

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS HENRIQUE ALVES DE ABREU**

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
GERADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
JORDÃO LOCALIZADO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

UBERLÂNDIA – MG  
2018

MATHEUS HENRIQUE ALVES DE ABREU

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
GERADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JORDÃO  
LOCALIZADO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira

UBERLÂNDIA – MG  
2018

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e inspiração para prosseguir.

Agradeço aos meus pais por terem me apoiado todo esse tempo e por depositarem sua confiança em mim.

Agradeço aos meus familiares que estiveram sempre me apoiando.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram e estiveram sempre ao meu lado durante o período da graduação.

Agradeço ao professor Carlos Eugênio por ter me orientado neste projeto e me ajudado a finalizá-lo.

Agradeço a todo o pessoal que participou das coletas e contribuiu para a realização deste projeto.

## Resumo

Para se construir um reservatório é necessário avaliar alguns fatores que influenciam sua vida útil. O transporte de sedimentos em um curso d'água está diretamente relacionado com a vida útil do reservatório, sendo o responsável pelo processo de assoreamento, que é o acúmulo de sedimentos no fundo, o qual provoca a diminuição do volume útil. O curso d'água a ser estudado foi o rio Jordão, que se localiza próximo a Araguari-MG, no Triângulo Mineiro. Foram feitas coletas mensais em quatro pontos do rio, onde foram coletadas amostras de sedimentos de fundo, dados de vazão, velocidade, nível de água, temperatura, entre outras. Utilizou-se equipamentos como o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e o molinete fluviométrico para medir a vazão, e também foi determinado a partir dos conjuntos de vazão e nível coletados, as curvas-chave de cada seção, um método de medição indireta da vazão em cada seção, as quais foram feitas apenas por motivos didáticos, devido a insuficiência de dados para uma precisão aceitável. Com os dados de campo se realizou ensaios de laboratório para determinar a granulometria dos sedimentos e a concentração de sólidos suspensos, dissolvidos e totais na água. Assim foi possível utilizar métodos para o cálculo da descarga de sedimentos, os quais foram: Método de Colby, Método de Meyer Peter e Müller e o Método de Van Rijn. A partir destes métodos foi possível estabelecer uma conexão do transporte de sedimentos com os períodos de chuva na região e com processos erosivos no solo das proximidades, observados durante as coletas de campo. Também com estes dados pôde-se avaliar a seção mais favorável para a construção de um reservatório, levando-se em consideração apenas o processo de assoreamento.

**Palavras-chave:** Reservatórios, transporte de sedimentos, Método de Colby, Método de Van Rijn, Método de Meyer Peter e Müller, Curva-chave, Rio Jordão, Araguari.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 Reservatórios de água.....	11
3.2 Assoreamento.....	12
3.3 Curvas-chave.....	13
3.4 Método de Colby.....	14
3.5 Método de Meyer Peter e Müller.....	15
3.6 Método de Van Rijn.....	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4.1 Coletas de campo.....	16
4.2 Ensaios.....	19
4.2.1 Análise granulométrica.....	19
4.2.2 Determinação de sólidos.....	19
4.3 Método de Colby: Aplicação.....	20
4.4 Método de Meyer Peter e Müller: aplicação.....	21
4.5 Método de Van Rijn: aplicação.....	23
4.6 Métodos para obter a vazão.....	28
4.6.1 Molinete fluviométrico.....	28
4.6.2 ADCP ( <i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> ).....	30
4.6.3 Método da curva-chave.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1 Análise granulométrica.....	33
5.2 Análise de sólidos.....	35
5.3 Vazões obtidas.....	36
5.4 Descarga sólida total.....	38

5.4.1	Método de Colby .....	38
5.4.2	Método de Meyer Peter e Müller.....	41
5.4.3	Método de Van Rijn .....	44
5.5	Determinação de curvas-chave.....	52
5.6	Impacto do assoreamento na vida útil de um reservatório .....	55
6	CONCLUSÃO.....	56
	BIBLIOGRAFIA .....	57
	ANEXO A – Ensaio esquematizados .....	60
	ANEXO B1 – Descarga sólida não medida aproximada.....	64
	ANEXO B2 – Concentração média de sedimentos .....	65
	ANEXO B3 – Fator de correção da razão de eficiência.....	66
	APÊNDICE A – Massas retidas (Ensaio granulométrico) .....	67
	APÊNDICE B – Sólidos totais, suspensos e dissolvidos .....	73
	APÊNDICE C – Determinação do diâmetro médio .....	80

## Lista de figuras

Figura 1 – Níveis e volumes de um reservatório .....	12
Figura 2 – Exemplo de curva-chave .....	14
Figura 3 – Seções de estudo e vista aérea dos locais.....	16
Figura 4 – Coleta de sedimentos do fundo do rio.....	17
Figura 5 – Coleta de amostras de água .....	18
Figura 6 – Instalação de réguas para medir o nível líquido.....	18
Figura 7 – Agitador de peneiras .....	19
Figura 8 – Molinete fluviométrico.....	28
Figura 9 – Elementos de área .....	29
Figura 10 – Uso do ADCP.....	30
Figura 11 – Perfil traçado e campo de velocidades fornecidos pelo ADCP .....	31
Figura 12 – Curva-chave ajustada pelo método de mínimos quadrados .....	32
Figura 13 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 1.....	33
Figura 14 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 2.....	34
Figura 15 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 3.....	34
Figura 16 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 4.....	35
Figura 17 – Curva-chave da seção 1 .....	53
Figura 18 – Curva-chave da seção 2.....	53
Figura 19 – Curva-chave da seção 3.....	54
Figura 20 – Curva-chave da seção 4.....	54

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Concentrações em cada seção.....	36
Tabela 2 – Vazões obtidas nas coletas.....	37
Tabela 3 – Níveis líquidos.....	37
Tabela 4 – Descarga de 08/08/2017 .....	38
Tabela 5 – Descarga de 12/09/2017 .....	38
Tabela 6 – Descarga de 18/10/2017 .....	38
Tabela 7 – Descarga de 07/11/2017 .....	38
Tabela 8 – Descarga de 17/12/2017 .....	39
Tabela 9 – Descarga de 23/01/2018 .....	39
Tabela 10 – Descarga sólida não medida de 08/08/2017 .....	39
Tabela 11 – Descarga sólida não medida de 02/09/2017 .....	39
Tabela 12 – Descarga sólida não medida de 18/10/2017 .....	39
Tabela 13 – Descarga sólida não medida de 07/11/2017 .....	40
Tabela 14 – Descarga sólida não medida de 17/12/2017 .....	40
Tabela 15 – Descarga sólida não medida de 23/01/2018 .....	40
Tabela 16 – Descarga sólida total.....	40
Tabela 17 – Perímetros e áreas molhadas de cada seção.....	41
Tabela 18 – Raio hidráulico.....	42
Tabela 19 – Declividade e $D_{90}$ .....	42
Tabela 20 – Coeficientes de rugosidade .....	42
Tabela 21 – Diâmetro médio do material de fundo .....	43
Tabela 22 – Peso submerso do sedimento .....	43
Tabela 23 – Descarga sólida de fundo.....	43
Tabela 24 – Rugosidade e número de Reynolds.....	44
Tabela 25 – Fator de perda de carga.....	44
Tabela 26 – Fatores de cisalhamento.....	45
Tabela 27– Raio hidráulico relativo ao fundo .....	45
Tabela 28 – Diâmetro adimensional dos sedimentos .....	46
Tabela 29 – Coeficiente de Chézy .....	46
Tabela 30 – Velocidade de cisalhamento relativa aos grãos .....	46
Tabela 31 – Velocidade de cisalhamento crítica .....	47
Tabela 32 – Parâmetro de transporte .....	47

Tabela 33 – Descarga sólida de fundo.....	47
Tabela 34 – Nível de referência.....	48
Tabela 35 – Concentração de referência.....	48
Tabela 36 – Desvio padrão geométrico .....	48
Tabela 37 – Diâmetro das partículas em suspensão .....	49
Tabela 38 – Velocidade de queda do sedimento .....	49
Tabela 39 – Velocidade de cisalhamento no fundo .....	49
Tabela 40 – Coeficientes $\beta$ e $\phi$ .....	50
Tabela 41 – Parâmetros de suspensão .....	50
Tabela 42 – Razão $a/d$ .....	50
Tabela 43 – Fator de carga do sedimento em suspensão.....	51
Tabela 44 – Descarga de sedimentos em suspensão.....	51
Tabela 45 – Descarga total de sedimentos .....	51
Tabela 46 – Valores de nível e vazão para traçado das curva-chave .....	52
Tabela 47 – Volume de sedimentos pelo método de Colby .....	55
Tabela 48 – Volume de sedimentos pelo método de Meyer Peter e Müller.....	55
Tabela 49 – Volume de sedimentos pelo método de Van Rijn .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Portal Brasil (2011), o potencial técnico de aproveitamento da energia hidráulica do Brasil está entre os cinco maiores do mundo, além disso, o país possui 12% da água doce superficial do planeta e condições adequadas para exploração. Em todo o mundo, o Brasil é o país com maior potencial hidrelétrico, estimado em cerca de 260 GW (AGÊNCIA NACIONAL DA ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Com isso, antes de construir uma hidrelétrica é preciso avaliar o potencial energético dos rios e o transporte de sedimentos entre outros fatores, para determinar a vida útil de um reservatório.

Entre os agentes que provocam naturalmente a sedimentação estão: a água, o vento, a gravidade, o gelo e agentes biológicos. Atividades como agricultura, construção civil e desmatamento, provocam um aumento significativo no transporte de sedimentos, o que pode ocasionar a perda de vida útil dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Estas ações são as grandes causadoras das erosões das terras e assoreamento dos rios e reservatórios, de acordo com Carvalho et. al (2005).

Quando os sedimentos se acumulam nos reservatórios, podem provocar danos como: redução do volume de água, prejuízos à navegação, danificação de turbinas, bloqueio de tomadas de água e comportas, entre outros. Seja qual for o tipo de reservatório, está sujeito à deposição de sedimentos (GARCIA; GONÇALVES, 2011).

De acordo com Wilson Junior e Paiva (2003), há duas formas de movimentação de sedimentos: Na primeira delas os sedimentos são provenientes do leito do rio, e esses se movem por arraste, em que as partículas rolam, deslizam ou se movimentam por pequenos saltos, e na segunda forma os sedimentos são transportados por suspensão, no qual as partículas não têm contato com o leito do rio. O segundo modo, de acordo com Silva (2003), geralmente, representa a maior quantidade de carga sólida de um curso de água, podendo chegar a 99%.

A carga sólida de um curso d'água pode ser determinada por vários métodos, dentre eles está o método simplificado de Colby, o qual será utilizado neste trabalho. Este método se baseia em parâmetros pré-definidos como velocidade média, profundidade média, concentração de sedimentos em suspensão e largura da seção, e no uso de ábacos para a determinação da descarga sólida total. Também serão utilizados os métodos de Van Rijn e o método de Meyer Peter e Müller.

Outro recurso utilizado neste trabalho será a curva-chave, um gráfico que permite relacionar o nível líquido com a vazão em determinada seção do curso d'água. Dessa forma se torna possível obter a vazão em qualquer momento sabendo o nível líquido.

O curso d'água a ser estudado é o Rio Jordão, que se localiza na região do Triângulo Mineiro, com a nascente situada próxima à cidade de Araguari-MG, e é um afluente do rio Paranaíba, onde se encontram importantes usinas hidrelétricas como: São Simão, Emborcação, Salto Morais e Santa Luzia (CEMIG, 2018). Sabendo que a vida útil de um reservatório está diretamente relacionada à descarga sólida de sedimentos, será calculado o volume de sedimentos transportados por este rio, tornando possível o estudo para a construção de uma futura barragem ou determinar o impacto gerado em reservatórios já existentes.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é estudar o transporte de sedimentos que ocorre no Rio Jordão, com a finalidade de avaliar o impacto do assoreamento na vida útil de um reservatório. Serão feitos para este estudo a determinação da seção transversal do rio, determinação da vazão, coleta de sólidos do fundo, coleta de amostras de água, e a partir destes dados será feita a análise da quantidade de sólidos suspensos, dissolvidos e totais transportados, a análise granulométrica dos sedimentos de fundo e a implantação de uma curva-chave no posto fluviométrico proposto para o projeto. A partir disso será feita a avaliação do transporte de sedimentos gerados e a calibração de parâmetros hidrológicos na bacia do Rio Jordão. Com os dados da vazão média e da descarga sólida obtidos será possível analisar o assoreamento em um reservatório hipotético.

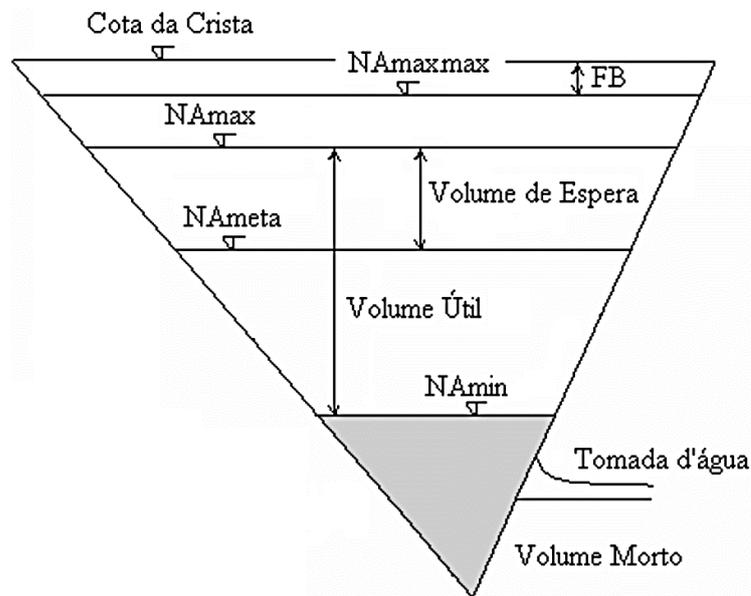
## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**

Os reservatórios têm como função principal o armazenamento da água que provém de um curso d'água. Eles podem ser utilizados para diversas finalidades que irão beneficiar a sociedade, tais como: Abastecimento da população, irrigação, navegação, controle de cheias, geração de energia elétrica, entre outros (MEES, 2018). Quanto às características físicas de um reservatório, estas são dependentes da topografia do local em que ele está inserido (UEHARA; SANTOS; LOPES, 2002). Há vários níveis e volumes que caracterizam um reservatório e estes são: Nível de água mínimo operacional, volume morto, nível de água máximo operacional,

volume útil, nível meta do reservatório, volume de espera (utilizado no controle de cheias), nível de água máximo maximorum, borda livre (FB) e crista de barramento (Figura 1).

Figura 1 – Níveis e volumes de um reservatório



Fonte: UEHARA; SANTOS; LOPES, 2002.

### 3.2 ASSOREAMENTO

O processo de assoreamento consiste na deposição de sedimentos no fundo de cursos d'água lagos, reservatórios entre outros. Os reservatórios propiciam condições favoráveis para que ocorra a deposição de sedimentos transportados por um curso d'água, tal fato se deve à redução da velocidade da água. Dessa maneira formam-se depósitos onde a distribuição granulométrica dos grãos varia de montante (sedimento mais grosso) para jusante (sedimento mais fino) (UEHARA; SANTOS; LOPES, 2002).

Os sedimentos que se depositam nos reservatórios são originados na área de drenagem contribuinte e transportados pela rede de canais que os abastecem. A produção derivada dessas áreas depende da erosão, do escoamento das águas da chuva com carregamento de sedimentos e de características do transporte de sedimentos nos cursos d'água. Os fatores responsáveis pela produção de sedimentos nessas áreas são: Precipitação, tipo de solo e formação geológica, cobertura do solo, uso do solo, topografia, natureza da rede de drenagem, escoamento superficial, características dos sedimentos e hidráulica dos canais, podendo haver novos fatores ou combinações entre eles (CARVALHO et al., 2000).

De acordo com Mees (2012), o assoreamento de um reservatório é um processo inevitável, devido ao processo de deposição de sedimentos ou pelo escoamento superficial que o atinge pelas margens. Independentemente de como funcione ou qual seja a finalidade, um reservatório está sujeito a ter a capacidade reduzida devido ao assoreamento, e isto pode gerar uma série de consequências.

A constante deposição de sedimentos no fundo do reservatório leva à redução do volume útil dele, o que influencia no uso do reservatório, como na geração de energia elétrica, abastecimento de água, irrigação, contenção de enchentes e outras finalidades (MAIA, 2006). A presença de sedimentos grosseiros depositados na entrada do reservatório pode levar também ao prolongamento dos efeitos de remanso, que podem elevar o nível de enchentes à montante (COIADO, 2001).

De acordo com Uehara, Santos e Lopes (2002), devido à retenção de sedimentos, a água sai clara do reservatório, aumentando o efeito erosivo à jusante, e quando estes atingem a soleira da tomada d'água a vida útil acaba, por não haver condições de operações adequadas do reservatório.

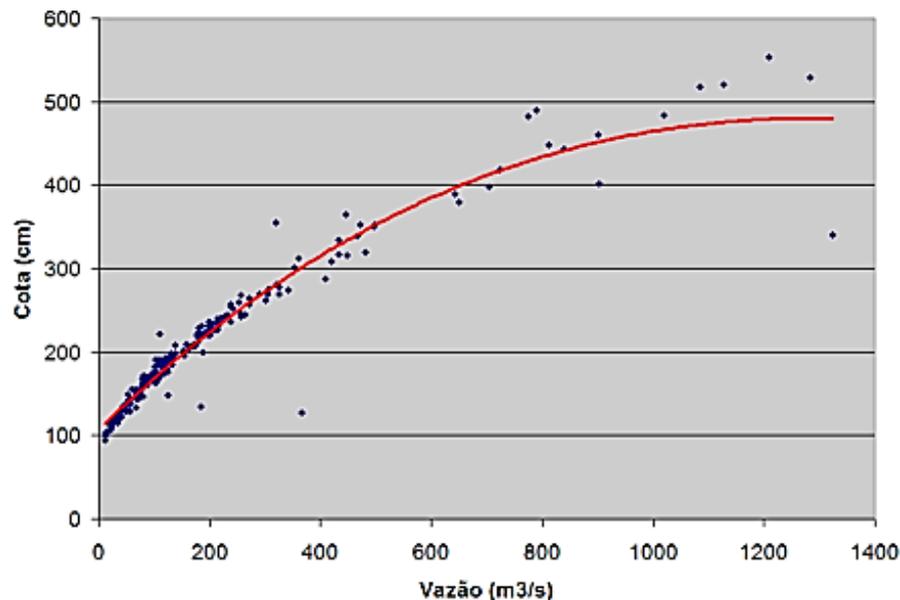
### **3.3 CURVAS-CHAVE**

Curva-chave é um método que faz a relação entre a altura do nível líquido da seção transversal de um curso d'água com a vazão correspondente. Através dessa relação a cota de nível é transformada em vazão do escoamento fluvial (PINHEIRO; BADIA, 2008). Este tipo de método é importante pois facilita a medição da vazão em um curso d'água, de forma que torna dispensável o uso de vários equipamentos destinados a esta finalidade e de pessoal especializado, substituindo-os por uma simples medição do nível da lâmina líquida do curso d'água.

De acordo com Porto, Filho e Silva (2001), para a escolha de um 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 crítico ou fluvial, e deve-se realizar as medições em situações de regime permanente.

A relação entre cota e vazão é mantida até que as características geométricas da seção do curso d'água sofram variações (PORTO; FILHO; SILVA, 2001). Após a definição da curva-chave, o acúmulo de pequenas variações na seção do curso d'água no decorrer dos anos faz com que a relação cota x vazão perca a validade, ou seja, a torna menos precisa, exigindo assim, a atualização dos dados da curva (CORDERO; MEDEIROS, 2003). Na Figura 2 tem-se um exemplo de curva-chave.

Figura 2 – Exemplo de curva-chave



Fonte: Andrade, 2014.

### 3.4 MÉTODO DE COLBY

Este método foi baseado no método modificado de Einstein e é utilizado no cálculo da descarga total de sedimentos em um curso de água. Ele simplifica os cálculos que estimam a descarga sólida não medida com o uso de três ábacos, e ao somá-la com a descarga sólida medida se obtém a descarga sólida total. Os parâmetros necessários para aplicar este método são: Largura da superfície do canal, velocidade média de escoamento, profundidade líquida, descarga líquida na seção e a concentração de sedimentos em suspensão (SOBRINHO et al., 2013).

A vantagem do método de Colby é que ele exige poucos dados para sua aplicação, o que o torna simples de ser usado, porém, de acordo com Carvalho (1994), as descargas sólidas podem ser calculadas pelo Método Modificado de Einstein para que se estabeleça uma correlação entre as descargas e se possa verificar a confiabilidade dos resultados.

### **3.5 MÉTODO DE MEYER PETER E MÜLER**

Este método é utilizado no cálculo da descarga de sedimentos por arrasto de fundo. A base para o cálculo é formada por duas hipóteses. Primeiramente, a relação do movimento sólido e o movimento líquido de um curso d'água tem por característica a declividade da curva de energia, ou seja, há um consumo de energia no transporte sólido e o restante é gasto no movimento líquido. A outra hipótese diz que estes mesmos fenômenos regem o transporte de sedimentos e o início do movimento. Para aplicar este método são necessários parâmetros como: peso específico e diâmetros característicos dos sedimentos, declividade da linha de energia, vazão e o formato da seção (SCAPIN; PAIVA; BELING, 2007).

### **3.6 MÉTODO DE VAN RIJN**

Este método é utilizado no cálculo das descargas de sedimentos totais em um curso de água. De acordo com Van Rijn (1984), dependendo do tamanho e composição dos sedimentos e das condições do escoamento, estes podem ser transportados como carga de fundo ou carga em suspensão. Existem três formas distintas de movimento dos sedimentos: movimento em saltos, rolamentos e deslizamentos, e em suspensão. É considerado neste método que as partículas que saltam uma altura superior à máxima (teórica) são transportadas por suspensão, já as que não ultrapassam esse valor se mantêm no fundo. A descarga total de sedimentos é dada pela soma das descargas de sedimentos transportados pelo fundo e por suspensão. As equações de Van Rijn apresentam maior confiabilidade no transporte de partículas, onde o  $D_{50}$  se situa na faixa de 200 a 2000  $\mu\text{m}$ .

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

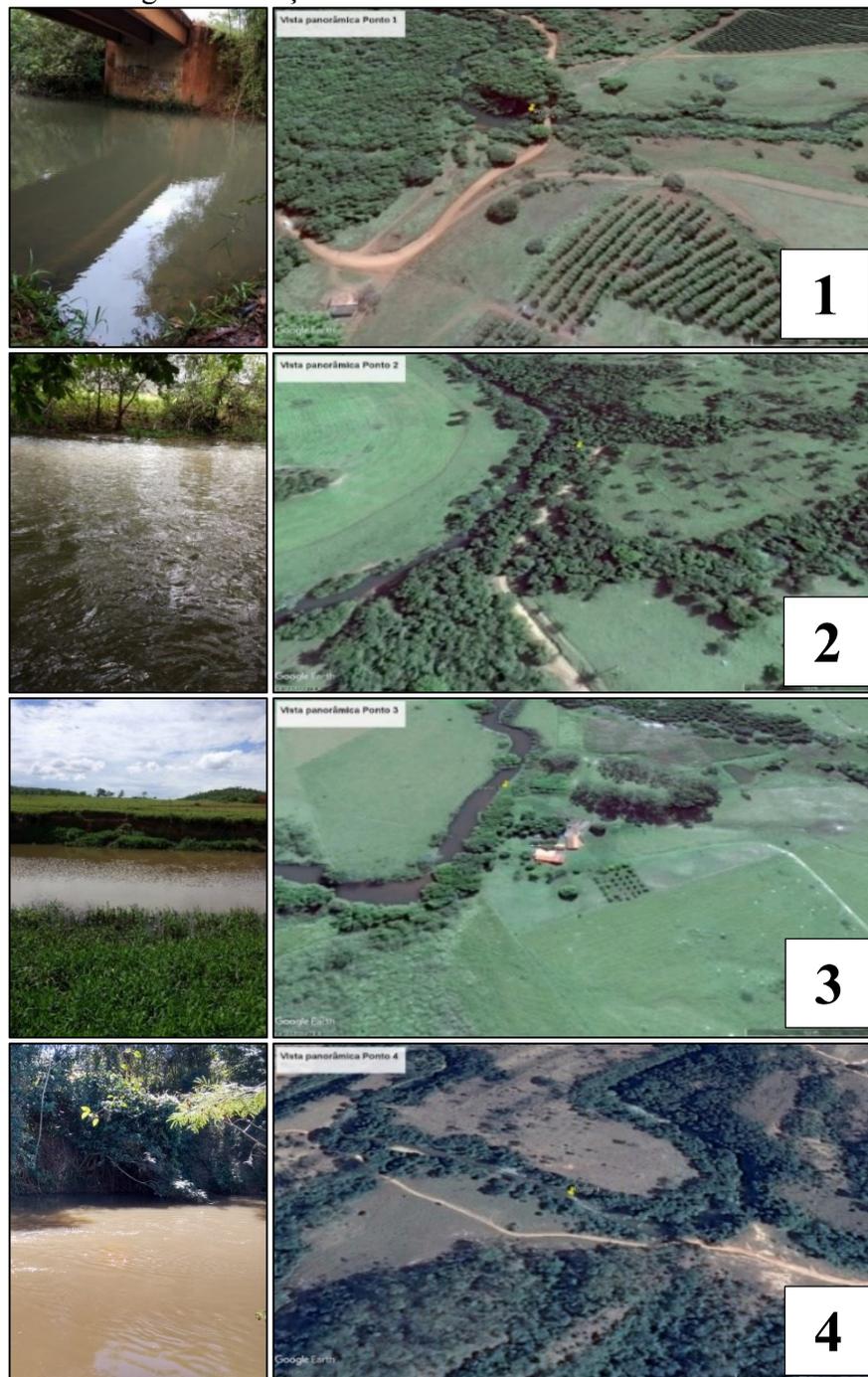
Nesta seção serão apresentados a área escolhida para estudo, os procedimentos para a coleta do material necessário, os ensaios realizados e os métodos adotados para a análise do transporte de sedimentos no curso d'água. Os ensaios a serem descritos foram realizados nos laboratórios de geotecnia e de saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

Para a coleta dos dados foram escolhidos quatro pontos do Rio Jordão, o qual tem sua nascente situada próxima à cidade de Araguari. Foram realizadas as coletas nos dias: 08 de agosto, 12 de setembro, 18 de outubro, 07 de novembro, 17 de dezembro, 23 de janeiro, 27 de fevereiro, 20 de março e 22 de maio.

#### 4.1 COLETAS DE CAMPO

Antes de se realizar as coletas de campo foram determinadas as seções de estudo. Elas foram escolhidas de acordo com os critérios apresentados no item 3.3 para se obter as informações necessárias para a construção das curvas-chave. Nestas seções foram coletadas amostras de água, amostras de sedimento de fundo, medidas de nível, medidas de vazão e medidas de velocidade. Na Figura 3 são apresentadas as seções de estudo.

Figura 3 – Seções de estudo e vista aérea dos locais



Fonte: Autor, 2018.

Para a obtenção do material necessário na realização da análise granulométrica foi feita a coleta de material do fundo do rio. O material foi coletado e depositado em um saco plástico numerado de acordo com a seção. Foram retirados de cada seção materiais do meio e das margens do rio para se obter uma amostra que representasse melhor a seção em estudo, além de se acumular uma quantidade considerável para que pudesse ser dividida em partes suficientes para o ensaio granulométrico. Pela Figura 4 é possível visualizar como foi feita a coleta.

Figura 4 – Coleta de sedimentos do fundo do rio



Fonte: Autor, 2018.

Foi feita também a coleta de amostras de água do rio para os ensaios de determinação dos sólidos totais, suspensos e dissolvidos. A coleta foi realizada com o auxílio de um amostrador de sedimentos em suspensão do tipo DH-48, o qual é recomendado para uso em baixas profundidades. O método para a coleta foi feito da seguinte maneira: Por meio de uma corda guia cruzou-se a seção; 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. Os recipientes com as amostras foram armazenados em um local refrigerado para manterem as propriedades, pois, de acordo com a norma técnica interna SABESP NTS 013 (1999), as amostras devem ser mantidas a uma temperatura de 4°C por um período de até 7 dias. Na Figura 5 pode-se observar como foi realizada a coleta das amostras de água.

Figura 5 – Coleta de amostras de água



Fonte: Autor, 2018.

Outro tipo de medida feita em campo foi a do nível líquido do curso d'água. Para se realizar a medição foram utilizadas duas réguas graduadas e uma mangueira de nível. As réguas foram posicionadas de maneira que uma ficasse submersa e outra em uma base pré-instalada no local, o que pode ser observado na Figura 6 .

Figura 6 – Instalação de réguas para medir o nível líquido



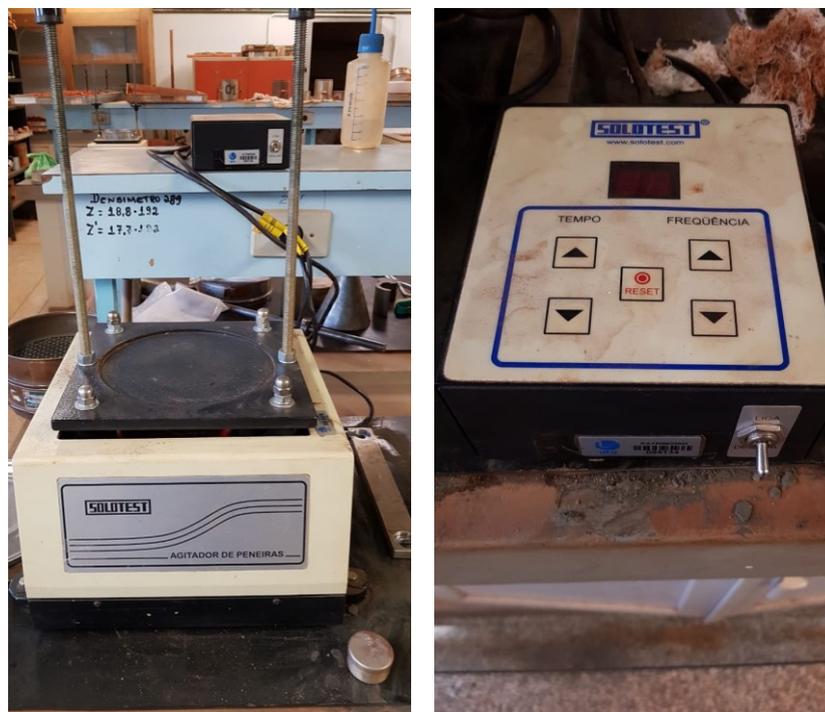
Fonte: Autor, 2018.

## 4.2 ENSAIOS

### 4.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do material coletado em campo foi feita em laboratório utilizando como base a norma ABNT NBR 7181:2016, a qual não foi seguida plenamente devido às dificuldades enfrentadas para coletar o material necessário, sendo então, utilizadas quantidades reduzidas de material. Para a realização deste ensaio foram necessárias peneiras com aberturas tamanho: 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2 mm para se realizar o peneiramento grosso e as peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm para o peneiramento fino. Também foram utilizados um agitador eletromagnético de peneiras (Figura 7) e um quarteador de amostras. Para cada seção foram separados 6 kg de material, os quais foram divididos, através do quarteamento, em três amostras de 2 kg para a realização do peneiramento. Para evitar dados que comprometessem os resultados, foi feito o destorroamento e a homogeneização dos aglomerados de grãos antes do peneiramento. Para a análise dos resultados foram anotados os pesos retidos em cada peneira.

Figura 7 – Agitador de peneiras



Fonte: Autor, 2018.

### 4.2.2 Determinação de sólidos

Os ensaios para a determinação de sólidos totais, suspensos e dissolvidos presentes na água foram realizados de acordo com a Norma Técnica Interna SABESP NTS 013 (1999). Os

materiais e equipamentos utilizados na análise foram: Cápsulas de porcelana esmaltada de 130 ml, kitassato ou frasco de sucção, cadinho de Gooch, sistema de filtração à vácuo (bomba à vácuo), membrana de fibra de vidro 1,2  $\mu\text{m}$ , estufa e forno-mufla.

De acordo com a norma, os sólidos totais são aqueles que permanecem na cápsula depois que o volume de água da amostra evapora, os sólidos em suspensão são aqueles que após a filtração e secagem ficam retidos na fibra de vidro 1,2  $\mu\text{m}$  e os sólidos dissolvidos são aqueles não ficam retidos na filtração e permanecem após a total secagem do volume de água. Os ensaios estão representados de forma esquematizada no Anexo A.

### 4.3 MÉTODO DE COLBY: APLICAÇÃO

Descrito em Carvalho (1984), o método de Colby é utilizado na análise dos impactos sedimentológicos, com base no método modificado de Einstein. A descarga sólida total ( $Q_{sT}$ ) é 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 (1).

$$Q_{sT} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (1)$$

Em que  $Q_{sm}$  é obtido pela Equação (2):

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C's \quad (2)$$

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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C's$ : concentração de sedimento em suspensão medida (mg/l).

Para se calcular a descarga sólida não medida é necessário o uso de três ábacos, os quais dependem da velocidade média em m/s, profundidade média em m, concentração medida em mg/l e a largura da seção do curso d'água. Primeiramente, é determinada a descarga sólida não medida aproximada, a qual é encontrada no primeiro ábaco (Anexo B1), utilizando-se a velocidade média na seção. Com a velocidade média e a profundidade média, se obtém a

concentração relativa ( $Cr$ ), dada pelo segundo ábaco (Anexo B2). Encontrado o valor de  $Cr$ , se calcula, então, o valor da razão de eficiência, dado pela Equação (3):

$$e = (C' s)/Cr \quad (3)$$

Em que:

$e$ : razão da eficiência;

$Cr$ : concentração relativa média (ppm);

$C's$ : 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 1, apresentado no terceiro ábaco (Anexo B3). Então é calculada a descarga sólida não medida, de acordo com a Equação (4):

$$Q_{nm} = q'_{nm} \times L \times K \quad (4)$$

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 MÉTODO DE MEYER PETER E MÜLER: APLICAÇÃO

Este método é representado pela Equação (5):

$$\gamma \left( \frac{Kst}{Kr} \right)^{\frac{3}{2}} RS = 0,047\gamma'_s D_m + 0,25\rho^{\frac{1}{3}} q_b^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

Em que:

$q_b$ : peso submerso do sedimento transportado (ton/s.m);

$R$ : raio hidráulico do fundo (m);

$S$ : gradiente de energia (m/m);

$\gamma$ : peso específico da água (ton/m<sup>3</sup>);

$\gamma'_s$ : peso específico do sedimento submerso (ton/m<sup>3</sup>);

$\rho$ : massa específica da água (UTM/m<sup>3</sup>/1000);

$K_{st}$ : coeficiente de rugosidade de Strickler;

$K_r$ : coeficiente de rugosidade devido à força de cisalhamento;

$D_m$ : diâmetro médio do sedimento de fundo;

O coeficiente  $K_{st}$  é dado pela Equação (6):

$$K_{st} = \left( \frac{U^2}{SR^{\frac{4}{3}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Em que:

$U$ : velocidade média do escoamento (m/s).

O coeficiente  $K_r$  é dado pela Equação (7):

$$K_r = \frac{26}{D_{90}^{\frac{1}{6}}} \quad (7)$$

Em que:

$D_{90}$ : diâmetro correspondente a 90% do sedimento representado na curva granulométrica.

Para se determinar o diâmetro médio do material de fundo é utilizada a Equação (8):

$$D_m = \frac{\sum D_x i_b}{100} \quad (8)$$

Em que:

$D_x$ : diâmetro médio de uma faixa de diâmetros (m);

$i_b$ : porcentagem de sedimento que corresponde ao diâmetro  $D_x$ .

Após se determinar o valor do peso submerso do sedimento, é feito o cálculo para a descarga sólida na seção do curso d'água, dada pela Equação (9):

$$Q_b = \frac{Q'_b \gamma'_s}{\gamma - \gamma'_s} \quad (9)$$

Em que  $Q'_b$  é dado pela Equação (10):

$$Q'_b = 86400Bq'_b \quad (10)$$

Em que:

$B$ : Largura da superfície.

#### 4.5 MÉTODO DE VAN RIJN: APLICAÇÃO

Para aplicar o método de Van Rijn, primeiramente é calculado o número de Reynolds do escoamento (Equação 11, Equação 12 e Equação 13):

$$n^\circ R = \frac{4RhU}{\nu} \quad (11)$$

$$n^\circ Rb = \frac{4RbU}{\nu} \quad (12)$$

$$n^\circ R_w = \frac{4R_wU}{\nu} \quad (13)$$

Em que:

$U$ : velocidade média do escoamento (m/s);

$\nu$ : viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s);

$n^\circ R$ : número de Reynolds;

$Rh$ : raio hidráulico da seção (m);

$n^\circ Rb$ : número de Reynolds relativo ao fundo;

$Rb$ : raio hidráulico relativo ao fundo (m);

$n^\circ R_w$ : número de Reynolds relativo às paredes;

$R_w$ : raio hidráulico relativo às paredes (m).

Van Rijn (1984) encontrou por meio de experimentos valores para rugosidade de NIKURADSE entre  $1D_{90}$  a  $10D_{90}$  obtendo um valor médio de (Equação 14):

$$K_s = 3. D_{90} \quad (14)$$

Com estes fatores é calculado o fator de perda de carga por meio da fórmula de Colebrook (1939), dada pela Equação (15):

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -0,86. \ln \left[ \frac{Ks}{\frac{4Rh}{3,7}} + \frac{2,51}{n^{\circ}Rf^{0,5}} \right] \quad (15)$$

Em que:

$f$ : fator de atrito.

A partir do fator de atrito são determinados os fatores de cisalhamento em relação à parede e ao fundo da seção. O primeiro é calculado seguindo às condições das Equações 16, 17 e 18.

$$\frac{n^{\circ}R}{f} < 5,4. 10^5 \rightarrow fw = 0,476 \left( \frac{n^{\circ}R}{f} \right)^{-0,215} \quad (16)$$

$$5,4. 10^5 < \frac{n^{\circ}R}{f} < 8. 10^6 \rightarrow fw = 0,315 \left( \frac{n^{\circ}R}{f} \right)^{-0,185} \quad (17)$$

$$\frac{n^{\circ}R}{f} > 8. 10^6 \rightarrow fw = 0,197 \left( \frac{n^{\circ}R}{f} \right)^{-0,155} \quad (18)$$

Em que:

$fw$ : fator de cisalhamento em relação à parede.

Então é definido o fator de cisalhamento em relação ao fundo ( $fb$ ), de acordo com a Equação (19):

$$fb = f + \frac{2d}{B} (f - fw) \quad (19)$$

Com este resultado é calculado o raio hidráulico relativo ao fundo ( $Rb$ ) pela Equação (20):

$$Rb = \frac{fbU^2}{8gS} \quad (20)$$

Em que:

$g$ : aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

$S$ : declividade da linha da água (m/m).

Por meio da Equação (21) é determinado o diâmetro adimensional da partícula ( $D^*$ ):

$$D^* = D_{50} \left( \frac{(S-1)g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

Em que:

$D_{50}$ : Diâmetro relativo a 50% dos grãos em uma curva granulométrica;

$v$ : velocidade do curso de água.

Determina-se o coeficiente de Chézy ( $C'$ ) a partir do raio hidráulico relativo ao fundo utilizando a Equação (22):

$$C' = 18. \log \left( \frac{12Rb}{3D_{90}} \right) \quad (22)$$

Com este coeficiente encontra-se a velocidade de cisalhamento ( $u'^*$ ) relativa aos grãos (Equação 23):

$$u' * = \left[ \frac{g^{0,5}}{C'} \right] U \quad (23)$$

Para determinação do início do movimento e suspensão das partículas é calculado o parâmetro de mobilidade crítica ( $\Theta_{cr}$ ), que é definido pelas condições das Equações 24, 25, 26, 27 e 28:

$$D * \leq 4 \rightarrow \Theta_{cr} = 0,24D *^{-1} \quad (24)$$

$$4 < D * \leq 10 \rightarrow \Theta_{cr} = 0,14D *^{-0,54} \quad (25)$$

$$10 < D * \leq 20 \rightarrow \Theta_{cr} = 0,04D *^{-0,10} \quad (26)$$

$$20 < D * \leq 150 \rightarrow \Theta_{cr} = 0,013D *^{0,29} \quad (27)$$

$$D * > 150 \rightarrow \Theta_{cr} = 0,055 \quad (28)$$

Calcula-se o parâmetro crítico que representa o início da suspensão das partículas ( $\theta_{cr}$ ) pela Equação (29):

$$\theta_{cr} = \frac{(ucr)^2}{(S-1)gD_{50}} \quad (29)$$

Em que:

$ucr$ : velocidade de cisalhamento crítica (m/s).

A mobilidade da partícula desde o estágio movimento relativo ao estágio crítico do início do movimento é expressa pelo parâmetro T (Equação 30):

$$T = \frac{(u'^*)^2 - (u*cr)^2}{(u*cr)^2} \quad (30)$$

Então calcula-se a descarga de fundo ( $qb$ ) para sedimentos com dimensões na faixa de 200 a 2000  $\mu\text{m}$  (Equação 31).

$$\frac{qb}{[(S-1)g]^{0,5} D_{50}^{1,5}} = \frac{0,053T^{1,2}}{D_*^{0,3}} \quad (31)$$

Para determinar se o transporte é considerado de fundo, é adotado o nível de referência ( $a$ ) de acordo com as condições das Equações 32 e 33:

$$Ks \geq 0,01d \rightarrow a = Ks \quad (32)$$

$$Ks < 0,01d \rightarrow a = 0,01d \quad (33)$$

Assim pela Equação (34) calcula-se a concentração de referência ( $Ca$ ):

$$Ca = 0,015 \left( \frac{D_{50}}{a} \cdot \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}} \right) \quad (34)$$

O desvio padrão geométrico do material de fundo é calculado por meio da Equação (35):

$$\sigma_s = 0,5 \left[ \frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}} \right] \quad (35)$$

Pela Equação (36), utilizando-se o desvio padrão é determinado o diâmetro das partículas em suspensão ( $D_s$ ).

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1 + 0,011(\sigma_s - 1)(T - 25) \quad (36)$$

Com o diâmetro das partículas em suspensão pode-se, então, determinar a velocidade de queda ( $W$ ) destas, separando-as nas seguintes faixas de dimensão: menor que 100  $\mu\text{m}$  (Equação 37), entre 100 e 1000  $\mu\text{m}$  (Equação 38) e maiores que 1000  $\mu\text{m}$  (Equação 39).

$$W = \frac{1}{18} \frac{(S-1)gD_s^2}{\nu} \quad (37)$$

$$W = 10 \frac{\nu}{D_s} \left[ \left( 1 + \frac{0,01(S-1)gD_s^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1 \right] \quad (38)$$

$$W = 1,1[(S-1)gD_s]^{0,5} \quad (39)$$

A velocidade de cisalhamento do fundo é dada pela Equação (40):

$$u_* = [gdS]^{0,5} \quad (40)$$

Em que:

$d$ : profundidade média do escoamento.

São definidos, então, alguns parâmetros. O coeficiente  $\beta$  é ligado à difusão das partículas de sedimento e é representado pela Equação (41):

$$\beta = 1 + 2 \left( \frac{W}{u^*} \right)^2 \rightarrow 0,1 < \frac{W}{u^*} < 1 \quad (41)$$

O coeficiente  $\varphi$  é relacionado à influência das partículas na estrutura do movimento turbulento e é dado pela Equação (42):

$$\varphi = 2,5 \left( \frac{W}{u^*} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{Ca}{Co} \right)^{0,4} \rightarrow 0,01 \leq \frac{W}{u^*} \leq 1 \quad (42)$$

O parâmetro de suspensão ( $Z$ ) se refere à influência das forças ascendentes do escoamento turbulento e as forças gravitacionais descendentes. Tal fator é representado pela Equação (43):

$$Z = \frac{W}{\beta K u^*} \quad (43)$$

O parâmetro de suspensão modificado é dado pela Equação (44):

$$Z' = Z + \varphi \quad (44)$$

Pela Equação (45) tem-se a definição da razão  $a/d$ :

$$\text{Se } \frac{a}{d} \leq 0,01 \rightarrow \frac{a}{d} = 0,01, \text{ senão } \frac{a}{d} \quad (45)$$

Calcula-se, com essa razão, o fator de carga de sedimento em suspensão ( $F$ ), dado pela Equação (46):

$$F = \frac{\left( \frac{a}{d} \right)^{Z'} - \left( \frac{a}{d} \right)^{1,2}}{\left( 1 - \frac{a}{d} \right)^{Z' \cdot (1,2 - Z')}} \quad (46)$$

Assim, é determinada a descarga de sedimentos em suspensão por meio da Equação (47):

$$q_s = F U d C a \quad (47)$$

Então, a descarga total de sedimentos no curso d'água é dada pela soma da descarga de fundo mais a de suspensão (Equação 48):

$$q^T = q_b + q_s \quad (48)$$

## 4.6 MÉTODOS PARA OBTER A VAZÃO

Para se realizar as medidas de vazão nas seções escolhidas, foram utilizados dois tipos de equipamento: O ADCP (*Acoustic Doppler Current Profile*) e o molinete fluviométrico, utilizado quando o nível de água fosse abaixo do necessário para o uso do primeiro equipamento.

### 4.6.1 Molinete fluviométrico

Molinetes fluviométricos (Figura 8) são equipamentos que medem a velocidade do escoamento de água, por meio da rotação gerada em suas hélices. Para se realizar as medidas de velocidade é utilizada uma corda graduada que se estende de uma margem à outra. A cada metro é submergido o molinete preso a uma haste graduada, às profundidades de 60% ou 80% e 20 % de cada vertical, e então com as hélices girando é utilizado um contador de giros que fornece o número de rotações em determinado tempo, o qual é determinado por um cronômetro digital que controla o contador.

Figura 8 – Molinete fluviométrico



Fonte: Autor, 2018.

Para que a velocidade seja obtida é utilizada a Equação (49), que se baseia no número de rotações em um intervalo de tempo e em constantes específicas para cada aparelho.

$$V = A \times N + B \quad (49)$$

Em que:

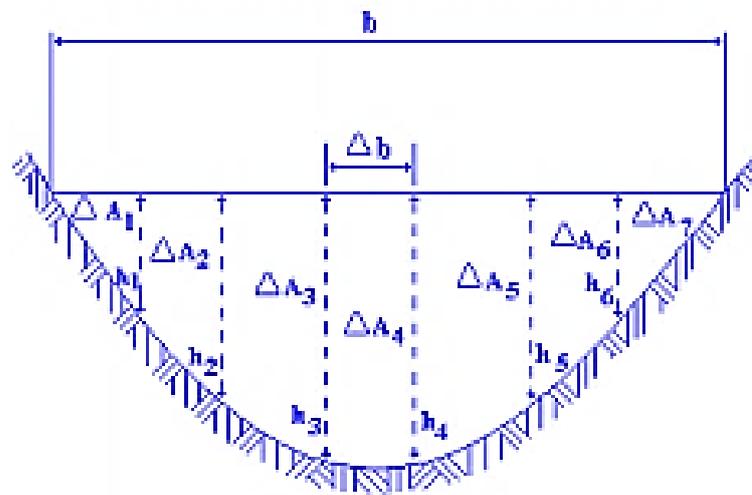
$V$ : Velocidade da água (m/s);

$N$ : Número de rotações por segundo;

$A$  e  $B$ : constantes do aparelho usado.

São feitas também medidas de profundidade ao longo da seção. Assim, com essas medidas é possível calcular os elementos de área (Figura 9), que são obtidos utilizando simplificações de áreas de triângulos ou trapézios.

Figura 9 – Elementos de área



Fonte: Ignácio, 2003.

Como cada medida de área corresponde a uma velocidade medida, é possível então calcular a vazão parcial em cada elemento através da Equação (50):

$$q_i = V_i \times A_i \quad (50)$$

Em que:

$q_i$ : Vazão de cada elemento (m<sup>3</sup>/s);

$V_i$ : Velocidade de cada elemento (m/s);

$A_i$ : Área de cada elemento (m).

Obtidas as vazões parciais, se calcula a vazão total da seção pela soma delas, o que é representado através da Equação (51):

$$Q = \sum q_i \quad (51)$$

#### 4.6.2 ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

O ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) é um aparelho utilizado para determinar a vazão do escoamento de água. Com ele é possível determinar também o perfil de velocidade e a determinação da seção transversal. Este equipamento possui boa precisão, capta dados com velocidade e qualidade de forma instantânea, se comparado a métodos tradicionais de medição, como o molinete.

O princípio utilizado por este aparelho para a coleta de dados é o efeito Doppler, que consiste na mudança de frequência de uma onda sonora produzida pelo movimento relativo entre o aparelho e partículas em suspensão. Usando a velocidade destas partículas, que equivale à velocidade do escoamento de água, o ADCP determina a velocidade na seção medida.

Os sensores utilizados no equipamento são acoplados em um barco, que com o auxílio de uma corda, é levado de uma margem à outra coletando os dados. Quando ligado, o aparelho é conectado a um computador portátil por meio de *bluetooth* que armazena os dados coletados à medida que o equipamento caminha de uma margem a outra do rio (Figura 10).

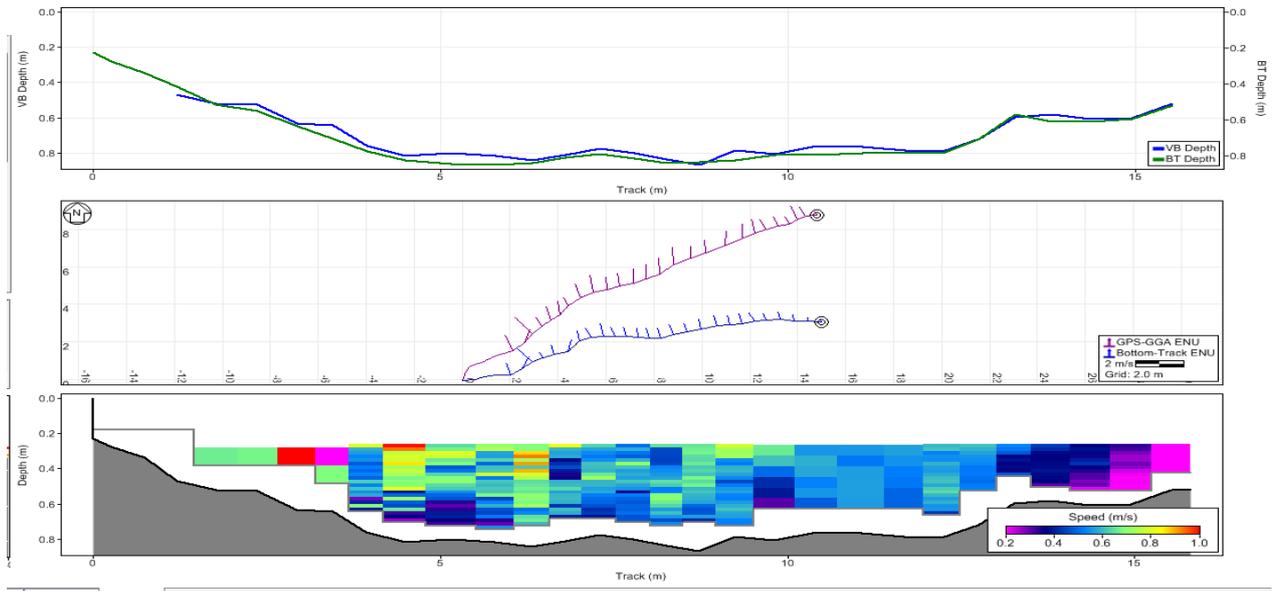
Figura 10 – Uso do ADCP



Fonte: Autor, 2018.

Os dados armazenados são processados pelo programa *River Surveyor*®, onde são mostrados o perfil da seção (Figura 11), a vazão, a velocidade, entre outros dados. Para que o software forneça os resultados completos, é preciso fornecer os dados de entrada que são as distâncias entre o aparelho e a margem, e a profundidade dele em relação à mesma.

Figura 11 – Perfil traçado e campo de velocidades fornecidos pelo ADCP



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.6.3 Método da curva-chave

Com as seções escolhidas de acordo com o que foi apontado no item 3.3 deste trabalho pode-se construir uma curva-chave que dure por um período de tempo satisfatório. Neste trabalho será utilizada uma curva do tipo exponencial, relacionando a vazão com o nível líquido, que é representada pela Equação (52).

$$Q = \alpha \times (h - h_0)^\beta \quad (52)$$

Em que:

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $h_0$ : Parâmetros de ajuste;

$h$ : Nível líquido (m);

$Q$ : Vazão média (m<sup>3</sup>/s).

Aplicando-se o logaritmo em ambos os lados da equação, esta é linearizada, de acordo com a Equação (53).

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

A qual pode ser simplificada de acordo com a Equação (54):

$$Y = A + \beta \times X \quad (54)$$

Em que:

$Y$ :  $\log Q$ ;

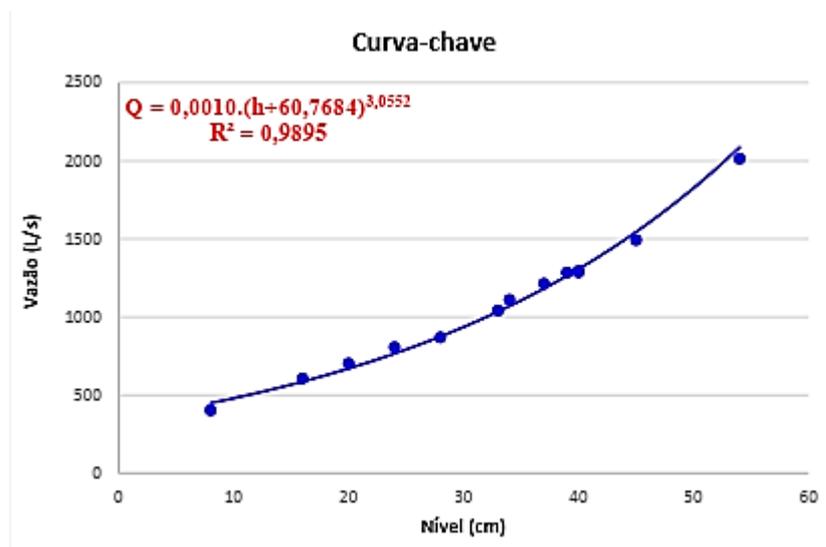
$A$ :  $\log \alpha$ ;

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

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  podem ser determinados pelo método de regressão linear feito a partir da Equação (54). O parâmetro  $h_0$  pode ser determinado de duas maneiras: Encontrando o ponto na curva (representada pela Equação (52) onde a vazão se iguala a zero ( $Q = 0$ ) ou tentar encontrar o valor através do método de tentativa e erro.

Para encontrar o parâmetro  $h_0$  através da primeira opção, será necessário utilizar o método dos mínimos quadrados, o qual irá permitir que se trace uma curva média pelos pontos de vazão x nível dispersos pelo gráfico (Figura 12). A partir dela, é realizado o prolongamento até o ponto onde a vazão é nula, o qual corresponde ao valor de  $h_0$ .

Figura 12 – Curva-chave ajustada pelo método de mínimos quadrados



Fonte: Andrade, 2017.

Determinado o valor de  $h_0$ , pode-se então determinar os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  a partir da linearização da curva representada pela Equação (52), realizando-se regressão linear. Para a segunda opção de resolução do parâmetro  $h_0$ , primeiramente é utilizada a equação linearizada, na qual são encontrados os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  por meio de regressão linear, então se fixa estes parâmetros e realiza-se processos iterativos para encontrá-lo, ou seja, é feito o processo por tentativa e erro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

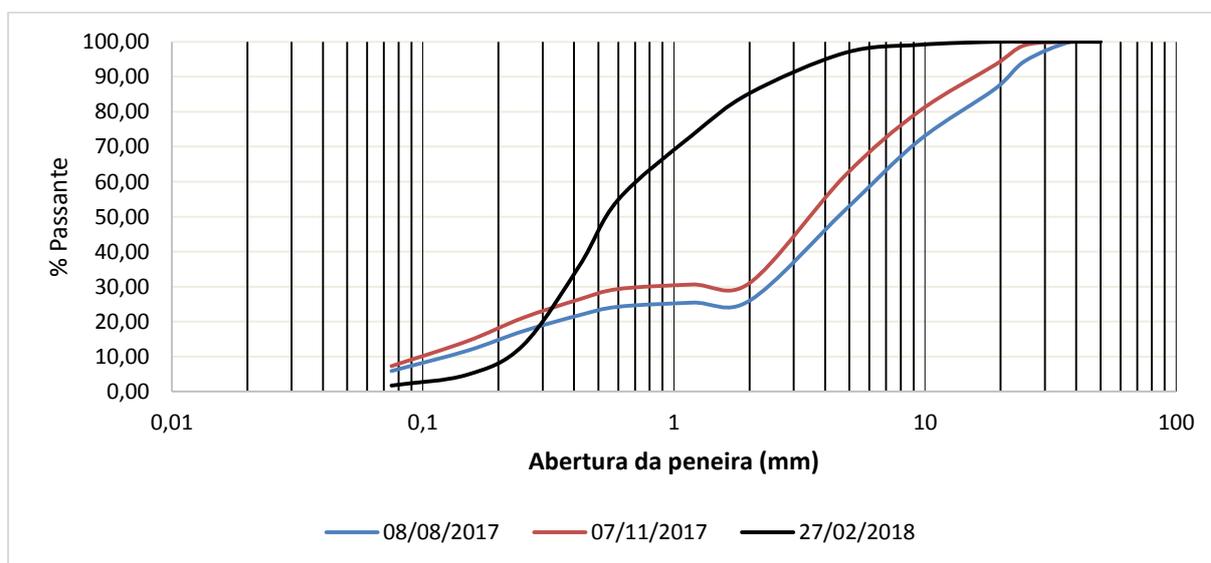
Nesta seção serão apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados com os dados coletados. Foram realizados os ensaios granulométricos, ensaios para análise de sólidos no leito do rio (suspensos, dissolvidos e totais), análise das vazões em cada seção, determinação da descarga total de sólidos e determinação de curvas-chave. E para aplicar as informações obtidas, foi feita uma estimativa para o impacto gerado, no que diz respeito ao assoreamento, na vida útil de um reservatório.

### 5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Foram feitos o peneiramento grosso e o peneiramento fino para se obter a curva granulométrica do material coletado. No (Apêndice A) estão dispostas as massas retidas em cada ensaio, assim como a média para cada peneira.

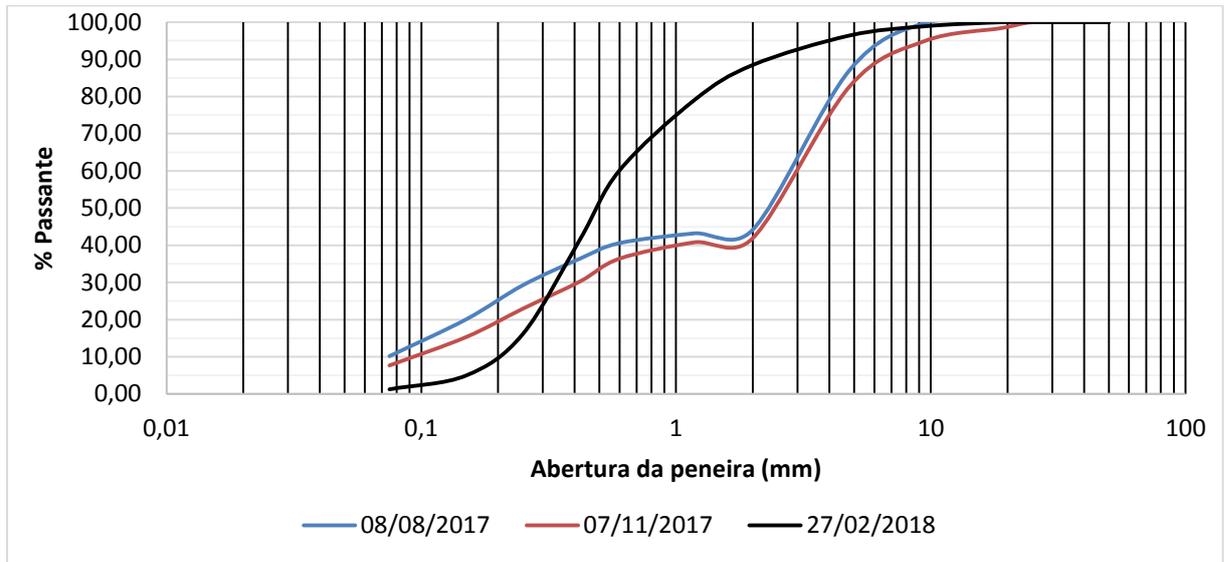
Nas Figuras 13 a 16 são apresentadas as curvas granulométricas obtidas nos peneiramentos de cada seção, sendo apresentada uma curva para cada coleta (coletas realizadas de 3 em 3 meses), onde é possível realizar a comparação do comportamento da granulometria de cada parte em períodos diferentes.

Figura 13 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 1



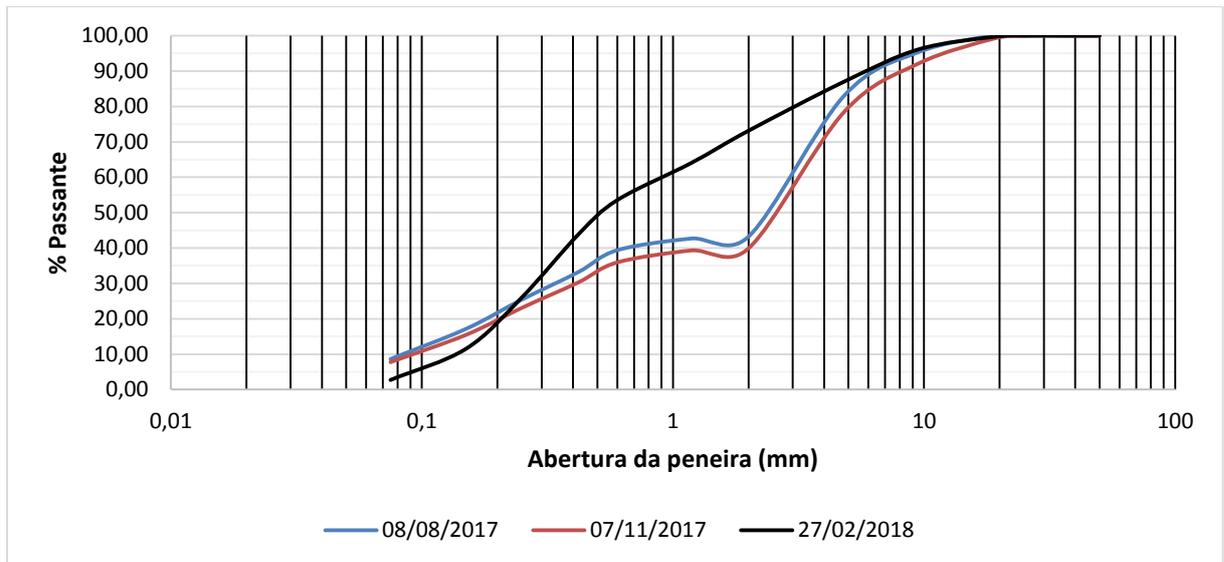
Fonte: Autor, 2018.

Figura 14 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 2



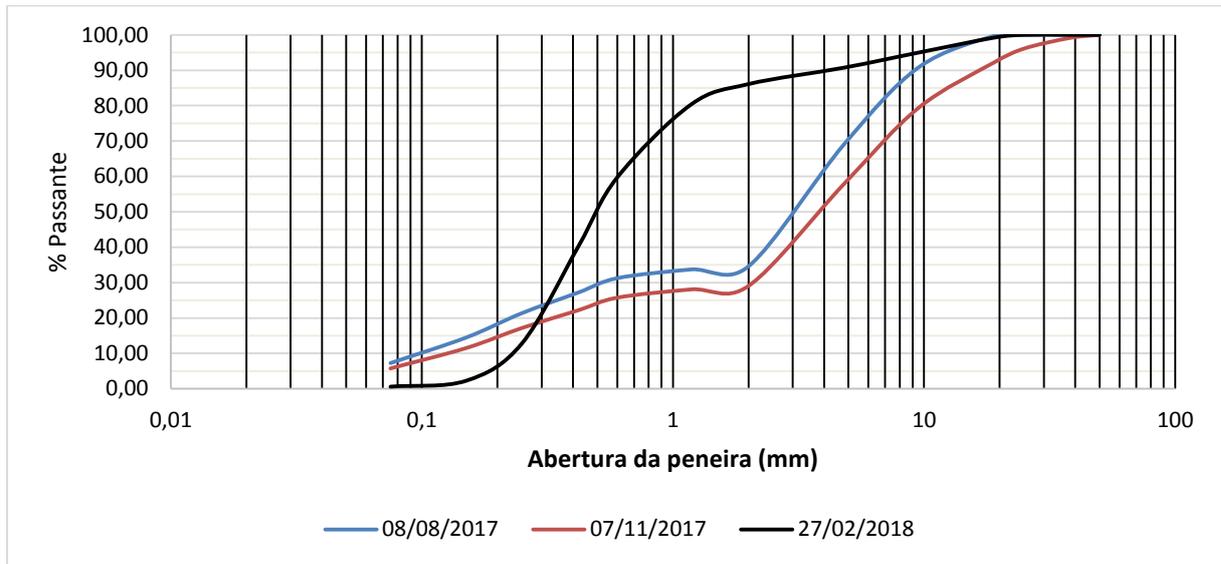
Fonte: Autor, 2018.

Figura 15 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 3



Fonte: Autor, 2018.

Figura 16 – Curva Granulométrica obtida com sedimentos de fundo na Seção 4



Fonte: Autor, 2018.

As informações obtidas nas curvas granulométricas foram utilizadas posteriormente nos métodos de Meyer Peter e Müller e Van Rijn.

## 5.2 ANÁLISE DE SÓLIDOS

Foram feitas as análises das quantidades de sólidos totais, dissolvidos e suspensos das coletas do dia 8 de agosto ao dia 27 de fevereiro. No Apêndice B são mostrados os resultados obtidos para cada coleta realizada. Dentre os resultados obtidos foi necessário adotar algumas considerações em certos casos e também desconsiderar alguns, os quais foram destacados, tais medidas foram tomadas para que as incoerências encontradas não comprometessem o resultado final. Dessa forma, pôde-se manter os resultados que melhor representam o comportamento dos sólidos das seções.

Na análise das amostras do mês de setembro foi adotado um procedimento experimental que consiste apenas na determinação de sólidos totais e sólidos dissolvidos, onde os sólidos suspensos são determinados pela Equação (55).

$$SS = ST - SD \quad (55)$$

Em que:

*SS*: Sólidos suspensos;

*ST*: Sólidos totais;

*SD*: Sólidos dissolvidos.

Quanto aos resultados obtidos na coleta realizada em fevereiro, foi necessário desconsiderá-los pois estes se mostraram em sua maioria incoerentes, não sendo possível aproveitá-los. Então, foram determinadas as concentrações de sólidos em cada coleta, se excluindo os dados de fevereiro. As concentrações obtidas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentrações em cada seção

08/08/2017				12/09/2017			
SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)	SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)
1	101,00	90,33	10,67	1	97,78	65,33	32,44
2	143,00	123,67	6,89	2	75,33	37,56	37,78
3	135,33	98,67	10,67	3	118,82	72,33	46,49
4	129,00	120,44	11,33	4	117,00	69,33	47,67
18/10/2017				07/11/2017			
SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)	SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)
1	117,33	96,00	18,67	1	87,33	81,67	6,22
2	138,50	98,22	23,11	2	102,67	91,33	11,33
3	202,67	157,78	40,33	3	151,56	132,00	14,00
4	169,11	149,78	19,33	4	132,44	120,00	10,44
17/12/2017				23/01/2018			
SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)	SEÇÃO	ST (mg/l)	SD (mg/l)	SS (mg/l)
1	113,00	107,11	12,44	1	105,56	128,89	4,33
2	92,22	74,44	17,78	2	73,33	59,67	5,11
3	3269,67	187,00	19,33	3	111,67	104,33	6,22
4	104,33	104,89	34,44	4	141,33	118,67	5,56

Fonte: Autor, 2018.

Alguns dados, como dito anteriormente, eram incoerentes, então foram tomadas algumas ações para tratá-los. Na seção 1, da coleta de agosto, o valor de sólidos totais foi determinado pela soma de sólidos dissolvidos e suspensos, portanto, ao realizar o cálculo da concentração se obteve-se o valor de 101 mg/l. Na seção 4, da coleta de outubro, também foi tomada a mesma medida devido o valor obtido ser muito acima do normal, assim, o resultado foi de 169,11 mg/l. Na seção 2, da coleta de novembro, foi adotado o mesmo cálculo, então o valor foi de 102,67 mg/l. Estes dados foram, então, utilizados na determinação da descarga sólida total pelo método de Colby.

### 5.3 VAZÕES OBTIDAS

Como citado anteriormente, as vazões foram coletadas com o auxílio do ADCP e do molinete fluviométrico. Nas seções onde foi utilizado o molinete foram determinadas as vazões médias,

assim como foi explicado no item 4.4.1 deste trabalho. Já nas seções onde foi utilizado o ADCP, as vazões médias foram calculadas diretamente pelo aparelho e processadas pelo programa *River Surveyor*®. Na Tabela 2 são apresentadas as vazões de cada seção durante os períodos que foram realizadas as coletas.

Tabela 2 – Vazões obtidas nas coletas

VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)				
Coletas	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,725	1,461	2,100	2,164
12/09/2017	0,450	1,053	1,400	1,506
18/10/2017	0,491	0,600	1,45	1,535
07/11/2017	3,289	5,204	5,858	6,921
17/12/2017	6,118	11,927	14,223	16,111
23/01/2018	2,637	6,046	7,913	8,655
27/02/2018	4,3	7,56	-	10,905
20/03/2018	2,159	4,814	6,918	6,948
22/05/2018	1,850	-	-	5,174

Fonte: Autor, 2018.

Durante as coletas de vazão, também foram determinados os níveis líquidos correspondentes, que foram registrados de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis líquidos

NÍVEIS (cm)				
Coletas	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	59	68	100	45
12/09/2017	55	64	86	36
18/10/2017	55	61	87	39
07/11/2017	78	91	113	73
17/12/2017	94,5	115	220	131,5
23/01/2018	65	92	183	126,5
27/02/2018	104	98	-	126
20/03/2018	89,5	86,5	175	107,5
22/05/2018	87	-	-	95

Fonte: Autor, 2018.

## 5.4 DESCARGA SÓLIDA TOTAL

### 5.4.1 Método de Colby

Seguindo os cálculos citados no item 4.3 deste trabalho foram determinadas as descargas sólidas por meio do método de Colby. Primeiramente foram calculadas as descargas sólidas medidas, em que os resultados obtidos são apresentados da Tabela 4 a Tabela 9.

Tabela 4 – Descarga de 08/08/2017

SEÇÃO	Q (m <sup>3</sup> /s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	0,725	101,00	6,33
2	1,461	143,00	18,05
3	2,1	135,33	24,55
4	2,164	129,00	24,12

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 5 – Descarga de 12/09/2017

SEÇÃO	Q (m <sup>3</sup> /s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	0,45	97,78	3,80
2	1,053	75,33	6,85
3	1,4	118,82	14,37
4	1,506	117,00	15,22

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 6 – Descarga de 18/10/2017

SEÇÃO	Q (m <sup>3</sup> /s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	0,491	117,33	4,98
2	0,6	138,50	7,18
3	1,4	202,67	24,51
4	2,093	160,00	28,93

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 7 – Descarga de 07/11/2017

SEÇÃO	Q (m <sup>3</sup> /s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	3,289	87,33	24,82
2	5,204	102,67	46,16
3	5,858	151,56	76,71
4	6,921	132,44	79,20

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 8 – Descarga de 17/12/2017

SEÇÃO	Q (m³/s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	6,118	113,00	59,73
2	11,927	92,22	95,03
3	14,223	3269,67	4017,99
4	16,111	104,33	145,23

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 9 – Descarga de 23/01/2018

SEÇÃO	Q (m³/s)	C's (mg/l)	Qsm (ton/dia)
1	2,637	105,56	24,05
2	6,046	73,33	38,31
3	7,913	111,67	76,34
4	8,6545	141,33	105,68

Fonte: Autor, 2018.

Para se calcular a descarga sólida total foi necessário também calcular a descarga sólida não medida. Os resultados são apresentados da Tabela 10 a Tabela 15.

Tabela 10 – Descarga sólida não medida de 08/08/2017

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,11	0,00	0,47	-	101,00	-	-	0,00
2	14,00	0,19	0,00	0,54	-	143,00	-	-	0,00
3	13,07	0,15	0,00	0,81	-	135,33	-	-	0,00
4	15,00	0,43	1,90	0,34	320,00	129,00	0,40	0,80	22,80

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 11 – Descarga sólida não medida de 02/09/2017

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,07	0,00	0,46	-	97,78	-	-	0,00
2	14,00	0,15	0,00	0,44	-	75,33	-	-	0,00
3	13,07	0,11	0,00	0,71	-	118,82	-	-	0,00
4	15,00	0,41	1,80	0,25	400,00	117,00	0,29	0,70	18,90

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 12 – Descarga sólida não medida de 18/10/2017

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,08	0,00	0,46	-	117,33	-	-	0,00
2	14,00	0,16	0,00	0,48	-	138,50	-	-	0,00
3	13,07	0,11	0,00	0,71	-	202,67	-	-	0,00
4	15,00	0,38	1,60	0,25	360,00	160,00	0,44	0,80	19,20

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 13 – Descarga sólida não medida de 07/11/2017

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,33	1,00	0,68	205,00	87,33	0,43	0,80	12,40
2	14,00	0,46	2,30	0,74	210,00	102,67	0,49	0,90	28,98
3	13,07	0,33	1,00	1,08	88,00	151,56	1,72	1,70	22,22
4	15,00	0,32	1,00	0,64	203,00	132,44	0,65	1,10	16,50

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 14 – Descarga sólida não medida de 17/12/2017

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,60	7,00	0,95	360,00	113,00	0,31	0,70	75,95
2	14,00	0,90	29,00	1,15	700,00	92,22	0,13	0,42	170,52
3	13,07	1,20	60,00	2,20	800,00	3269,67	4,09	2,40	1882,08
4	15,00	0,80	20,00	1,32	520,00	104,33	0,20	0,56	168,00

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 15 – Descarga sólida não medida de 23/01/2018

SEÇÃO	L (m)	Vm (m/s)	q'nm (ton/dia/m)	Profund. (m)	Cr (mg/l)	C's (mg/l)	e	K	Qnm (ton/dia)
1	15,50	0,40	1,80	0,65	200,00	105,56	0,53	0,90	25,11
2	14,00	0,50	3,80	0,92	240,00	73,33	0,31	0,70	37,24
3	13,07	0,70	14,00	1,83	300,00	111,67	0,37	0,72	131,75
4	15,00	0,60	7,00	1,27	290,00	141,33	0,49	0,85	89,25

Fonte: Autor, 2018.

Então com os resultados da descarga sólida não medida e da descarga sólida medida, foi determinada a descarga sólida total para cada ponto em cada coleta (Tabela 16).

Tabela 16 – Descarga sólida total

Coletas	Qst (ton/dia)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	6,33	18,05	24,55	46,92
12/09/2017	3,80	6,85	14,37	34,12
18/10/2017	4,98	7,18	24,51	48,13
07/11/2017	37,22	75,14	98,93	95,70
17/12/2017	135,68	265,55	5900,07	313,23
23/01/2018	49,16	75,55	208,09	194,93

Fonte: Autor, 2018.

Analisando-se os resultados obtidos, é possível perceber as diferenças existentes entre as seções estudadas e como funciona o regime de transporte de sedimentos no rio. A primeira observação feita é referente à diferença de descarga de sedimentos de seção a seção: como é possível notar, as seções 3 e 4 possuem as maiores descargas sólidas em todos os meses coletados. Esse fato

se dá, pelo que foi visualizado durante as coletas de campo, por processos erosivos nas margens e nas proximidades, além do fato de que estes pontos possuem maior vazão líquida que os demais, a qual influencia diretamente na quantidade de sólidos que são transportados.

Outro fato importante que deve ser notado, é a intensidade pluviométrica que atinge a região em cada mês. Como pode ser observado, os meses de novembro e dezembro são os que tiveram as maiores descargas sólidas, o que é explicado pelo início do período de chuvas mais intenso na região. Neste período há maior escoamento superficial, o qual leva consigo sedimentos e detritos presentes no solo que têm como destino final o curso de água mais próximo.

#### 5.4.2 Método de Meyer Peter e Müller

Baseando-se no equacionamento apresentado no item 4.4, foram determinadas as descargas sólidas de fundo utilizando o método de Meyer Peter e Müller. Foram determinados alguns parâmetros com os dados já disponíveis antes de se encontrar as descargas finais. Primeiramente foram calculados os perímetros molhados e as áreas molhadas de cada seção de com a Tabela 17.

Tabela 17 – Perímetros e áreas molhadas de cada seção

Coletas	PERÍMETRO MOLHADO (m)				ÁREA MOLHADA(m <sup>2</sup> )			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	17,03	15,14	17,70	20,93	6,53	7,52	14,38	5,08
12/09/2017	17,03	15,14	17,70	20,93	6,50	6,89	12,82	3,68
18/10/2017	17,03	15,14	17,70	20,93	6,50	3,66	12,82	4,00
07/11/2017	17,03	15,14	17,70	20,93	9,98	11,43	17,91	21,40
17/12/2017	17,03	15,14	17,70	20,93	10,20	13,25	11,85	20,14
23/01/2018	17,03	15,14	17,70	20,93	6,59	12,09	11,30	14,42
27/02/2018	17,03	15,14	-	20,93	9,56	12,60	-	19,83

Fonte: Autor, 2018.

Então foi calculado o raio hidráulico a partir destes dados, sendo apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Raio hidráulico

Coletas	RAIO HIDRÁULICO (m)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,38	0,50	0,81	0,24
12/09/2017	0,38	0,46	0,72	0,18
18/10/2017	0,38	0,24	0,72	0,19
07/11/2017	0,59	0,76	1,01	1,02
17/12/2017	0,60	0,88	0,67	0,96
23/01/2018	0,39	0,80	0,64	0,69
27/02/2018	0,56	0,83	-	0,95

Fonte: Autor, 2018.

Foram calculados a declividade e o  $D_{90}$  (Tabela 19), e posteriormente determinados os coeficientes de rugosidade  $K_{st}$  e  $K_r$  (Tabela 20):

Tabela 19 – Declividade e  $D_{90}$ 

Coletas	DECLIVIDADE (m/m)				$D_{90}$ (m)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,020	0,005	0,006	0,009
12/09/2017	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,020	0,005	0,006	0,009
18/10/2017	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,015	0,006	0,008	0,018
07/11/2017	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,015	0,006	0,008	0,018
17/12/2017	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,015	0,006	0,008	0,018
23/01/2018	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,015	0,006	0,008	0,018
27/02/2018	0,003680	0,011	0,00355	0,00257	0,003	0,002	0,006	0,004

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 20 – Coeficientes de rugosidade

Coletas	$K_{st}$ (s/m <sup>3</sup> )				$K_r$ (s/m <sup>3</sup> )			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	3,4666	2,9535	2,8139	21,6256	49,9040	62,8751	60,9932	57,0076
12/09/2017	2,1675	2,4617	2,2724	25,7247	49,9040	62,8751	60,9932	57,0076
18/10/2017	2,3647	4,0257	2,3536	22,8195	52,3550	60,9932	58,1378	50,7880
07/11/2017	7,7599	5,2350	5,4444	6,2858	52,3550	60,9932	58,1378	50,7880
17/12/2017	13,9240	9,3762	26,3133	16,1923	52,3550	60,9932	58,1378	50,7880
23/01/2018	12,4150	5,5371	15,8418	15,1704	52,3550	60,9932	58,1378	50,7880
27/02/2018	10,9051	6,4647	-	11,2485	68,4626	73,2490	60,9932	65,2574

Fonte: Autor, 2018.

Determinou-se então o diâmetro médio do material, de acordo com a Tabela 21. As planilhas utilizadas para atingir estes valores são apresentadas no Apêndice C.

Tabela 21 – Diâmetro médio do material de fundo

Coletas	Dm (m)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,00079	0,00089	0,00088	0,00086
12/09/2017	0,00079	0,00089	0,00088	0,00086
18/10/2017	0,00083	0,00088	0,00087	0,00082
07/11/2017	0,00083	0,00088	0,00087	0,00082
17/12/2017	0,00083	0,00088	0,00087	0,00082
23/01/2018	0,00083	0,00088	0,00087	0,00082
27/02/2018	0,00092	0,00092	0,00090	0,00091

Fonte: Autor, 2018.

Então foi calculado o peso submerso do sedimento (Tabela 22), e por meio dele foi possível determinar a descarga sólida de fundo (Tabela 23).

Tabela 22 – Peso submerso do sedimento

Coletas	qb' (ton/m.s)				Qb' (ton/dia)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	-	-	5,87E-06	-	-	-	7,6120
12/09/2017	-	-	-	3,99E-06	-	-	-	5,1759
18/10/2017	-	-	-	7,88E-06	-	-	-	10,2099
07/11/2017	2,12E-06	2,48E-05	-	1,14E-06	2,8441	29,9418	-	1,4768
17/12/2017	7E-05	0,000256	0,000382	0,000159	93,7739	309,5451	431,3386	206,6339
23/01/2018	1,19E-05	3,74E-05	7,82E-05	6,43E-05	15,8843	45,2810	88,2934	83,3151
27/02/2018	1,73E-06	3,52E-05	-	1,19E-05	2,3118	42,5256	-	15,3879

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 23 – Descarga sólida de fundo

Coletas	Qb (ton/dia)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	-	-	12,2253
12/09/2017	-	-	-	8,3127
18/10/2017	-	-	-	16,3978
07/11/2017	4,5678	48,0884	-	2,3719
17/12/2017	150,6066	497,1482	692,7559	331,8666
23/01/2018	25,5112	72,7240	141,8046	133,8091
27/02/2018	3,7128	68,2987	-	24,7140

Fonte: Autor, 2018.

Devido a algumas limitações do método e possíveis interferências durante as coletas, alguns dos resultados foram incoerentes, portanto estes foram desconsiderados. Analisando os dados

restantes, têm-se observações semelhantes ao que foi identificado no método de Colby, quando se refere às datas das coletas, pois a vazões registradas são maiores no período de maior índice pluviométrico, que se estendeu de novembro a janeiro. Quanto à quantidade de sedimentos transportados em cada seção tem-se as maiores vazões na seção 3, a qual, como já foi citada, é próxima a áreas mais suscetíveis a processos erosivos. Como este método se limita apenas às descargas de fundo, não é possível ter uma visão global do transporte de sedimentos na região pesquisada, pois, há também a influência do transporte de partículas em suspensão, que têm um peso significativo no resultado final.

### 5.4.3 Método de Van Rijn

Tomando como referência as equações descritas no item 4.5 foram feitos os cálculos para encontrar o valor da descarga total em cada seção. Primeiramente foram determinados os parâmetros, rugosidade e número de Reynolds (Tabela 24).

Tabela 24 – Rugosidade e número de Reynolds

Coletas	Ks				n° de Reynolds			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,0600	0,0150	0,0180	0,0270	159128,8	360843,0	443530,3	386422,9
12/09/2017	0,0600	0,0150	0,0180	0,0270	98769,6	260073,7	295686,8	269033,4
18/10/2017	0,0450	0,0180	0,0240	0,0540	107768,6	148190,1	306247,1	373796,4
07/11/2017	0,0450	0,0180	0,0240	0,0540	721895,8	1285302,4	1237238,2	1236046,2
17/12/2017	0,0450	0,0180	0,0240	0,0540	1342827,2	2945772,8	3003967,1	2877321,3
23/01/2018	0,0450	0,0180	0,0240	0,0540	578789,7	1493262,5	1671264,3	1545638,2
27/02/2018	0,0090	0,0060	0,0180	0,0120	943798,2	1867195,6	-	1947563,1

Fonte: Autor, 2018.

A partir destes parâmetros foi calculado o fator de perda de carga (Tabela 25), que foi determinado por meio de um processo iterativo.

Tabela 25 – Fator de perda de carga

Coletas	f - fator de perda de carga			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,06549	0,03544	0,03216	0,05663
12/09/2017	0,06572	0,03651	0,03340	0,06489
18/10/2017	0,05818	0,04855	0,03654	0,07427
07/11/2017	0,04890	0,03276	0,03271	0,04261
17/12/2017	0,04848	0,03127	0,03729	0,04352
23/01/2018	0,05762	0,03219	0,03790	0,04925
27/02/2018	0,02913	0,02335	-	0,02717

Fonte: Autor, 2018.

Foram calculados os fatores de cisalhamento em relação às paredes e ao fundo (Tabela 26:

Tabela 26):

Tabela 26 – Fatores de cisalhamento

Coletas	fv - fator de cisalhamento relativo às paredes				fb - fator de cisalhamento relativo ao fundo			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	2,02E-02	1,59E-02	1,50E-02	1,72E-02	0,06824	0,03694	0,03428	0,05841
12/09/2017	2,17E-02	1,71E-02	1,63E-02	1,86E-02	0,06833	0,03775	0,03526	0,06640
18/10/2017	2,10E-02	1,95E-02	1,65E-02	1,80E-02	0,06038	0,05054	0,03872	0,07615
07/11/2017	1,49E-02	1,24E-02	1,25E-02	1,31E-02	0,05191	0,03490	0,03605	0,04511
17/12/2017	1,32E-02	1,05E-02	1,09E-02	1,13E-02	0,05278	0,03467	0,04619	0,04918
23/01/2018	1,60E-02	1,20E-02	1,21E-02	1,29E-02	0,06111	0,03484	0,04511	0,05538
27/02/2018	1,28E-02	1,09E-02	-	1,11E-02	0,03131	0,02510	-	0,02987

Fonte: Autor, 2018.

Foram determinados, então, o raio hidráulico relativo ao fundo, de acordo com a Tabela 27, e o diâmetro adimensional dos sedimentos (Tabela 28):

Tabela 27– Raio hidráulico relativo ao fundo

Coletas	Rb - Raio hidráulico relativo ao fundo			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,00291	0,00162	0,00262	0,05263
12/09/2017	0,00113	0,00102	0,00151	0,05515
18/10/2017	0,00119	0,00157	0,00178	0,05561
07/11/2017	0,01953	0,00838	0,01384	0,02339
17/12/2017	0,06579	0,03253	0,23873	0,15605
23/01/2018	0,03386	0,01009	0,07934	0,09884
27/02/2018	0,02196	0,01047	-	0,04480

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 28 – Diâmetro adimensional dos sedimentos

Coletas	D* - diâmetro adimensional			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	108,81138	60,45077	60,45077	96,72123
12/09/2017	108,81138	60,45077	60,45077	96,72123
18/10/2017	84,63107	60,45077	60,45077	72,54092
07/11/2017	84,63107	60,45077	60,45077	72,54092
17/12/2017	84,63107	60,45077	60,45077	72,54092
23/01/2018	84,63107	60,45077	60,45077	72,54092
27/02/2018	13,29917	12,09015	12,09015	12,09015

Fonte: Autor, 2018.

Foi feito o cálculo para o coeficiente de Chézy (Tabela 29), e a partir dele foi obtida a velocidade de cisalhamento relativa aos grãos (Tabela 30).

Tabela 29 – Coeficiente de Chézy

Coletas	C' - Coef. De Chézy			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	2,00413	4,36778	24,64332
12/09/2017	-	-	0,04714	25,00915
18/10/2017	-	0,36993	-	19,65554
07/11/2017	12,89824	13,44989	15,11987	12,88561
17/12/2017	22,39430	24,05253	37,38386	27,72115
23/01/2018	17,20078	14,89915	28,77275	24,15095
27/02/2018	26,39707	23,77486	-	29,72349

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 30 – Velocidade de cisalhamento relativa aos grãos

Coletas	u* - velocidade cisalhamento rel.aos grãos			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	0,30366	0,10470	0,05418
12/09/2017	-	-	7,25539	0,05126
18/10/2017	-	1,38770	-	0,06116
07/11/2017	0,08004	0,10603	0,06774	0,07861
17/12/2017	0,08392	0,11720	0,10054	0,09039
23/01/2018	0,07284	0,10511	0,07620	0,07781
27/02/2018	0,05339	0,07904	-	0,05796

Fonte: Autor, 2018.

Foi determinada velocidade de cisalhamento crítica (Tabela 31) para utilizá-la no cálculo do parâmetro de transporte (Tabela 32), que posteriormente foi utilizado para a determinação da descarga de fundo (Tabela 33).

Tabela 31 – Velocidade de cisalhamento crítica

Coletas	ucr**			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,05261	0,03921	0,03921	0,04960
12/09/2017	0,05261	0,03921	0,03921	0,04960
18/10/2017	0,04640	0,03921	0,03921	0,04296
07/11/2017	0,04640	0,03921	0,03921	0,04296
17/12/2017	0,04640	0,03921	0,03921	0,04296
23/01/2018	0,04640	0,03921	0,03921	0,04296
27/02/2018	0,01839	0,01754	0,01754	0,01754

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 32 – Parâmetro de transporte

Coletas	T - Parâmetro de transporte			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	58,96328	6,12814	0,19318
12/09/2017	-	-	34232,03051	0,06797
18/10/2017	-	1251,32313	-	1,02699
07/11/2017	1,97562	6,31055	1,98395	2,34874
17/12/2017	2,27109	7,93215	5,57335	3,42760
23/01/2018	1,46427	6,18471	2,77595	2,28130
27/02/2018	7,42720	19,31556	-	9,92165

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 33 – Descarga sólida de fundo

Coletas	qb (m <sup>3</sup> /s.m)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	4,07E-02	-	4,33E-07
12/09/2017	-	-	2,59E+04	4,83E-08
18/10/2017	-	2,49E+01	-	1,02E-05
07/11/2017	4,87E-05	3,73E-04	3,28E-05	5,82E-05
17/12/2017	6,53E-05	6,03E-04	2,87E-04	1,29E-04
23/01/2018	2,60E-05	3,57E-04	6,65E-05	5,48E-05
27/02/2018	8,53E-05	5,66E-04	-	1,40E-04

Fonte: Autor, 2018.

Foi determinado então o nível de referência “a”, mostrado na Tabela 34, com o qual foi calculada a concentração de referência (Tabela 35):

Tabela 34 – Nível de referência

Coletas	Nível de referência "a"			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,06000	0,01500	0,01800	0,02700
12/09/2017	0,06000	0,01500	0,01800	0,02700
18/10/2017	0,04500	0,01800	0,02400	0,05400
07/11/2017	0,04500	0,01800	0,02400	0,05400
17/12/2017	0,04500	0,01800	0,02400	0,05400
23/01/2018	0,04500	0,01800	0,02400	0,05400
27/02/2018	0,01040	0,00980	-	0,01260

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 35 – Concentração de referência

Coletas	Ca - Concentração de referência			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	0,33067	0,00923	0,00005
12/09/2017	-	-	3854,67007	0,00001
18/10/2017	-	26,93968	-	0,00024
07/11/2017	0,00086	0,00965	0,00128	0,00083
17/12/2017	0,00105	0,01360	0,00601	0,00146
23/01/2018	0,00055	0,00936	0,00211	0,00079
27/02/2018	0,00739	0,03076	-	0,00881

Fonte: Autor, 2018.

Calculou-se o desvio padrão geométrico dos sedimentos (Tabela 36), que foi usado na determinação do diâmetro das partículas em suspensão (Tabela 37), para definir a velocidade de queda das partículas em suspensão (Tabela 38):

Tabela 36 – Desvio padrão geométrico

Coletas	Desvio padrão geométrico ( $\sigma$ )			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	1,68889	0,92000	1,03000	1,01875
12/09/2017	1,68889	0,92000	1,03000	1,01875
18/10/2017	1,73571	1,03000	1,23000	2,53333
07/11/2017	1,73571	1,03000	1,23000	2,53333
17/12/2017	1,73571	1,03000	1,23000	2,53333
23/01/2018	1,73571	1,03000	1,23000	2,53333
27/02/2018	2,50000	1,75000	4,15000	2,25000

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 37 – Diâmetro das partículas em suspensão

Coletas	Ds - Diâmetro partículas em suspensão			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,00370	0,00243	0,00248	0,00398
12/09/2017	0,00362	0,00243	0,03072	0,00398
18/10/2017	0,00277	0,00351	0,00294	0,00179
07/11/2017	0,00285	0,00248	0,00235	0,00185
17/12/2017	0,00286	0,00249	0,00238	0,00191
23/01/2018	0,00283	0,00248	0,00236	0,00185
27/02/2018	0,00039	0,00048	-	0,00040

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 38 – Velocidade de queda do sedimento

Coletas	W- velocidade de queda do sedimento			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,26908	0,21795	0,22059	0,27918
12/09/2017	0,26619	0,21799	0,77569	0,27918
18/10/2017	0,23304	0,26226	0,24013	0,18708
07/11/2017	0,23617	0,22060	0,21474	0,19055
17/12/2017	0,23652	0,22065	0,21577	0,19333
23/01/2018	0,23557	0,22059	0,21497	0,19037
27/02/2018	0,08746	0,09661	-	0,08811

Fonte: Autor, 2018.

Determinou-se a velocidade de cisalhamento (Tabela 39), que foi usada na definição dos fatores  $\beta$  e  $\varphi$  (Tabela 40) que por sua vez foram aplicados nos cálculos dos parâmetros suspensão  $Z$  e  $Z'$  (Tabela 41):

Tabela 39 – Velocidade de cisalhamento no fundo

Coletas	u* - velocidade cisalhamento fundo			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,13020	0,24075	0,16773	0,09235
12/09/2017	0,12887	0,21906	0,15725	0,07864
18/10/2017	0,12887	0,22759	0,15725	0,07939
07/11/2017	0,15709	0,28209	0,19394	0,12653
17/12/2017	0,18470	0,35227	0,27680	0,18208
23/01/2018	0,15318	0,31508	0,25245	0,17859
27/02/2018	0,19376	0,32520	-	0,17823

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 40 – Coeficientes  $\beta$  e  $\varphi$ 

Coletas	$\beta$ - difusão de partículas				$\varphi$ - estrutura do movimento turbulento			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	9,54152	2,63913	4,45935	19,27664	-	1,76183	0,56767	0,13463
12/09/2017	9,53347	2,98054	49,66818	26,20517	-	-	289,50469	0,08181
18/10/2017	7,54031	3,65574	5,66401	12,10561	-	12,42206	-	0,21017
07/11/2017	5,52027	2,22309	3,45206	5,53593	0,24396	0,38117	0,22411	0,24132
17/12/2017	4,27951	1,78469	2,21535	3,25485	0,23329	0,36611	0,31454	0,22891
23/01/2018	5,72975	1,98029	2,45020	3,27274	0,20756	0,34469	0,22220	0,17987
27/02/2018	1,40745	1,17652	-	1,48872	0,22070	0,27943	-	0,25464

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 41 – Parâmetros de suspensão

Coletas	Z - Parâmetro de suspensão				Z' - Parâmetro de suspensão modificado			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,54147	0,85757	0,73731	0,39205	-	2,61941	1,30498	0,52668
12/09/2017	0,54167	0,83468	0,24830	0,33867	-	-	289,75299	0,42048
18/10/2017	0,59956	0,78803	0,67403	0,48664	-	13,21009	-	0,69681
07/11/2017	0,68084	0,87942	0,80188	0,68009	0,92481	1,26059	1,02599	0,92141
17/12/2017	0,74806	0,87743	0,87970	0,81555	0,98135	1,24354	1,19424	1,04446
23/01/2018	0,67098	0,88384	0,86884	0,81431	0,87854	1,22853	1,09103	0,99417
27/02/2018	0,80173	0,63128	-	0,83012	1,02243	0,91070	-	1,08476

Fonte: Autor, 2018.

Foi calculada a razão  $a/d$  (Tabela 42) para a determinação do fator de correção (Tabela 43) aplicado na descarga de sedimentos em suspensão (Tabela 44):

Tabela 42 – Razão  $a/d$ 

Coletas	$a/d$			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,12777	0,02793	0,02228	0,07981
12/09/2017	0,13043	0,03373	0,02535	0,11007
18/10/2017	0,09783	0,03750	0,03380	0,21600
07/11/2017	0,06583	0,02441	0,02222	0,08504
17/12/2017	0,04762	0,01565	0,01091	0,04106
23/01/2018	0,06923	0,01957	0,01311	0,04269
27/02/2018	0,01000	0,01000	-	0,01000

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 43 – Fator de carga do sedimento em suspensão

Coletas	F - fator de carga do sedimento em suspensão			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	0,30456	0,01030	0,03363	0,33508
12/09/2017	-	0,01225	0,07178	0,43735
18/10/2017	-	0,00268	0,00800	0,43505
07/11/2017	0,16474	0,03984	0,05734	0,19974
17/12/2017	0,11754	0,02643	0,02050	0,09367
23/01/2018	0,18279	0,03396	0,03098	0,10534
27/02/2018	0,02866	0,03874	-	0,02445

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 44 – Descarga de sedimentos em suspensão

Coletas	qs - sedimentos em suspensão (m <sup>3</sup> /s.m)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	3,55E-04	3,66E-05	2,31E-06
12/09/2017	-	-	2,15E+01	4,39E-07
18/10/2017	-	5,69E-03	-	1,00E-05
07/11/2017	3,18E-05	1,29E-04	2,58E-05	3,40E-05
17/12/2017	7,03E-05	3,72E-04	3,25E-04	1,44E-04
23/01/2018	2,59E-05	1,46E-04	8,38E-05	6,35E-05
27/02/2018	9,91E-05	7,01E-04	-	1,49E-04

Fonte: Autor, 2018.

Então pode-se determinar a descarga total de sedimentos em cada seção, a qual é dada pela Tabela 45:

Tabela 45 – Descarga total de sedimentos

Coletas	qT - descarga total (m <sup>3</sup> /s.m)				Qt - descarga total (Ton/dia)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	-	-	2,75E-06	-	-	-	9,43284
12/09/2017	-	-	-	4,87E-07	-	-	-	1,67257
18/10/2017	-	-	-	2,03E-05	-	-	-	69,58558
07/11/2017	8,05E-05	5,02E-04	5,87E-05	9,23E-05	285,58895	1608,72310	175,51348	316,84388
17/12/2017	1,36E-04	9,75E-04	6,12E-04	2,73E-04	481,07744	3123,94439	1831,92573	937,27354
23/01/2018	5,19E-05	5,04E-04	1,50E-04	1,18E-04	184,24252	1614,30226	449,54701	406,17695
27/02/2018	1,84E-04	1,27E-03	-	2,89E-04	654,43632	4060,94606	-	992,55472

Fonte: Autor, 2018.

Analisando os dados obtidos, é confirmado o que foi registrado nos outros métodos utilizados, de que há maior descarga de sedimentos nos períodos chuvosos, que estão relacionados também a processos erosivos e ao escoamento superficial da água. Quanto às seções mais críticas, em relação à descarga de sedimentos, neste método a seção 2 foi superior, o que se deve ao fato de terem sido considerados fatores diferentes em relação aos outros métodos, como o fator de atrito e a variedade de parâmetros a serem determinados.

### 5.5 DETERMINAÇÃO DE CURVAS-CHAVE

Para a determinação das curvas-chave foram utilizadas as vazões e níveis mostrados no item 5.3 deste trabalho, os quais foram organizados para uma melhor visualização na Tabela 46.

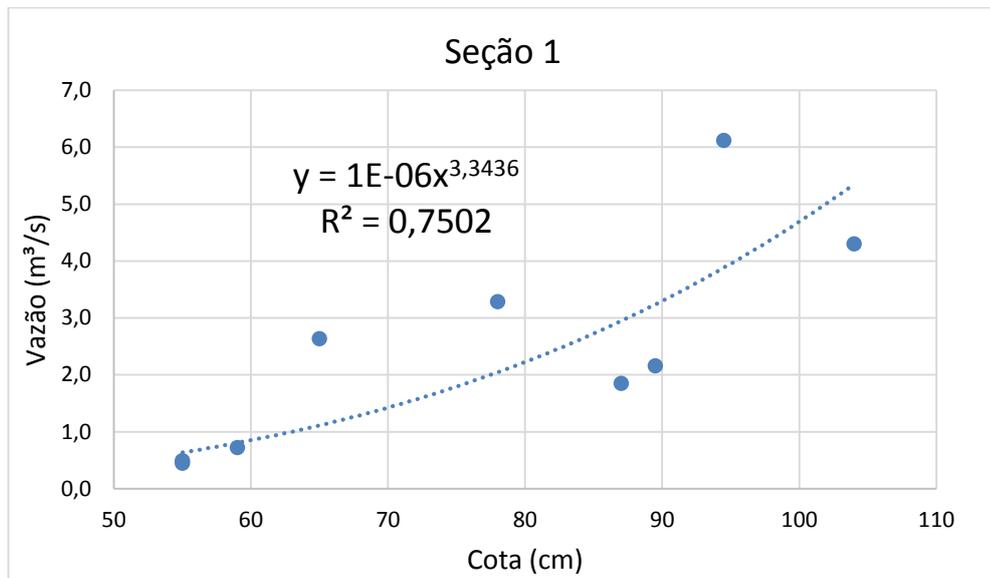
Tabela 46 – Valores de nível e vazão para traçado das curva-chave

Curva-chave								
Coletas	Seção 1		Seção 2		Seção 3		Seção 4	
	Vazão(m <sup>3</sup> /s)	Nível (cm)						
08/08/2017	0,725	59	1,461	68	2,100	100	2,164	45
12/09/2017	0,450	55	1,053	64	1,400	86	1,506	36
18/10/2017	0,491	55	0,600	61	1,450	87	1,535	39
07/11/2017	3,289	78	5,204	91	5,858	113	6,921	73
17/12/2017	6,118	94,5	11,927	115	14,223	220	16,111	131,5
23/01/2018	2,637	65	6,046	92	7,913	183	8,655	126,5
27/02/2018	4,300	104	7,560	98	-	-	10,905	126
20/03/2018	2,159	89,5	4,814	86,5	6,918	175	6,948	107,5
22/05/2018	1,850	87	-	-	-	-	5,174	95

Fonte: Autor, 2018.

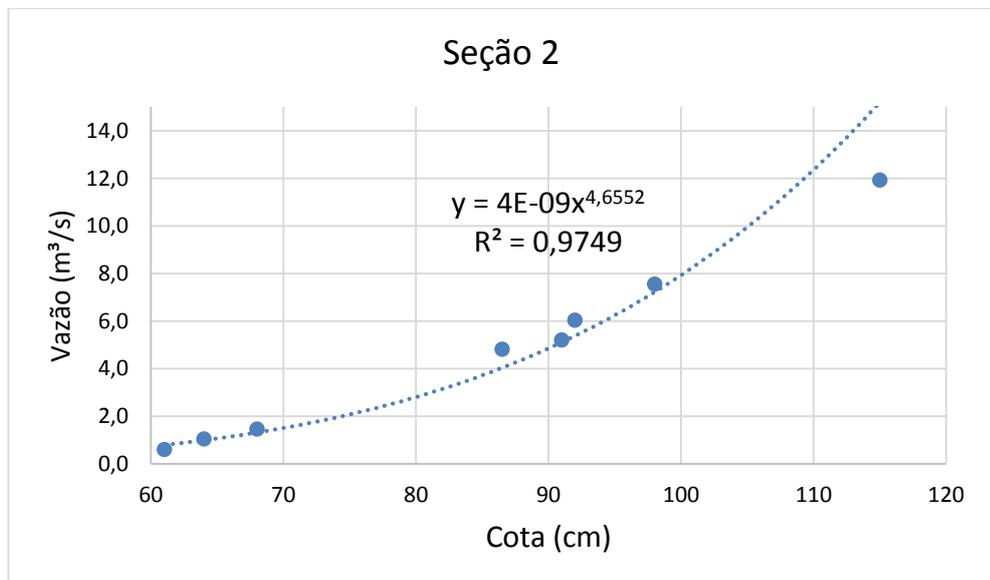
A partir dos dados disponíveis foram feitas as curvas-chave de cada seção estudada de acordo com o item 4.4.3. As curvas foram aproximadas por uma equação do tipo exponencial, onde se tentou obter a melhor aproximação para cada conjunto de pontos. Nas figuras de 17 a 20 são apresentadas as curvas-chave obtidas para cada seção acompanhadas de suas respectivas equações.

Figura 17 – Curva-chave da seção 1



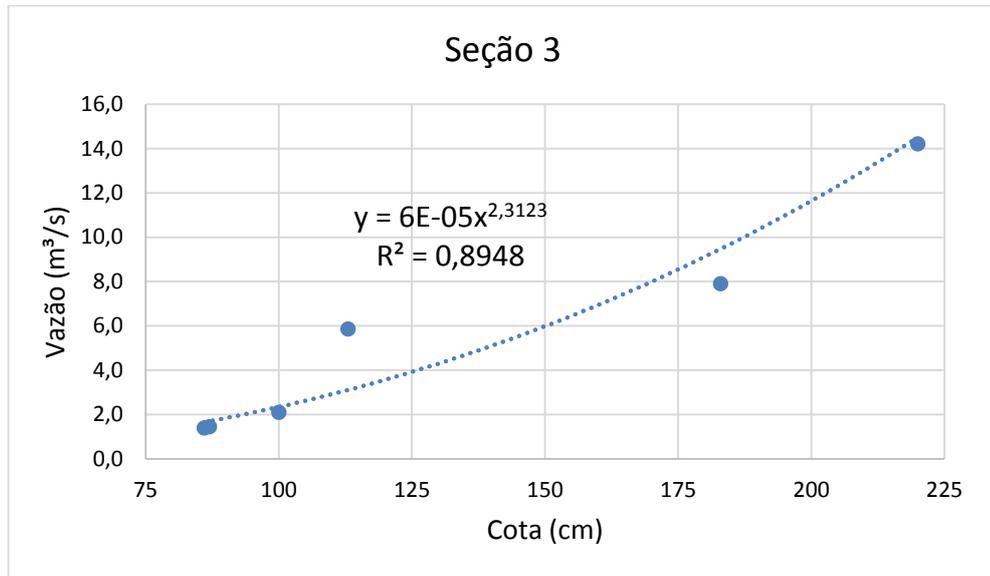
Fonte: Autor, 2018.

Figura 18 – Curva-chave da seção 2



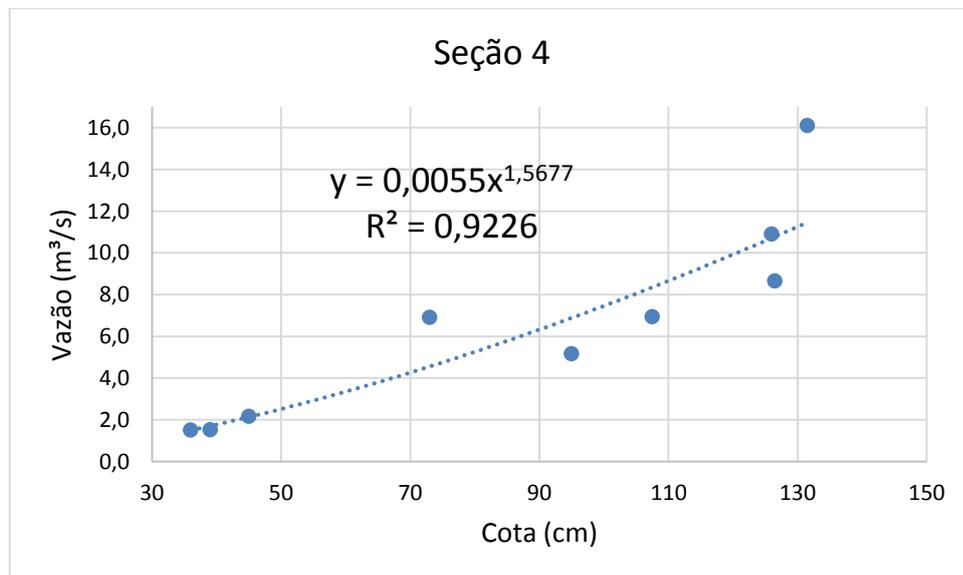
Fonte: Autor, 2018.

Figura 19 – Curva-chave da seção 3



Fonte: Autor, 2018.

Figura 20 – Curva-chave da seção 4



Fonte: Autor, 2018.

É necessário deixar claro que para se obter uma curva-chave que retorne resultados mais precisos, deve haver pelo menos dez pares nível x vazão. Como o número de coletas de campo foi limitado, não se tornou possível atingir o mínimo aceitável para que este método seja confiável. Dessa forma, as curvas que foram determinadas ainda não possuem a precisão necessária para a obtenção de vazões que condizem com a realidade. Portanto, as curvas aqui obtidas serão utilizadas, no momento, apenas com o intuito de entender o funcionamento do

método, que pode ser utilizado futuramente na aplicação dos métodos de determinação da descarga de sedimentos no rio, entre outras análises.

## 5.6 IMPACTO DO ASSOREAMENTO NA VIDA ÚTIL DE UM RESERVATÓRIO

Após analisados três métodos para calcular a descarga de sedimentos em um curso de água, utilizou-se os dados obtidos com o objetivo de determinar o impacto gerado devido ao assoreamento em um reservatório de água, caso este fosse construído neste rio.

Considerando o peso específico dos sedimentos de  $2,65 \text{ t/m}^3$ , calculou-se o volume de sedimentos transportados por dia para cada método analisado. Nas Tabela 47, 48 e 49 são apresentados os volumes calculados:

Tabela 47 – Volume de sedimentos pelo método de Colby

Coletas	Qst ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	16,77	47,84	65,07	124,34
12/09/2017	10,07	18,16	38,09	90,43
18/10/2017	13,19	19,03	64,96	127,55
07/11/2017	98,63	199,13	262,15	253,60
17/12/2017	359,56	703,72	15635,18	830,06
23/01/2018	130,27	200,20	551,44	516,57
27/02/2018	-	-	-	-

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 48 – Volume de sedimentos pelo método de Meyer Peter e Müller

Coletas	Qb ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	-	-	32,40
12/09/2017	-	-	-	22,03
18/10/2017	-	-	-	43,45
07/11/2017	12,10	127,43	-	6,29
17/12/2017	399,11	1317,44	1835,80	879,45
23/01/2018	67,60	192,72	375,78	354,59
27/02/2018	9,84	180,99	-	65,49

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 49 – Volume de sedimentos pelo método de Van Rijn

Coletas	Qt (m <sup>3</sup> /dia)			
	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
08/08/2017	-	-	-	25,00
12/09/2017	-	-	-	4,43
18/10/2017	-	-	-	184,40
07/11/2017	756,81	4263,12	465,11	839,64
17/12/2017	1274,86	8278,45	4854,60	2483,77
23/01/2018	488,24	4277,90	1191,30	1076,37
27/02/2018	1734,26	10761,51	-	2630,27

Fonte: Autor, 2018.

Considerando os volumes atingidos em cada período, é observado que, o reservatório, se construído à montante das seções 2 e 3, teria uma vida útil reduzida em relação às outras seções, pois como discutido anteriormente, os processos erosivos que ocorrem nestas regiões acelerariam o processo de assoreamento do reservatório.

## 6 CONCLUSÃO

Tendo em vista os valores obtidos, foi observado que as vazões líquidas e as descargas sólidas estão diretamente ligadas, ou seja, durante os períodos de alta intensidade pluviométrica, as vazões líquidas foram significativamente maiores que nos períodos de seca, e essas altas vazões coincidiram com as maiores descargas sólidas de sedimentos registradas. Também foi concluído que a erosão do solo estava diretamente relacionada com estes fatores, pois, foi identificado nas seções de maiores vazões sólidas e líquidas, uma maior área de solo que apresentava sinais claros de erosão, além de menor quantidade de vegetação, um fator que contribui para facilitar processos erosivos.

Quanto às coletas de campo, devido a dificuldades de tempo, transporte, seções de estudo, além de outras, a quantidade de dados coletados foi limitada, portanto, para obter dados mais precisos seria necessário um número maior de coletas, principalmente, no que diz respeito à construção de curvas-chave, as quais ainda necessitam de dados para um melhor aproveitamento. Nos ensaios realizados em laboratório foram atingidos resultados suficientes para a aplicação nos métodos abordados.

Levando em conta todos os fatores determinados, a seção 1 seria a mais viável para a construção de um reservatório, considerando que esta proporcionaria uma maior vida útil ao reservatório, porém, para a instalação de um reservatório ainda seriam necessários muitos outros fatores que

não foram abordados neste trabalho, e isto, exigiria um estudo mais aprofundado da região, quanto aos aspectos hidrológicos, geomorfológicos, socioeconômicos, ambientais, entre outros.

## **BIBLIOGRAFIA**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008.

ANDRADE, F. **Medição de vazão e curva-chave**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2014.

ANDRADE, H. S. **Definição da curva-chave de vazão do ribeirão pipiripau a jusante da confluência com o córrego taquara**. 2017. 32 f. (Bacharel em Gestão Ambiental) – Faculdade UNB de Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina, 2017.

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

CARVALHO, N. O. **Cálculo da descarga sólida total pelo método modificado de Einstein – adaptação ao sistema métrico**. Não publicado. Rio de Janeiro, 1984.

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

CARVALHO, N. O. et al (2005). **Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO**. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro, 2005, João Pessoa, PB.

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/nossos\\_programas/ambientais/peixe\\_vivo/Paginas/usina\\_paranaiba.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/Paginas/usina_paranaiba.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.

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.

GUADALUPE, E. G.; GONÇALVES J. E. **Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu — PR**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3 – p. 49-58, Jul/Set 2011.

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

MAIA, Adelena Gonçalves. **As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens**. 2006. 271 f. tese (Doutorado em engenharia civil) Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, [S.l.], [2007?].

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

NORMA TÉCNICA INTERNA SABESP. **SABESP NTS 013: Sólidos – Método de Ensaio** – Revisão 1. São Paulo, 1999.

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

PINHEIRO, A.; BADIA, S. B. **Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola**. REA – Revista de estudos ambientais v.10, n. 2, p. 64-70, jul./dez. 2008.

PORTAL BRASIL. *Potencial hidrelétrico brasileiro está entre os cinco maiores do mundo*, 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/potencial-hidreletrico-brasileiro-esta-entre-os-cinco-maiores-do-mundo>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

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.

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.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 138 p.

SOBRINHO, T. A. et al. **Avaliação de métodos para a estimativa da descarga sólida total em rios**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro, 2013, Bento Gonçalves, RS.

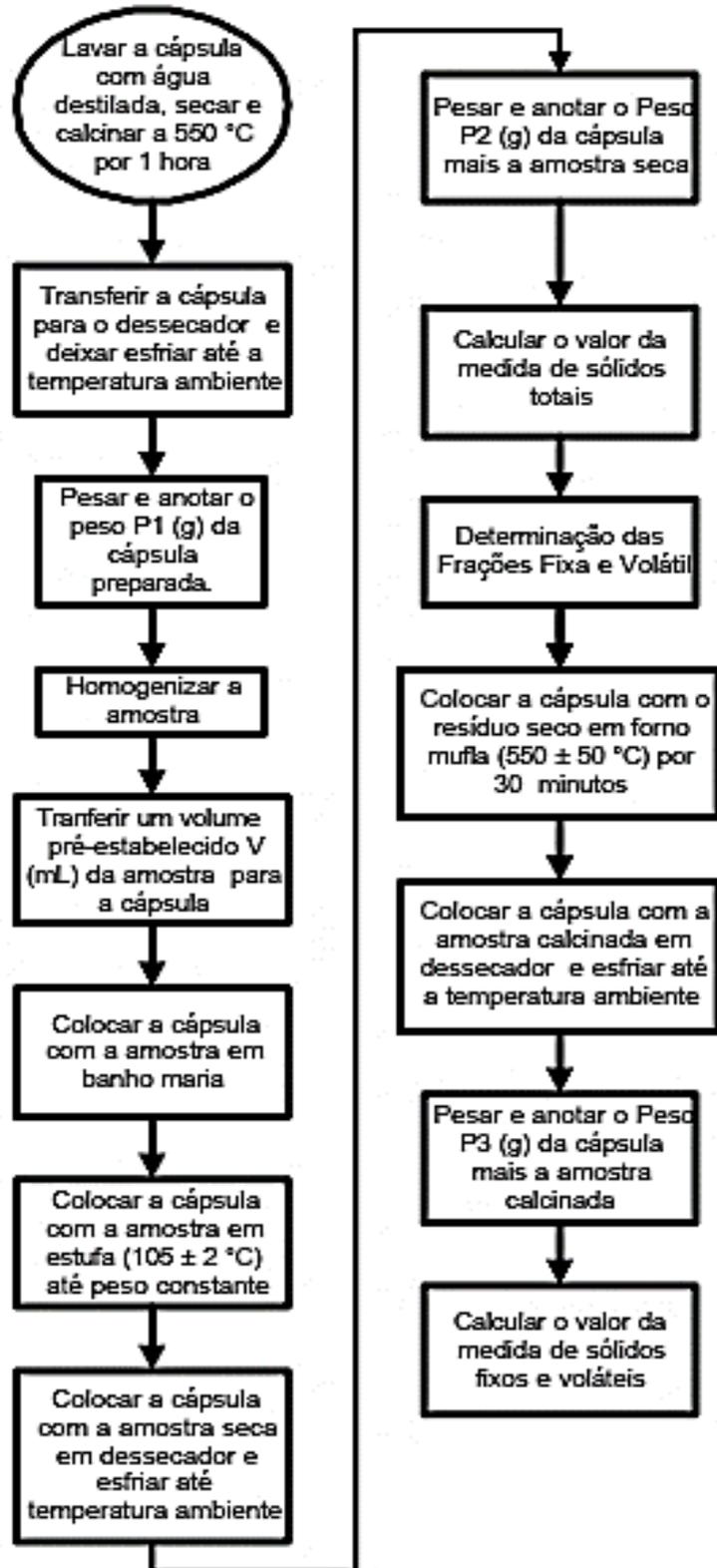
VAN RIJN, L. C. **Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport**. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, n.10, Oct., pp.1431-1456. 1984.

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?].

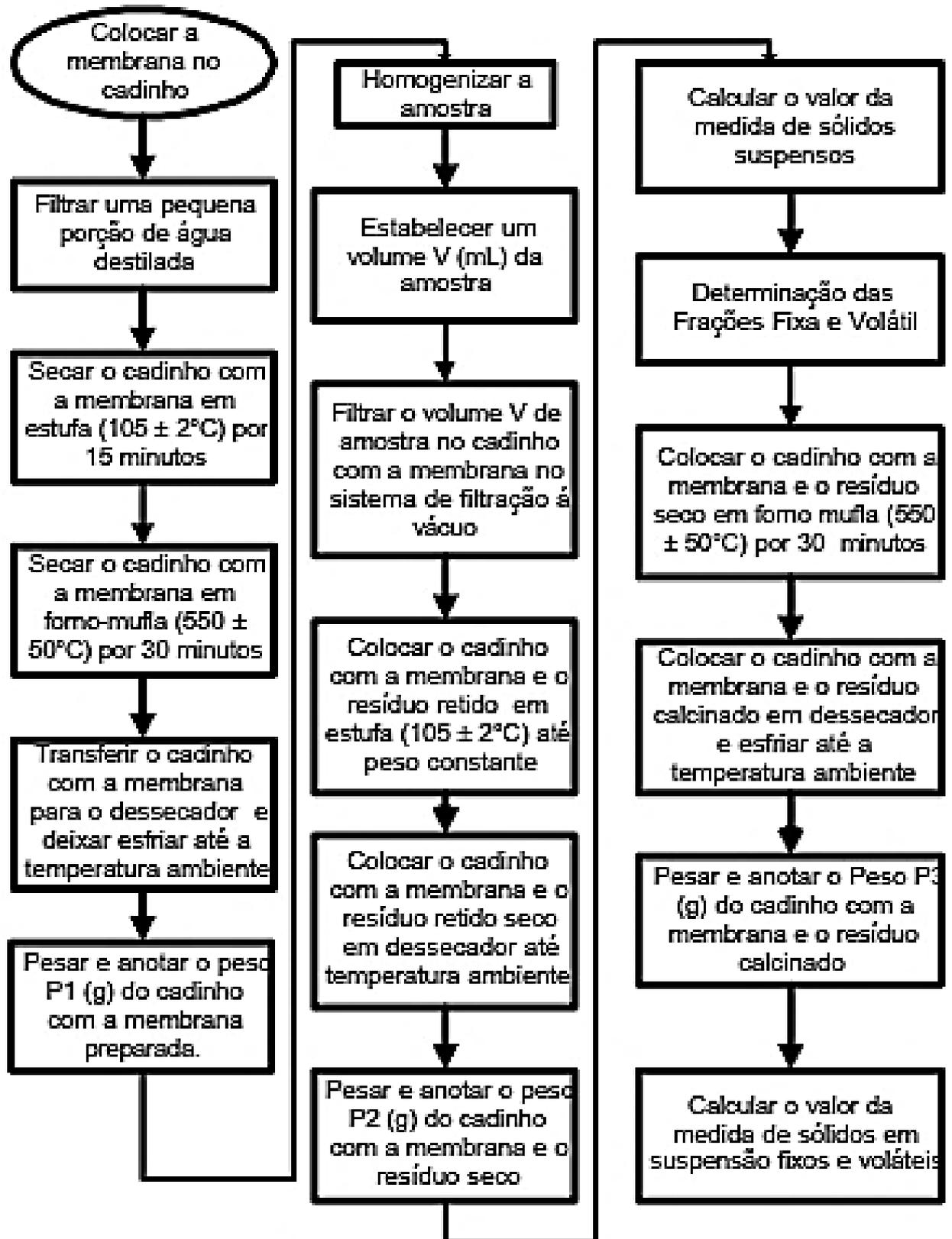
WILSON JR, G.: PAIVA L. E. D. **Estimativa da descarga sólida por arraste a partir do registro das configurações de fundo: aplicação ao córrego Horácio, Noroeste do Estado do Paraná**: In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 23 – 27 nov. de 2003. Curitiba/PR. Anais, Curitiba, 2003.

## ANEXO A – Ensaio esquematizados

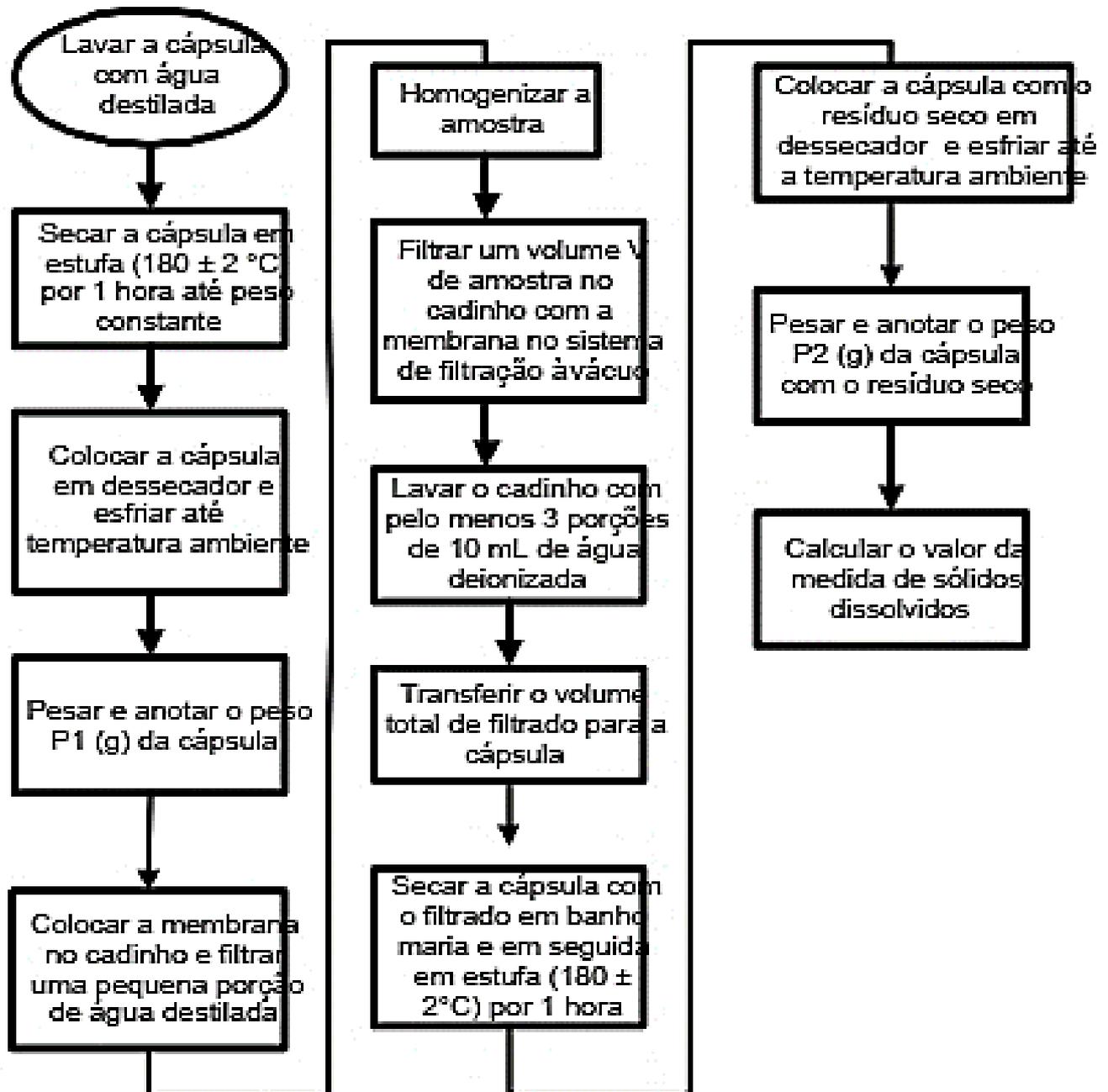
### Sólidos totais, fixos e voláteis



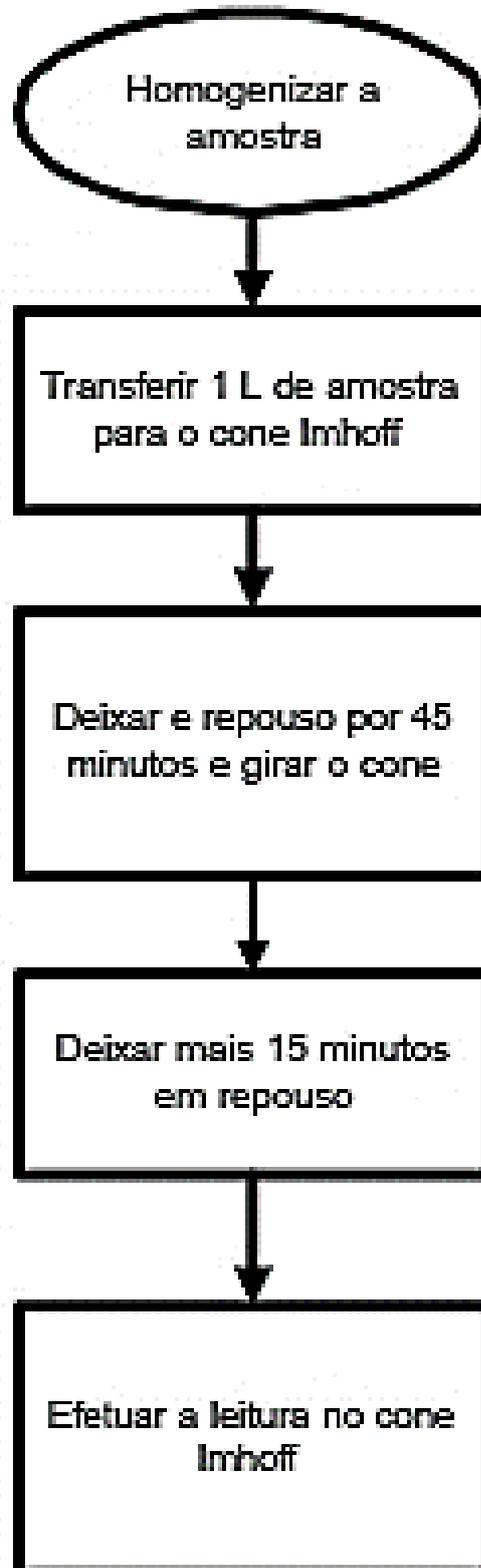
## Sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis



## Sólidos dissolvidos totais

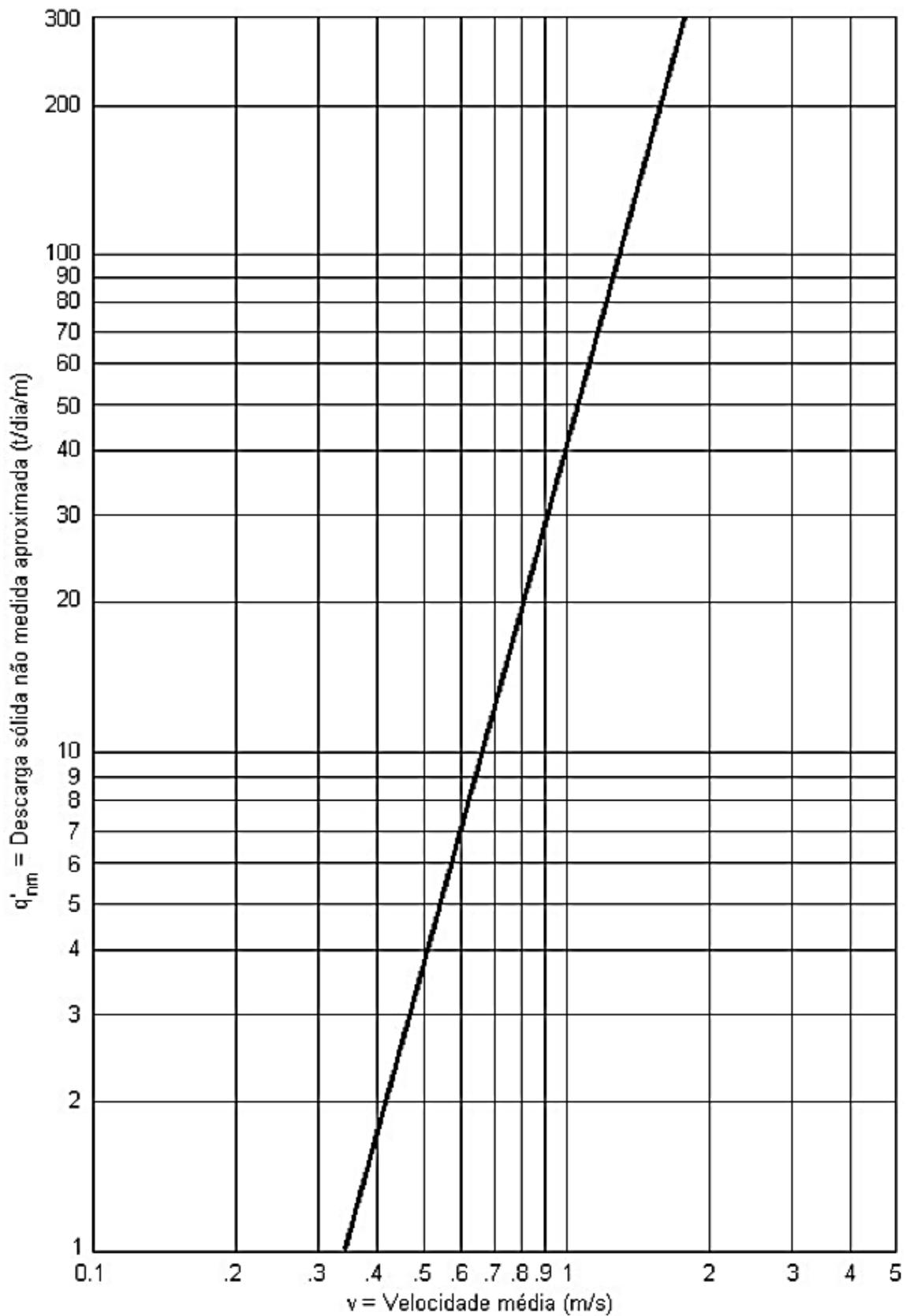


Fonte: SABESP NTS 013, 1999.

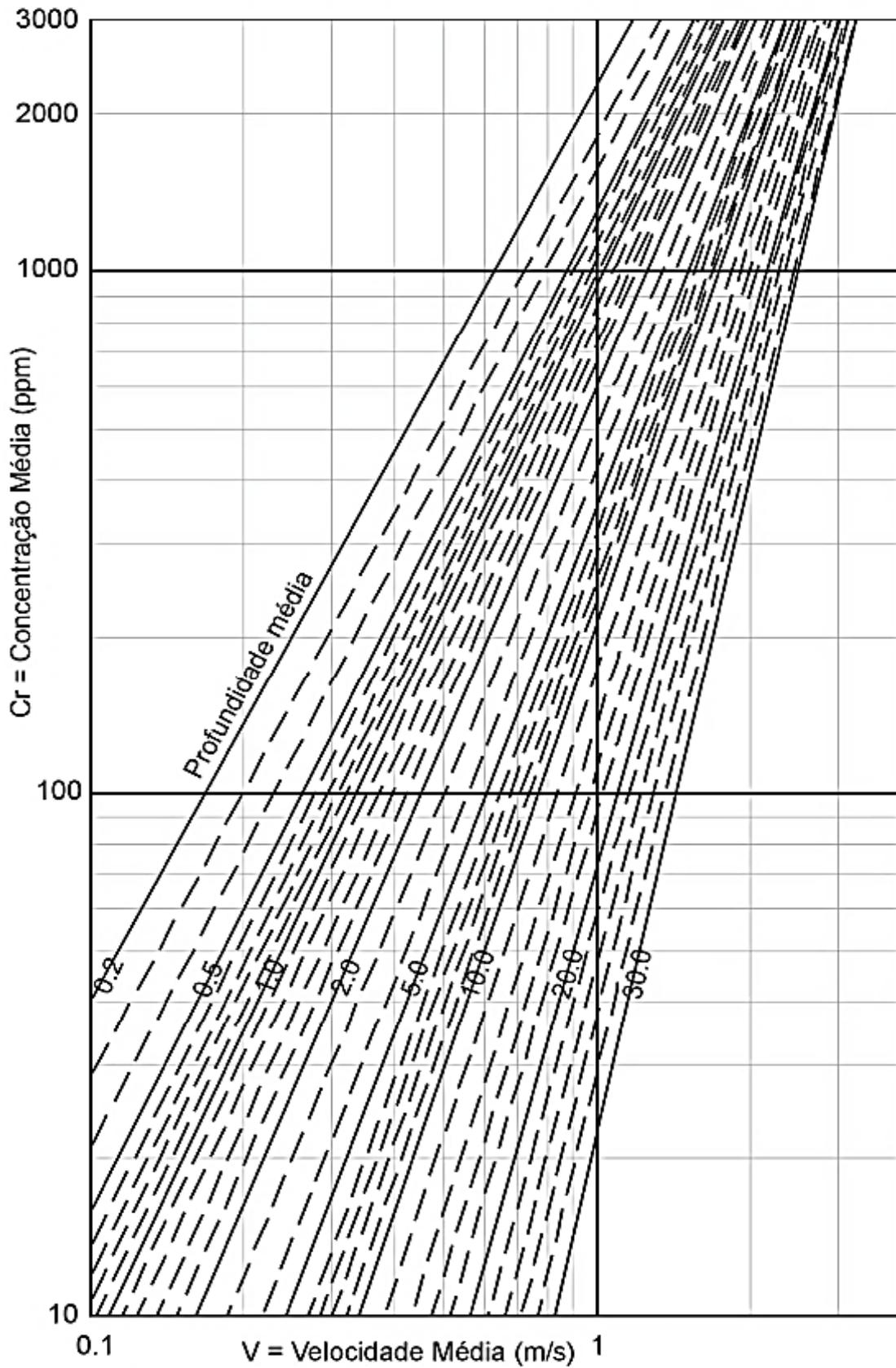
**Sólidos sedimentáveis**

Fonte: SABESP NTS 013, 1999.

### ANEXO B1 – Descarga sólida não medida aproximada

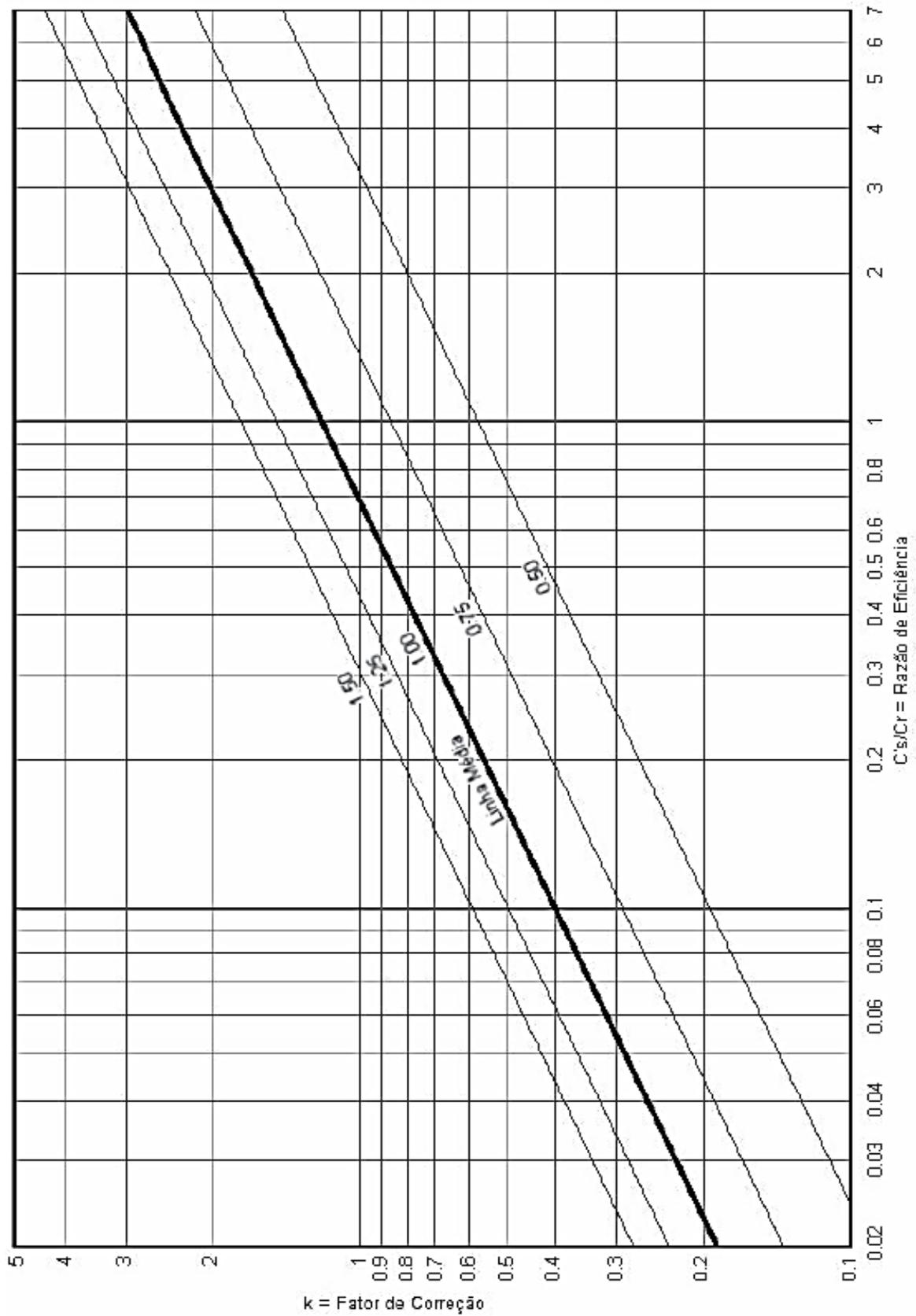


Fonte: Paiva, 2003.

**ANEXO B2 – Concentração média de sedimentos**

Fonte: Paiva, 2003.

### ANEXO B3 – Fator de correção da razão de eficiência



Fonte: Paiva, 2003.

## APÊNDICE A – Massas retidas (Ensaio granulométrico)

Seção 1 (08/08/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	23,60	22,40	21,60	<b>22,53</b>
<b>0,6</b>	49,40	48,60	46,00	<b>48,00</b>
<b>0,42</b>	104,60	102,00	89,80	<b>98,80</b>
<b>0,25</b>	188,40	185,40	188,40	<b>187,40</b>
<b>0,15</b>	230,40	229,40	223,80	<b>227,87</b>
<b>0,075</b>	236,40	236,60	236,40	<b>236,47</b>
<b>Fundo</b>	240,00	240,20	240,20	<b>240,13</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	81,20	155,00	320,80	<b>185,67</b>
<b>19</b>	172,20	260,40	374,40	<b>269,00</b>
<b>9,5</b>	419,00	480,60	585,40	<b>495,00</b>
<b>4,8</b>	598,40	694,00	738,60	<b>677,00</b>
<b>2</b>	801,47	895,30	924,90	<b>873,89</b>
<b>Fundo</b>	807,60	898,20	927,80	<b>877,87</b>

Fonte: Autor, 2018.

Seção 2 (08/08/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	20,20	24,60	23,80	<b>22,87</b>
<b>0,6</b>	54,60	68,00	62,90	<b>61,83</b>
<b>0,42</b>	88,20	104,20	102,40	<b>98,27</b>
<b>0,25</b>	160,40	174,60	173,00	<b>169,33</b>
<b>0,15</b>	211,60	218,40	217,80	<b>215,93</b>
<b>0,075</b>	232,60	233,60	234,00	<b>233,40</b>
<b>Fundo</b>	239,80	239,60	239,60	<b>239,67</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>19</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>9,5</b>	1,40	1,20	1,40	<b>1,33</b>
<b>4,8</b>	79,40	82,20	88,00	<b>83,20</b>
<b>2</b>	261,80	293,20	289,80	<b>281,60</b>
<b>Fundo</b>	268,60	301,20	299,60	<b>289,80</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 3 (08/08/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	20,20	10,60	14,80	<b>15,20</b>
<b>0,6</b>	98,20	89,20	86,40	<b>91,27</b>
<b>0,42</b>	172,60	177,80	164,40	<b>171,60</b>
<b>0,25</b>	218,00	214,00	216,00	<b>216,00</b>
<b>0,15</b>	229,00	230,10	228,40	<b>229,17</b>
<b>0,075</b>	236,40	237,40	235,80	<b>236,53</b>
<b>Fundo</b>	240,20	239,80	239,80	<b>239,93</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>19</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>9,5</b>	2,20	6,80	6,00	<b>5,00</b>
<b>4,8</b>	10,20	17,00	12,60	<b>13,27</b>
<b>2</b>	39,00	46,80	42,20	<b>42,67</b>
<b>Fundo</b>	43,60	48,40	47,20	<b>46,40</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 4 (08/08/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	26,00	24,20	37,20	<b>29,13</b>
<b>0,6</b>	80,80	77,00	86,40	<b>81,40</b>
<b>0,42</b>	135,60	133,40	132,60	<b>133,87</b>
<b>0,25</b>	190,40	190,40	199,00	<b>193,27</b>
<b>0,15</b>	227,40	227,20	228,20	<b>227,60</b>
<b>0,075</b>	237,60	237,60	238,40	<b>237,87</b>
<b>Fundo</b>	240,00	240,00	240,20	<b>240,07</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>19</b>	0,00	10,80	13,40	<b>8,07</b>
<b>9,5</b>	243,80	199,60	284,20	<b>242,53</b>
<b>4,8</b>	615,40	530,20	624,00	<b>589,87</b>
<b>2</b>	977,00	868,41	961,58	<b>935,66</b>
<b>Fundo</b>	978,20	870,20	970,40	<b>939,60</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 1 (07/11/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	11,20	16,40	12,40	<b>13,33</b>
<b>0,6</b>	39,80	48,80	39,60	<b>42,73</b>
<b>0,42</b>	94,40	104,20	92,40	<b>97,00</b>
<b>0,25</b>	174,40	180,20	170,60	<b>175,07</b>
<b>0,15</b>	220,60	222,40	217,60	<b>220,20</b>
<b>0,075</b>	234,60	234,80	233,40	<b>234,27</b>
<b>Fundo</b>	240,20	240,20	240,80	<b>240,40</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	25,20	<b>8,40</b>
<b>19</b>	14,80	61,80	70,60	<b>49,07</b>
<b>9,5</b>	79,20	135,20	130,20	<b>114,87</b>
<b>4,8</b>	127,40	187,20	167,60	<b>160,73</b>
<b>2</b>	239,20	294,00	268,60	<b>267,27</b>
<b>Fundo</b>	241,40	297,20	271,20	<b>269,93</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 2 (07/11/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	26,40	33,20	44,60	<b>34,73</b>
<b>0,6</b>	126,80	134,60	152,80	<b>138,07</b>
<b>0,42</b>	185,60	188,60	202,40	<b>192,20</b>
<b>0,25</b>	229,80	230,60	233,80	<b>231,40</b>
<b>0,15</b>	238,00	238,40	239,00	<b>238,47</b>
<b>0,075</b>	239,80	240,20	240,20	<b>240,07</b>
<b>Fundo</b>	240,40	240,80	240,80	<b>240,67</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>19</b>	43,40	0,00	0,00	<b>14,47</b>
<b>9,5</b>	56,40	26,00	13,20	<b>31,87</b>
<b>4,8</b>	125,40	102,20	112,00	<b>113,20</b>
<b>2</b>	360,40	364,40	406,00	<b>376,93</b>
<b>Fundo</b>	373,20	373,40	414,40	<b>387,00</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 3 (07/11/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	15,00	20,80	18,00	<b>17,93</b>
<b>0,6</b>	96,40	113,40	103,00	<b>104,27</b>
<b>0,42</b>	170,40	179,60	174,00	<b>174,67</b>
<b>0,25</b>	223,00	221,60	224,00	<b>222,87</b>
<b>0,15</b>	236,40	234,00	236,60	<b>235,67</b>
<b>0,075</b>	239,60	239,20	237,40	<b>238,73</b>
<b>Fundo</b>	240,00	240,00	240,00	<b>240,00</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>25</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>19</b>	0,00	0,00	8,00	<b>2,67</b>
<b>9,5</b>	29,60	0,00	38,80	<b>22,80</b>
<b>4,8</b>	49,00	28,20	55,80	<b>44,33</b>
<b>2</b>	115,00	128,80	129,90	<b>124,57</b>
<b>Fundo</b>	118,00	132,40	136,60	<b>129,00</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 4 (07/11/17)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	37,80	37,80	47,20	<b>40,93</b>
<b>0,6</b>	91,20	94,00	106,80	<b>97,33</b>
<b>0,42</b>	143,80	144,40	155,80	<b>148,00</b>
<b>0,25</b>	208,20	207,00	212,80	<b>209,33</b>
<b>0,15</b>	236,40	235,80	236,60	<b>236,27</b>
<b>0,075</b>	239,20	239,00	239,00	<b>239,07</b>
<b>Fundo</b>	239,80	240,00	239,60	<b>239,80</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>38</b>	0,00	104,40	0,00	<b>34,80</b>
<b>25</b>	166,60	104,40	87,40	<b>119,47</b>
<b>19</b>	166,60	163,80	137,40	<b>155,93</b>
<b>9,5</b>	510,80	536,80	480,20	<b>509,27</b>
<b>4,8</b>	830,60	827,60	900,00	<b>852,73</b>
<b>2</b>	1112,60	1105,20	1213,00	<b>1143,60</b>
<b>Fundo</b>	1119,80	1118,60	1222,60	<b>1153,67</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 1 (27/02/18)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	<b>131,17</b>	<b>132,61</b>	<b>159,55</b>	<b>141,11</b>
<b>0,6</b>	<b>196,82</b>	<b>231,60</b>	<b>216,97</b>	<b>215,13</b>
<b>0,42</b>	<b>238,87</b>	<b>188,87</b>	<b>237,05</b>	<b>221,60</b>
<b>0,25</b>	<b>268,42</b>	<b>276,82</b>	<b>255,62</b>	<b>266,95</b>
<b>0,15</b>	<b>96,50</b>	<b>110,57</b>	<b>86,44</b>	<b>97,84</b>
<b>0,075</b>	<b>43,13</b>	<b>36,39</b>	<b>28,73</b>	<b>36,08</b>
<b>Fundo</b>	<b>23,58</b>	<b>22,06</b>	<b>14,94</b>	<b>20,19</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>38</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>25</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>19</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>9,5</b>	<b>22,44</b>	<b>9,09</b>	<b>20,01</b>	<b>17,18</b>
<b>4,8</b>	<b>45,89</b>	<b>41,42</b>	<b>50,16</b>	<b>45,82</b>
<b>2</b>	<b>232,58</b>	<b>218,08</b>	<b>242,00</b>	<b>230,89</b>
<b>Fundo</b>	<b>1695,51</b>	<b>1729,35</b>	<b>1684,82</b>	<b>1703,23</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 2 (27/02/18)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>1,18</b>	<b>96,85</b>	<b>112,56</b>	<b>110,38</b>	<b>106,60</b>
<b>0,6</b>	<b>225,09</b>	<b>196,52</b>	<b>219,14</b>	<b>213,58</b>
<b>0,42</b>	<b>193,80</b>	<b>244,52</b>	<b>189,41</b>	<b>209,24</b>
<b>0,25</b>	<b>294,56</b>	<b>284,57</b>	<b>286,02</b>	<b>288,38</b>
<b>0,15</b>	<b>131,82</b>	<b>112,50</b>	<b>131,77</b>	<b>125,36</b>
<b>0,075</b>	<b>43,09</b>	<b>37,68</b>	<b>45,34</b>	<b>42,04</b>
<b>Fundo</b>	<b>14,43</b>	<b>10,83</b>	<b>17,10</b>	<b>14,12</b>
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>38</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>25</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>19</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>9,5</b>	<b>19,60</b>	<b>30,32</b>	<b>15,03</b>	<b>21,65</b>
<b>4,8</b>	<b>47,26</b>	<b>53,02</b>	<b>49,13</b>	<b>49,80</b>
<b>2</b>	<b>142,75</b>	<b>159,98</b>	<b>173,08</b>	<b>158,60</b>
<b>Fundo</b>	<b>1789,50</b>	<b>1756,55</b>	<b>1763,64</b>	<b>1769,90</b>

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 3 (27/02/18)

<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
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
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
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

Fonte: Autor, 2018.

## Seção 4 (27/02/18)

<b>SEÇÃO 4</b>				
<b>Peneiramento Fino</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
1,18	74,49	54,42	72,52	67,14
0,6	278,53	239,75	199,21	239,16
0,42	229,83	226,65	222,60	226,36
0,25	279,83	324,31	352,68	318,94
0,15	109,74	130,95	125,13	121,94
0,075	22,05	16,25	19,71	19,34
Fundo	5,23	7,69	7,86	6,93
<b>Peneiramento Grosso</b>				
<b>Peneira</b>	<b>Massa retida (g)</b>			
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
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	47,45	15,82
9,5	106,52	54,43	92,32	84,42
4,8	91,73	89,46	74,16	85,12
2	92,13	102,41	83,40	92,65
Fundo	1708,71	1753,39	1702,27	1721,46

Fonte: Autor, 2018.

## APÊNDICE B – Sólidos totais, suspensos e dissolvidos

08/08/2017

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (mg)
1	A1	131,1515	131,1537	0,0022	3,40
	A2	115,6654	115,67	0,0046	
	A3	92,7409	92,7533	0,0124	
2	A1	98,5586	98,5946	0,036	26,30
	A2	90,8872	90,9036	0,0164	
	A3	97,0897	97,1162	0,0265	
3	A1	99,0329	99,0538	0,0209	20,30
	A2	95,3391	95,3578	0,0187	
	A3	96,0765	96,0978	0,0213	
4	A1	99,6462	99,6651	0,0189	19,35
	A2	92,0913	92,1111	0,0198	
	A3	93,0935	93,1031	0,0096	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (mg)
1	A1	133,0055	133,0041	-0,0014	13,55
	A2	119,5064	119,5158	0,0094	
	A3	135,4492	135,4669	0,0177	
2	A1	95,4128	95,5219	0,1091	18,55
	A2	103,7312	103,7466	0,0154	
	A3	95,5245	95,5462	0,0217	
3	A1	91,5998	91,6108	0,011	14,80
	A2	94,7955	94,8206	0,0251	
	A3	97,0924	97,1007	0,0083	
4	A1	90,3516	90,3671	0,0155	18,07
	A2	105,0424	105,0513	0,0089	
	A3	91,5757	91,6055	0,0298	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Filtro (g)	Pf. Filtro (g)	P. suspensos (g)	Média (mg)
1	A1	16,1831	16,1847	0,0016	1,60
	A2	40,1566	40,1564	-0,0002	
	A3	29,2393	29,2409	0,0016	
2	A1	30,8905	30,8919	0,0014	1,03
	A2	27,6832	27,6838	0,0006	
	A3	15,7462	15,7473	0,0011	
3	A1	15,4494	15,4509	0,0015	1,60
	A2	18,0733	18,075	0,0017	
	A3	15,9089	15,9105	0,0016	
4	A1	28,6931	28,6948	0,0017	1,70
	A2	40,9077	40,9068	-0,0009	
	A3	40,2311	40,2299	-0,0012	

Fonte: Autor, 2018.

12/09/2017

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	110,6638	110,6785	0,0147	0,0147
	A2	115,9506	115,965	0,0144	
	A3	125,6623	125,6772	0,0149	
2	A1	95,5889	95,6006	0,0117	0,0113
	A2	85,5387	85,5496	0,0109	
	A3	95,4188	96,0818	0,663	
3	A1	78,8863	78,8991	0,0128	0,0178
	A2	91,4528	91,4721	0,0193	
	A3	99,0343	99,0557	0,0214	
4	A1	131,1458	131,1601	0,0143	0,0175
	A2	100,0502	100,071	0,0208	
	A3	99,3276	100,6374	1,3098	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	90,0108	90,8285	0,8177	0,0098
	A2	91,5549	91,5647	0,0098	
	A3	99,7336	99,9424	0,2088	
2	A1	103,2303	103,24	0,0097	0,0056
	A2	92,5563	92,5612	0,0049	
	A3	78,884	78,8863	0,0023	
3	A1	99,3239	99,6695	0,3456	0,0109
	A2	120,2828	120,2857	0,0029	
	A3	99,9858	100,0046	0,0188	
4	A1	91,5705	91,8449	0,2744	0,0104
	A2	132,9978	133,0087	0,0109	
	A3	117,5111	117,521	0,0099	

Fonte: Autor, 2018.

18/10/2017

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	98,5595	98,6021	0,0425	0,0176
	A2	94,9834	95,0018	0,0183	
	A3	94,5812	94,5981	0,0169	
2	A1	85,5319	85,6263	0,0944	0,0208
	A2	103,7295	103,7526	0,0231	
	A3	92,0843	92,1028	0,0185	
3	A1	101,5072	101,5352	0,028	0,0304
	A2	105,0436	105,0738	0,0301	
	A3	90,0129	90,046	0,0331	
4	A1	93,7175	93,7627	0,0452	0,1211
	A2	90,3544	90,56	0,2056	
	A3	99,9929	100,1056	0,1126	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média(g)
1	A1	89,2444	89,258	0,0136	0,0144
	A2	92,7329	92,7462	0,0133	
	A3	103,2207	103,237	0,0163	
2	A1	131,1341	131,144	0,0099	0,0147
	A2	99,0221	99,0396	0,0175	
	A3	91,548	91,5648	0,0168	
3	A1	95,5144	95,5448	0,0304	0,0237
	A2	86,5435	86,5629	0,0194	
	A3	99,7318	99,753	0,0212	
4	A1	94,0578	94,0877	0,0299	0,0225
	A2	95,5814	95,6038	0,0224	
	A3	117,5097	117,5248	0,0151	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Filtro (g)	Pf. Filtro (g)	P. suspensos (g)	Média (g)
1	A1	41,0342	41,0322	0,0024	0,0028
	A2	40,9068	40,9056	0,0032	
	A3	37,0642	37,0626	0,0028	
2	A1	38,1747	38,1738	0,0035	0,0035
	A2	31,3643	31,3648	0,0049	
	A3	41,4703	41,4679	0,002	
3	A1	30,0336	30,0355	0,0063	0,006
	A2	40,2302	40,2282	0,0024	
	A3	30,8881	30,8895	0,0058	
4	A1	40,1506	40,15	0,0042	0,0029
	A2	39,7514	39,7482	0,0016	
	A3	32,0901	30,0915	-1,9938	

Fonte: Autor, 2018.

07/11/2017

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	99,3408	100,1997	0,8589	0,0131
	A2	100,0033	100,4147	0,4114	
	A3	95,0027	95,0158	0,0131	
2	A1	120,306	120,3113	0,0053	0,0111
	A2	117,5282	117,5402	0,012	
	A3	131,1577	131,1679	0,0102	
3	A1	101,525	101,5444	0,0194	0,0227
	A2	90,0312	90,0595	0,0283	
	A3	93,7275	93,748	0,0205	
4	A1	90,3645	90,385	0,0205	0,0199
	A2	89,2674	89,2867	0,0193	
	A3	92,7509	92,7707	0,0198	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média(g)
1	A1	86,5608	86,5697	0,0089	0,0122
	A2	85,545	85,5606	0,0156	
	A3	103,7449	104,0109	0,266	
2	A1	92,0951	92,1062	0,0111	0,0137
	A2	99,7506	99,7642	0,0136	
	A3	95,5995	95,6159	0,0164	
3	A1	103,247	103,2671	0,0201	0,0198
	A2	95,5377	95,9107	0,373	
	A3	105,068	105,0875	0,0195	
4	A1	94,595	94,612	0,017	0,018
	A2	98,575	98,5988	0,0238	
	A3	133,0175	133,0307	0,0132	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Filtro (g)	Pf. Filtro (g)	P. suspensos (g)	Média(g)
1	A1	43,78	43,7811	0,0011	0,0009
	A2	39,1002	39,101	0,0008	
	A3	41,0368	41,0377	0,0009	
2	A1	40,9096	40,9105	0,0009	0,0017
	A2	30,8925	30,8954	0,0029	
	A3	40,1534	40,1547	0,0013	
3	A1	38,1774	38,1784	0,001	0,0021
	A2	41,4729	41,474	0,0011	
	A3	32,0939	32,0981	0,0042	
4	A1	37,067	37,0682	0,0012	0,0016
	A2	39,7535	39,7555	0,002	
	A3	40,2332	40,2347	0,0015	

Fonte: Autor, 2018.

17/12/2017

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	85,5537	85,6313	0,0776	0,0169
	A2	97,1053	97,1141	0,0088	
	A3	91,6088	91,6339	0,0251	
2	A1	92,5776	92,5856	0,008	0,0162
	A2	96,0965	96,1107	0,0142	
	A3	135,5075	135,534	0,0265	
3	A1	99,3528	99,7528	0,4	0,4904
	A2	100,0296	100,6105	0,5809	
	A3	133,0264	133,0322	0,0058	
4	A1	94,8017	95,1871	0,3854	0,0156
	A2	131,1665	131,1814	0,0149	
	A3	115,6775	115,6939	0,0164	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	99,7486	99,767	0,0184	0,0161
	A2	92,5724	92,5871	0,0147	
	A3	103,7529	103,768	0,0151	
2	A1	97,1032	97,115	0,0118	0,0112
	A2	94,5997	94,609	0,0093	
	A3	96,0906	96,103	0,0124	
3	A1	99,3517	99,4245	0,0728	0,0280
	A2	100,0263	100,059	0,0327	
	A3	94,7998	94,8232	0,0234	
4	A1	95,6106	95,6269	0,0163	0,0157
	A2	93,7388	93,7545	0,0157	
	A3	92,105	92,1202	0,0152	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	23,4529	23,4547	0,0018	0,0019
	A2	29,2432	29,245	0,0018	
	A3	23,4788	23,4808	0,002	
2	A1	32,0939	32,0968	0,0029	0,0027
	A2	23,2974	23,2991	0,0017	
	A3	30,0382	30,0416	0,0034	
3	A1	31,3651	31,3686	0,0035	0,0029
	A2	39,9631	39,963	-0,0001	
	A3	25,8261	25,8284	0,0023	
4	A1	28,9645	28,9697	0,0052	0,0052
	A2	28,695	28,7005	0,0055	
	A3	30,8936	30,8984	0,0048	

Fonte: Autor, 2018.

23/01/2018

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	97,169	97,195	0,026	0,0158
	A2	90,0394	90,0528	0,0134	
	A3	92,106	92,1141	0,0081	
2	A1	92,764	92,7742	0,0102	0,0110
	A2	90,8096	90,8204	0,0108	
	A3	95,0187	95,0307	0,012	
3	A1	96,093	96,1095	0,0165	0,0167
	A2	100,0298	100,0592	0,0294	
	A3	103,2646	103,2816	0,017	
4	A1	98,59	98,6146	0,0246	0,0212
	A2	95,5576	95,5814	0,0238	
	A3	95,3378	95,353	0,0152	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	94,7968	94,831	0,0342	0,0193
	A2	91,5935	91,6089	0,0154	
	A3	97,1036	97,112	0,0084	
2	A1	89,2757	89,2513	-0,0244	0,0090
	A2	91,6034	91,6127	0,0093	
	A3	99,7598	99,7684	0,0086	
3	A1	131,1641	131,1711	0,007	0,0157
	A2	110,6859	110,7017	0,0158	
	A3	101,5405	101,556	0,0155	
4	A1	119,5352	119,5499	0,0147	0,0178
	A2	135,5125	135,5347	0,0222	
	A3	125,682	125,6985	0,0165	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	39,4038	39,4038	0	0,0007
	A2	40,1588	40,1594	0,0006	
	A3	43,7235	43,7242	0,0007	
2	A1	40,2323	40,2332	0,0009	0,0008
	A2	44,4473	44,4482	0,0009	
	A3	38,2346	38,2351	0,0005	
3	A1	40,5286	40,5295	0,0009	0,0009
	A2	38,7274	38,7279	0,0005	
	A3	41,1727	41,1741	0,0014	
4	A1	38,1774	38,1785	0,0011	0,0008
	A2	41,0378	41,0387	0,0009	
	A3	46,108	46,1085	0,0005	

Fonte: Autor, 2018.

27/02/2018

SÓLIDOS TOTAIS					
Seção	Amostra	P. cadinho (g)	P. total (g)	P. sólidos (g)	Média (g)
1	A1	92,1025	92,1324	0,0299	0,0214
	A2	101,5426	101,577	0,0344	
	A3			0	
2	A1	91,5908	92,9272	1,3364	1,1642
	A2	100,0284	102,1846	2,1562	
	A3			0	
3	A1	98,6039	99,2613	0,6574	0,2127
	A2	115,6792	115,66	-0,0192	
	A3			0	
4	A1	90,0419	90,7668	0,7249	0,6771
	A2	95,5756	96,882	1,3064	
	A3			0	
SÓLIDOS DISSOLVIDOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	96,0976	96,766	0,6684	0,2810
	A2	89,2455	89,3746	0,1291	
	A3	92,7696	92,8151	0,0455	
2	A1	103,7595	104,1474	0,3879	0,2539
	A2	99,7636	99,8932	0,1296	
	A3	91,6039	91,848	0,2441	
3	A1	90,8122	90,8915	0,0793	0,2295
	A2	95,34	95,5525	0,2125	
	A3	97,1052	97,5018	0,3966	
4	A1	95,0263	95,0358	0,0095	1,2229
	A2	97,1789	99,554	2,3751	
	A3	103,2685	104,5527	1,2842	
SÓLIDOS SUSPENSOS					
Seção	Amostra	Pi. Cadinho (g)	Pf. Cadinho (g)	P. dissolvidos (g)	Média (g)
1	A1	39,4049	39,4031	-0,0018	-0,0018
	A2	44,4509	44,4486	-0,0023	
	A3	41,4761	41,4748	-0,0013	
2	A1	39,963	39,9612	-0,0018	-0,0014
	A2	41,175	41,1737	-0,0013	
	A3	46,1102	46,1092	-0,001	
3	A1	40,5309	40,5298	-0,0011	-0,0011
	A2	38,2361	38,235	-0,0011	
	A3	43,7259	43,7247	-0,0012	
4	A1	40,1614	40,1603	-0,0011	-0,0014
	A2	41,0396	41,0386	-0,001	
	A3	38,7293	38,7271	-0,0022	

Fonte: Autor, 2018.

## APÊNDICE C – Determinação do diâmetro médio

SEÇÃO 1														
08/08/2017					18/10/2017					27/02/2018				
Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb
50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0
38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315
25,000	19,0	0,022	0,95	0,000208	25,000	19,0	0,022	0,99	0,000217877	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022
19,000	12,5	0,01575	0,87	0,000136	19,000	12,5	0,01575	0,93	0,0001471	19,000	12,5	0,01575	1,00	0,0001575
12,500	9,5	0,011	0,72	7,91E-05	12,500	9,5	0,011	0,80	8,82174E-05	12,500	9,5	0,011	0,99	0,000109054
9,500	4,800	0,00715	0,52	3,71E-05	9,500	4,800	0,00715	0,62	4,41357E-05	9,500	4,800	0,00715	0,97	6,92444E-05
4,800	2,000	0,0034	0,26	8,83E-06	4,800	2,000	0,0034	0,31	1,05459E-05	4,800	2,000	0,0034	0,85	2,89967E-05
2,000	1,200	0,0016	0,25	4,07E-06	2,000	1,200	0,0016	0,31	4,89809E-06	2,000	1,200	0,0016	0,73	1,17179E-05
1,200	0,600	0,0009	0,24	2,18E-06	1,200	0,600	0,0009	0,29	2,63856E-06	1,200	0,600	0,0009	0,55	4,93823E-06
0,600	0,420	0,00051	0,22	1,11E-06	0,600	0,420	0,00051	0,26	1,34519E-06	0,600	0,420	0,00051	0,36	1,83344E-06
0,420	0,250	0,000335	0,17	5,78E-07	0,420	0,250	0,000335	0,21	7,05789E-07	0,420	0,250	0,000335	0,13	4,40789E-07
0,250	0,150	0,0002	0,12	2,33E-07	0,250	0,150	0,0002	0,14	2,87837E-07	0,250	0,150	0,0002	0,05	9,60957E-08
0,150	0,075	0,000113	0,06	6,61E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,07	8,20003E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,02	1,93957E-08
Dm					Dm					Dm				
0,000792					0,000832833					0,000918841				
SEÇÃO 2														
08/08/2017					18/10/2017					27/02/2018				
Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb
50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0
38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315
25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022
19,000	12,5	0,01575	1,00	0,000158	19,000	12,5	0,01575	0,98	0,000155033	19,000	12,5	0,01575	1,00	0,0001575
12,500	9,5	0,011	1,00	0,00011	12,500	9,5	0,011	0,95	0,000104481	12,500	9,5	0,011	0,99	0,000108809
9,500	4,800	0,00715	0,87	6,23E-05	9,500	4,800	0,00715	0,83	5,9148E-05	9,500	4,800	0,00715	0,96	6,89455E-05
4,800	2,000	0,0034	0,44	1,5E-05	4,800	2,000	0,0034	0,42	1,42485E-05	4,800	2,000	0,0034	0,88	3,00889E-05
2,000	1,200	0,0016	0,43	6,91E-06	2,000	1,200	0,0016	0,41	6,52814E-06	2,000	1,200	0,0016	0,79	1,26491E-05
1,200	0,600	0,0009	0,41	3,65E-06	1,200	0,600	0,0009	0,36	3,27626E-06	1,200	0,600	0,0009	0,60	5,41286E-06
0,600	0,420	0,00051	0,36	1,86E-06	0,600	0,420	0,00051	0,30	1,54431E-06	0,600	0,420	0,00051	0,42	2,12226E-06
0,420	0,250	0,000335	0,29	9,79E-07	0,420	0,250	0,000335	0,23	7,67468E-07	0,420	0,250	0,000335	0,16	5,38505E-07
0,250	0,150	0,0002	0,20	4,01E-07	0,250	0,150	0,0002	0,15	3,06267E-07	0,250	0,150	0,0002	0,05	9,94608E-08
0,150	0,075	0,000113	0,10	1,14E-07	0,150	0,075	0,0001125	0,08	8,62451E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,01	1,40672E-08
Dm					Dm					Dm				
0,000894					0,000880419					0,00092118				
SEÇÃO 3														
08/08/2017					18/10/2017					27/02/2018				
Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb
50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0
38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315
25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022
19,000	12,5	0,01575	1,00	0,000158	19,000	12,5	0,01575	0,99	0,000156201	19,000	12,5	0,01575	1,00	0,000156998
12,500	9,5	0,011	0,95	0,000105	12,500	9,5	0,011	0,92	0,000101337	12,500	9,5	0,011	0,96	0,000105737
9,500	4,800	0,00715	0,83	5,93E-05	9,500	4,800	0,00715	0,78	5,60664E-05	9,500	4,800	0,00715	0,87	6,21995E-05
4,800	2,000	0,0034	0,43	1,47E-05	4,800	2,000	0,0034	0,40	1,35636E-05	4,800	2,000	0,0034	0,73	2,48726E-05
2,000	1,200	0,0016	0,43	6,83E-06	2,000	1,200	0,0016	0,39	6,2901E-06	2,000	1,200	0,0016	0,64	1,02394E-05
1,200	0,600	0,0009	0,39	3,55E-06	1,200	0,600	0,0009	0,36	3,23485E-06	1,200	0,600	0,0009	0,54	4,81846E-06
0,600	0,420	0,00051	0,33	1,69E-06	0,600	0,420	0,00051	0,30	1,54513E-06	0,600	0,420	0,00051	0,44	2,23629E-06
0,420	0,250	0,000335	0,25	8,52E-07	0,420	0,250	0,000335	0,23	7,73604E-07	0,420	0,250	0,000335	0,26	8,71784E-07
0,250	0,150	0,0002	0,17	3,43E-07	0,250	0,150	0,0002	0,15	3,09497E-07	0,250	0,150	0,0002	0,12	2,30908E-07
0,150	0,075	0,000113	0,09	9,73E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,08	8,72763E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,03	3,06206E-08
Dm					Dm					Dm				
0,000885					0,000874409					0,000903234				
SEÇÃO 4														
08/08/2017					18/10/2017					27/02/2018				
Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb	Dinf (mm)	Dsup (mm)	D (m)	lb	D*lb
50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0	50,000	38,0	0,044	0,00	0
38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315	38,000	25,0	0,0315	0,99	0,000312238	38,000	25,0	0,0315	1,00	0,000315
25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022	25,000	19,0	0,022	0,96	0,00021145	25,000	19,0	0,022	1,00	0,00022
19,000	12,5	0,01575	1,00	0,000157	19,000	12,5	0,01575	0,92	0,000145192	19,000	12,5	0,01575	0,99	0,000156254
12,500	9,5	0,011	0,91	9,98E-05	12,500	9,5	0,011	0,79	8,72913E-05	12,500	9,5	0,011	0,95	0,000104485
9,500	4,800	0,00715	0,69	4,94E-05	9,500	4,800	0,00715	0,58	4,13795E-05	9,500	4,800	0,00715	0,91	6,4817E-05
4,800	2,000	0,0034	0,35	1,18E-05	4,800	2,000	0,0034	0,29	9,8816E-06	4,800	2,000	0,0034	0,86	2,92727E-05
2,000	1,200	0,0016	0,34	5,39E-06	2,000	1,200	0,0016	0,28	4,49295E-06	2,000	1,200	0,0016	0,80	1,28503E-05
1,200	0,600	0,0009	0,31	2,81E-06	1,200	0,600	0,0009	0,26	2,317E-06	1,200	0,600	0,0009	0,60	5,37473E-06
0,600	0,420	0,00051	0,27	1,39E-06	0,600	0,420	0,00051	0,22	1,13178E-06	0,600	0,420	0,00051	0,40	2,05157E-06
0,420	0,250	0,000335	0,21	7,15E-07	0,420	0,250	0,000335	0,17	5,75084E-07	0,420	0,250	0,000335	0,13	4,27532E-07
0,250	0,150	0,0002	0,14	2,89E-07	0,250	0,150	0,0002	0,11	2,29903E-07	0,250	0,150	0,0002	0,02	4,5232E-08
0,150	0,075	0,000113	0,07	8,17E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,06	6,47592E-08	0,150	0,075	0,0001125	0,01	6,71031E-09
Dm					Dm					Dm				
0,000864					0,000816244					0,00091064				

Fonte: Autor, 2018.