

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Isabella Barros Teixeira

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA
DESCARGA DE SEDIMENTOS NO RIBEIRÃO JORDÃO PARA
USO NA ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO DE
RESERVATÓRIO**

Uberlândia, MG
2018

A meus pais Vilma e Gilberto e meu irmão Igor.

Meu orientador Carlos Eugênio.

Meus professores e amigos, dedico.

RESUMO

Reservatórios formados por barragens estão sujeitos ao processo de assoreamento, que é o acúmulo de sedimentos no fundo de um reservatório, o qual provoca a redução do volume útil do reservatório. A erosão, o transporte e a deposição de sedimentos são responsáveis pelo processo de assoreamento. O objetivo deste trabalho é apresentar resultados da avaliação do transporte de sedimentos no ribeirão Jordão, na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, no Triângulo Mineiro. Foram realizadas em 2018, campanhas de coletas de dados da geometria das seções, de parâmetros de escoamento e de amostras de sedimentos suspensos e de fundo, em quatro pontos localizados em toda a extensão do ribeirão. Nesse período também foram realizados ensaios de peneiramento do material de fundo e determinação da concentração de sedimentos em suspensão em laboratório, fornecendo dados para a aplicação de diferentes métodos de estimativa indireta da descarga sólida de sedimentos. Para tanto, utilizaram-se nove métodos de cálculo, sendo: Método de Ackers e White (1973); Bishop, Simons e Richardson (1965); Cheng (2002); Colby (1957); Einstein e Brown (1950); Engelund e Hansen (1967); Karim (1998); Shen e Hung (1971); Toffaleti (1969). A partir destes métodos, foi possível estabelecer uma relação do transporte de sedimentos com os períodos de chuva na região, e com os processos erosivos observados visualmente em campo. Levando-se em conta o processo de assoreamento, pode-se avaliar também a seção mais favorável para a construção de um reservatório. O trabalho também apresenta a determinação de uma curva-chave para cada seção dos pontos estudados, as vazões foram medidas através do *Accoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) e do molinete fluviométrico. A determinação da curva-chave se deu apenas por motivos didáticos, devido à escassez de dados, para uma precisão aceitável. Os diferentes resultados da descarga, calculados pelos métodos de cálculo, estão ligados diretamente com suas limitações, com as coletas em campo e com os ensaios realizados para a obtenção dos parâmetros.

Palavras-chave: Reservatórios; Métodos para estimativa da vazão sólida; Transporte de sedimentos; Curva-chave; Ribeirão Jordão.

ABSTRACT

Reservoirs formed by dams are bound to the silting process, which is the accumulation of sediments at the bottom of a watercourse, that causes the reservoir useful volume to be reduced. Sediment transport and deposition along with erosion are responsible for the silting process. The purpose of this work is to present results of the evaluation of sediment transportation in the Jordan River, which is located near the city of Araguari-MG, in the Triângulo Mineiro. Geological data collection campaigns, runoff parameters and bottom sediment samples were carried out throughout 2018, at four points along the river. During this period, sieving tests of the bottom material and determination of the concentration of suspended sediments were carried out in the laboratory, providing data for the application of different methods of indirect estimation of solid sediment discharge. Nine methods of calculation were used: Ackers and White method (1973); Bishop, Simons and Richardson (1965); Cheng (2002); Colby (1957); Einstein and Brown (1950); Engelund and Hansen (1967); Karim (1998); Shen and Hung (1971); Toffaleti (1969). From these methods it was possible to establish a relationship between the sediment transport with the rainy periods in the region and with the erosive processes observed in the field. Taking into account the silting process, one can also evaluate the most favorable section for the construction of a reservoir. The work also presents the determination of a key curve for each section of the points studied, the flows were measured through the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and the fluvimetric reel. The determination of the key curve occurred only for didactic reasons, due to the lack of data, for an acceptable precision.

Key words: Methods to save the flow; Sediment transport; Key Curve, Jordão River.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivo específico	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Reservatórios de água	12
3.2 Sedimentação	13
3.2.1 Erosão	13
3.2.2 Transporte de Sedimentos	14
3.2.3 Descarga de sedimentos	16
3.2.4 Assoreamento de reservatórios	17
3.3 Métodos de cálculo para a descarga de sedimentos	18
3.3.1 Método de Ackers e White	19
3.3.2 Método de Bishop, Simons e Richardson	19
3.3.3 Método de Cheng	20
3.3.4 Método de Colby	20
3.3.5 Método de Einstein e Brown	20
3.3.6 Método de Engelund e Hansen	21
3.3.7 Método de Karim	21
3.3.8 Método de Shen e Hung	22
3.3.8 Método de Toffaleti	22
3.4 Curvas- chave	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Área de estudo	24
4.2 Coletas de campo	25

4.2.1 Coleta de amostras para os ensaios de concentração de sedimentos em suspensão e de sedimentos de leito	26
4.3 Análises de amostras	27
4.3.1 Determinação da concentração de sedimentos em suspensão	27
4.3.1.1 Ensaio de filtração	28
4.3.1.2 Ensaio de evaporação	29
4.3.2 Análise granulométrica	29
4.4 Determinação da descarga de sedimentos nas seções dos pontos em estudo	30
4.4.1 Método de Ackers e White	30
4.4.2 Método de Bishop, Simons e Richardson	33
4.4.3 Método de Cheng	33
4.4.4 Método de Colby	34
4.4.5 Método de Einstein e Brown	35
4.4.6 Método de Engelund e Hansen	36
4.4.7 Método de Karim	37
4.4.8 Método de Shen e Hung	37
4.4.9 Método de Toffaleti	39
4.4.10 Software WinTSR	42
4.5 Métodos para medidas de vazão	43
4.5.1 Molinete fluviométrico	44
4.5.2 ADCP (<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>)	46
4.6 Medição do nível d'água	48
4.7 Determinação da curva-chave	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Caracterização hidráulica e geométrica das seções transversais	50
5.2 Concentração de sedimentos em suspensão	52
5.3 Análise granulométrica dos sedimentos	53

5.4 Resultados da aplicação dos métodos de cálculo da descarga de sedimentos	56
5.5 Impacto do Assoreamento na vida útil de um reservatório	63
5.6 Determinação de curvas-chave	63
6 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	69
APÊNDICE A – MASSAS RETIDAS (ENSAIO GRANULOMÉTRICO).....	74
ANEXO A – ÁBACOS DO MÉTODO DE COLBY	82
ANEXO B – COEFICIENTES MÉTODO DE TOFFALETI.....	85

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Volume útil	13
Figura 2 – Formas de transporte de sedimentos	15
Figura 3 – Exemplo de curva-chave	23
Figura 4 – Postos fluviométricos/sedimentológicos as respectivas imagens do local.....	25
Figura 5 – Amostrador tipo USDH-48 (AMS-1).....	26
Figura 6 – Coleta das amostras de água, no Ribeirão Jordão, 2018	27
Figura 7 – Agitados de peneiras	30
Figura 8 – Distribuição das zonas de profundidade	39
Figura 9 – <i>Software</i> WinTSR	43
Figura 10 – Molinete fluviométrico.....	44
Figura 11 – Elementos de área	45
Figura 12 – ADCP	46
Figura 13 – Medição da vazão com uso do ADCP no Ribeirão Jordão, 2018	47
Figura 14 – Perfil traçado pelo ADCP	47
Figura 15 – Régua para medir o nível líquido	48
Figura 16 – Curva granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 1	54
Figura 17 – Curva granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 2	54
Figura 18 – Curva granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 3	55
Figura 19 – Curva granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 4	55
Figura 20 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 1	57
Figura 21 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 1 (continuação)	58
Figura 22 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 2	59
Figura 23 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 3	60
Figura 24 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 4	61
Figura 25 – Curva-chave da seção do Ponto 1	65

Figura 26 – Curva-chave da seção do Ponto 2	65
Figura 27 – Curva-chave da seção do Ponto 3	66
Figura 28 – Curva-chave da seção do Ponto 4	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das constantes da fórmula de Ackers e White.....	32
Tabela 2 – Valores dos expoentes Método de Shen e Hung	38
Tabela 3 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 1	51
Tabela 4 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 2	51
Tabela 5 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 3	51
Tabela 6 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 4	51
Tabela 7 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 1	52
Tabela 8 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 2	52
Tabela 9 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 3	52
Tabela 10 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 4.....	53
Tabela 11 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 1	56
Tabela 12 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 2.....	56
Tabela 13 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 3.....	56
Tabela 14 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 4.....	56
Tabela 15- Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 1	57
Tabela 16 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 2	58
Tabela 17 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 3	59
Tabela 18 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 4	60
Tabela 19 – Volume de sedimentos pelo Método de Colby.....	63
Tabela 20 – Valores de nível e vazão	64

1 INTRODUÇÃO

A erosão, o transporte e a deposição de sedimentos em cursos d'água são processos naturais e se dão de forma lenta e contínua. Estes processos tendem a se acelerarem devido às atividades antrópicas, como agricultura, construção civil e desmatamento. Provocando sérias consequências ao meio ambiente e ao homem. Entre essas destaca-se, o assoreamento dos reservatórios.

O assoreamento de reservatórios pode provocar danos como: a diminuição da capacidade de geração de energia elétrica, a redução da qualidade da água para consumo e irrigação; a morte de espécies aquáticas e a impossibilidade de navegação devido à diminuição da lâmina d'água; o aumento na incidência das cheias, provocando alagamentos; danificação de turbinas; bloqueio de tomadas de água e comportas; entre outros.

De acordo com Brito (2013), independentemente do tipo, os reservatórios estão sujeitos à deposição de sedimentos. Por isso, é importante a realização de estudos sedimentológicos nos cursos d'água, principalmente em empreendimentos de geração de energia elétrica, sendo uma ferramenta fundamental para determinar a vida útil de um reservatório, além de fornecer informações necessárias para medidas preventivas e de controle do assoreamento.

A quantidade de sedimentos transportada, proveniente do leito do rio, é altamente dependente da composição do material do leito, das características geométricas e hidráulicas da seção do trecho do rio, e também da função para o qual o solo na bacia é utilizado. Por essa razão, qualquer intervenção que altere o equilíbrio natural do rio pode trazer sérias consequências em termos de erosão e deposição de sedimentos (SCAPIN, 2007).

Existem métodos diretos e indiretos para a determinação da descarga de sedimentos em uma seção. Porém, devido a dificuldade de obtenção de dados e aos custos envolvidos, os indiretos são os mais utilizados. Os métodos indiretos para o cálculo da quantidade de sedimentos transportados, utilizam parâmetros hidráulicos da seção e das características do material de leito (CARVALHO, 2008). Os métodos indiretos aplicados neste estudo foram: Ackers e White (1973); Bishop, Simons e Richardson (1965); Cheng (2002); Colby (1957); Einstein e

Brown (1950); Engelund e Hansen (1967); Karim (1998); Shen e Hung (1971); Toffaleti (1969).

A produção de sedimentos tratada neste estudo foi monitorada no Ribeirão Jordão, que se localiza na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba na região do Triângulo Mineiro. Com a nascente situada próxima à cidade de Araguari-MG. Sendo um afluente do rio Paranaíba, onde se encontram importantes usinas hidrelétricas como: São Simão, Emborcação, Salto Morais e Santa Luzia (CEMIG, 2018). Com a estimativa do volume de sedimentos transportados por este ribeirão, foi possível o estudo para a construção de uma futura barragem e o impacto do assoreamento em reservatórios existentes. Foi possível também a melhor compreensão sobre a dinâmica do transporte de sedimentos em rios e sobre os métodos de cálculos para a estimativa dessa descarga, disponíveis na literatura, quando a suas limitações e aplicações.

O trabalho também conta com o estudo da curva-chave no Ribeirão Jordão, no qual é uma ferramenta que permite relacionar o nível líquido com a vazão, em determinada seção do curso d'água. Dessa forma, obtém-se a vazão em qualquer momento, sabendo o nível líquido.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o transporte de sedimentos no Ribeirão Jordão, por meio de nove métodos de cálculo, os quais estimam de forma indireta a descarga de sedimentos.

2.2 Objetivo específico

Determinar a curva-chave do ribeirão em estudo. Estimar a vida útil de um reservatório com base nos métodos de cálculo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

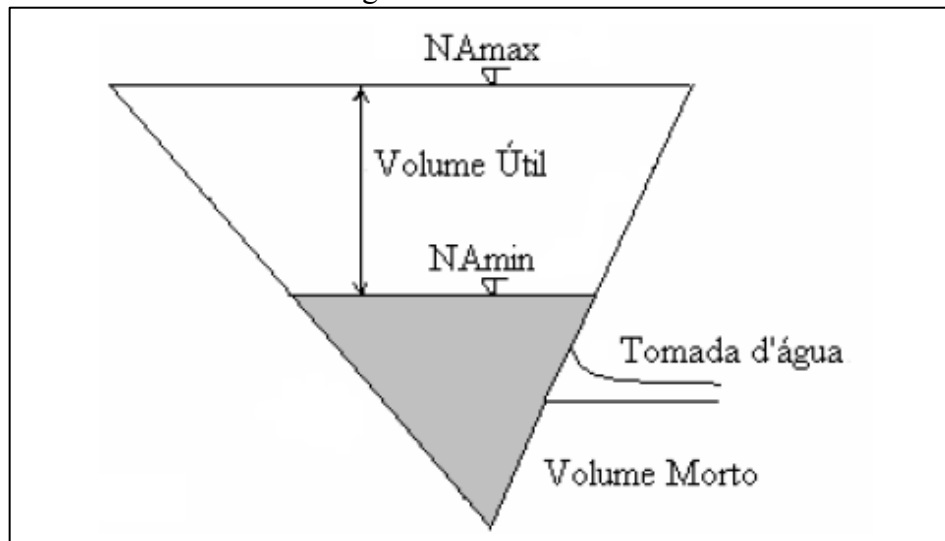
3.1 Reservatórios de água

Os reservatórios têm como função principal acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizador das vazões naturais (UEHARA; SANTOS; LOPES, 2002). Na maioria das vezes, o interesse na construção de um reservatório é de caráter público- social, já que, geralmente, os benefícios estendem-se para uma grande parcela de cidadãos. As principais finalidades pelas quais são construídos reservatórios são: abastecimento da população, irrigação, navegação, controle de cheias e geração de energia hidrelétrica (MEES, 2018).

A construção de hidrelétricas e a reserva de água para diversos fins são o principal propósito da formação de reservatórios pela construção de barragens. Porém, nos últimos anos, os usos desses sistemas diversificaram-se, aumentando a importância econômica e social destes ecossistemas artificiais e, ao mesmo tempo, produzindo e incluindo novas complexidades no seu funcionamento e impactos. Entre os impactos para a construção de um reservatório estão: prejuízos à fauna e flora do rio e de suas margens devido à modificação do regime de vazões; desapropriação e remoção de habitantes dentro da zona de inundação do reservatório causando um prejuízo social; interrupção parcial do transporte de sedimentos e nutrientes para jusante (MESS, 2018).

De acordo com Uehara, Santos e Lopes (2002), os reservatórios são formados por meio de barragens inseridas nos cursos d'água. Suas características físicas são dependentes da topografia do local em que ele está inserido. E pode ser descrito, do ponto de vista físico, pelos seus níveis e volumes (Figura 1).

Figura 1 – Volume útil



Fonte: UEHARA; SANTOS; LOPES (2002)

Sendo o volume útil correspondente ao volume compreendido entre os níveis d' água mínimo operacional e máximo operacional, ou seja, a parcela do volume que pode ser efetivamente utilizada para regularização de vazão. O volume morto é a parcela inativa, para fins de captação d' água.

3.2 Sedimentação

A sedimentação é um processo resultante da remoção de partículas desagregadas de uma bacia. Decorre da erosão, do transporte e depósito dessas partículas, bem como a dinâmica da compactação das mesmas em rios e reservatórios. É comum, entretanto, referir-se a sedimentação unicamente como processo de assoreamento de reservatórios (MAIA, 2006).

3.2.1 Erosão

A erosão é um fenômeno que ocorre naturalmente no meio ambiente e pode ser definida como o desgaste de partículas de rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrasto das partículas. Ocorre devido ação da água, do gelo, do vento, de organismos vivos (plantas e animais) e da ação humana. A intensidade e a taxa de erosão podem ser ampliadas devido às atividades antrópicas, como o desmatamento, uso inadequado do solo e práticas conservacionistas inapropriadas (BRITO, 2012).

Segundo Carvalho (1994), existem quatro tipos de erosão: a erosão eólica, a erosão hídrica superficial, a erosão por remoção em massa e a erosão fluvial. A erosão hídrica superficial se dá pelo impacto da gota da chuva sobre o solo. O impacto da chuva destaca a partícula de solo, e esta acaba sendo transportada pelo escoamento. A erosão eólica é provocada pelo vento, já a erosão fluvial é ocasionada principalmente pela ação das correntes dos rios. A erosão por remoção em massa é devido a gravidade e saturação do solo (perda de coesão).

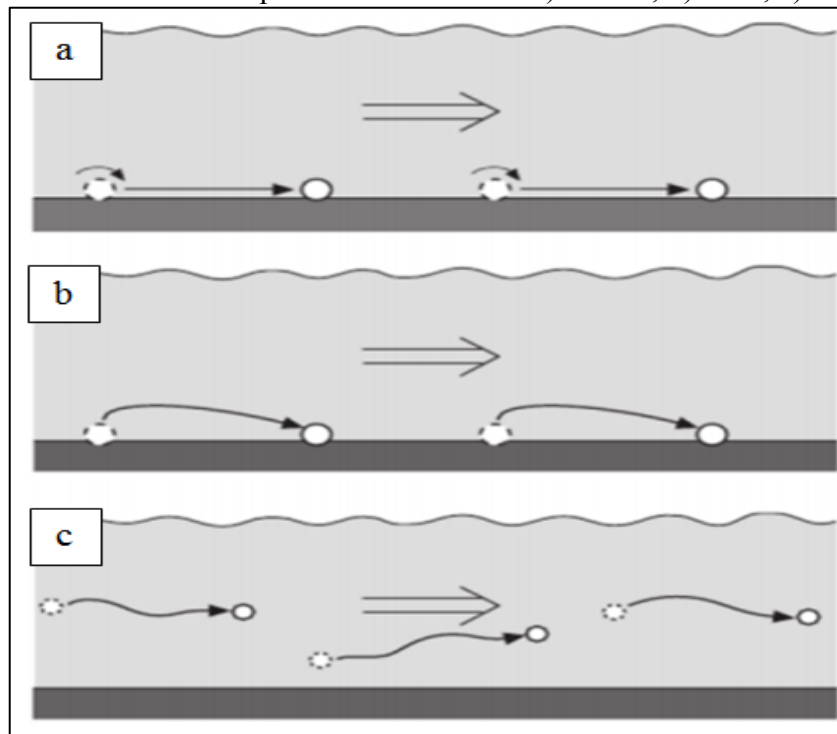
A erosão do solo provoca diversos problemas econômicos e ambientais, dentre os quais podem ser citados: a remoção da camada fértil e empobrecimento dos solos em áreas agrícolas; o aumento do risco de desertificação; o desprendimento e escorregamento de solos e taludes e assoreamento de reservatórios. A erosão também provoca grandes modificações no relevo, afetando no escoamento da água superficial (CARVALHO, 2008).

3.2.2 Transporte de sedimentos

De acordo com Suguio (1973), o transporte de sedimentação do material particulado pelos cursos d'água ocorre de maneira complexa e estão relacionados com a velocidade da corrente, a vazão, o tempo de residência e a seção transversal do rio. Os fatores que mais contribuem para o transporte dos sedimentos são: quantidade e intensidade das chuvas, tipo de solo e litologia, tipo de cobertura e uso do solo, topografia, escoamento superficial, características do material de alteração da rocha e condições morfológicas do canal.

Segundo Carvalho (2008), os sedimentos que atingem o curso d'água podem ser transportados por tração (ou arraste), saltação e em suspensão (Figura 2).

Figura 2 – Formas de transporte de sedimentos. a) arrasto, b) salto, c) suspensão



Fonte: Lopes (2012)

O transporte por arraste está relacionado com as tensões tangenciais provocadas pela movimentação da água, e está restrito ao leito fluvial. Este tipo de transporte é mais sensível a variações de velocidade e turbulência que os demais (BRITO, 2012).

O transporte por saltação é a forma no qual as partículas avançam no leito, saltando de ponto a ponto. O movimento pode ser considerado como uma fase intermediária entre o transporte por arraste e por suspensão. Este tipo de transporte depende, além da intensidade do fluxo da corrente, das características de densidade, forma e tamanho da partícula (BRITO, 2012).

O transporte por suspensão ocorre quando a intensidade de turbulência for maior que a velocidade de deposição das partículas movimentadas pelas tensões tangenciais e pelas forças de ascensão. No transporte em suspensão, as partículas por serem suficientemente pequenas e pouco pesadas, são levadas independentemente do leito fluvial (BRITO, 2012).

Os principais problemas relacionados ao transporte de sedimentos são: alteração da qualidade da água devido ao aumento da turbidez e consequente redução de penetração de luz e calor, alterando o equilíbrio ecológico do ecossistema aquático; o sedimento atua como portador de

poluentes químicos e biológicos; as partículas em suspensão podem danificar turbinas, máquinas e comportas (CARVALHO, 2008).

3.2.3 Descarga de sedimentos

A carga de sedimentos diz respeito ao tipo de material transportado, enquanto que o termo “descarga sólida” ou “descarga de sedimentos” é definida como a massa total de sedimentos que passa em uma seção transversal do rio por unidade de tempo, geralmente expressa em toneladas por dia (VANONI, 1977 apud COSTAS, 2003). A descarga sólida total é o valor necessário para os estudos sedimentológicos. Normalmente este dado, é obtido pela soma da descarga em suspensão com a descarga do leito.

Por meio de técnicas de amostragem e análises granulométricas dos sedimentos em suspensão e do leito, é possível se obter a descarga desses sedimentos. Considerando que não se pode fixar, *a priori*, as percentagens da descarga sólida total que são transportadas em suspensão e no leito, deve-se estimá-las e somá-las para estimar a descarga sólida total (VESTENA, 2008).

A descarga em suspensão pode corresponder, em média, entre 70 % a 95% da descarga sólida total, sendo função da posição da seção transversal no curso d'água e outros fatores. Por essa razão e também pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte das eventuais só contemplam o sedimento em suspensão.

Segundo Santos (2001), a descarga sólida em suspensão é calculada pela Equação 1.

$$Q_{ss} = 0,0864. Q. C_{ss} \quad (1)$$

Em que:

Q_{ss} = descarga sólida em suspensão (T/Dia);

Q = Vazão total da seção (m^3/s);

C_{ss} = Concentração de sedimentos suspensos (mg/l).

De acordo com Carvalho (2008), a descarga de leito ou arrasto representa a carga em contato com o leito, no qual as partículas estão rolando, deslizando ou saltando. A descarga de material de leito corresponde à descarga de leito mais as partículas em suspensão maiores que silte e argila ($D > 0,0625$ mm). Portanto a descarga de material de leito corresponde à descarga sólida total excluída a descarga de material fino.

Existem diversas equações e métodos desenvolvidos para o cálculo da descarga de sedimentos. Enquanto um grupo de equações estima a descarga de leito ou arrasto, outro calcula a descarga de material de leito. Por fim, o grupo de equações que calcula a descarga sólida total é composto pela soma da descarga em suspensão com a descarga de arrasto ou pela soma da descarga de material de leito com a descarga do material fino (CARVALHO, 2008).

Determinados métodos são usados para estimar a quantidade de sedimentos transportada de maneira indireta, isto é, utilizam parâmetros hidráulicos da seção do rio e levam em conta também, as características do material amostrado no leito do rio. Outros métodos consideram para a estimativa da quantidade de sedimentos, além dessas medidas, a medida direta da concentração de sedimentos em suspensão na seção analisada (SCAPIN, 2007).

Para Ricker, Odhiambo e Church (2008), a estimativa correta do transporte de sedimentos depende da escolha do método que se melhor adequa com os dados obtidos em campo. Quando essa estimativa é feita, a partir de métodos de cálculos indiretos de transporte, os dados devem ser coletados criteriosamente para não produzir resultados pouco precisos.

3.2.4 Assoreamento de reservatórios

O assoreamento é o processo em que cursos d'água, lagos e reservatórios são afetados pelo acúmulo de sedimentos. Os reservatórios funcionam como grandes bacias de retenção de sedimentos, pois propiciam condições favoráveis a sedimentação de matéria sólida, transportada pelo curso d'água, devido à diminuição da velocidade das águas. Ao longo dos reservatórios, formam-se depósitos de sólidos com distribuição granulométrica característica, variando o tamanho dos grãos de montante (onde se deposita o material mais grosseiro) para jusante (com material mais fino) (UEHARA; SANTOS; LOPES, 2002).

De acordo com Maia (2006), os principais problemas trazidos pela deposição de sedimento em reservatório dizem respeito, a redução do volume útil do reservatório. A presença de sedimentos grosseiros depositados na entrada do reservatório pode levar ao prolongamento dos efeitos de remanso, elevando o nível de enchentes à montante (COIADO, 2001).

A previsão do assoreamento de reservatórios é de suma importância no estudo de viabilidade de implementação do projeto de um reservatório, visto que é um fator determinante na vida útil do empreendimento e em sua viabilidade econômica. O monitoramento planejado da região de estudo, para a previsão das taxas de assoreamento do reservatório, se dá devido à necessidade de determinação do tempo a partir do qual o assoreamento irá interferir nas funções para as quais o reservatório foi construído (MAIA, 2006).

Segundo Mess (2018), o método usual para se tratar o problema do assoreamento é destinar uma parcela do volume total do reservatório para sedimentação dos sólidos durante a sua vida útil. A estimativa do volume de sedimentos que irá se depositar no reservatório é feita com base na taxa de contribuição de sólido anual e na eficiência de retenção do reservatório, ou seja, na porcentagem de sedimentos que fica retida no mesmo.

3.4 Métodos de cálculo para a descarga de sedimentos

Para o cálculo da descarga de sedimentos foram utilizados nove métodos de cálculos, sendo estes: Colby (1957), que calcula a descarga total, incorporando dados medidos de concentração de sedimentos em suspensão; Cheng (2002) e Bishop, Simons e Richardson (1965), Shen e Hung (1971) e Einstein e Brown (1950) os quais estimam de forma indireta a descarga de arrasto; Ackers e White (1973), Engelund e Hansen (1967), Karim (1998) e Toffaleti (1969) que estimam de forma indireta a descarga sólida de material de leito.

3.4.1 Método de Ackers e White

Ackers e White (1973) obtiveram uma função para cálculo da descarga sólida do material de leito. Segundo Carvalho (2008), o método leva em conta que os sedimentos mais grosseiros são transportados principalmente como carga do leito e somente uma parte da tensão de

cisalhamento no leito do canal causa o movimento dessas partículas. Os sedimentos finos são transportados como carga em suspensão devido à tensão de cisalhamento total que causa seu movimento. Esta função foi obtida com base em quase mil experimentos em calhas com movimentos uniformes, número de Froude menor que 0,8 e com profundidades de escoamento de até 0,4 m.

De acordo com Paiva (1988), pesquisas realizadas no rio Paraguai, com tamanho médio D_{50} igual a 24 mm, apresentaram erro médio em torno de 7% e desvio padrão aproximadamente igual a 82%. Melhores resultados foram obtidos quando se usou D_{35} igual a 0,20 mm como diâmetro representativo do material.

Para aplicar o Método de Ackers e White, são usados os seguintes dados de entrada: vazão em m^3/s (Q); diâmetro do grão para o qual 35% do material do leito são mais finos (D_{35}); peso específico do sedimento em t/m^3 (s); velocidade média do escoamento em m/s (U); profundidade do escoamento em m (Rh); declividade da linha d'água em m/m (S); viscosidade cinemática da água em m^2/s ; (ν) e aceleração da gravidade (g).

3.4.2 Método de Bishop, Simons e Richardson

Bishop, Simons e Richardson (1965), concluíram de suas observações em fluxos de pequenas profundidades, que os dados de transporte medidos em campo se aproximavam bem das curvas obtidas através dos dados encontrados em canais de laboratório. O método é o resultado de estudos detalhados do método de Einstein proposto em 1950. A sua aplicação limita unicamente para material arenoso com diâmetro médio entre 0,19 mm e 0,93 mm.

Os dados de entrada para a aplicação do Método de Bishop, Simons e Richardson são: diâmetros do grão para o qual 35% do material do leito, são mais finos (D_{35}); velocidade média do escoamento em m/s (U); declividade da linha d'água em m/m (S); viscosidade cinemática da água em m^2/s ; (ν); profundidade do escoamento em m (Rh).

3.4.3 Método de Cheng

De acordo com Paiva (2007), Chen (2002) calcula taxas de transporte de leito considerando condições de baixas a altas tensões de cisalhamento. Para tensões de cisalhamento moderadas, a fórmula é muito próxima àquela proposta por Einstein (1950) e Meyer-Peter e Muller (1948), respectivamente. Em condições onde ocorrem transportes mais fracos, a fórmula se adapta melhor às relações propostas por Einstein (1942) e Paintal (1971).

Para aplicação do método, é necessário o conhecimento dos seguintes dados: profundidade hidráulica em m (d); declividade da linha d'água em m/m (S); diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito, são mais finos (D_{50}) e largura da superfície do canal em m (B).

3.4.4 Método de Colby

O método desenvolvido por Colby, em 1957, é utilizado no cálculo da descarga total de sedimentos em um curso d'água. Basicamente utiliza três ábacos, dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão. Os ábacos foram obtidos a partir de um desenvolvimento semi-empírico baseado em experiências sobre diversos processos de cálculos de descarga sólida.

O método de Colby é vantajoso no que diz respeito à simplicidade na sua aplicação e a necessidade de poucos dados. Segundo Costa (2012), o método é bastante aplicado em estudos desenvolvidos no Brasil, por só necessitarem de dados de medição de descarga líquida e de concentração de sedimentos em suspensão.

3.4.5 Método de Einstein e Brown

Segundo Ponce (1990), Einstein e Brown modificaram o método de Einstein (1950) com uma alteração no parâmetro adimensional de intensidade de transporte da descarga de arrasto, a qual é realizada em função da potência cubica do inverso da intensidade de atrito. Shen (1971) sugere o uso da curva de Einstein e Brown (1950) para o cálculo da descarga de arrasto.

Os parâmetros necessários para a aplicação do método são: largura da superfície do canal em m (B); raio hidráulico em m (Rh); viscosidade cinemática da água em m^2/s (ν); diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito, são mais finos (D_{50}) e declividade da linha d'água em m/m (S).

3.4.6 Método de Engelund e Hansen

Engelund e Hansen (1967) calculam a descarga sólida de material de leito, incluindo os movimentos por arrasto e em suspensão. É um método semi-empírico, baseado na tensão de cisalhamento, potência da corrente e princípio de similaridade. Foi desenvolvido a partir de experimentos de laboratório, em condições de altas taxas de transporte e declividades suaves. O método se restringe para materiais de leito que possuam diâmetro médio maior do que 0,15 mm (PAIVA, 1988).

Para aplicação deste método, são necessários os seguintes parâmetros: peso específico do sedimento em ton/m^3 (γ_s); peso específico da água em ton/m^3 (γ); velocidade média do escoamento em m/s (U); diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito são mais finos (D_{50}); aceleração da gravidade em m/s^2 (g); raio hidráulico em m (Rh); declividade da linha d'água em m/m (S) e largura da superfície do canal em m (B).

3.4.7 Método de Karim

Karim (1998) desenvolveu um método para obtenção da descarga total de sedimentos por unidade de largura, tendo como princípio que a velocidade média do escoamento (m/s), a velocidade de cisalhamento no fundo (m/s) e a velocidade de queda das partículas (m/s) são as variáveis mais importantes.

Para a aplicação do método é necessário conhecer os seguintes dados: largura da superfície do canal em m (B); diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito são mais finos (D_{50}); profundidade hidráulica em m (d); declividade da linha d'água em m/m (S) e viscosidade cinemática da água em m^2/s (ν).

3.4.8 Método de Shen e Hung

Shen e Hung (1971) ressaltam que os valores obtidos para as curvas provenientes do transporte de sedimento em canais de laboratório têm valores bem menores do que os obtidos em canais naturais. Isto se deve ao fato de que os sedimentos usados em laboratório apresentam granulometria mais uniforme comparados aos sedimentos dos rios naturais.

Os dados de entrada para a aplicação do Método de Shen e Hung (1971) são: velocidade média do escoamento em m/s (U); declividade da linha d'água em m/m (S); viscosidade cinemática da água em m²/s; (ν); profundidade do escoamento em m (Rh) e vazão em m³/s (Q).

3.4.9 Método de Toffaleti

Toffaleti (1969) desenvolveu seu método a partir do método de Einstein (1950) e Einstein e Chien (1953), o qual calculava tanto a descarga por arraste de fundo quanto à descarga de material em suspensão, calculando pela soma dessas, a descarga total de sedimentos. Diferencia-se do método de Einstein (1950) principalmente por: utilizar distribuição da velocidade na vertical; uma combinação de diferentes fatores de correção utilizados por Einstein (1950) em um só; utiliza uma relação entre os parâmetros do rio, também para camadas acima da camada de fundo; divide a profundidade em quatro zonas com cálculos distintos para determinar a concentração.

3.5 Curvas-chave

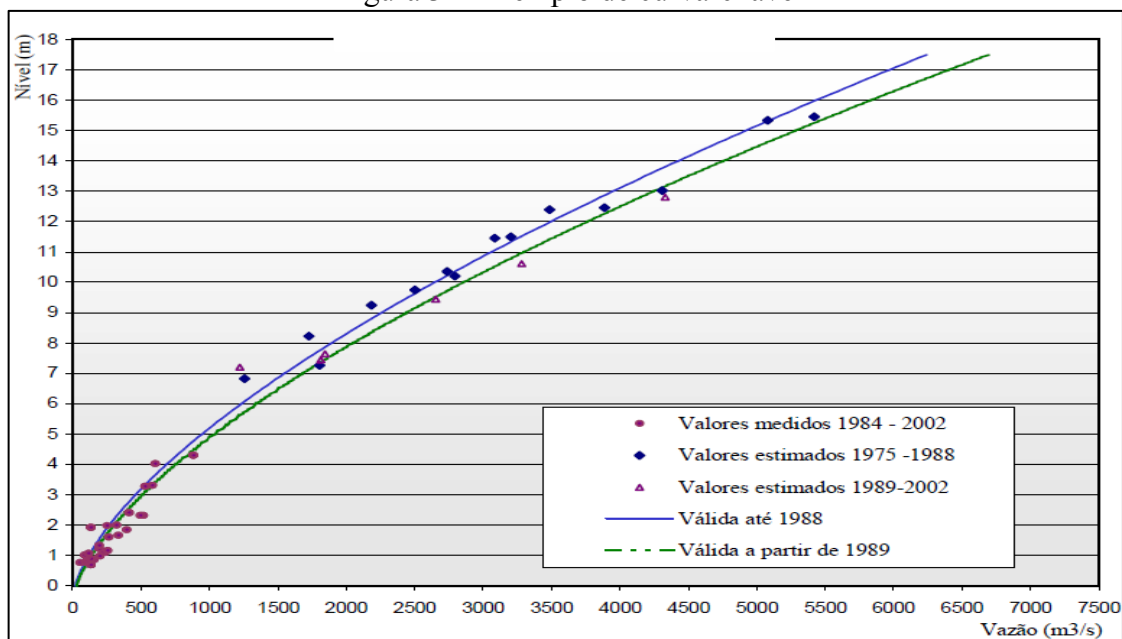
A curva-chave relaciona a altura da lâmina de água (nível d'água) de uma seção transversal de escoamento e sua vazão. Ela é importante, visto que a medição de vazão é um processo lento e complicado e a medição da cota de nível pode ser obtida pela simples leitura de uma régua ou através do uso de sensores de níveis, tais como sensores de pressão ou boia (PAIVA; PAIVA, 2003).

Segundo Porto, Filho e Silva (2001), para a escolha de uma seção adequada para a realização das coletas de dados, deve-se atender aos seguintes requisitos: o lugar deve ser de fácil acesso; a seção deve ter forma retangular; o trecho deve ser retilíneo e com declividade

constante; a margem e o leito devem ser não erodíveis para garantir a integridade da seção escolhida; a faixa de velocidade deve estar entre 0,2 e 2 m/s; deve haver um controle para um regime uniforme e também para regimes fluvial ou crítico; devem-se realizar as medições em situações de regime permanente.

Portanto, para definir a expressão matemática da curva-chave, precisa-se ter em mãos uma série de medições de vazões e seus respectivos níveis. O acúmulo das pequenas variações das características da seção ao longo dos anos faz com que esta relação determinada seja associada a um período de validade, exigindo, portanto a atualização dos dados (CORDERO; MEDEIROS, 2003). Na Figura 3, é representada a curva-chave de um rio, localizado na cidade de Blumenau.

Figura 3 – Exemplo de curva-chave



Fonte: Cordero, Medeiros (2003)

Na Figura 3, pode ser observada a relação da vazão (m³/s) com o nível (m). Maior o nível da água, maior a vazão. As duas curvas representadas possuem validades diferentes, uma válida até o ano de 1988 e a outra válida a partir de 1989.

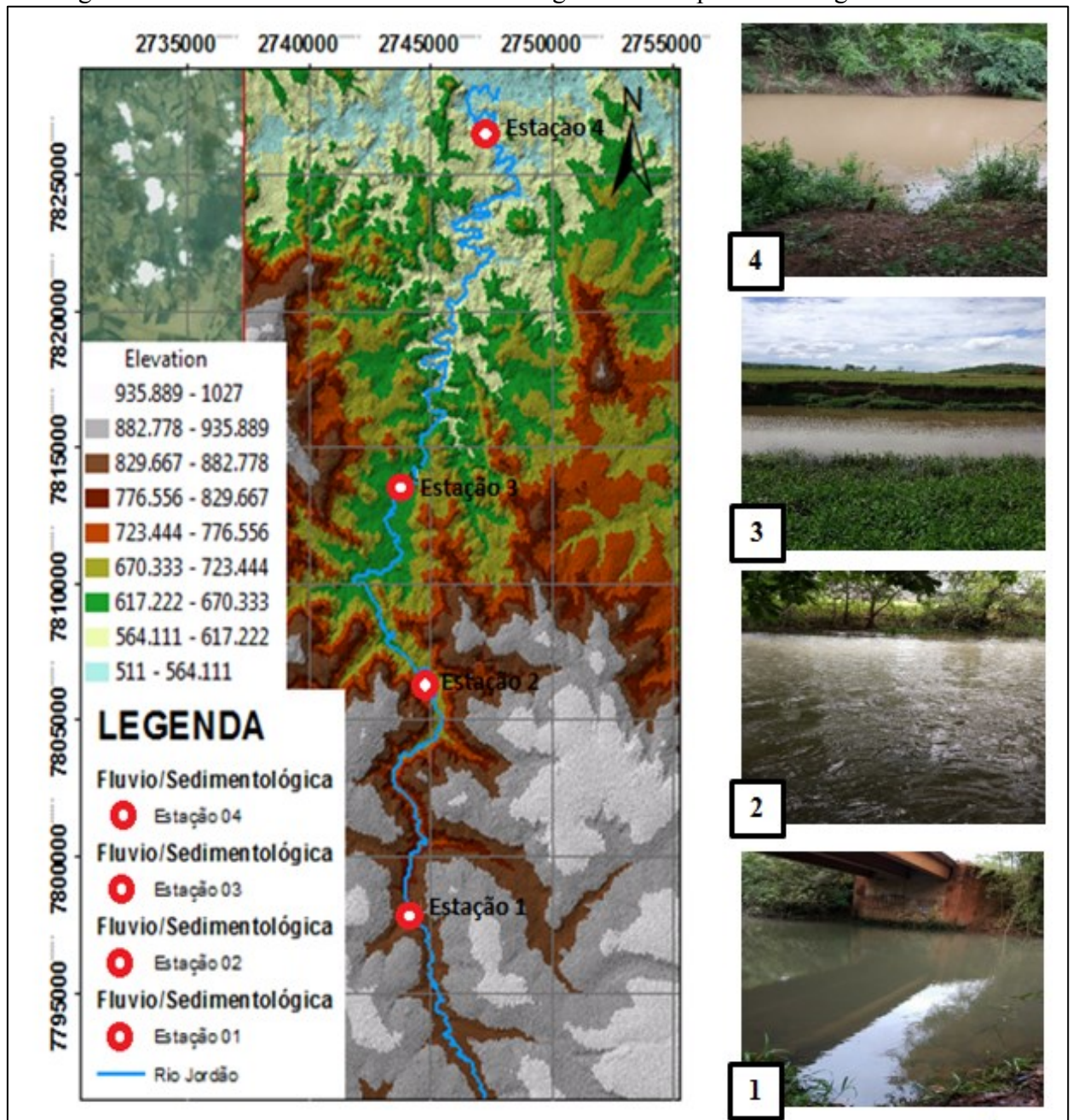
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do ribeirão Jordão localizada a Oeste do Estado de Minas Gerais, na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos – Alto Rio Paranaíba 1 (UPGRH-PN1). A área da bacia tem 92691 hectares (ha) e a extensão do curso d'água principal é de aproximadamente 90 km da nascente até a confluência com o Rio Paranaíba.

Para obtenção de dados, foram escolhidos quatro pontos de amostragem. Nestes pontos, foram coletadas amostras de água, de sedimento do leito, medições do nível de água e medidas de vazão. A determinação dos pontos foi realizada com base nos critérios para obtenção da curva chave, levando em conta também trabalhos anteriores realizados na mesma bacia hidrográfica. A enumeração dos pontos foi feita de montante a jusante, assim, o Ponto 1 é mais próximo a nascente e o Ponto 4 mais próximo à foz do ribeirão Jordão. Na Figura 4 são apresentados os locais dos pontos de estudos.

Figura 4 – Postos fluviométricos/sedimentológicos e as respectivas imagens do local.



Fonte: Autora (2018)

4.2 Coletas de campo

Nesta seção são apresentados os procedimentos utilizados para a coleta de dados feita em campo.

Neste estudo, realizaram-se coletas de amostra de água, de sedimentos do leito do ribeirão Jordão e medidas de nível.

As amostras foram coletadas nos quatros pontos de estudo, durante o ano de 2018, nos dias: 27 de fevereiro, 20 de março, 22 de abril, 17 de julho, 04 de setembro e 13 de novembro, conforme se descreve a seguir.

4.2.1 Coleta de amostras para os ensaios de concentração de sedimentos em suspensão e de sedimentos de leito

No trabalho em campo, coletaram-se amostras de água do ribeirão Jordão, com o intuito de se determinar a concentração dos sedimentos em suspensão. Esse procedimento foi feito por meio de um amostrador de sedimentos em suspensão do tipo USDH-48 (AMS-1). Este equipamento (Figura 5) é utilizado no método de integração vertical para coleta de amostras de sólidos em suspensão em profundidades de até 2,7 m.

Figura 5 – Amostrador tipo USDH-48 (AMS-1)



Fonte: Autora (2018)

O método para a coleta foi feito da seguinte forma: por meio de uma corda guia, cruzou-se a seção transversal do ribeirão, a cada metro o amostrador foi mergulhado e submergido a uma velocidade constante de maneira que se obtivesse uma amostra homogênea. Quando o amostrador, com capacidade de 475 ml, era preenchido, o conteúdo dele era armazenado em um recipiente de 1 litro. O processo foi repetido até o recipiente de armazenamento ser preenchido.

Logo após a coleta e conforme descrito por Carvalho et al. (2000) no guia de práticas sedimentométricas da ANEEL, as amostras coletadas foram armazenadas em um local refrigerado a uma temperatura de 4 °C por um período de 7 dias. Na Figura 6 pode-se observar como foi realizada a coleta das amostras de água.

Figura 6 – Coleta das amostras de água, no Ribeirão Jordão, 2018.



Fonte: Autora (2018)

Para a realização da análise granulométrica, coletou-se do material do leito do ribeirão Jordão. O material foi coletado com o uso de uma pá e utilizou-se um saco plástico para armazená-lo. O saco foi enumerado de acordo com o ponto coletado. A retirada do material se deu no meio e nas bordas do leito do ribeirão Jordão, com o objetivo de obter uma amostra que melhor representasse a seção em estudo, acumulando uma quantidade considerável para que pudesse ser dividida em partes para o ensaio granulométrico.

4.3 Análises de amostras

Com as coletas feitas em campo, realizou-se a análise das amostras, determinando a concentração de sedimentos em suspensão presentes na água e a granulometria do material de leito.

4.3.1 Determinação da concentração de sedimentos em suspensão

No Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Faculdade de Engenharia Civil foram realizadas as análises de concentração dos sedimentos em suspensão (C_{ss}), conforme exposto por Carvalho et al. (2000), no guia de práticas sedimentométricas da ANEEL.

Primeiramente, as amostras foram pesadas com o intuito de evitar erros nos cálculos, devido à possibilidade de ocorrer perdas de água por evaporação. As análises de concentração de sedimentos foram realizadas pelos métodos de filtração, em épocas secas (concentrações menores) e pelo método de evaporação em épocas chuvosas (concentrações maiores).

4.3.1.1 Ensaio de filtração

Inicialmente, houve a preparação dos cadinhos. Em cada um deles foi colocada uma membrana de fibra de vidro 0,45 μm com a parte rugosa para baixo. Para a aderência da membrana, filtra-se o cadinho com uma pequena quantidade de água destilada. Logo após, o cadinho foi colocado na estufa ($105 \pm 2^\circ\text{C}$) pôr 15 minutos, e em seguida levado ao fornomo (550 $\pm 50^\circ\text{C}$) pôr 30 minutos. O cadinho foi resfriado até temperatura ambiente e pesado (P) g.

As amostras foram homogeneizadas em um bécher e filtradas no cadinho, através do sistema para filtração a vácuo com a utilização de uma bomba e de kitassato. Em seguida, o cadinho contendo os sólidos suspensos retidos no filtro, foi levado para estufa ($105 \pm 2^\circ\text{C}$). E resfriado em um dessecador até a temperatura ambiente para a pesagem (PI).

A determinação da concentração de sedimentos em suspensos (C_{ss}) é dada pela Equação (2).

$$(C_{ss}) = \frac{P_1 - P}{V} \times 1.000 \quad (2)$$

Em que:

P = Tara do cadinho (g);

PI = Cadinho com amostra após secagem (g);

$V(L)$: Volume da amostra.

4.3.1.2 Ensaio de evaporação

No ensaio de evaporação, a amostra foi deixada em repouso por 24 horas, em seguida com o auxílio de pipetas, foram retiradas três parcelas de 50 ml da parte superior da amostra, isenta de sedimentos para a determinação da quantidade de sais solúveis.

A amostra de água mais sedimentos com volume reduzido foi colocada em um béquer pré-pesado (P) e levada para a estufa ($105 \pm 2^\circ\text{C}$), até a secagem do recipiente contendo o sedimento. O recipiente com o sedimento foi resfriado no dessecador e após obter temperatura ambiente uma nova pesagem foi realizada (PI).

A determinação da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) é representada pela Equação (3).

$$C_{ss} = \frac{P_2 - P_1}{V} \times 1.000 - C_{sd} \quad (3)$$

Em que:

P (g) = Tara do cadinho;

PI (g) = Cadinho com amostra após secagem;

V (L) = Volume da amostra;

C_{sd} (mg /L) = Concentração de sais dissolvidos.

4.3.2 Análise granulométrica

A distribuição granulométrica do material é a determinação da fração dos sedimentos grossos (partículas com diâmetro superior a 2,0 mm) e finos (partículas inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm), e suas respectivas porcentagens de ocorrência. A análise granulométrica do material coletado foi feita com base na norma ABNT NBR 7181:2016. A Norma estabelece o método de peneiramento para a determinação das características granulométricas das amostras de material de leito.

Os materiais utilizados para o ensaio foram: peneiras com aberturas de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2 mm (peneiramento grosso); peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm,

0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm (peneiramento fino); agitador eletromagnético de peneiras (Figura 7); quarteador de amostras; balança.

Figura 7 – Agitador de peneiras



Fonte: Autora (2018)

A cada ponto de estudo foi coletado 6 kg do material, sendo esse material dividido em três amostras, através do quarteamento, portanto cada amostra possuía 2 kg. O ensaio foi realizado após a secagem ao ar do material, também foi feito o destorroamento e a homogeneização dos aglomerados de grãos com o objetivo de evitar erros nas medidas de diâmetros. Os pesos retidos nas peneiras eram anotados para a obtenção da curva granulométrica do material.

4.4 Determinação da descarga de sedimentos nas seções dos pontos em estudo

4.4.1 Método de Ackers e Write

De acordo com Brune (2014), a aplicação do método é descrita:

a) Cálculo da velocidade de cisalhamento do leito (U'), Equação (4).

$$U' = \sqrt{g \cdot d \cdot S} \quad (4)$$

Em que:

S = declividade da linha d'água (m/m);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

d = profundidade hidráulica (m).

b) Cálculo do diâmetro adimensional (D_{gr}) do grão, Equação (5).

$$D_{gr} = D_{35} \cdot \left[\frac{g(s_g - 1)}{v} \right]^{1/3} \quad (5)$$

Em que:

S_g = gravidade específica do sedimento, igual a γ/γ'_s ;

v = viscosidade cinemática da água (m²/s);

D_{35} = diâmetros do grão para o qual 35% do material do leito, são mais finos.

c) Cálculo da grandeza adimensional de mobilidade (F_{gr}), Equação (6).

$$F_{gr} = \frac{U^n}{\sqrt{g \cdot D_{35} \cdot (S_g - 1)}} \cdot \left[\frac{U}{\sqrt{32 \cdot \log\left(\frac{\alpha \cdot d}{D_{35}}\right)}} \right]^{1-n} \quad (6)$$

Em que:

U = velocidade média do escoamento (m/s);

α = coeficiente que no regime turbulento.

d) Cálculo da descarga sólida adimensional (G_{gr}), baseada no conceito de potência do escoamento, Equação (7).

$$G_{gr} = C_A \cdot \left(\frac{F_{gr}}{F} - 1 \right)^m \quad (7)$$

Em que:

C_A = coeficiente da função de transporte de sedimento;

F_{gr} = grandeza adimensional de mobilidade;

F = valor do número de Froude em movimento inicial;

m = expoente da função de transporte de sedimento.

e) Cálculo da concentração de descarga sólida de material de leito (C), em ppm, Equação (8).

$$C = 10^6 \left(\frac{G_{gr} \cdot S_g \cdot D_{35} \cdot \left(\frac{U}{U'} \right)^n}{d} \right) \quad (8)$$

Em que:

G_{gr} = descarga sólida adimensional;

U' = velocidade de cisalhamento do leito (m/s);

U = velocidade média do escoamento (m/s);

n = expoente de transição que depende da granulometria do sedimento.

f) O cálculo da descarga sólida total do material de leito (Q_{sml}), em ton/dia, é dado pela Equação (9).

$$Q_{sml} = 0,0864 \cdot Q \cdot C \quad (9)$$

Em que:

Q = vazão (m³/s);

C = concentração de descarga sólida do material de leito (ppm).

Os valores de n , A , m e G_{gr} foram avaliados para dois diâmetros médios de material do leito, sendo para silte, $D_{gr} = 1$, e para areia, $D_{gr} = 60$, resultando nos valores apresentados na Tabela 1 (BRUNE, 2008).

Tabela 1 – Valores das constantes da fórmula de Ackers & White		
<i>Coefficientes</i>	$D_{gr} > 60$	$1 > D_{gr} \leq 60$
C_A	0,025	$2,86 \cdot \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53$
n	0	$1,00 - 0,56 \cdot \log D_{gr}$
A	0,17	$\frac{0,23}{\sqrt{D_{gr}}} + 0,14$
m	1,5	$\frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34$

Fonte: Brune (2014)

4.4.2 Método de Bishop, Simons e Richardson

De acordo com Nascimento (2001), para aplicar o método proposto por Bishop, Simons e Richardson, calcula-se o parâmetro ψ' que depende das características hidráulicas do escoamento. Determinado esse parâmetro e tendo o diâmetro médio (D_m) dos sedimentos, obtém-se o parâmetro Φ_{BT} .

Com o valor do parâmetro adimensional Φ_{BT} , é possível calcular o transporte unitário total de fundo (g_{BT}), em Kgf/s.m, dado pela Equação (10).

$$g_{BT} = \gamma_s \cdot \Phi_{BT} \cdot (g \cdot \Delta \cdot D_m^3)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

A densidade relativa das partículas dentro d' água (Δ), dada pela Equação (11).

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} = S_s - 1 \quad (11)$$

Em que:

S_s = densidade relativa das partículas;

γ_s = peso específico do sedimento (ton/m³);

γ = peso específico da água (ton/m³);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

4.4.3 Método de Cheng

Para a aplicação do Método de Chen, calcula-se a descarga total de sedimentos por unidade de largura (qb) pela Equação (12).

$$\Phi = \frac{qb}{D_{50} \sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}}} \quad (12)$$

Em que:

Δ = densidade do sedimento submerso igual a 1,65.

D_{50} = diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito, são mais finos.

O parâmetro adimensional da tensão de cisalhamento (Θ) é dado pela Equação (13).

$$\Theta = \frac{u_*^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}} \quad (13)$$

E o parâmetro adimensional de transporte de Einstein é dado pela Equação (14).

$$\Phi = 13 \cdot \Theta^{1,5} \cdot \exp\left(-\frac{0,05}{\Theta^{1,5}}\right) \quad (14)$$

4.4.4 Método de Colby

Carvalho (1994) descreve o método de Colby (1957) como a descarga sólida total (Q_{sT}) dada pela soma da descarga sólida em suspensão (Q_{sm}), a qual é medida, com a descarga sólida de fundo (Q_{nm}), a qual não é medida. Estes fatores são apresentados na Equação (15).

$$Q_{sT} = Q_{ss} + Q_{nm} \quad (15)$$

Em que Q_{sm} é obtido pela Equação (16).

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss} \quad (16)$$

Em que:

Q_{sT} = descarga sólida total (t/dia);

Q_{sm} = descarga sólida medida (t/dia);

Q_{nm} = descarga sólida não medida (t/dia);

Q = descarga líquida (m³/s).

C_{ss} = concentração de sedimento em suspensão medida (mg/l).

O cálculo da descarga sólida não medida (Q_{nm}) é feito a partir de três ábacos os quais dependem da velocidade de escoamento média, profundidade média, concentração média de

sedimentos e da largura da seção. Primeiro utiliza-se do ábaco 1 (Anexo A) para determinar a descarga sólida não medida aproximada por unidade de largura. Em seguida, com o ábaco 2 (Anexo A) obtêm-se a concentração relativa Cr com base na velocidade de escoamento média. Após a determinação de Cr determina-se a razão de eficiência, dado pela Equação (17).

$$e = (C_{ss})/Cr \quad (17)$$

Em que:

e = razão da eficiência;

Cr = concentração relativa média (ppm);

C_{ss} = concentração de sedimento em suspensão medida (mg/l).

Dessa forma, se obtém com essa razão, o fator de correção K , na linha média de valor igual a um, apresentado no ábaco 3 (Anexo A). Então é calculada a descarga sólida não medida, de acordo com a Equação (18).

$$Q_{nm} = q'_{nm} \times L \times K \quad (18)$$

Em que:

Q_{nm} = descarga sólida não medida (t/dia);

q'_{nm} = descarga sólida não medida aproximada (t/dia/m);

L = largura da Seção transversal em (m);

K = fator de correção.

4.4.5 Método de Método de Einstein e Brown

De acordo Simons e Senturk (1992), o Método de Einstein e Brown é representado resumidamente pelas equações:

O cálculo do parâmetro adimensional de transporte de Einstein (Φ), dado pela Equação (19).

$$\Phi = \frac{qb}{Kb \cdot \sqrt{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \cdot D_{50}^3}} \quad (19)$$

Em que:

γ = peso específico da água (ton/m³);

γ_s = peso específico do sedimento (ton/m³);

D_{50} = diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito são mais finos;

qb = descarga total de sedimentos por unidade de largura;

kb = parâmetro do método de Einstein-Brow.

A descarga total de sedimentos por unidade de largura (qb) é calculada pela Equação (20).

$$Kb = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36.v^2}{g\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right).D_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36.v^2}{g\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right).D_{50}^3}} \quad (20)$$

Em que:

ν = viscosidade cinemática da água (m²/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

4.4.6 Método de Engelund e Hansen

Segundo Paiva (2007), a tensão de cisalhamento da corrente (τ_o) em kg/m² é determinada pela Equação (21).

$$\tau_o = \gamma.Rh.S \quad (21)$$

Em que:

γ = peso específico da água (ton/m³);

Rh = raio hidráulico (m);

S = declividade da linha d'água (m/m).

A descarga sólida total (gs) do material transportado em kg/m.s é determinada pela Equação (22).

$$gs = 0,05.\gamma_s.U^2.\left[\frac{D_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)}\right]^{\frac{1}{2}}.\left[\frac{\tau_o}{(\gamma_s-\gamma)D_{50}}\right]^{\frac{3}{2}} \quad (22)$$

Em que:

γ_s = peso específico do sedimento (ton/m³);

U = velocidade média do escoamento (m/s);

D_{50} = diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito são mais finos .

4.4.7 Método de Karim

De acordo com Carvalho (1994), no método de Karim a descarga total de sedimentos por unidade de largura (q_s) é dada pela Equação (23).

$$\frac{q_s}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}} = 0,00139 \cdot \left(\frac{\nu}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}}} \right)^{2,97} \cdot \left(\frac{u^*}{W} \right)^{1,47} \quad (23)$$

Em que:

D_{50} = diâmetro da partícula, para o qual 50% do material do leito são mais finos;

ν = viscosidade cinemática da água (m²/s);

Δ = densidade do sedimento submerso igual a 1,65.

W = Velocidade de queda das partículas (m/s), expressa pela Equação (24).

$$W = \left(\sqrt{\frac{2}{3}} + \frac{36\nu^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}} \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}} \right) \quad (24)$$

4.4.8 Método de Shen e Hung

Shen e Hung (1971) analisaram os dados por meio da serie de Taylor, estimando os parâmetros de um sistema não linear, obtendo as equações a seguir:

O cálculo da concentração média do material do leito ($\bar{C}BT$), em ppm, representado pela Equação (25).

$$\log \bar{C}BT = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 \quad (25)$$

Onde:

$$x = U^{a_4} \cdot S^{a_5} \cdot w_m^{a_6} \cdot d^{a_7} \quad (26)$$

Em que:

S = declividade da linha d'água (m/m);

U = velocidade média do escoamento (m/s);

d = profundidade hidráulica (m).

A velocidade de sedimentação das partículas do leito associada ao diâmetro médio (Wm), dada pela Equação (27).

$$Wm = F_1 \cdot (g \cdot \Delta \cdot D)^{0,5} \quad (27)$$

Em que:

Δ = densidade do sedimento submerso igual a 1,65;

g = aceleração da gravidade (m/s²);

D = diâmetro representativo da amostra;

F_1 = parâmetro adimensional (depende da viscosidade cinemática da água, da densidade relativa da partícula e do diâmetro).

Os valores dos expoentes encontrados por Shen e Hung são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos expoentes Método de Shen e Hung

a_0	-107404,46
a_1	324124,75
a_2	-326309,59
a_3	109503,87
a_4	0,00750189
a_5	0,00428802
a_6	-0,00239975
a_7	0

Fonte: Nascimento (2001)

O transporte da descarga sólida (gBT), em kgf/s. m, é calculado pela Equação (28).

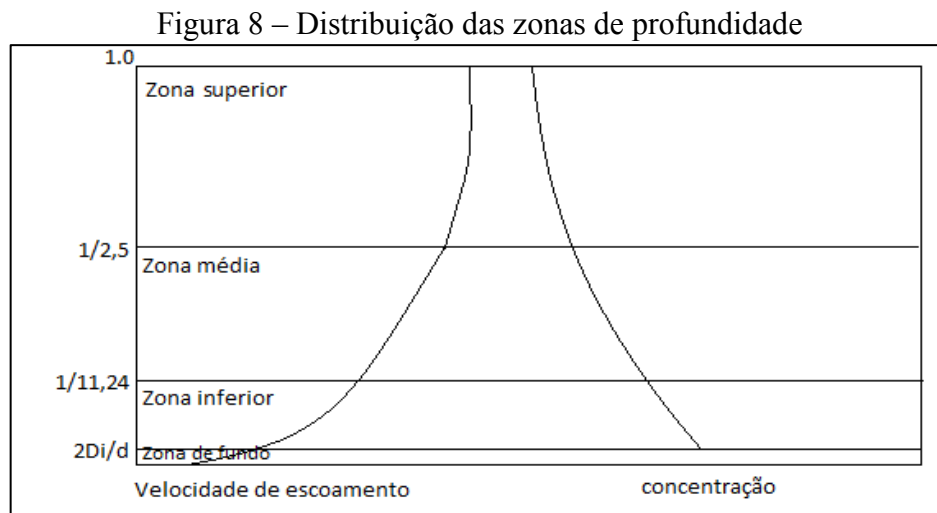
$$gBT = \bar{C}BT.Q \quad (28)$$

Em que:

Q = vazão (m³/s).

4.4.9 Método de Toffaleti

Paiva (2001) equaciona o método de Toffaleti (1969) da seguinte maneira: Primeiro a profundidade média é dividida em quatro zonas, sendo essas as zonas: superior, média, inferior e de fundo, de acordo com a Figura 8.



A velocidade em cada zona é determinada de acordo com as Equações (29) e (30).

$$v = (1 + nv).U.\left(\frac{y}{d}\right)^{nv} \quad (29)$$

$$nv = 0,1198 + 0,00048.T \quad (30)$$

Em que:

v = velocidade instantânea em um ponto de profundidade y (pés/s);

T = temperatura da água (°F);

U = velocidade média do escoamento (pés/s);

d = profundidade total do escoamento (pés).

As distribuições de concentração nas zonas são dadas pelas Equações (31), (32), (33) e (34).

$$Ci_{sup} = Cui. \left(\frac{y}{d}\right)^{-1,5Zi} \quad (31)$$

$$Ci_{med} = Cmi. \left(\frac{y}{d}\right)^{-Zi} \quad (32)$$

$$Ci_{inf} = Cli. \left(\frac{y}{d}\right)^{-0,756Zi} \quad (33)$$

$$Ci_{2Di} = Cli. \left(\frac{2Di}{d}\right)^{-0,756Zi} \quad (34)$$

Em que:

Ci = concentração da partícula de diâmetro i (pés);

Cui , Cmi e Cli = concentração da partícula de diâmetro i nas zonas de profundidade superior, média e inferior;

Di = diâmetro da fração i (pés);

Zi = é dado pela Equação (35).

$$Zi = \frac{Wi.U}{Cz.d.S} \quad (35)$$

Em que:

Wi = velocidade de queda da partícula de diâmetro i ;

S = declividade da linha d'água (m/m);

Cz = dado pela Equação (36).

$$Cz = 260,67 - 0,667T \quad (36)$$

Em que:

T : temperatura (°F).

Quando o valor de Zi calculado for menor que nv , adota-se o valor de Zi como sendo $1,5nv$.

O valor de u'^* é determinado com base na Equação (37).

$$\frac{U}{U'^*} = f\left(\left(\frac{U^3}{g.S.v.}\right), \left(\frac{U}{g.S.D_{65}}\right)\right) \quad (37)$$

Em que:

U = Velocidade de escoamento (pés/seg);

g = aceleração da gravidade (pés/ s^2);

S = inclinação da linha d'água (pés/pés);

v = viscosidade cinemática da água (pés²/ s^2);

D_{65} = diâmetro das partículas maior que 65% do material de fundo.

O coeficiente Ac é encontrado a partir da Equação (38) e pelo ábaco 4.a (Anexo B).

$$\left(Ac = f\left(\frac{(10^5.v)^{\frac{1}{3}}}{10.U'^*}\right) \right) \quad (38)$$

Com Ac torna-se possível determinar o valor de Kc a partir do ábaco 4.b (Anexo B), caso $Ac < 0,25$ adota-se o valor de $Kc=1$. Caso o valor de $Ac.Kc < 16$, adota-se o valor de $Ac.Kc=16$.

Calcula-se então Tt pela Equação (39).

$$Tt = 1,10. (0,051 + 0,00009T) \quad (39)$$

As descargas de sedimentos de diâmetro Di por unidade de largura nas diferentes zonas de profundidade são fornecidas pelas Equações (40), (41), (42) e (43).

$$q_{sup} = Mi. \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{0,244Zi} \cdot \left(\frac{d}{2,5}\right)^{0,5Zi} \cdot \left[d^{n1} - \left(\frac{d}{2,5}\right)^{n1}\right]}{n1} \quad (40)$$

$$q_{méd} = Mi. 2. \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{0,244Zi} \cdot \left[\left(\frac{d}{2,5}\right)^{n2} - \left(\frac{d}{11,24}\right)^{n2}\right]}{n2} \quad (41)$$

$$q_{inf} = Mi. \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{n3} - (2.Di)^{n3}}{n3} \quad (42)$$

$$q_{2Di} = Mi. (2Di)^{n3} \quad (43)$$

Em que:

Pi = fração por peso do material de fundo com diâmetro Di .

E os parâmetros $n1$, $n2$, $n3$ e Mi , dados pelas Equações (44), (45), (46), e (47).

$$n1 = 1 + nv - 1,5Zi \quad (44)$$

$$n2 = 1 + nv - Zi \quad (45)$$

$$n3 = 1 + nv - 0,756Zi \quad (46)$$

$$Mi = 43,2 \cdot pi \cdot Cli \cdot (1 + nv) \cdot U \cdot d^{0,756Zi-nv} \quad (47)$$

Cli é calculado a partir da Equação (48).

$$q_{inf} = Mi \cdot \frac{0,6 \cdot pi}{\left(\frac{Tt \cdot Ac \cdot Kc}{U^2}\right)^{5/3} \cdot \left(\frac{Di}{0,00058}\right)^{5/3}} \quad (48)$$

Por fim, a descarga final em toneladas por dia para partículas do diâmetro Di será a somatória das vazões unitárias nas diferentes zonas de fundo, Equação (49).

$$QTi = qsup + qméd + qinf + q2Di \quad (49)$$

4.4.10 Software WinTSR

Os cálculos dos métodos foram feitos com o auxílio do *software* WinTSR (Figura 9), desenvolvido por Beling e Rosa (2002), do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria (RS).

Figura 9 – Software WinTSR

MÉTODO DE CHENG

Local: PONTO 4
Data: 22/05/2018
Nº de diâmetros: 11

Sistema de Unidades:
☒ Sistema Internacional
☐ Sistema Inglês

Diametro da peneira	%passante mat. fundo
25000	100
19000	99,68
9500	99,52
4800	98,52
2000	93,50
1180	87,30
600	62,04
420	37,39
250	13,46
150	4,77
75	1,17

Largura da superfície livre do rio: 18,50 m
 Declividade da linha d'água: 0,00009 m/m
 Profundidade hidráulica do rio: 0,77 m
 Diâmetro característico do grão: D50: 550 microns

DIAMETRO DA PENEIRA (Microns)	QUE PASSA MAT FUNDO
25000,00	100,00
19000,00	99,68
9500,00	99,52
4800,00	98,52
2000,00	93,50
1180,00	87,30
600,00	62,04
420,00	37,39
250,00	13,46
150,00	4,77
75,00	1,17

Total de Sedimentos de Fundo Transportado: 5,64 Ton/dia

Fonte: Autora (2018)

O *software* solicita os parâmetros de entrada para cada método, e gera os resultados das descargas de sedimentos, sendo possível analisar o resultado de 18 metodologias diferentes.

4.5 Métodos para medidas de vazão

Para determinação da seção transversal, perfil de velocidade, velocidade pontual e da vazão líquida do curso d'água foram utilizados os equipamentos Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) e o molinete fluviométrico. O molinete fluviométrico foi empregado quando o nível de água estava abaixo de 30 cm e o uso do ADCP se tornava inviável ou quando o ADCP apresentasse algum problema, prejudicando a obtenção dos parâmetros.

4.5.1 Molinete fluviométrico

Os molinetes fluviométricos (Figura 10) são instrumentos que medem a velocidade da água nos rios, possuem pequenas hélices que giram impulsionados pela passagem da água. A velocidade da água é, normalmente, maior no centro de um rio do que junto às margens. Da mesma forma, a velocidade é mais baixa junto ao fundo do rio do que junto à superfície. Em função desta variação da velocidade nos diferentes pontos da seção transversal, utilizar apenas uma medição de velocidade pode resultar em uma estimativa errada da velocidade média (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Por isso, foram realizadas medidas a cada metro da seção transversal, e em diferentes profundidades. Com o auxílio de uma corda graduada que se estendeu de uma margem a outra, o molinete preso a uma haste graduada era submergido a cada metro, a profundidades de 60% ou 80% e 20% de cada vertical. Para obtenção da velocidade do escoamento, o molinete foi conectado a um contador de giros eletrônico, controlado por um cronômetro digital que relaciona o número de rotação, por segundo, com a velocidade do escoamento.

Figura 10 – Molinete fluviométrico



Fonte: Autora (2018)

A velocidade é obtida pela Equação (50), a qual se baseia no número de rotações em um intervalo de tempo e em constantes específicas para cada aparelho.

$$V = A \times N + B \quad (50)$$

Em que:

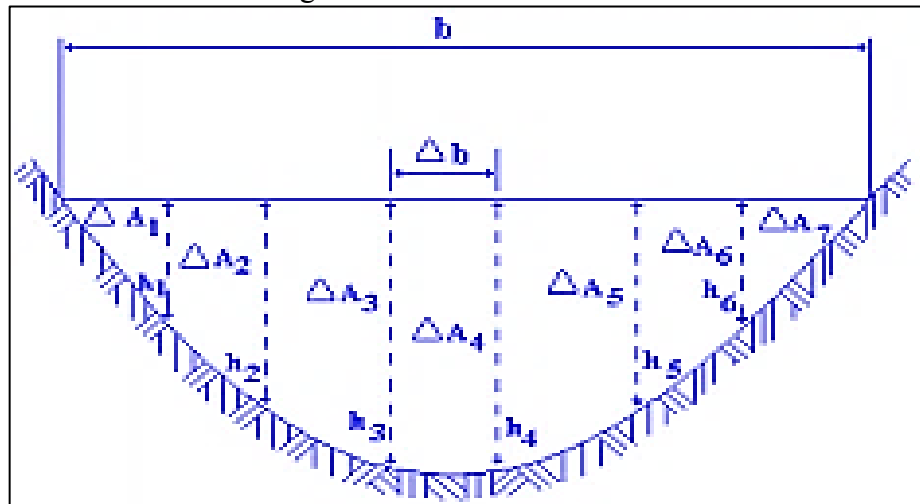
V = Velocidade da água (m/s);

N = Número de rotações por segundo;

A e B = constantes do aparelho usado.

Ao longo da seção são feitas medidas de profundidade. Portanto, com essas medidas é possível calcular os elementos de área (Figura 11), que são obtidos utilizando simplificações de áreas de triângulos ou trapézios.

Figura 11 – Elementos de área



Fonte: Ignácio (2003)

Cada medida de área corresponde a uma velocidade medida, logo, é possível calcular a vazão parcial em cada elemento através da Equação (51).

$$qi = Vi \times Ai \quad (51)$$

Em que:

Qi = Vazão de cada elemento (m³/s);

Vi = Velocidade de cada elemento (m/s);

Ai = Área de cada elemento (m).

Obtidas as vazões parciais, calculou-se a vazão total da seção pela soma delas, representado através da Equação (52).

$$Q = \sum q_i \quad (52)$$

4.5.2 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

O ADCP é um aparelho que determina o perfil de velocidade da corrente, e por consequência, cálculo da descarga líquida total. O aparelho utiliza técnicas de sensoriamento remoto, através do efeito Doppler, para medição de vazão. A velocidade do escoamento é calculada a partir de sinais acústicos enviados pelo aparelho e refletidos pelas partículas sólidas naturalmente presentes na água. Em Gordon (1989), descreve-se o funcionamento básico do ADCP, que consiste em emitir pulsos acústicos ao longo de feixes estreitos em uma frequência conhecida. A diferença das frequências dos sons emitidos e refletidos é proporcional à velocidade relativa entre o barco e as partículas imersas na água.

O equipamento básico (Figura 12) é composto de: um transdutor, responsável pela emissão dos pulsos acústicos e pela detecção do som refletido pelas partículas sólidas; um processador, responsável pela coleta e armazenamento das leituras; um deck box, responsável pela interface entre o processador; um notebook.

Figura 12 – ADCP



Fonte: Autora (2018)

Os sensores utilizados no ADCP são acoplados em um barco, que com o auxílio de uma corda. Este é levado de uma margem a outra coletando os dados. O notebook é acoplado ao processador, para o acompanhamento e armazenamento das medições em tempo real. Na Figura 13, é retratada a medição da vazão com o uso do ADCP.

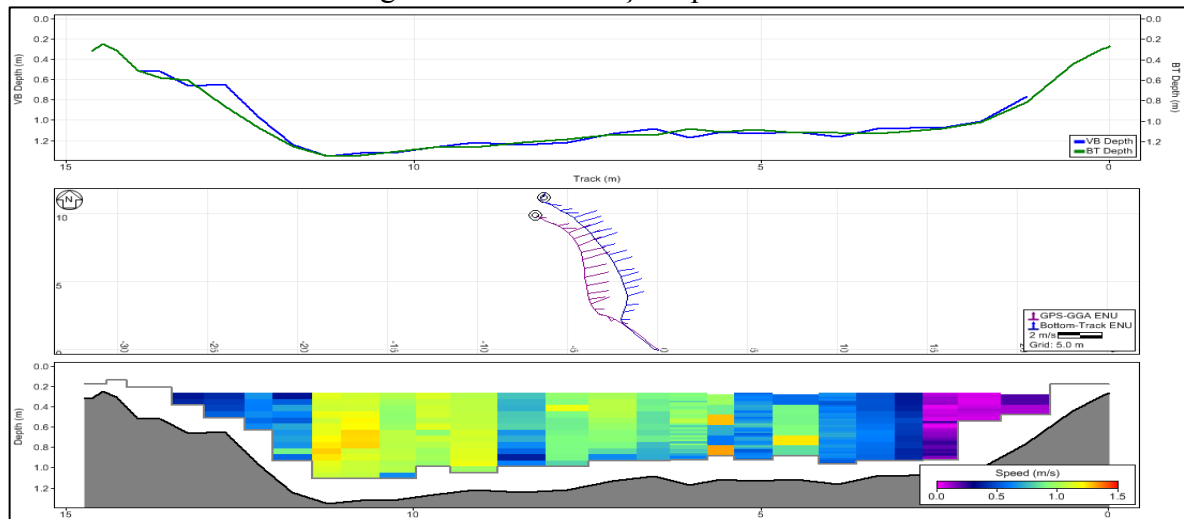
Figura 13 – Medição da vazão com uso do ADCP no ribeirão Jordão, 2018.



Fonte: Autora (2018)

Os dados armazenados são processados pelo software River Surveyor ®. No *software* é mostrado o perfil da seção (Figura 14), a vazão, a velocidade, entre outros dados. É necessário fornecer os dados de entrada os quais são: a distâncias entre o aparelho e a margem e a profundidade dele em relação à mesma.

Figura 14 – Perfil traçado pelo ADCP



Fonte: Autora (2018)

De acordo com Gordon (1989), o uso do ADCP apresenta vantagens técnicas e operacionais em relação ao convencional (molinete fluviométrico), o equipamento possui uma maior precisão, capta dados com maior velocidade e qualidade. Tendo também eliminado algumas sérias limitações dos molinetes, como a não identificação da direção das velocidades. Para profundidades pequenas, entretanto, continua sendo indispensável o método convencional, em função do decréscimo da percentagem de vazão diretamente medida pelo ADCP em relação à vazão total, o que influencia na qualidade dos resultados.

4.6 Medição do nível d'água

A forma mais simples para medir o nível de um curso d'água é colocar uma régua vertical na água e observar sua marcação. As réguas são geralmente constituídas de elementos verticais de 1 metro graduados em centímetro. São placas de metal inoxidável ou de madeira colocadas de maneira que o elemento inferior fique na água mesmo em caso de estiagem excepcional (PORTO; FILHO; SILVA, 2001). Para as medições foram utilizadas duas réguas graduadas e uma mangueira de nível. As réguas foram colocadas de maneira que uma ficasse submersa a outra, em uma base pré-instalada no local (Figura 15).

Figura 15 – Réguas para medir o nível líquido



Fonte: Autora (2018)

As medidas de nível d'água ocorreram simultaneamente com as medidas de vazão, para a obtenção da curva-chave. Nas seis coletas já, mencionadas ao longo de 2018.

4.7 Determinação da curva-chave

Para a obtenção da curva-chave do ribeirão Jordão, será utilizada uma curva do tipo exponencial, a qual relaciona a vazão com o nível líquido, representada pela Equação (53).

$$Q = \alpha \times (h - h_0)^\beta \quad (53)$$

Em que:

α , β e h_0 = Parâmetros de ajuste;

h = Nível líquido (m);

Q = Vazão média (m³/s).

Aplicando-se o logaritmo em ambos os lados da equação, esta é linearizada, de acordo com a Equação (54).

$$\log Q = \log \alpha + \beta \times \log(h - h_0) \quad (54)$$

A qual pode ser simplificada de acordo com a Equação (55).

$$Y = A + \beta \times X \quad (55)$$

Em que:

$Y = \log Q$;

$A = \log \alpha$;

$X = \log (h-h_0)$.

Os parâmetros α e β podem ser determinados pelo método de regressão linear feito a partir da Equação (55). O parâmetro h_0 pode ser determinado de duas formas: encontrando o ponto na curva (igualando a vazão igual a 0 na Equação (53)) ou através do método de tentativa e erro. A forma utilizada no trabalho foi encontrando o ponto na curva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo do ano de 2018, foram realizadas seis coletas de dados (27/02, 20/03, 22/04, 17/07, 04/09 e 13/11). Na seção do Ponto 1 ocorreram apenas 3 coletas de dados (17/07, 04/09 e

13/11). Na seção do Ponto 3 foram realizadas cinco coletas, não tendo coletas no mês de setembro. Já nos pontos 2 e 4 ocorreram as 6 coletas totais.

5.1 Caracterizações hidráulica e geométrica das seções transversais

Para a aplicação dos métodos de estimativa da descarga de sedimentos, foram necessário obter parâmetros hidráulicos e geométricos das seções transversais dos pontos analisados. A vazão (Q), a velocidade média (U), a profundidade média (d) e a largura (L) das seções foram determinadas em campo. A declividade da linha de água (S), o coeficiente de rugosidade (n), o perímetro molhado (P_m), a área molhada (A_m) e o raio hidráulico (Rh) foram determinados a partir das equações já conhecidas na literatura.

O valor da viscosidade da água adotado em todos os cálculos, para uma temperatura a 20°C, de 0,000001003 m²/s. A determinação da declividade da linha de água foi realizada pela Equação (56) apresenta a fórmula de Manning. O coeficiente de rugosidade achou-se a partir da média aritmética entre as Equações (57) e (58) que descrevem a fórmula de Strickler (1923) alterada para D_{50} e D_{90} . A área e o perímetro molhado foram determinados por seções consideradas trapezoidais com ângulo de 45°. O raio hidráulico foi obtido pela razão entre a área molhada e o perímetro molhado. A velocidade média do escoamento sendo encontrada no mesmo pela equação da continuidade expressa na Equação (59).

$$S = \left(\frac{Q \cdot n}{A \cdot Rh^{2/3}} \right)^2 \quad (56)$$

$$n = \frac{D_{50}^{1/6}}{21,1} \quad (57)$$

$$n = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} \quad (58)$$

$$Q = U \cdot A \quad (59)$$

Os dados hidráulicos e geométricos das seções transversais de cada ponto estão apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 1

<i>Coletas</i>	<i>L</i> (m)	<i>d</i> (m)	<i>U</i> (m/s)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>A</i> (m ²)	<i>P</i> (m)	<i>Rh</i> (m)	<i>S</i> (m/m)
17/07/2018	4,36	0,25	0,32	0,66	1,27	5,56	0,23	0,0032
04/09/2018	6,72	0,40	0,24	0,55	2,30	7,12	0,32	0,0032
13/11/2018	7,70	0,66	0,82	3,30	4,02	9,31	0,43	0,0032

Fonte: Autora (2018)

Tabela 4 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 2

<i>Coletas</i>	<i>L</i> (m)	<i>d</i> (m)	<i>U</i> (m/s)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>A</i> (m ²)	<i>P</i> (m)	<i>Rh</i> (m)	<i>S</i> (m/m)
27/02/2018	15,10	0,53	0,50	4,30	8,58	16,12	0,532	0,00019
20/03/2018	15,50	0,47	0,3640	2,16	5,93	16,44	0,3610	0,00017
22/05/2018	15,00	0,38	0,37	1,85	5,05	15,75	0,32	0,00019
17/07/2018	12,12	0,15	0,32	0,88	2,76	12,04	0,23	0,00019
04/09/2018	11,72	0,13	0,26	0,39	1,52	11,00	0,14	0,00017
13/11/2018	15,37	0,55	0,57	4,79	8,45	17,90	0,47	0,00019

Fonte: Autora (2018)

Tabela 5 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 3

<i>Coletas</i>	<i>L</i> (m)	<i>d</i> (m)	<i>U</i> (m/s)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>A</i> (m ²)	<i>P</i> (m)	<i>Rh</i> (m)	<i>S</i> (m/m)
27/02/2018	15,00	0,92	0,40	8,66	21,95	16,84	1,30	0,00002
20/03/2018	14,00	0,91	0,38	6,92	18,33	15,82	1,16	0,00003
22/05/2018	14,00	0,87	0,34	4,78	14,21	15,73	0,90	0,00003
17/07/2018	11,33	0,74	0,31	2,56	8,31	12,81	0,65	0,00002
13/11/2018	11,94	0,94	0,83	9,26	11,22	13,82	0,81	0,00003

Fonte: Autora (2018)

Tabela 6 – Características hidráulicas e geométricas da seção do Ponto 4

<i>Coletas</i>	<i>L</i> (m)	<i>d</i> (m)	<i>U</i> (m/s)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>A</i> (m ²)	<i>P</i> (m)	<i>Rh</i> (m)	<i>S</i> (m/m)
27/02/2018	18,50	1,00	0,56	10,91	19,43	20,49	0,95	0,00007
20/03/2018	18,00	0,85	0,49	6,95	14,18	19,71	0,72	0,00008
22/05/2018	18,50	0,77	0,46	5,17	11,38	20,04	0,57	0,00009
17/07/2018	18,40	0,38	0,46	3,25	7,05	19,16	0,37	0,00007
04/09/2018	17,75	0,34	0,35	2,54	6,00	18,43	0,33	0,00008
13/11/2018	17,62	0,68	0,84	10,03	11,98	18,14	0,66	0,00009

Fonte: Autora (2018)

Foi possível observar grandes diferenças entre os valores das variáveis analisadas para cada seção transversal. Estas diferenças podem ser explicadas principalmente pelo fato das coletas

terem sido realizadas em períodos que apresentam diferentes condições meteorológicas. Os maiores valores para as vazões (Q) ocorrem nos meses de fevereiro e novembro, sendo os períodos com maiores precipitações entre os analisados.

5.2 Concentrações de sedimentos em suspensão

Por meio dos ensaios de filtração e evaporação, obtiveram-se as concentrações de sedimentos das seções transversais dos quatro pontos analisados (Tabelas 7, 8, 9 e 10). As concentrações foram usadas posteriormente no método de Colby, para o cálculo da descarga total.

Tabela 7 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 1

<i>Data</i>	<i>Css (ppm)</i>
17/07/2018	22,42
09/09/2018	10,35
13/11/2018	19,76

Fonte: Autora (2018)

Tabela 8 – Concentrações de sedimentos da seção Ponto 2

<i>Data</i>	<i>Css (ppm)</i>
22/02/2018	73,00
20/03/2018	63,11
22/05/2018	35,00
17/07/2018	22,42
09/09/2018	10,35
13/11/2018	19,76

Fonte: Autora (2018)

Tabela 9 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 3

<i>Data</i>	<i>Css (ppm)</i>
22/02/2018	120,24
20/03/2018	83,56
22/05/2018	139,56
17/07/2018	83,74
13/11/2018	75,49

Fonte: Autora (2018)

Tabela 10 – Concentrações de sedimentos da seção do Ponto 4

<i>Data</i>	<i>Css (ppm)</i>
22/02/2018	115,29
20/03/2018	125,78
22/05/2018	126,77
17/07/2018	51,28
09/09/2018	65,38
13/11/2018	104,11

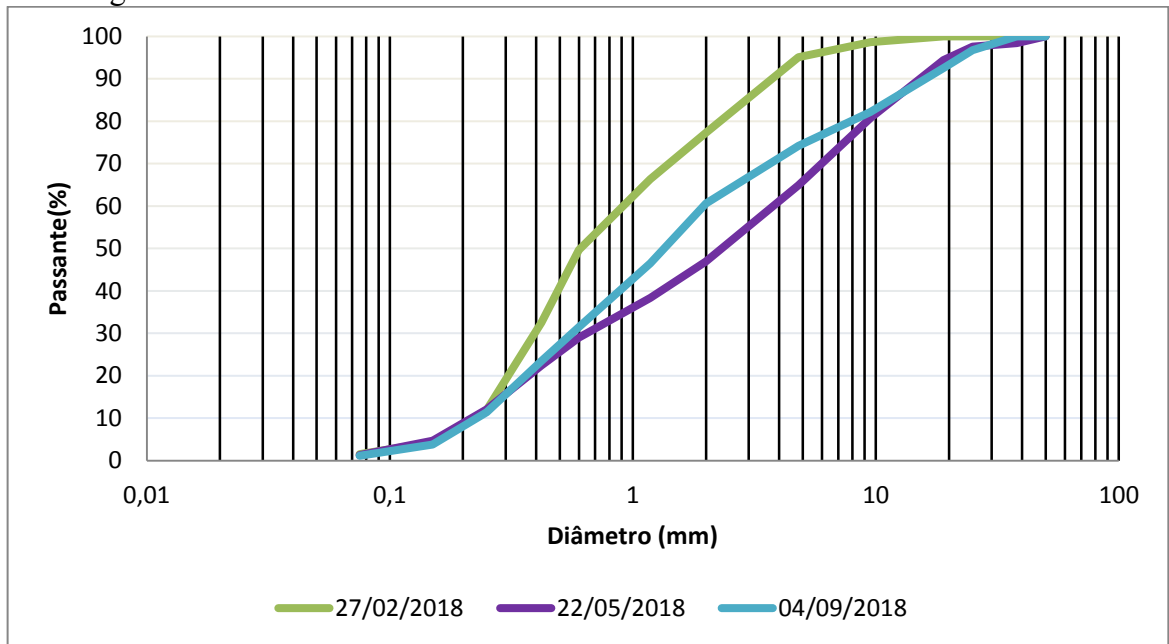
Fonte: Autora (2018)

Ao analisar as tabelas (7, 8, 9 e 10), percebe que as concentrações de sedimentos não seguem um padrão, sendo esperados nos meses chuvosos maiores concentrações, porém isso não ocorre. Este fato pode estar associado às próprias medições, devido a erros sistemáticos, ou a fature

5.3 Análise granulométrica dos sedimentos

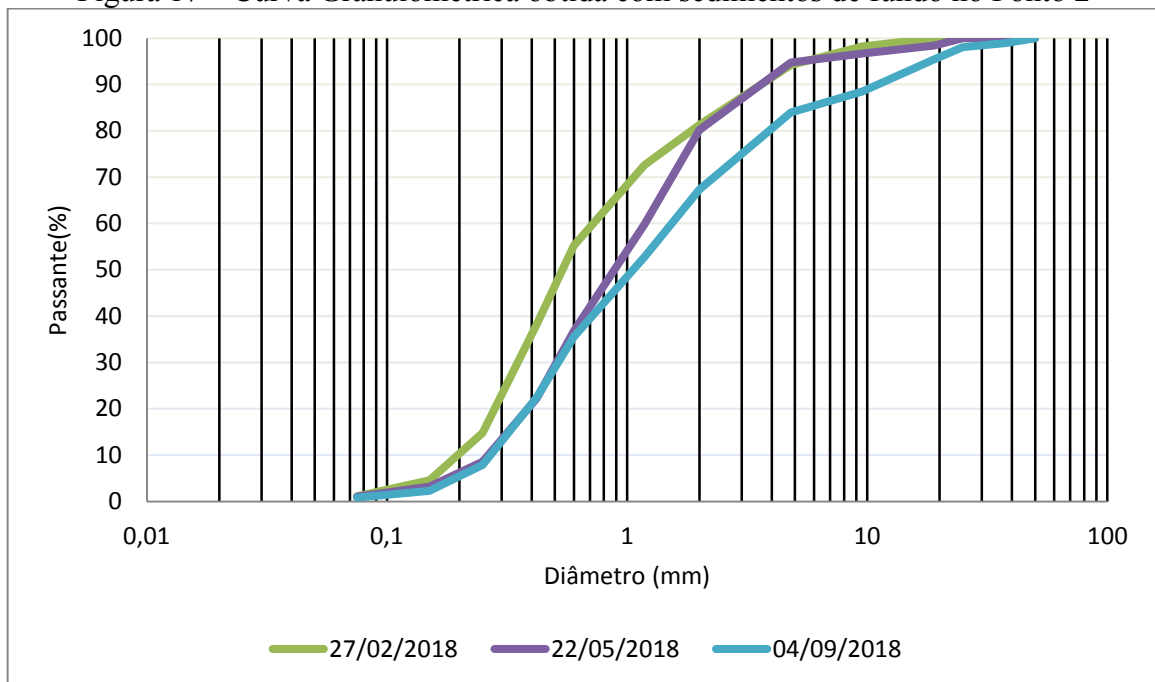
Através do ensaio de peneiramento, determinou-se a distribuição granulométrica das seções dos pontos analisados. As coletas do material de leito foram realizadas em três datas, considerando a coleta de sedimentos de fundo, nos dias: 27 de fevereiro, 22 de maio e 04 de setembro. Nas Figuras 16 a 19 estão representadas as três curvas granulométricas de cada ponto. No Apêndice A estão dispostas as massas retidas em cada ensaio, assim como a média para cada peneira.

Figura 16 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 1



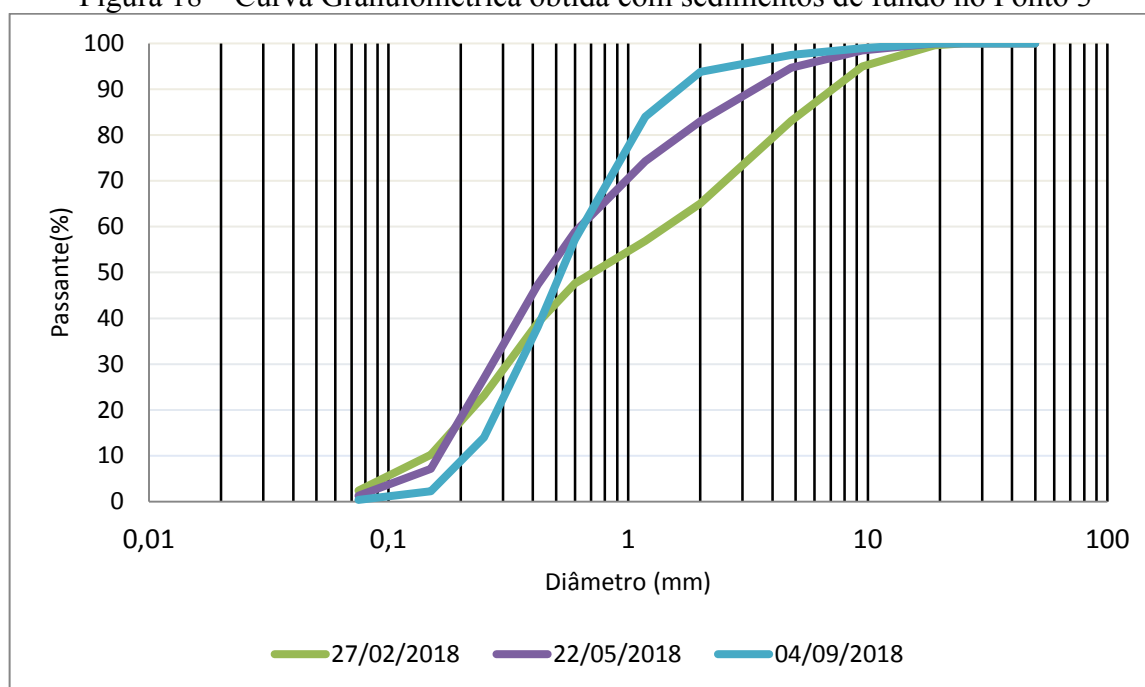
Fonte: Autora (2018)

Figura 17 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 2



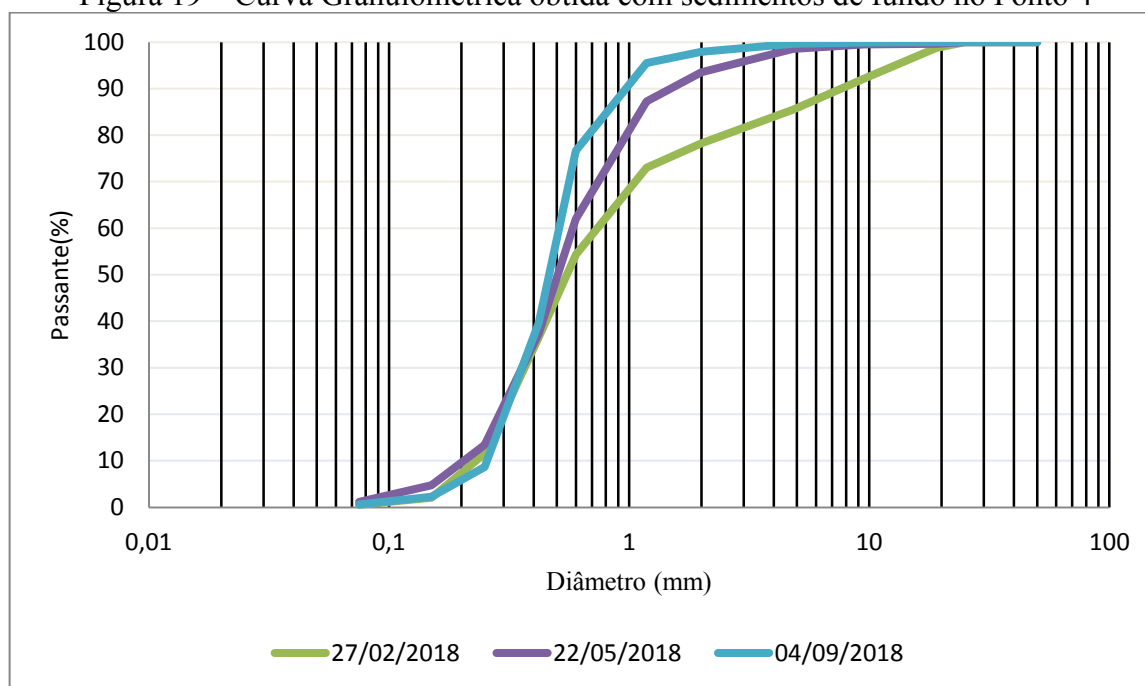
Fonte: Autora (2018)

Figura 18 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 3



Fonte: Autora (2018)

Figura 19 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo no Ponto 4



Fonte: Autora (2018)

As curvas granulométricas possibilitaram a obtenção dos diâmetros característicos (D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90}) necessários para o cálculo das descargas de sedimentos. Nos meses de março, julho e novembro não ocorreram coletas do material de leito, para efeito de cálculo

considerou-se para estes os diâmetros das coletas anteriores, como pode ser observado nas Tabelas 11, 12, 13 e 14.

Tabela 11 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 1, 2018

<i>Coletas</i>	<i>D35 (mm)</i>	<i>D50 (mm)</i>	<i>D65 (mm)</i>	<i>D90 (mm)</i>
27/02/2018	0,45	0,60	1,00	3,50
22/05/2018	0,90	0,20	4,50	10,00
04/09/2018	0,70	0,15	2,50	15,00

Fonte: Autora (2018)

Tabela 12 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 2, 2018

<i>Coletas</i>	<i>D35 (m)</i>	<i>D50 (m)</i>	<i>D65 (m)</i>	<i>D90 (m)</i>
27/02/2018	0,40	0,55	0,80	3,50
22/05/2018	0,60	0,80	1,50	3,00
04/09/2018	0,60	1,20	1,80	10,00

Fonte: Autora (2018)

Tabela 13 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 3, 2018

<i>Coletas</i>	<i>D35 (m)</i>	<i>D50 (m)</i>	<i>D65 (m)</i>	<i>D90 (m)</i>
27/02/2018	0,35	0,70	1,80	7,00
22/05/2018	0,30	0,45	0,70	3,00
04/09/2018	0,40	0,55	0,80	1,80

Fonte: Autora (2018)

Tabela 14 – Diâmetros característicos da seção do Ponto 4, 2018

<i>Coletas</i>	<i>D35 (m)</i>	<i>D50 (m)</i>	<i>D65 (m)</i>	<i>D90 (m)</i>
27/02/2018	0,45	0,55	0,80	7,00
22/05/2018	0,40	0,50	0,60	1,50
04/09/2018	0,40	0,50	0,60	0,90

Fonte: Autora (2018)

Analisado os diâmetros característicos, as maiores variações se deram na seção do Ponto 1, onde também estes parâmetros atingiram os seus maiores valores.

5.4 Resultados da aplicação dos métodos de cálculo da descarga de sedimentos.

Com todos os parâmetros definidos, calculou-se por meio do software WinTSR, as descargas de sedimentos. Nas Tabelas 15, 16, 17 e 18 são apresentados os resultados dos cálculos

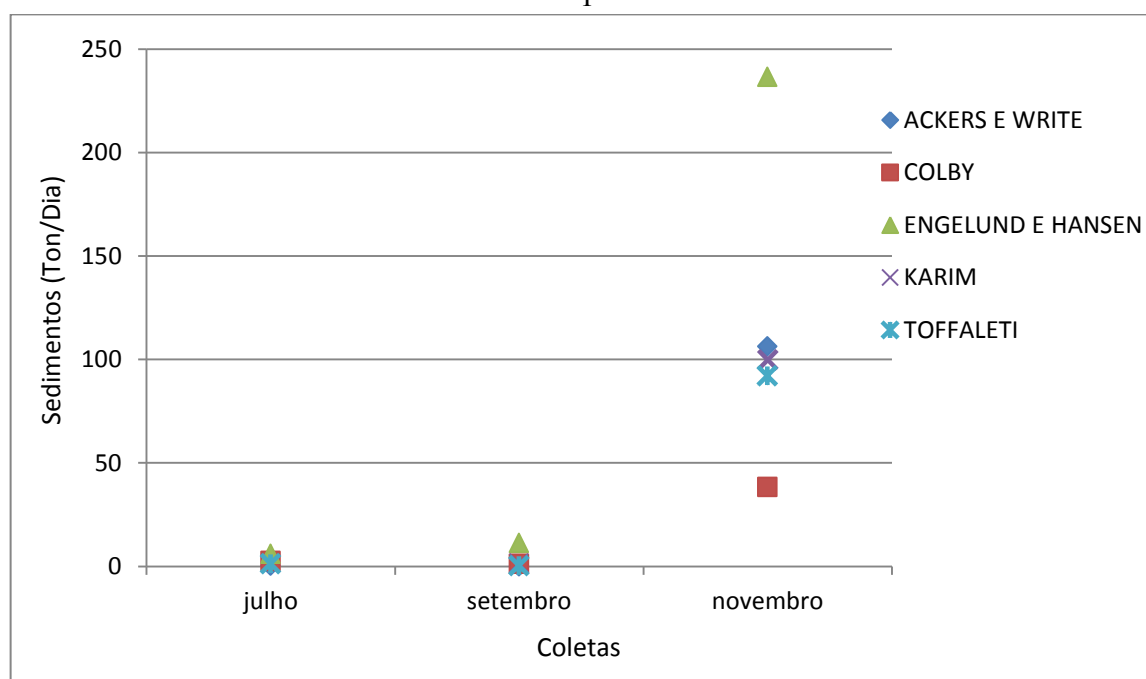
usando os Métodos de: Ackers e White (1973); Bishop, Simons e Richardson (1965); Cheng (2002); Colby (1957); Einstein e Brown (1950); Engelund e Hansen (1967); Karim (1998); Shen e Hung (1971) e Toffaleti (1969). Os resultados também estão expostos na forma de gráficos, para uma melhor comparação entre os resultados (Figuras 20 a 24). Em alguns destes gráficos não se colocaram os resultados de alguns métodos, pois, apresentaram valores com ordem de grandeza bem diferente dos demais.

Tabela 15 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 1

<i>Sedimentos Transportados (Ton/Dia)</i>			
	<i>17/07/2018</i>	<i>04/09/2018</i>	<i>13/11/2018</i>
<i>Ackers e Write</i>	0,29	0,08	106,30
<i>Bishop</i>	2405,24	3097,51	5162,77
<i>Cheng</i>	366,59	1519,77	3962,45
<i>Colby</i>	2,64	1,27	38,45
<i>Einstein e Brown</i>	127,52	806,01	2240,86
<i>Engelund e Hansen</i>	5,99	11,35	236,57
<i>Karim</i>	1,35	1,57	99,85
<i>Shen e Hung</i>	2121,93	1729,60	11416,27
<i>Toffaleti</i>	1,23	0,34	92,07

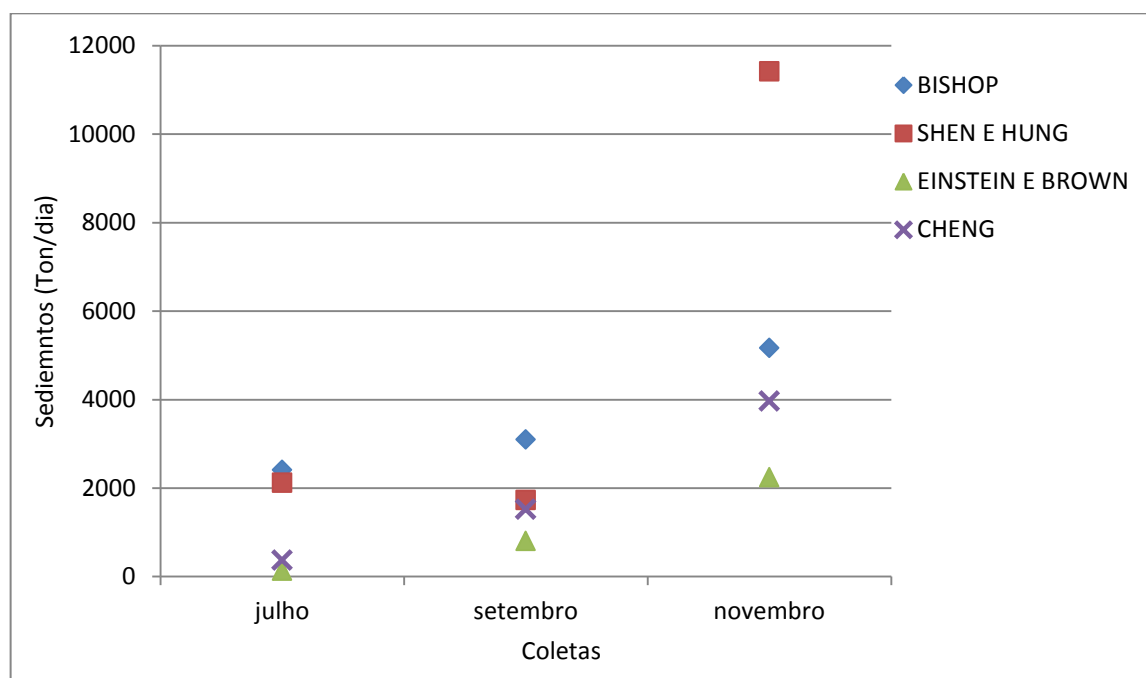
Fonte: Autora (2018)

Figura 20 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 1



Fonte: Autora (2018)

Figura 21 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 1 (continuação)



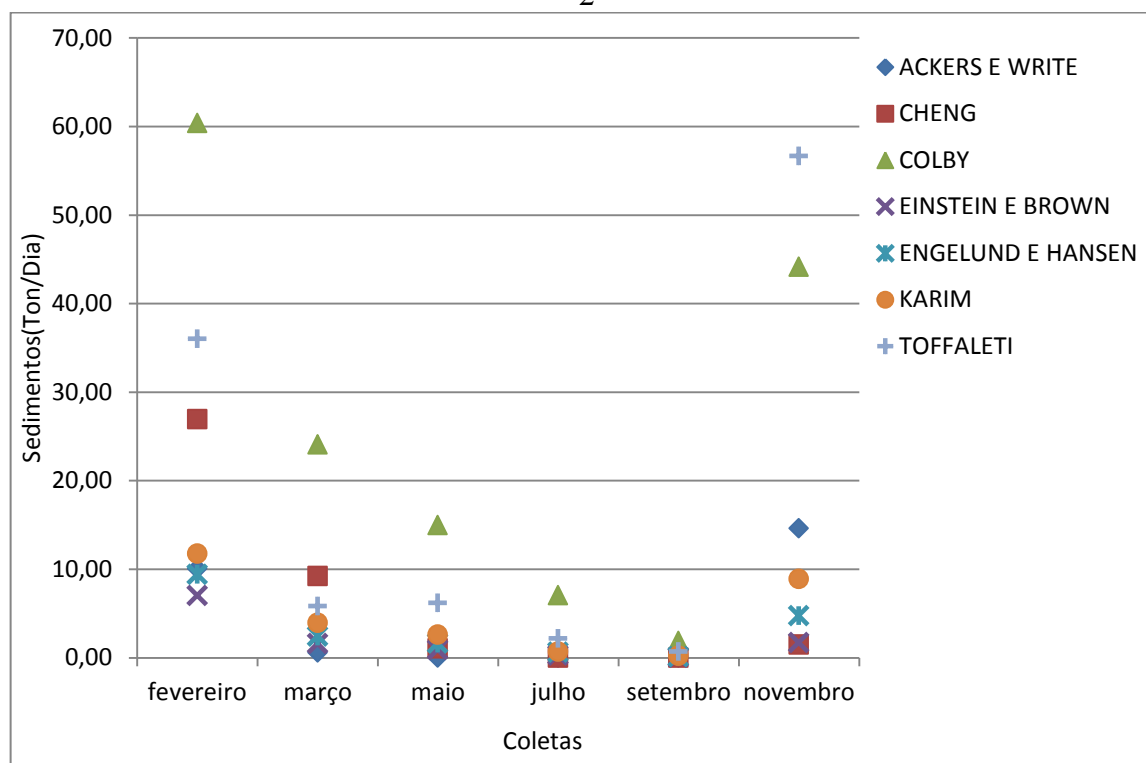
Fonte: Autora (2018)

Tabela 16 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 2

	<i>Sedimentos Transportados (Ton/Dia)</i>					
	<i>27/02/2018</i>	<i>20/03/2018</i>	<i>22/05/2018</i>	<i>17/07/2018</i>	<i>04/09/2018</i>	<i>13/11/2018</i>
<i>Ackers e Write</i>	10,04	0,59	0,01	0,00	0,00	14,60
<i>Bishop</i>	221,23	95,85	80,88	40,89	23,39	332,17
<i>Cheng</i>	26,94	9,22	1,04	0,00	0,00	1,50
<i>Colby</i>	60,37	24,07	14,98	7,05	1,89	44,14
<i>Einstein e Brown</i>	7,03	1,61	0,92	0,28	0,02	1,69
<i>Engelund e Hansen</i>	9,40	2,41	1,63	0,60	0,10	4,72
<i>Karim</i>	11,75	3,94	2,59	0,69	0,21	8,89
<i>Shen e hung</i>	13904,70	6940,39	5946,78	2821,34	1246,25	15499,87
<i>Toffaleti</i>	36,01	5,81	6,17	2,16	0,69	56,65

Fonte: Autora (2018)

Figura 22 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 2



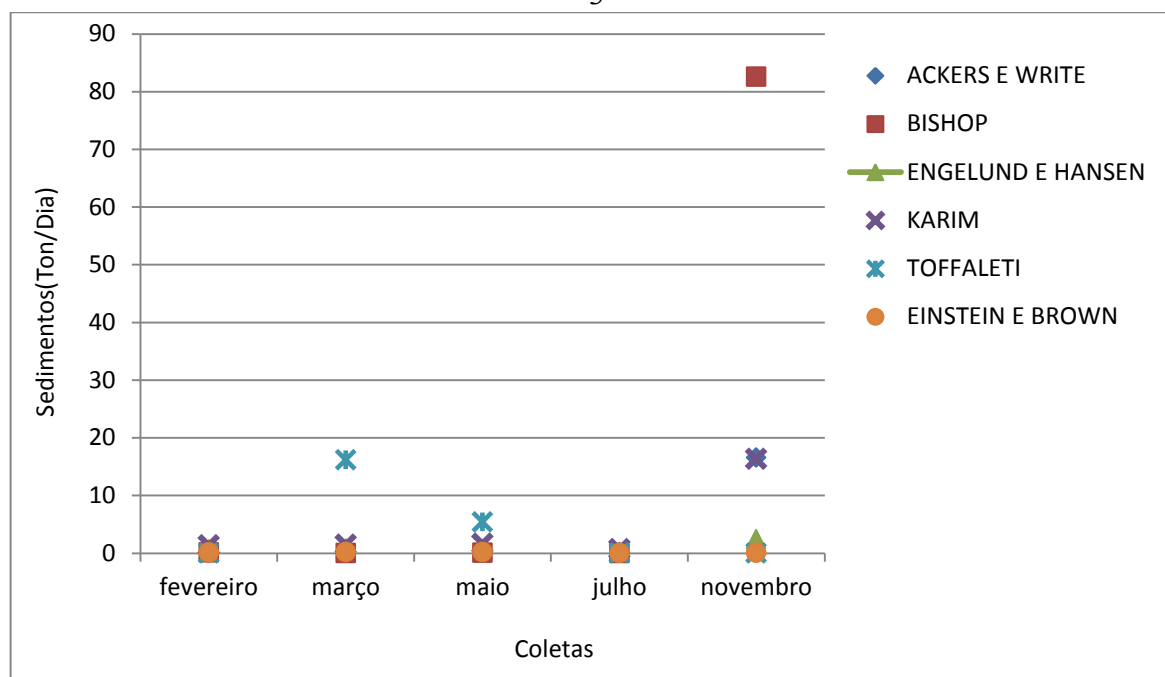
Fonte: Autora (2018)

Tabela 17 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 3

<i>Sedimentos Transportados (Ton/Dia)</i>					
	27/02/2018	20/03/2018	22/05/2018	17/07/2018	13/11/2018
<i>Ackers E Write</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	16,51
<i>Bishop</i>	0,09	0,02	0,06	0,00	82,55
<i>Cheng</i>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<i>Colby</i>	116,70	68,37	75,27	26,94	171,90
<i>Einstein E Brown</i>	0,09	0,19	0,16	0,01	0,08
<i>Engelund E Hansen</i>	0,61	0,80	0,68	0,15	2,41
<i>Karim</i>	1,35	1,45	1,59	0,64	16,33
<i>Shen E Hung</i>	27776,13	22195,88	15322,75	8201,03	29874,70
<i>Toffaleti</i>	-	16,17	5,39	-	-

Fonte: Autora (2018)

Figura 23 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 3



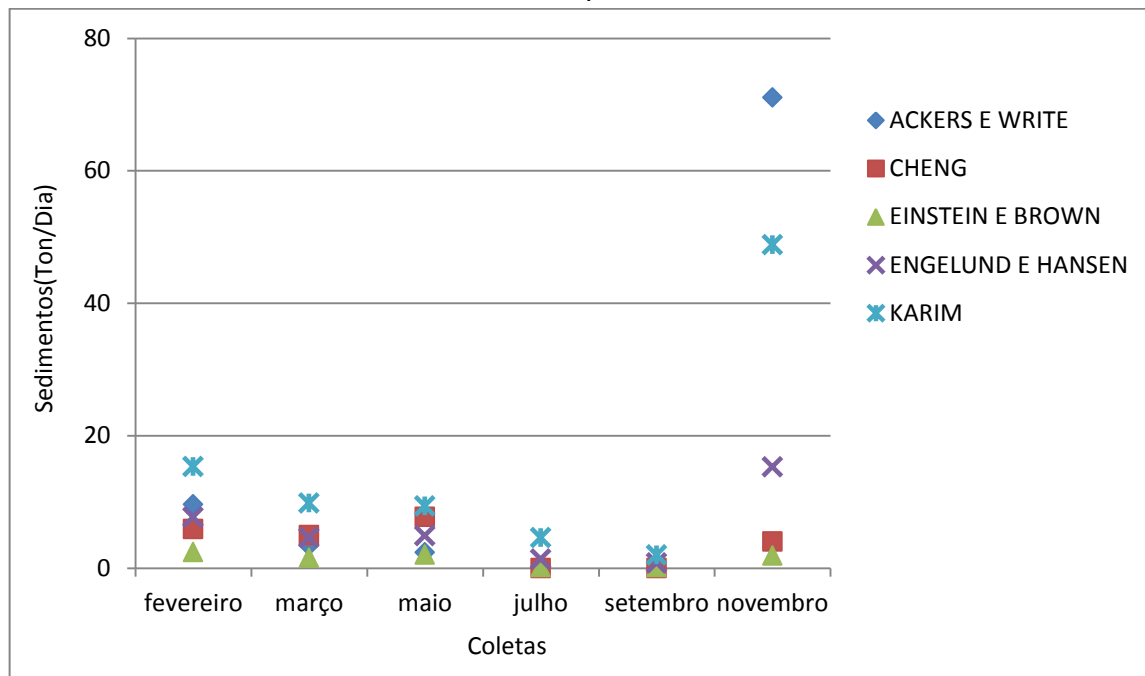
Fonte: Autora (2018)

Tabela 18 – Resultados das descargas calculadas na seção do Ponto 4

	<i>Sedimentos Transportados (Ton/Dia)</i>					
	27/02/2018	20/03/2018	22/05/2018	17/07/2018	04/09/2018	13/11/2018
<i>Ackers E Write</i>	9,63	3,38	2,38	0,21	0,00	71,05
<i>Bishop</i>	44,06	28,19	42,14	18,13	7,77	194,93
<i>Cheng</i>	5,93	4,98	4,73	0,00	0,00	4,01
<i>Colby</i>	186,66	128,38	103,21	38,51	25,95	265,32
<i>Einstein E Brown</i>	2,45	1,55	2,06	0,16	0,17	1,88
<i>Engelund E Hansen</i>	7,68	4,61	4,92	1,38	0,79	15,29
<i>Karim</i>	15,34	9,83	9,39	4,62	2,01	48,81
<i>Shen E Hung</i>	35157,00	22375,41	16653,62	10461,10	8151,57	32607,33
<i>Toffaleti</i>	76,53	34,99	25,30	-	4,36	354,46

Fonte: Autora (2018)

Figura 24 – Comparação de alguns resultados das descargas de sedimentos da seção do Ponto 4



Fonte: Autora (2018)

Analisando-se os resultados obtidos, notaram-se diferentes valores de descarga de sedimentos variando pelos métodos e entre as seções. A primeira observação é feita quanto à intensidade pluviométrica, nos meses de fevereiro e novembro tiveram os maiores valores de descargas sólidas em todos os métodos, pois são meses os quais ocorrem as maiores incidências de chuvas intensas na região, influenciando no transporte de sedimentos da superfície do solo.

De acordo com Carvalho (2008), o Método de Colby (1957) apresenta os melhores resultados para o cálculo da descarga total de sedimentos por utilizar medidas de concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}). Pelo Método de Colby, à medida que se analisa seção por seção, notou-se que a descarga total é crescente conforme se aproxima da foz (Ponto 4), tanto em época de seca quanto no período chuvoso. Portanto as maiores descargas sólidas observadas por este método, foram nas seções dos Pontos 3 e 4. Este fato pode ser explicado pelas observações feitas em campo, onde nas margens e nas proximidades dessas seções são evidenciados os processos erosivos e pelo próprio transporte de sedimentos ao longo do canal, visto que as seções dos Pontos 3 e 4 são os mais próximos da foz. A vazão líquida nestes pontos são maiores que os demais, a qual também influencia diretamente na quantidade de

sólidos transportados. Nos outros métodos esse evento não ocorre, por exemplo, no Método de Bishop, seus maiores valores de descarga se encontram nas seções do Ponto 1 e 2.

Nos métodos de Bishop, Simons e Richardson (1965) e Cheng (2002) observa-se na seção do Ponto 3, valores de descargas muito pequenas se comparado aos outros pontos. Isto pode ser explicado, pois em ambos os métodos se consideram a declividade da linha d'água (S) e o diâmetro característico D_{50} , em seus cálculos. Na seção do Ponto 3, estes parâmetros apresentam os menores valores, se comparado aos outros pontos. Já na seção do Ponto 1, onde esses parâmetros são maiores, os valores das descargas por esses métodos possuem seus maiores valores.

O Método de Shen e Hung (1971) apresentou em todas as seções dos pontos os maiores valores para a descarga, chegando a valores com ordem de grandeza muito superiores aos resultados dos outros métodos. Com isso, pode-se afirmar que estes valores estão superestimados, não condizendo com as características do corpo hídrico.

O Método de Ackers e White (1973) mostrou valores muito baixos de descarga, se comparados aos outros métodos, chegando a zerar a descarga de sedimentos em vários pontos. Isto pode ser explicado, pelo fato do método se limitar a profundidades de até 0,4 m, sendo esse valor de profundidade ultrapassado em alguns pontos do ribeirão. Já o Método de Toffaleti (1969), foi o único método que não apresentou resultados para algumas coletas, sendo evidenciado isso na seção do Ponto 3.

De acordo com Brune (2014), o Método de Karim (1998), se limita a concentrações de sólidos em suspensão entre 20 a 49,3 ppm, de acordo com as tabelas de concentrações (Tabelas 7 a 10), os valores excedem esta limitação. Assim, os valores de descarga calculados pelo Método de Karim (1998), podem não estar condizendo com os valores reais de descarga.

Ao comparar os nove métodos de cálculo de descarga analisados a cada seção, observam-se resultados bastante variados a cada método, isso se deve ao fato das diferentes hipóteses utilizadas por esses métodos. Para cada metodologia, são utilizados parâmetros hidrológicos, geológicos e climáticos diferentes em seus cálculos, criando-se limitações quanto ao seu uso.

As medições em campo, as coletas e as análises de laboratórios estão propícias a falhas, o que também afeta os resultados das descargas dos sedimentos.

Segundo Nakato (1990), uma metodologia que fornece bons resultados de descarga de sedimentos de fundo para um determinado rio pode não ser adequada para outros cursos d'água. Martins (2004), afirma que é comum chegar a resultados completamente diferentes em estimativas de descargas em um mesmo curso d'água feitas através da aplicação de diferentes fórmulas.

5.5 Impacto do assoreamento na vida útil de um reservatório

Após analisados os métodos para calcular a descarga de sedimentos do ribeirão em estudo, optou-se em utilizar os dados obtidos no Método de Colby (1957), para o cálculo do volume de sedimentos transportados por dia. Tendo como objetivo determinar o impacto gerado em um reservatório devido ao assoreamento, caso algum fosse construído no ribeirão. Considerando o peso específico dos sedimentos de 2,65 t/m³, calcularam-se os volumes (Tabelas 19).

Tabela 19 - Volumes de sedimentos pelo método de Colby				
	<i>Qst (m³/dia)</i>			
<i>Coleta</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>	<i>Ponto 4</i>
27/02/2018	-	159,98	309,25	494,65
20/03/2018	-	63,78	181,18	340,20
22/05/2018	-	39,67	199,46	273,50
17/07/2018	6,99	18,68	71,31	102,05
04/09/2018	8,90	5,10	-	68,76
13/11/2018	101,89	116,97	455,55	703,09

Fonte: Autora (2018)

Se o reservatório fosse construído à montante das seções dos Pontos 3 e 4, sua vida útil seria reduzida em relação às outras seções, considerando os volumes atingidos em cada período. Pois nessas seções obtiveram os maiores volumes de sedimentos. Como discutido anteriormente, os processos erosivos que ocorrem nestas regiões acelerariam o processo de assoreamento do reservatório.

5.6 Determinação de curvas-chave

Para a determinação das curvas-chave foram utilizadas as vazões e níveis mostrados na Tabela 20. Além das campanhas realizadas no ano de 2018, foram consideradas também campanhas de medições do ano de 2017 (ABREU, 2018), para se obter um método com maior confiabilidade.

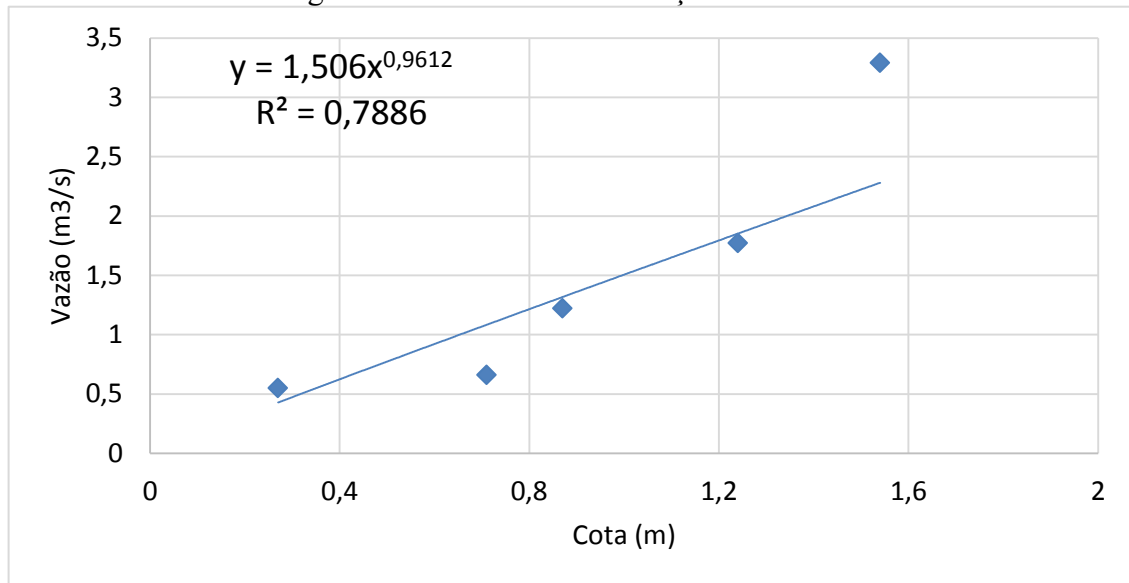
Tabela 20 – Valores de nível e vazão do Ribeirão Jordão

<i>Coletas</i>	<i>Ponto 1</i>		<i>Ponto 2</i>		<i>Ponto 3</i>		<i>Ponto 4</i>	
	<i>Vazão (m³/s)</i>	<i>Nível (m)</i>	<i>Vazão (m³/s)</i>	<i>Nível (m)</i>	<i>Vazão (m³/s)</i>	<i>Nível (m)</i>	<i>Vazão (m³/s)</i>	<i>Nível (m)</i>
08/08/2017	-	-	0,73	0,86	-	-	2,16	0,45
12/09/2017	-	-	0,45	0,82	-	-	1,51	0,36
07/11/2017	-	-	0,49	0,82	-	-	1,54	0,39
17/12/2017	-	-	3,29	1,05	-	-	6,92	0,73
23/01/2017	-	-	6,12	1,21	-	-	16,11	1,31
27/02/2017	-	-	2,64	0,92	-	-	8,65	1,26
23/01/2018	-	-	4,30	1,04	8,66	0,98	10,91	1,26
27/02/2018	-	-	2,16	0,89	-	-	6,95	1,07
20/03/2018	1,22	0,87	1,85	0,87	4,78	0,90	5,17	0,95
22/05/2018	0,66	0,71	0,88	0,84	2,56	0,82	3,25	0,74
17/07/2018	0,55	0,27	0,39	0,74	1,83	0,78	2,54	0,80
04/09/2018	1,77	1,24	-	-	-	-	-	-
13/11/2018	3,29	1,54	4,79	1,11	9,26	1,02	10,03	1,20

Fonte: Autora (2018)

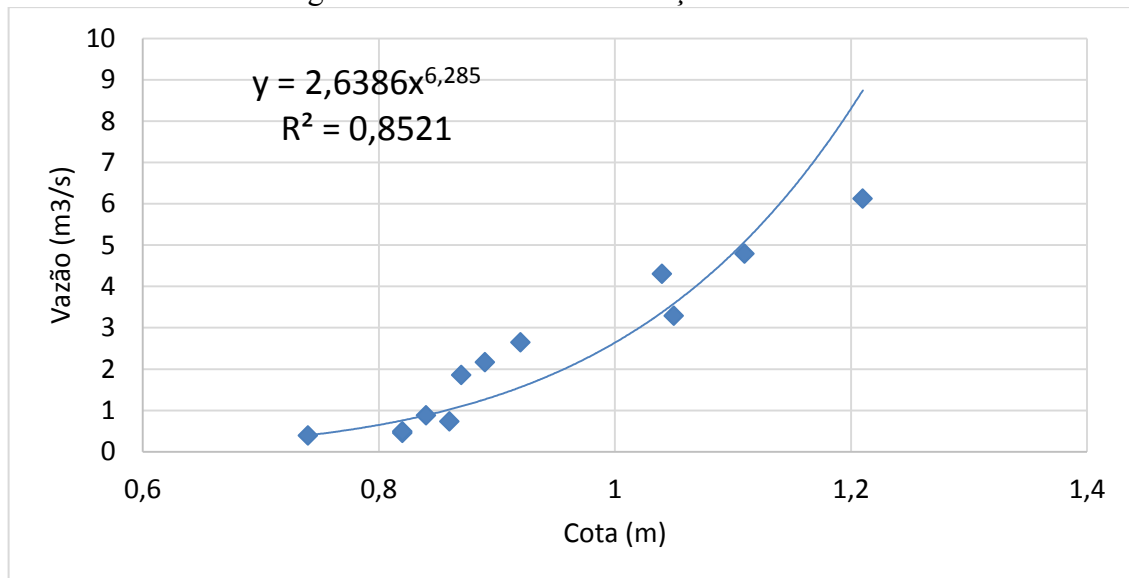
A partir dos dados disponíveis obtive as curvas-chave de cada seção estudada. As curvas foram aproximadas por uma equação do tipo exponencial, onde se tentou obter a melhor aproximação para cada conjunto de pontos. Nas Figuras de 25 a 28 são apresentadas as curvas-chave obtidas para cada seção acompanhadas de suas respectivas equações.

Figura 25 – Curva-chave da seção do Ponto 1



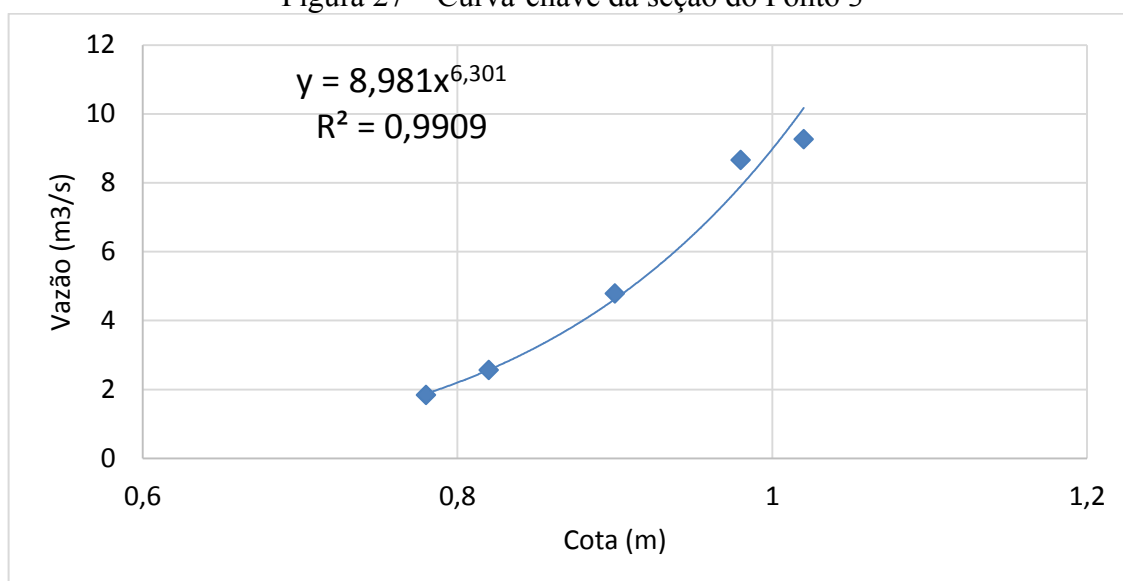
Fonte: Autora (2018)

Figura 26 – Curva-chave da seção do Ponto 2



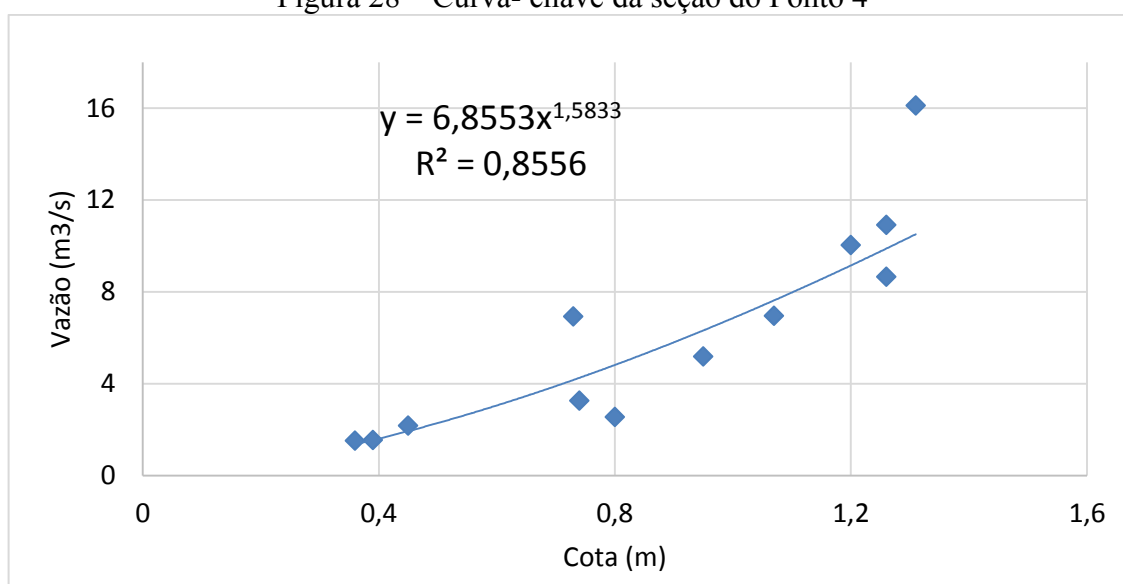
Fonte: Autora (2018)

Figura 27 – Curva-chave da seção do Ponto 3



Fonte: Autora (2018)

Figura 28 – Curva- chave da seção do Ponto 4



Fonte: Autora (2018)

Para se obter uma curva-chave que retorne resultados mais precisos, é necessário pelo menos dez pares nível x vazão (PAIVA; PAIVA, 2003). Como o número de coletas de campo foi limitado, não foi possível atingir o mínimo aceitável para este método nas seções dos Pontos 1 e 3. Desta forma, as curvas que foram determinadas nestes dois pontos ainda que não possuam a precisão necessária para a obtenção de vazões que condizem com a realidade. Já as curvas obtidas nas seções dos Pontos 2 e 4, as quais possuem mais de dez pares, podem ser

utilizadas para se obterem valores de vazão, através dos níveis d'água medidos em campo. Portanto, facilita futuramente na determinação da descarga de sedimentos no ribeirão Jordão, entre outras análises.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, observa-se que as vazões líquidas e as descargas de sedimentos estão diretamente ligadas. Durante os períodos de alta intensidade pluviométrica, as vazões foram maiores que nos períodos de seca. As altas vazões corresponderam com as maiores descargas sólidas de sedimentos registradas.

Pelo Método de Colby (1957), ficou evidenciado que a erosão do solo também está diretamente relacionada com a descarga de sedimentos, pois como observado em campo, nos pontos onde se encontraram os maiores valores de descargas, estes apresentavam uma área de solo, com sinais claros de erosão.

Ao analisar os diferentes resultados obtidos da estimativa de descarga de sedimentos pelos métodos aplicados, conclui-se que a escolha dos métodos deve levar em conta a necessidade de dados obtidos em campo, as características hidráulicas e sedimentológicas em que os métodos se baseiam, as suas limitações e a facilidade de aplicação desses métodos. A escolha do método de cálculo indireto mais apropriado pode ser feita analisando estudos experimentais, os quais comparam as descargas sólidas medidas em campo e as estimadas por cálculos.

As coletas e medições feitas em campo foram fundamentais para a obtenção dos parâmetros reais do ribeirão em estudo. O trabalho de campo, às vezes passa por situações inesperadas, o que afeta diretamente na obtenção desses dados. Logo as possíveis falhas nos métodos, podem estar ligadas com essas medições e com as análises de laboratório que também estão sucessíveis a erros. A limitação dos dados coletados dificultou principalmente na obtenção de uma curva-chave confiável em alguns pontos do ribeirão (Pontos 1 e 3).

Devido à variação dos resultados dos métodos de cálculos utilizados, fica difícil considerar qual a seção do ponto, seria a mais favorável para a construção de um reservatório, levando

em conta sua maior vida útil. Pelo Método de Colby, fica evidenciado que as seções do Ponto 3 e 4 não são favoráveis a esta construção, pela maior descarga de sedimentos. De fato para a instalação de um reservatório ainda seria necessário um estudo mais aprofundado da região, quanto aos aspectos hidrossedimentológico e quanto à metodologia dos cálculos de estimativa indireta da descarga sólida de sedimentos, além de estudos não abordados neste trabalho, como socioeconômicos, ambientais, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. **Avaliação de sedimentos gerados e calibração de parâmetros hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Jordão localizado no triângulo mineiro**. 2018. 81 f. Dissertação (Conclusão de curso). Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ACKERS, P. & WHITE, W.R. **Sediment Transport: New Approach and Analysis**. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 99, No.HY 11, Nov., pp.2041- 2060. 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

BRITO, A. O. **Estudo da erosão em ambiente urbano, visando planejamento e controle ambiental no distrito federal**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

BRUNE, R. A. **Métodos de estimativa de descarga sólida em rios - análise comparativa**. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

CARVALHO, N. O. **Curso de Hidrossedimentologia de Interesse ao Assoreamento e Proteção de Reservatórios**. Goiânia, maio de 1994.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p

CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C; LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000. 140p

CEMIG. *Usinas Bacias do Rio Paranaíba*. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nos.aspx>. Acesso em: 16 mai. 2018.

COIADO, E. M. **Assoreamento de reservatórios**. In: PAIVA J. B. D.; Paiva E.M.C.D (Orgs.). Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 395-426.

COLBY, B.R. **Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity**. Transactions, Amer. Geophy. Union. Vol . 38, n. 5, oct, pp.708-719. 1957

COLEBROOK, C.F. **Turbulent Flow in Pipes, with particular Reference to the Transition Region between the Smooth and Rough Pipe Laws**. J. Inst. Civil Engrs. London, vol.11, pag 133-136, 1938 -1939.

CORDERO, A.; MEDEIROS, P. A. **Estimativa de curva-chave de Blumenau**. Universidade Regional de Blumenau – FURB. Blumenau, 2003.

COLLISCHON, W; TASSI, R. **Introduzindo a Hidrologia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre, 2001.p.69-75

COSTA, L. F. **Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na determinação de taxas de assoreamento de reservatórios**. 2012. 124 f. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – programa de pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, rio de janeiro, 2012.

GORDON, R. L. **Acoustic measurement of river discharge**. In: Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 115, No. 7, July, p. 925-936. 1989.

IGNÁCIO, R. S. **Curso básico de mecânica dos fluidos**. São Paulo/SP, 2003. 443p

KARIM, F. **Bed Material Discharge Prediction for Nonuniform Bed Sediments**. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 124, n. 6, Jun., pp.597-604. 1998.

LOPES, M. A. G. **Reconstituição da rotura da barragem das minas da Fonte Santa: análise do transporte sólido no vale a jusante**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia e A Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

MAIA, A.G.; VILLELA, S.M. A necessidade da consideração do processo de assoreamento no planejamento e operação de reservatórios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 2, p. 187-193, jun. 2006.

MARTINS, D. P. **Dinâmica das formas de leito e transporte de carga de fundo no alto rio Paraná**. 2004. 69 f. Dissertação (mestrado em geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MEES, A. **Qualidade de água em reservatórios** – Unidade I: Reservatórios. ANA, 2012.

NASCIMENTO, A.P. **Estimativa da carga de lavagem transportada pelo Rio Atibaia, SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas/SP, 2001.

PAIVA, J. B. D. **Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios**. In: Paiva, J.B.D. et al. Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre. ABRH, 2001. cap. 12, p. 313-364.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. D. (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre/RS: ABRH, 628 p, 2003.

PAIVA, João Batista Dias de - **Avaliação do Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios** . SHS-EESC-USP.(Tese de Doutorado) 1988.

PAIVA, L. E. D. **A influencia do diâmetro representativo do material do leito nas fórmulas de cálculo do transporte de sedimentos em escoamentos com superfície livre**. 615 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PONCE, R.J. **Análise da aplicabilidade e modificações de modelos de cálculo do transporte de sedimento por arrasto de fundo em rios de médio porte.** Tese apresentada a Escola de Engenharia de São Paulo para obtenção do grau de Doutor em Engenharia, área de concentração: Hidráulica e Saneamento. USP, 373p. São Carlos-SP, 1990.

PORTO, R. L.; FILHO, K. Z.; SILVA, R. M. **Medição de Vazão e Curva-Chave.** 2001. 49 f. PHD (PHD em engenharia civil)- Departamento de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [S.l.], 2001.

RICKER, M. C.; ODHIAMBO, B. k.; CHURCH, J. M. Spatial Analysis of Soil Erosion and Sediment Fluxes: A Paired Watershed Study of Two Rappahannock River Tributaries, Stafford County. Virginia. **Environmental Management**, Virginia, v. 41, n. 5, p.766-778, 2008.

SANTOS, I. **Hidrometria aplicada.** Curitiba, Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, p. 372, 2001

SCAPIN, J.; PAIVA, J. B.; BELING, F. A. **Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano.** RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 12 n.4 – p. 05-21, Out/Dez 2007.

SHEN, H. W. **River Mechanics**, Fort Collins, P.O. Bo 606.1971

SIMONS, D. B. & SENTURK, F. (1977), **Sediment Transport Technology.** Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.

SUGUIO, K., 1973. **Introdução a sedimentologia.** São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317 p.

TOFFALETI, F.B. **Definitive computation of sand discharge in rivers.** Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol 95, HY1, Jan., pp. 225-246. 1969.

NAKATO, T. **Tests of selected sediment-transport formulas**. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, v. 116, n. 3, p. 362-379, 1990.

UEHARA, Kokei; LOPES, João Eduardo G.; SANTOS, Raquel Chinaglia P. **Capacidade de reservatórios**. 2002. 64 f. Dissertação (PHD em estruturas hidráulicas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, [2003].

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: ASCE 1977 *apud* COSTAS, M. F. T. **Avaliação hidrossedimentológica de uma pequena bacia em urbanizacao**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

VESTENA, L. R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. 2008. 268 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

APÊNDICE A – MASSAS RETIDAS (ENSAIO GRANULOMÉTRICO)

Ponto 1 (27/02/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	96,85	112,56	110,38	106,60
<i>0,6</i>	225,09	196,52	219,14	213,58
<i>0,42</i>	193,80	244,52	189,41	209,24
<i>0,25</i>	294,56	284,57	286,02	288,38
<i>0,15</i>	131,82	112,50	131,77	125,36
<i>0,075</i>	43,09	37,68	45,34	42,04
<i>Fundo</i>	14,43	10,83	17,10	14,12
<i>Soma</i>	999,64	999,18	999,16	999,33

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>9,5</i>	19,60	30,32	15,03	21,65
<i>4,8</i>	47,26	53,02	49,13	49,80
<i>2</i>	142,75	159,98	173,08	158,60
<i>Fundo</i>	1789,50	1756,55	1763,64	1769,90
<i>Soma</i>	1999,11	1999,87	2000,88	1999,95

Ponto 2 (27/02/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	96,85	112,56	110,38	106,60
<i>0,6</i>	225,09	196,52	219,14	213,58
<i>0,42</i>	193,80	244,52	189,41	209,24
<i>0,25</i>	294,56	284,57	286,02	288,38
<i>0,15</i>	131,82	112,50	131,77	125,36
<i>0,075</i>	43,09	37,68	45,34	42,04
<i>Fundo</i>	14,43	10,83	17,10	14,12

Soma	999,64	999,18	999,16	999,33
-------------	--------	--------	--------	--------

Peneiramento Grosso				
Peneira	Massa retida (g)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
50	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	19,60	30,32	15,03	21,65
4,8	47,26	53,02	49,13	49,80
2	142,75	159,98	173,08	158,60
Fundo	1789,50	1756,55	1763,64	1769,90
Soma	1999,11	1999,87	2000,88	1999,95

Ponto 3 (27/02/2018)

Peneiramento Fino				
Peneira	Massa retida (g)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
1,18	120,74	127,05	127,56	125,12
0,6	135,62	166,41	126,56	142,86
0,42	143,99	119,68	133,44	132,37
0,25	249,44	233,03	248,08	243,52
0,15	188,59	206,53	198,24	197,79
0,075	122,58	112,73	126,31	120,54
Fundo	38,59	33,88	39,08	37,18
Soma	999,55	999,31	999,27	999,38

Peneiramento Grosso				
Peneira	Massa retida (g)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
50	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	19,13	6,38
9,5	63,98	92,51	56,85	71,11
4,8	186,20	182,19	179,44	182,61
2	265,26	312,33	252,51	276,70
Fundo	1484,02	1412,18	1492,19	1462,80
Soma	1999,46	1999,21	2000,12	1999,60

Ponto 4 (27/02/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	74,49	54,42	72,52	67,14
<i>0,6</i>	278,53	239,75	199,21	239,16
<i>0,42</i>	229,83	226,65	222,60	226,36
<i>0,25</i>	279,83	324,31	352,68	318,94
<i>0,15</i>	109,74	130,95	125,13	121,94
<i>0,075</i>	22,05	16,25	19,71	19,34
<i>Fundo</i>	5,23	7,69	7,86	6,93
<i>Soma</i>	999,70	1000,02	999,71	999,81

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	0,00	47,45	15,82
<i>9,5</i>	106,52	54,43	92,32	84,42
<i>4,8</i>	91,73	89,46	74,16	85,12
<i>2</i>	92,13	102,41	83,40	92,65
<i>Fundo</i>	1708,71	1753,39	1702,27	1721,46
<i>Soma</i>	1999,09	1999,69	1999,60	1999,46

Ponto 1 (22/05/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	173,84	182,31	160,06	172,07
<i>0,6</i>	178,55	199,37	182,07	186,66
<i>0,42</i>	122,48	141,33	127,99	130,60
<i>0,25</i>	200,09	230,79	191,09	207,32
<i>0,15</i>	138,64	162,64	140,53	147,27
<i>0,075</i>	66,57	77,57	59,43	67,86
<i>Fundo</i>	25,09	29,82	24,52	26,48
<i>Soma</i>	905,26	1023,83	885,69	938,26

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	96,90	32,30
<i>25</i>	0,00	46,63	0,00	15,54
<i>19</i>	53,03	63,65	72,60	63,09
<i>9,5</i>	278,56	220,05	322,91	273,84
<i>4,8</i>	374,28	270,84	304,48	316,53
<i>2</i>	386,53	370,37	315,56	357,49
<i>Fundo</i>	906,81	1026,18	886,90	939,96
<i>Soma</i>	1999,21	1997,72	1999,35	1998,76

Ponto 2 (22/05/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	378,78	419,55	418,86	405,73
<i>0,6</i>	447,33	454,90	477,74	459,99
<i>0,42</i>	297,01	277,97	295,81	290,26
<i>0,25</i>	265,04	287,66	265,41	272,70
<i>0,15</i>	112,46	104,65	105,45	107,52
<i>0,075</i>	43,05	45,51	38,08	42,21
<i>Fundo</i>	23,24	21,88	18,94	21,35
<i>Soma</i>	1566,91	1612,12	1620,29	1599,77

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	80,99	14,27	0,00	31,75
<i>9,5</i>	49,65	29,93	22,89	34,16
<i>4,8</i>	31,42	45,40	38,11	38,31
<i>2</i>	263,65	295,82	314,40	291,29
<i>Fundo</i>	1571,57	1615,30	1623,78	1603,55
<i>Soma</i>	1997,28	2000,72	1999,18	1999,06

Ponto 3 (22/05/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	178,92	195,70	149,15	174,59
<i>0,6</i>	291,07	296,69	335,74	307,83
<i>0,42</i>	236,64	237,49	217,82	230,65
<i>0,25</i>	423,61	408,57	389,20	407,13
<i>0,15</i>	391,55	412,24	376,97	393,59
<i>0,075</i>	130,52	100,08	121,35	117,32
<i>Fundo</i>	27,18	25,76	24,84	25,93
<i>Soma</i>	1679,49	1676,53	1615,07	1657,03

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>9,5</i>	38,79	18,44	32,94	30,06
<i>4,8</i>	67,05	69,81	91,24	76,03
<i>2</i>	210,24	232,25	253,75	232,08
<i>Fundo</i>	1682,64	1679,92	1620,13	1660,90
<i>Soma</i>	1998,72	2000,42	1998,06	1999,07

Ponto 4 (22/05/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	133,31	98,74	139,39	123,81
<i>0,6</i>	496,37	519,04	497,54	504,32
<i>0,42</i>	503,53	459,62	513,18	492,11
<i>0,25</i>	470,97	485,08	477,24	477,76
<i>0,15</i>	176,06	180,28	163,56	173,30
<i>0,075</i>	74,56	76,98	64,36	71,97
<i>Fundo</i>	25,15	24,33	20,56	23,35
<i>Soma</i>	1879,95	1844,07	1875,83	1866,62

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	19,29	0,00	6,43
<i>9,5</i>	2,28	4,39	2,75	3,14
<i>4,8</i>	18,54	22,34	18,87	19,92
<i>2</i>	97,79	105,25	97,76	100,27
<i>Fundo</i>	1882,53	1847,92	1881,39	1870,61
<i>Soma</i>	2001,14	1999,19	2000,77	2000,37

Ponto 1 (04/09/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	263,11	316,50	267,62	282,41
<i>0,6</i>	320,58	298,74	281,14	300,15
<i>0,42</i>	169,20	158,04	155,39	160,88
<i>0,25</i>	292,18	190,94	239,10	240,74
<i>0,15</i>	160,92	144,37	150,55	151,95
<i>0,075</i>	46,35	62,10	52,01	53,49
<i>Fundo</i>	27,81	21,51	20,07	23,13
<i>Soma</i>	1280,15	1192,20	1165,88	1212,74

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	34,74	61,51	100,10	65,45
<i>19</i>	74,46	86,66	92,12	84,41
<i>9,5</i>	172,76	234,27	213,21	206,75
<i>4,8</i>	171,91	158,47	149,60	159,99
<i>2</i>	263,58	268,87	279,80	270,75
<i>Fundo</i>	1282,01	1192,84	1168,37	1214,41
<i>Soma</i>	1999,46	2002,62	2003,20	2001,76

Ponto 2 (04/09/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	282,15	338,61	251,86	290,87
<i>0,6</i>	361,80	359,10	313,88	344,93
<i>0,42</i>	240,40	295,71	246,61	260,91
<i>0,25</i>	279,42	271,97	323,74	291,71
<i>0,15</i>	103,40	125,96	105,54	111,63
<i>0,075</i>	28,89	41,15	17,28	29,11
<i>Fundo</i>	11,84	13,73	23,67	16,41
<i>Soma</i>	1307,90	1446,23	1282,58	1345,57

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	60,57	0,00	0,00	20,19
<i>25</i>	55,21	0,00	0,00	18,40
<i>19</i>	60,00	20,69	75,84	52,18
<i>9,5</i>	100,90	106,18	214,14	140,41
<i>4,8</i>	68,59	81,74	115,49	88,61
<i>2</i>	345,28	342,49	310,91	332,89
<i>Fundo</i>	1310,46	1448,55	1285,20	1348,07
<i>Soma</i>	2001,01	1999,65	2001,58	2000,75

Ponto 3 (04/09/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	264,30	141,90	181,86	196,02
<i>0,6</i>	532,52	538,08	540,92	537,17
<i>0,42</i>	312,04	410,34	418,87	380,42
<i>0,25</i>	473,06	531,38	442,60	482,35
<i>0,15</i>	232,40	211,49	260,97	234,95
<i>0,075</i>	40,89	26,13	48,02	38,35
<i>Fundo</i>	8,35	5,58	8,22	7,38
<i>Soma</i>	1863,56	1864,90	1901,46	1876,64

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>9,5</i>	32,38	14,46	15,35	20,73
<i>4,8</i>	34,83	29,63	24,36	29,61
<i>2</i>	67,83	89,21	64,54	73,86
<i>Fundo</i>	1864,34	1868,08	1897,65	1876,69
<i>Soma</i>	1999,38	2001,38	2001,90	2000,89

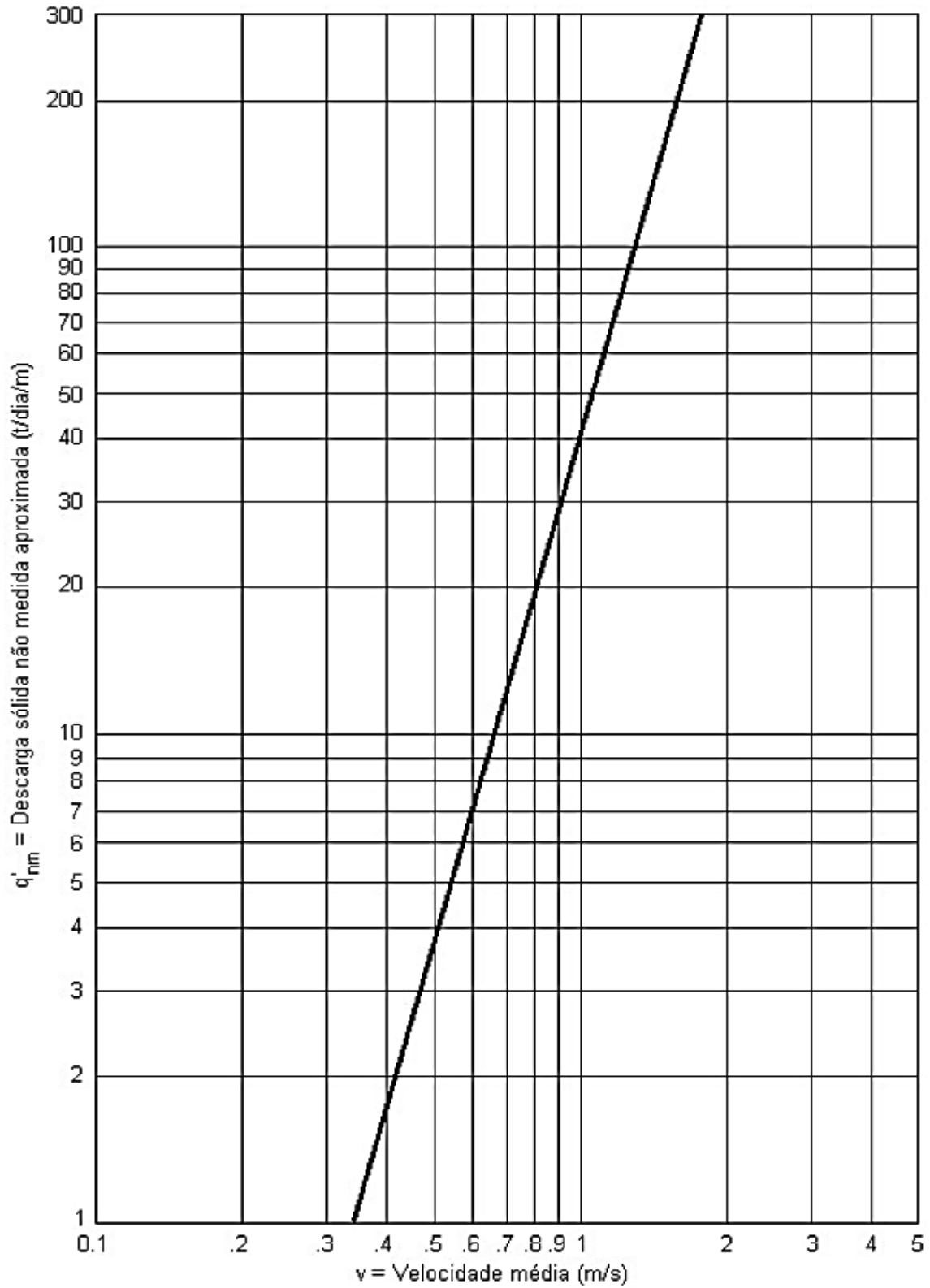
Ponto 4 (04/09/2018)

<i>Peneiramento Fino</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>1,18</i>	46,69	45,01	52,79	48,16
<i>0,6</i>	375,93	359,23	392,80	375,99
<i>0,42</i>	791,25	661,13	767,25	739,88
<i>0,25</i>	575,68	720,74	558,77	618,40
<i>0,15</i>	124,76	124,42	134,56	127,91
<i>0,075</i>	37,81	22,02	39,24	33,02
<i>Fundo</i>	10,04	16,15	9,69	11,96
<i>Soma</i>	1962,16	1948,70	1955,10	1955,32

<i>Peneiramento Grosso</i>				
<i>Peneira</i>	<i>Massa retida (g)</i>			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Amostra 3</i>	<i>Média</i>
<i>50</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>38</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>25</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>19</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>9,5</i>	2,83	0,00	0,00	0,94
<i>4,8</i>	4,74	7,13	6,13	6,00
<i>2</i>	29,20	40,52	32,74	34,15
<i>Fundo</i>	1965,70	1952,85	1958,64	1959,06
<i>Soma</i>	2002,47	2000,50	1997,51	2000,16

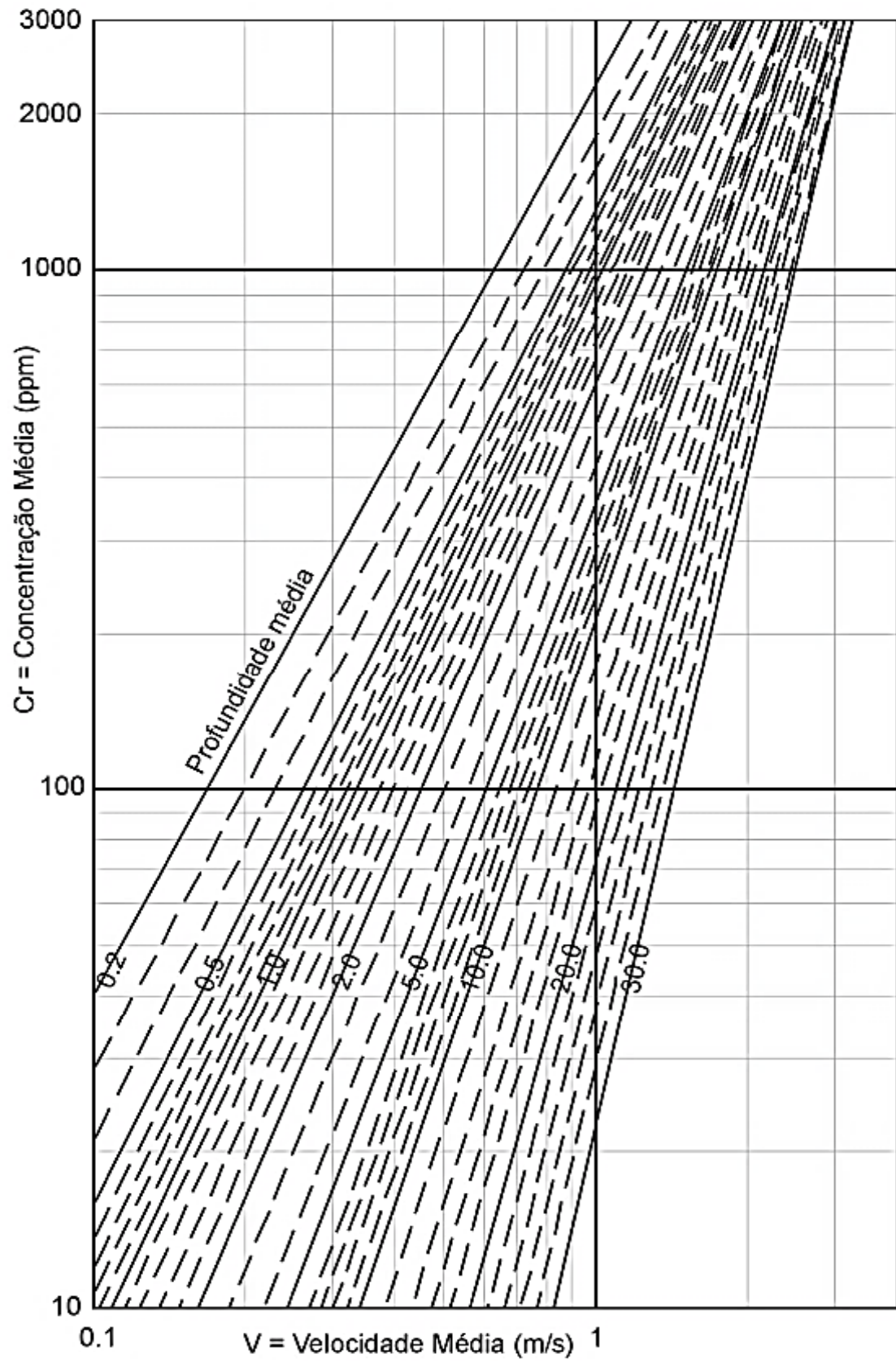
ANEXO A – ÁBACOS DO MÉTODO DE COLBY

Ábaco 1 – Descarga sólida não medida aproximada



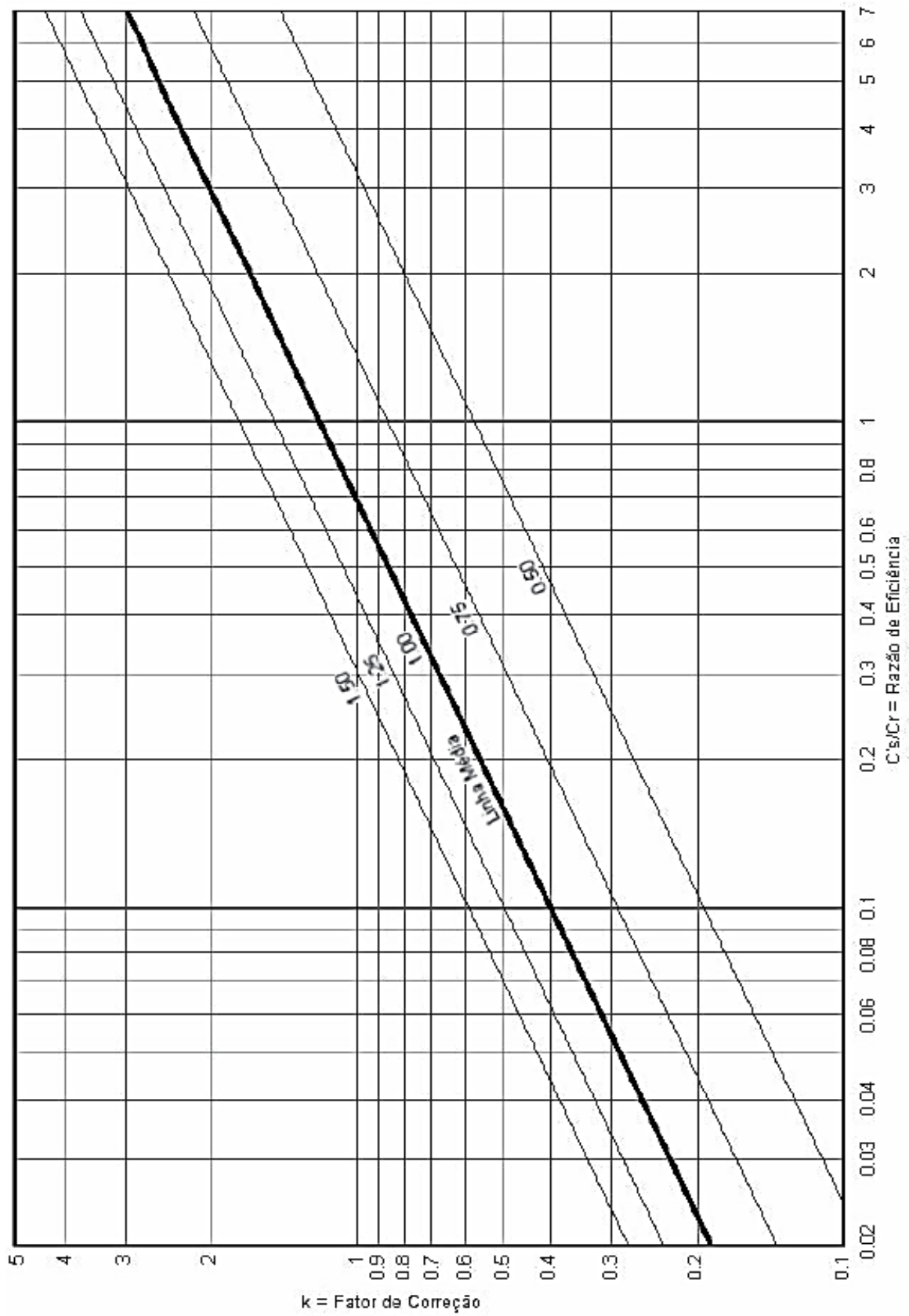
Fonte: Paiva (2003)

Ábaco 2 – Concentração média de sedimentos



Fonte: Paiva (2003)

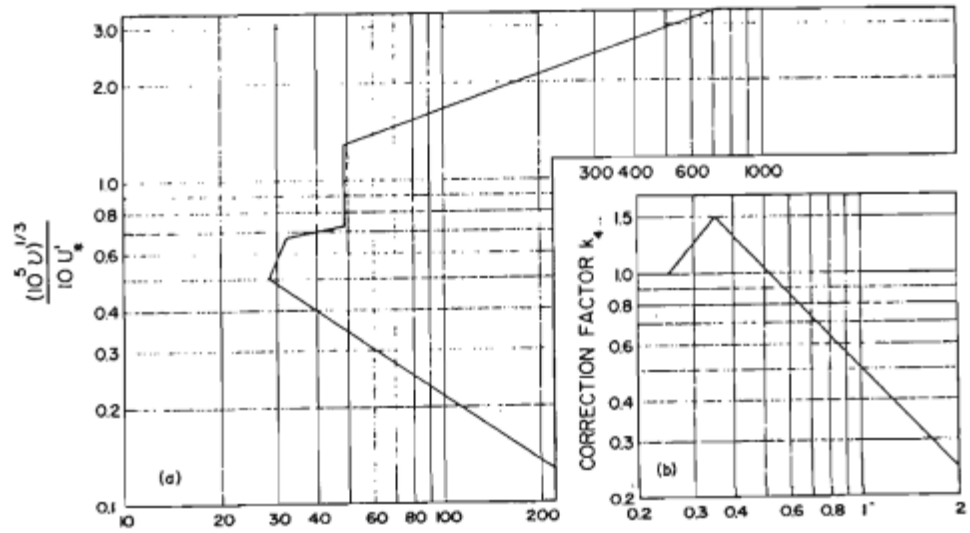
Ábaco 3 - Fator de correção da razão de eficiência



Fonte: Paiva (2003)

ANEXO B – COEFICIENTES MÉTODO DE TOFFALETI

Ábaco 4: Coeficientes de correção para TOFFALETI - a) fator A_c ; b) fator K_c .



Fonte: Toffaleti (1969)