilizando a mesma metodologia aplicada no presente estudo, com base na medição da vazão e na coleta de dados de sedimentos em suspensão. O autor estimou a descarga sólida em suspensão em 141 toneladas por dia (t/dia), considerando uma vazão constante diária de 11,741 m³/s. No entanto, aplicando-se essa mesma vazão no presente estudo, a descarga sólida estimada foi de 173 t/dia, resultando em uma diferença de 32 toneladas.

Essa discrepância pode estar relacionada às condições distintas de coleta de dados entre os dois estudos. Enquanto Marcondes e Barbosa (2011) baseou-se em uma única campanha de amostragem de sedimentos, o presente estudo considerou duas coletas realizadas em diferentes regimes hidrológicos: uma durante o período chuvoso, caracterizada por maiores vazões e elevada concentração de sedimentos em suspensão, e outra no período seco, com vazões reduzidas e menor carga de sedimentos. A integração dessas duas condições extremas pode ter proporcionado uma representação mais ampla da variabilidade na concentração de sedimentos, influenciando o valor final da estimativa da descarga sólida em suspensão.

Assim como ocorreu na análise dos resultados da curva-chave, não se buscou realizar comparações diretas com outros estudos, uma vez que a curva chave de sedimentos constitui uma relação empírica entre a descarga sólida em suspensão e a cota (ou nível d'água). Tal relação é fortemente dependente das características geométricas, hidrodinâmicas e sedimentológicas específicas da seção analisada. Dessa forma, a comparação entre curvas-chave de sedimento de diferentes locais ou períodos pode resultar em interpretações equivocadas, comprometendo a representatividade e a validade das análises.

Figura 7: Curva de sedimentos do rio Sapucaí da estação de monitoramento de inundação de Itajubá – MG.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Os resultados obtidos neste estudo, possibilitam inferências relevantes sobre a qualidade e a quantidade de água disponível na região. Conforme registrado por Marciano (2019), durante o evento de inundação ocorrido no ano de 2000, a cota altimétrica atingiu 847,42 metros, correspondente a uma vazão estimada de 425 m³/s. Ao aplicar a equação apresentada na Figura 7 a essa mesma cota altimétrica, estima-se que o volume diário de descarga sólida em suspensão tenha alcançado aproximadamente 6.352 t/dia, evidenciando a expressiva mobilização de sedimentos em eventos hidrológicos extremos.

Conforme evidenciado, o município de Itajubá tem vivenciado eventos hidrológicos extremos que impactam diretamente a dinâmica fluvial e o transporte de sedimentos no rio Sapucaí. Durante episódios de inundação, o transbordamento da calha principal favorece a deposição de sedimentos em suspensão nas áreas adjacentes, promovendo alterações morfológicas significativas na paisagem fluvial. Tal dinâmica é corroborada pelos estudos de Zhao *et al.* (2025), que demonstram os efeitos desses eventos sobre a conformação do leito e das margens.

O volume de sedimentos transportado durante essas ocorrências pode ser significativamente superior àquele observado em condições hidrológicas normais, devido à intensificação do fluxo, caracterizada pelo conceito de “impulso de fluxo”, que é a interação entre magnitude e duração da vazão, conforme discutido por Phillips *et al.* (2018). Essa intensificação da carga sólida representa não apenas uma transformação na morfologia fluvial, mas também um fator crítico para a qualidade da água.

O aumento da carga de sedimentos em eventos extremos pode acarretar impactos ambientais relevantes, como a elevação da turbidez e o transporte de poluentes adsorvidos às partículas em suspensão, incluindo metais pesados e compostos orgânicos. Tais condições

comprometem o uso da água para fins múltiplos, como abastecimento público, irrigação agrícola e manutenção dos ecossistemas aquáticos (Garrad; Hey, 1989).

O acúmulo de sedimentos nas áreas urbanas de Itajubá constitui um desafio à infraestrutura hidráulica, favorecendo o assoreamento de canais e a consequente redução da capacidade de escoamento dos cursos d'água. Esse processo aumenta a frequência e severidade das inundações urbanas e compromete a eficácia de obras de drenagem e controle de cheias (Nones, 2019). Dessa forma, compreender o comportamento sedimentar, durante eventos extremos, é essencial para o planejamento urbano e a gestão de riscos hidrológicos no município.

4 Conclusão

Realizar um estudo hidrossedimentológico, com a complexidade apresentada neste estudo, envolve uma série de desafios técnicos, logísticos e metodológicos que exigem interdisciplinaridade de conhecimento científico. A coleta de dados em campo demanda o uso de equipamentos especializados, como estações totais, receptores GNSS e sondas ultrassônicas, cuja operação requer capacitação técnica e condições ambientais adequadas. O tratamento laboratorial das amostras, com procedimentos normatizados (como o método 2540D), exige infraestrutura, controle de qualidade e repetibilidade para garantir a validade dos resultados. Outro fator que agrava a complexidade do estudo é a necessidade de integração de dados topobatimétricos, hidráulicos e sedimentológicos em modelos empíricos, como as curvas-chave de vazão e de sedimentos, que são específicas e sensíveis a pequenas variações geométricas. Portanto, estudos dessa natureza não apenas exigem domínio técnico-científico, mas também enfrentam barreiras operacionais e limitações orçamentárias.

A caracterização sedimentológica da seção topobatimétrica do rio Sapucaí, foi realizada com êxito, fornecendo subsídios importantes para a compreensão da dinâmica hidrossedimentológica local. A abordagem metodológica adotada, baseada na coleta de amostras em dois períodos hidrológicos distintos (chuvoso e seco) e na amostragem em seis pontos verticais da seção transversal do rio, garantiu representatividade espacial e confiabilidade dos dados obtidos.

O processamento laboratorial das amostras, aliado à aplicação do método *Standard Methods 2540D* e as equações de Chow (1959) e Rasmussen (2009), possibilitou a determinação das descargas líquidas e sólidas. A construção das curvas-chave de vazão e de descarga sólida revelou-se uma ferramenta eficaz para o monitoramento fluvial e para a

calibração de sistemas de alerta de cheias, oferecendo suporte técnico ao planejamento urbano e à gestão ambiental.

Os resultados evidenciaram a influência direta da dinâmica hidrológica na carga sólida transportada. Embora tenham sido observadas condições urbanas propícias as alterações da carga sedimentar, como a ausência de vegetação ciliar, lançamento de efluentes e ocupação desordenada, não foi possível afirmar com segurança que as intervenções antrópicas sejam as responsáveis diretas pelas variações na descarga sólida registradas. A complexidade dos processos fluviais, as influências sazonais e a limitação da série temporal impõem restrições à correlação direta entre ação antrópica e incremento sedimentar.

Assim, este estudo reforça a importância de ações integradas de gestão fluvial, ao mesmo tempo em que aponta a necessidade de investigações complementares com maior abrangência espacial e temporal. Sugere-se novos estudos que incorporem as variáveis morfodinâmicas, a análise de sedimentos de fundo e monitoramento do uso e ocupação do solo, assim poderão aprimorar a avaliação dos impactos antrópicos e fortalecer os instrumentos de gestão sustentável dos recursos hídricos.

Em síntese, esses resultados representam uma contribuição relevante para a promoção da resiliência hídrica urbana e para a formulação de políticas públicas baseadas em evidências técnicas.

Referências

BELLINASSO, T. B.; PAIVA, J. D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 169-181, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v12n4.p169-181>. Disponível em: <https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=5221>. Acesso em: 13 nov. 2025.

BLEZNIUS, R. I. *et al.* Hydrodynamic modeling study on a sector of the Timis River. **MATEC Web of Conferences**, [s. l.], v. 396, p. 04001, 2024.

BORELLA, D. R. *et al.* Dynamics of sediment transport in the Teles Pires River basin in the Cerrado-Amazon, Brazil. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 23, p. 16050. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142316050>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/23/16050>. Acesso em: 18 nov. 2025.

CARVALHO, N. O. *et al.* **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2020.

CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. New York: McGraw-Hill. 1959.

EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment**. Reston: U.S. Geological Survey, 1999.

GADELHA, J. E. F. S. *et al.* Consequências da eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [s. l.], v. 3, n. 1, 2023. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/908>. Acesso em: 18 nov. 2025.

GARRAD, P. N.; HEY, R. D. Sources of suspended and deposited sediment in a broadland river. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 41-62, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290140105>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3290140105>. Acesso em: 13 nov. 2025.

ISSAKA, S.; ASHRAF, M. A. Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. **Geology, Ecology, and Landscapes**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-11, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2017.1301053>. Acesso em: 18 nov. 2025.

MARCIANO, A. G. Modelagem Hidrodinâmica com a integração do mapeamento das inundações do rio Sapucaí do município de Itajubá/MG. 103 f. 2019. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Hídrica) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1968>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; MONI SILVA, A. P. Estudo de cenários na simulação de eventos de cheias no rio Piranguçu e sua influência no Distrito Industrial de Itajubá- MG. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/rber.v7i1.57961>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/57961>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MARCONDES, C. R.; BARBOSA, A. A. Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. **OLAM: Ciência & Tecnologia**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/3886>. Acesso em: 13 nov. 2025.

NONES, M. Dealing with sediment transport in flood risk management. **Acta Geophysica**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 677-685, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00273-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11600-019-00273-7>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PHILLIPS, C. B. *et al.* Effect of flood hydrograph duration, magnitude, and shape on bed load transport dynamics. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 45, n. 9, p. 4264–4271, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018GL078976>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018GL078976>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PINTO, V. G. *et al.* Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Revista Ambiente & Água**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 637-649, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1842>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/SDqM6m84HPtTCNs7WHRfxvp/?lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PRIVADO, W. L.; TRINDADE, C. C.; GONÇALVES, D. Preservação das matas ciliares e sustentabilidade. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. e8346-e8346, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n5-052>. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/8346>. Acesso em: 18 nov. 2025.

RASMUSSEN, P. P.; *et al.* **Geological Survey Techniques and Methods**. Reston: USGS, 2009.

RICE, E. W. *et al.* **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American public health association, 2012. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-ECOSUR:53329/Description>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SARI, V.; POLETO, C.; CASTRO, N. M. R. Caracterização dos processos hidrossedimentológicos em bacias rurais e urbanas. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 9, n. 16, p. 596-624, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/248977/000892058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SOUZA, P. H. M.; PEREZ FILHO, A.; STEFANUTO, E. B. Relações entre o uso e ocupação da terra e dinâmica do relevo na bacia hidrográfica do rio Trancoso (BA). **Margarida Penteadó Revista de Geomorfologia**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.29327/ISSN2966-2958.v2n1.2024.024>. Disponível em: <https://revistaaprogeomg.org.br/index.php/margaridapenteadorevista/article/view/85>. Acesso em: 13 nov. 2025.

STURM, T. W. **Open Channel Hydraulics (3rd ed.)**. New York: McGraw-Hill Education, 2021.

TRASKURKEMB, M. A. Gestão da sedimentação em reservatórios de água: desafios e oportunidades à sua implantação no Brasil. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14032025-082212/publico/MarianaAlvesTraskurkembCorr.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas urbanas: Desafios e perspectivas**. Porto Alegre: ABRH, 2020.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Water infrastructure**. UK: Routledge, 2020.

VIANNA, A. P. P. *et al.* Mapeamento da Planície de Inundação do Município de Itajubá-MG. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 14, 2001. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/318.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

ZHAO, M. *et al.* Response of Riverbed Shaping to a Flood Event in the Reach from Alar to Xinquman in the Mainstream of the Tarim River. **Water**, [s. l.], v. 17, n. 7, p. 1092, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17071092>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/7/1092>. Acesso em: 13 nov. 2025.

Data de submissão: 09/05/2025

Data de aceite: 18/08/2025