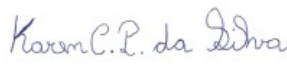

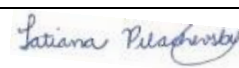
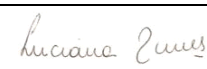



PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE TELES PIRES

P.11 – Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Relatório Semestral Nº 04 (Fase de Operação)

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Karen Caroline Paiva da Silva Eng. Agrícola, M.Sc.	CREA- 5069188924	5808170	
Keila Cristina Fernandes de Oliveira Eng. Hídrica, M.Sc.	CREA- MG 04.0.0000149150	6190874	
Tatiana Pilachevsky Geógrafa, M.Sc.	CREA- 5064021791	5531743	
Luciana Cabral Nunes Geóloga, M.Sc.	CREA- 50629926484	5287039	
Afonso E. de Vasconcelos Lopes Geofísico, D.Sc.	-	5286995	

Janeiro – 2017

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	01
3. DEMOSTRAÇÃO DE CONFORMIDADE	01
4. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA	02
5. METODOLOGIA	04
5.1. Produção de Sedimentos na Bacia	04
5.2. Eficiência de Retenção de Sedimentos no Reservatório	05
5.3. Previsão do Tipo de Assoreamento do Reservatório	08
5.4. Previsão do Assoreamento do Reservatório	12
5.4.1. Equação Básica para o Cálculo do Assoreamento	12
6. RESULTADOS	13
6.1. Medições de Vazão e Descargas Sólidas	13
6.2. Atualização das Curvas-chave de Vazão	21
6.3. Atualização das Curvas-chave de Sedimento	23
6.4. Medidas de Precipitação, Nível e Vazão	25
6.4.1. Estação UHE Teles Pires Jusante	25
6.4.2. Estação UHE Teles Pires Montante 2	26
6.4.3. Estação UHE Teles Pires Rio Paranaíta	28
6.4.4. Estação UHE Teles Pires Montante 1	29
6.4.5. Estação UHE Teles Pires Barramento	32
6.5. Produção de Sedimentos, Assoreamento e Vida Útil do Reservatório	33
6.5.1. Produção de Sedimentos na Bacia	34
6.5.2. Previsão do Tipo de Assoreamento do Reservatório	36
6.5.3. Eficiência de Retenção de Sedimentos no Reservatório	37
6.5.4. Previsão do Assoreamento do Reservatório	39
6.5.4.1. Cálculo do Peso Específico Aparente (γ_p)	39
6.5.4.2. Cálculo do Assoreamento com o Método de Borland & Miller	41
7. PROGRAMAÇÃO PARA O PERÍODO SEGUINTE	44
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	
ANEXO 1. DADOS BRUTOS DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	01
ANEXO 2. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	946
ANEXO 3. ANÁLISES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO	1039
ANEXO 4. DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL E VAZÃO	1065

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A - Área da Bacia Contribuinte

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ADCP - Perfilador Acústico de correntes por Efeito *Doppler*

C – Concentração de Sedimento

Dst - Deflúvio Sólido Total

Er – Eficiência de Retenção

ΔH - Amplitude de Variação do NA no Reservatório

H_0 - Profundidade Média da Água Acima da Tomada d'Água

IS - Índice de Sedimentação do Reservatório

P_s - Produção Específica de Sedimentos

Q - Vazão ou Descarga Líquida

Q_s - Descarga Sólida

Q_{ss} - Descarga Sólida em Suspensão

Q_{st} - Descarga Sólida Total

S - Volume de sedimento retido no reservatório [m^3 /ano];

Vafluente – Vazão Afluente

V - Volume do Reservatório

Y_{ap} - Peso Específico Aparente

1. INTRODUÇÃO

O serviço “Monitoramento Hidrossedimentológico na Área do Reservatório da UHE Teles Pires”, solicitado pela *Companhia Hidrelétrica Teles Pires (CHTP)* está sendo executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda.** Este serviço tem como objetivo fornecer informações referentes às taxas de aporte e deposição sedimentar e identificar os principais pontos de deposição, viabilizando a elaboração de projetos que venham a prolongar a vida útil do reservatório da Hidrelétrica Teles Pires, cuja barragem se encontra nas coordenadas 9°21’04” S e 56°46’39” O, no rio Teles Pires, na divisa entre os estados do Mato Grosso e Pará.

Neste relatório são apresentadas as principais atividades realizadas entre julho e dezembro de 2016, as quais consistiram no monitoramento hidrológico e hidrossedimentológico das estações hidrométricas, com destaque às precipitações, descargas líquidas e descargas sólidas.

2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

No período entre julho e dezembro de 2016 foram realizadas duas (02) medições de vazão nos rios Teles Pires e Paranaíta com o ADCP, e amostragem de sedimentos em suspensão e de sedimentos de leito. Foram realizadas as análises laboratoriais das amostras de sedimentos coletas em campo, e a partir dessas análises foi possível determinar as concentrações dos sedimentos em suspensão, as granulometrias dos materiais em suspensão e de leito, e as descargas sólidas em suspensão e totais.

Os dados de precipitação e nível registrados pelas estações hidrométricas da UHE Teles Pires durante o período de julho a dezembro de 2016 são apresentados no **ANEXO 1**.

No presente relatório também são apresentadas as curvas-chaves de vazão atualizadas das estações hidrométricas da UHE Teles Pires, visando a transformação de uma série histórica de nível em uma série histórica de vazão. Além disso, são apresentadas as curvas de sedimento em suspensão das estações em análise.

Em atendimento ao Item 6.7 do Plano Básico Ambiental, referente a eficiência de retenção de sedimentos da barragem, foi realizado um estudo detalhado dos aspectos hidrossedimentológicos da área de interesse, assim como prognóstico do comportamento no interior do reservatório, com base em classificações da literatura para esse tipo de empreendimento.

3. DEMONSTRAÇÃO DE CONFORMIDADE

As metas do presente Projeto Básico Ambiental estão sendo atendidas, conforme apresentado no **Quadro 1**.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Quadro 1. Status das metas do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Teles Pires.

METAS	STATUS DE ATENDIMENTO
Implantação e operação de 3 (três) estações hidrossedimentométricas completas (estações sedimentométricas + fluviométricas + 1 limnimétrica) em até dois anos antes do enchimento do reservatório, aceitando um atraso máximo de 3 meses.	Atendido, as estações foram instaladas. Foram implantadas 4 (quatro) estações fluviométricas + pluviométricas + sedimentométricas, além de uma estação limnimétrica junto ao barramento da usina, afim de atender também a Resolução Conjunta ANA/ANEEL N.º 3 de 10 de agosto de 2010.
Medições de descargas líquidas/sólidas: com a frequência trimestral das medições a partir da instalação das estações, aceitando-se no máximo uma falha por ano.	Atendido, não houve falhas.
Análise de laboratório: com análise das amostras coletadas a partir da implantação das estações completas, aceitando-se no máximo a ausência de uma amostra por ano.	Atendido, não houve falhas.
Amostra de sólidos em suspensão: como são coletadas por seção de medição no mínimo 3 garrafas por vertical, recomenda-se como meta no máximo a ausência de 6 garrafas por amostra no ano.	Atendido, não houve falhas.
Amostra de fundo: recomenda-se como meta no máximo ausência de uma medição por ano.	Atendido, não houve falhas.
Apresentação de resultados: elaboração de relatórios parciais trimestrais e de consolidação a cada 6 (seis) meses, cuja meta é de 15 dias de elaboração a partir da data de corte dos relatórios trimestrais e de 30 dias após a data de corte para os relatórios de consolidação.	Atendido, não houve falhas.

4. REDE HIDROLÓGICA

A operação da rede hidrológica durante o período em referência consistiu na realização de trabalhos de campo e no processamento dos dados hidrológicos das estações hidrométricas em operação, conforme o **Quadro 2** e a **Figura 1**.

Quadro 2. Estações hidrométricas da UHE Teles Pires.

CÓDIGO FLUVIOMÉTRICO/PLUVIOMÉTRICO	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	RIO	TIPO
17384200/00956006	UHE Teles Pires Jusante	09°19'51.0"	-56°46'40.0"	TELES PIRES	PFDST
17383000/00956005	UHE Teles Pires Rio Paranaíta	09°46'22.5"	-56°38'41.7"	PARANAÍTA	PFDST
17382000/00956004	UHE Teles Pires Montante 1	09°27'11.9"	-56°29'35.1"	TELES PIRES	PFDST
17381100/00956003	UHE Teles Pires Montante 2	09°38'26.5"	-56°01'09.7"	TELES PIRES	PFDST
17384000/-	UHE Teles Pires Barramento	09°21'04.0"	-56°46'39.0"	TELES PIRES	L

Legenda do Tipo de Monitoramento: L – Limnimétrica; P – Pluviométrica; F – Fluviométrica (Nível); D – Medição de Descarga Líquida; S – Medição de Descarga Sólida; T – Estação com Transmissão Remota de Dados (Telemetria).

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

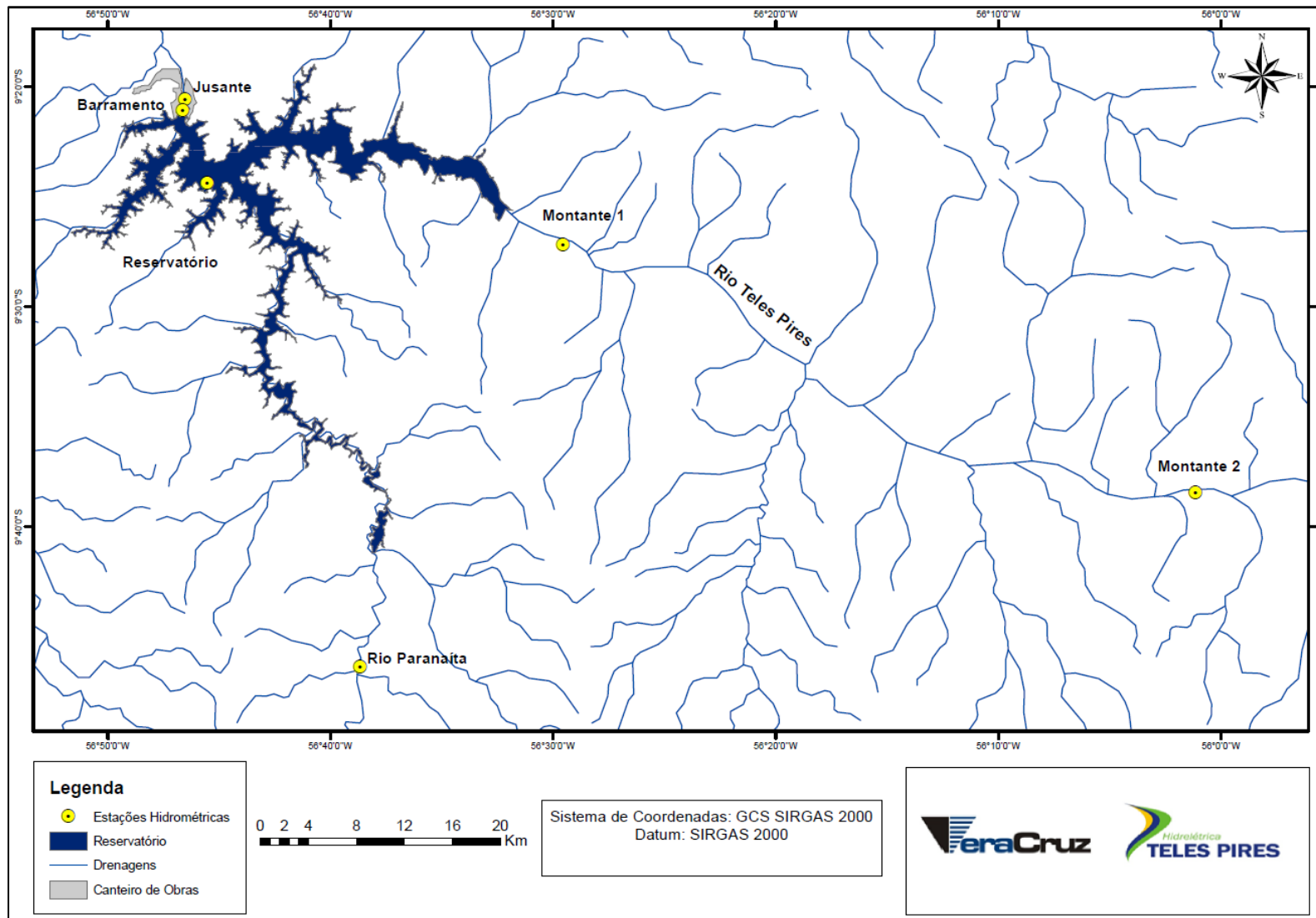


Figura 1. Localização das estações hidrométricas da UHE Teles Pires.

5. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realização das atividades referentes a este Programa Ambiental já foi amplamente detalhada nos relatórios semestrais anteriores. Como não houve alteração em nenhum aspecto metodológico entende-se que não há necessidade de reapresentá-la no presente relatório, mantendo o foco deste nos resultados alcançados e discussões técnicas pertinentes.

Com relação ao estudo da produção de sedimentos, assoreamento e vida útil do reservatório, por ser uma atividade recente, apresenta-se abaixo os detalhes metodológicos de sua execução.

5.1. Produção de Sedimentos na Bacia

A produção específica de sedimentos (P_s), ou descarga sólida específica, é a relação entre o deflúvio sólido anual (D_s) e a área de drenagem (A) da bacia contribuinte em km^2 , sendo definida pela relação mostrada abaixo:

$$P_s = \frac{Q_s}{A} \quad (1)$$

Em que:

Q_s - Descarga sólida [t/ano];

A - Área da bacia contribuinte [km^2];

P_s - Produção específica de sedimentos na bacia [t/ km^2 /ano].

A produção específica de sedimentos pode ser referida a um ano ou valores médios de descarga específica de sedimentos de vários anos, e representa o rendimento sólido da área de drenagem considerada. Normalmente esse valor é publicado em função da produção específica em suspensão, devendo, no entanto, ser extrapolado para a produção total de sedimentos, considerando-se que a extrapolação deve levar em conta a carga em suspensão não medida e a carga de leito.

A produção de sedimentos é muito variável em cada bacia e mesmo nas bacias tributárias, o que se deve aos diversos fatores intervenientes. Bacias com grandes problemas de erosão apresentam grande produção de sedimentos, que pode ser derivada de diversas causas, como por exemplo, ações antrópicas (e.g. agricultura) ou mesmo devido a problemas de grandes cheias, terremotos e erupções vulcânicas.

Os maiores valores mundiais de publicações mais recentes de produção de sedimentos são mostrados em (Hadley *et al.*, 1985), que vão de 100 t/ km^2 /ano no rio Mackenzie até 1.670 t/ km^2 /ano no rio Ganges/Bramaputra na Índia.

5.2. Eficiência de Retenção de Sedimentos no Reservatório

A eficiência de retenção, E_r , é definida como a razão de sedimento depositado e o fluxo total de sedimento afluente, tendo forte dependência com a velocidade de queda das partículas e do escoamento através do reservatório. Segundo **Carvalho (2008)**, os métodos de estimativa da eficiência de retenção são determinados empiricamente, baseados em medições dos depósitos em grande número de reservatórios (**ICOLD, 1989; Mahmood, 1987; Strand, 1974**).

Para estudos de reservatório com vários anos de operação os resultados de descarga sólida afluente com a efluente permitem determinar experimentalmente o valor de E_r com relação às curvas usuais, sendo uma boa maneira de calibrar esse tipo de curva.

Os métodos de determinação de E_r mais conhecidos e utilizados no Brasil são o de: (i) Gunnar, (ii) Brune e (iii) Churchill, sendo que os métodos de Brown e de Heinemann são pouco conhecidos e usados.

No caso do método de **Brown (1943) apud Pereira (1998)** é mostrada uma relação entre a Eficiência de Retenção E_r e a razão entre a capacidade do reservatório ($V_{\text{reservatório}}$) e a área da bacia hidrográfica (A_{bh}), dada pela expressão:

$$E_r = 100 \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + 4,76 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{V_{\text{reservatório}}}{A_{bh}}} \right] \quad (2)$$

Em que:

E_r - eficiência de retenção de sedimentos [%];

$V_{\text{reservatório}}$ - Capacidade do reservatório [m^3];

A_{bh} -Área da bacia hidrográfica [m^2].

A curva de eficiência de retenção de sedimento de Brown é mostrada na **Figura 2**.

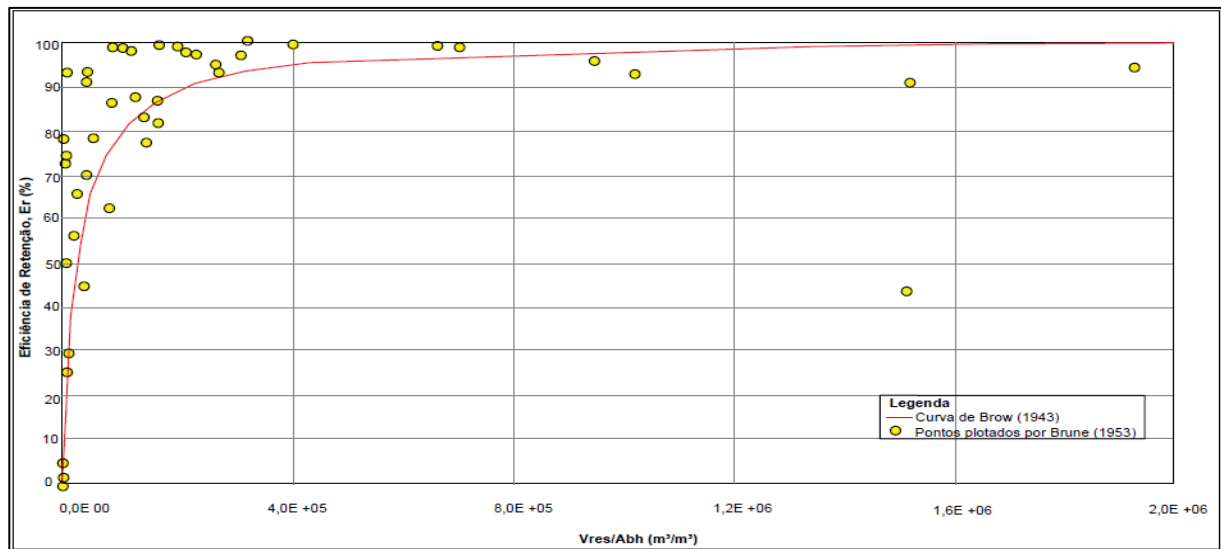


Figura 2. Curva de Brown (linha vermelha) para a determinação da eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, incluindo a comparação da mesma com os dados dos reservatórios usados para o estabelecimento da curva de **Brune (1953)** *apud Pereira (1998)*. Figura adaptada de **Carvalho (2008)**.

Segundo **Pereira (1998)** *apud Carvalho (2008)*, outra curva para estimativa da eficiência de retenção é a de **Heinemann (1981)**, a qual foi obtida com dados de pequenos reservatórios. Essa curva tem como base o índice determinado por Brune, que é a Capacidade de Afluência, sendo dado pela razão entre a capacidade do reservatório e o volume médio de água afluente. A expressão de Heinemann é dada por:

$$E_r = -22,0 - \frac{119,6 * \frac{V_{reservatório}}{V_{afluente}}}{0,012 - 1,02 * \frac{V_{reservatório}}{V_{afluente}}} \quad (3)$$

Em que:

E_r - Eficiência de retenção de sedimentos [%];

V_{res} - Capacidade do reservatório [m³];

V_{af} - Volume de água afluente [m³/ano].

A curva de eficiência de retenção de sedimento de Heinemann é mostrada na **Figura 3**, onde a mesma é comparada com a curva de Brune.

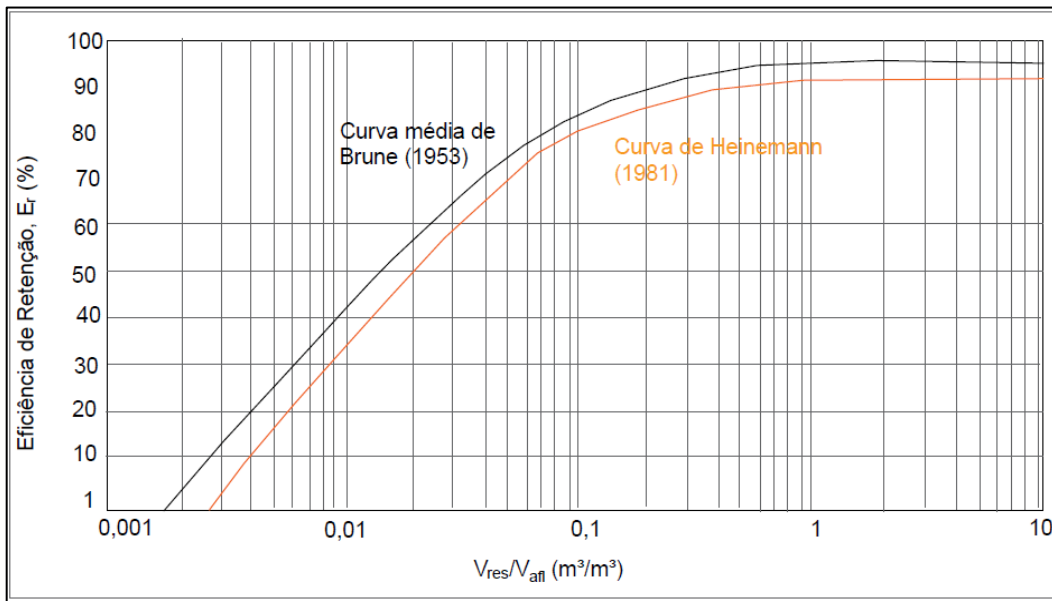


Figura 3. Curva de Heinemann (linha laranja) para determinação da eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, a qual é comparada com a Curva média de **Brune (1953)**. Figura adaptada de **Carvalho (2008)**.

O método de **Brune (1953)** é apresentado por um gráfico de curvas obtidas de levantamentos de vários reservatórios nos EUA (**Figura 4**), sendo que a eficiência de retenção é traçada em função da *capacidade de afluência*, correspondendo ao volume do reservatório dividido pelo volume afluente médio anual.

A curva média de **Brune (1953)** possui uma envoltória superior e outra envoltória inferior, as quais dizem respeito a depósitos contendo sedimentos finos (envoltória inferior) e sedimentos grossos (envoltória superior), conforme discutido por **Vanoni (1977) apud Carvalho (2008)**. Caso não se conheça a granulometria do sedimento, costuma-se utilizar a curva média, sendo o método de Brune o mais utilizado no Brasil para médios e grandes reservatórios.

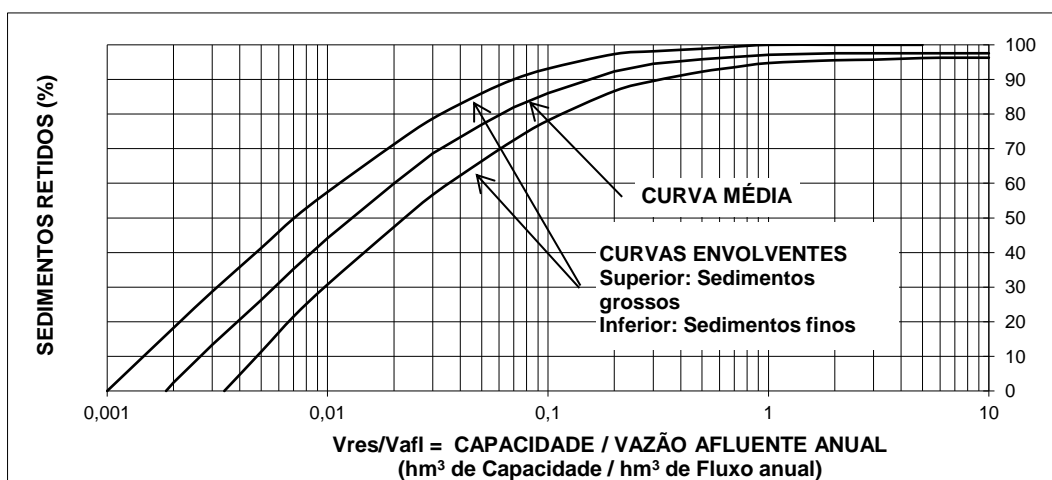


Figura 4. Curvas de **Brune (1953)** de Eficiência de Retenção de sedimentos em reservatórios. Figura adaptada de **Carvalho (2008)**.

Outra opção para o cálculo da Eficiência de Retenção do reservatório é a Curva de Churchill, utilizada no Brasil principalmente em estudos de pequenos e médios reservatórios, embora não haja restrições de uso para reservatórios de maior porte.

Um dos parâmetros usados na classificação do processo de assoreamento e que é usado na Curva de Churchill é o *Índice de Sedimentação do Reservatório* (IS), dado por:

$$IS = \frac{V_{\text{reservatório}}^2}{Q^2 * L} \quad (4)$$

Em que:

IS - Índice de Sedimentação do Reservatório [s^2/ft];

$V_{\text{reservatório}}$ - Volume do reservatório no nível médio de operação [ft^3];

Q - Vazão média diária durante o período de estudo [ft^3/s];

L - Comprimento do reservatório [ft].

O valor de IS na expressão acima é dado em unidades inglesas (s^2/ft), o que muitas vezes é pouco conveniente na padronização de resultados na unidade métrica. Por isso, foram propostas na literatura duas formas de tratar esse problema, sendo a primeira dada por **Trindade (2007)**, que transformou a Curva Churchill para o sistema métrico. A segunda abordagem foi apresentada pelo ICOLD (*International Commission on Large Dams*) em 1989, o qual propôs que o Índice de Sedimentação (IS) seja multiplicado pela aceleração da gravidade (g), fazendo com que a expressão independa do sistema de unidades, visto que o resultado final é adimensional. O valor da Eficiência de Retenção pela Curva de Churchill segundo a proposta do USBR é dada por:

$$E_r = 100 - [1600 * (IS * g)^{-0,2} - 12] \quad (5)$$

5.3. Previsão do Tipo de Assoreamento do Reservatório

A capacidade dos reservatórios é um determinante crítico na utilização de sua água, porém, o assoreamento progressivamente reduz a eficácia dessa utilidade. A porcentagem de perda de volume por retenção de sedimentos em reservatórios é muito variável, estando relacionada principalmente ao projeto e à magnitude da descarga sólida. Apenas para exemplificar esse fenômeno, essa perda de volume pode ir de valores baixíssimos, como o do reservatório de Hoover (EUA) que tem uma perda anual de volume da ordem de 0,3%, até valores altos como o do reservatório de Warsak (EUA), onde essa perda chegou a 18%.

A seguir serão apresentados os principais critérios usados para definir como ocorre a deposição de sedimentos no leito de um reservatório.

- **Critério I de Zhide (1998)**

Um dos critérios estabelecidos por **Zhide (1998)** para prever o tipo de deposição de sedimentos que provocará o assoreamento de um determinado reservatório é baseado na Capacidade de Afluência do Reservatório, a qual em geral varia da ordem de 10^{-3} a 10, e cuja fórmula é mostrada abaixo:

$$\text{Capacidade de Afluência} = \frac{V_{\text{reservatório}}}{V_{\text{afluente}}} = \frac{133,39 * 10^6}{34.468,848 * 10^6} = 3,87 * 10^{-3} \quad (6)$$

Em que: $V_{\text{reservatório}}$ = capacidade do reservatório (em m^3);

V_{afluente} = volume de água afluente (em m^3/ano);

Considerando a Capacidade de Afluência do reservatório e a geometria dos mesmos, **Zhide (1998) apud Carvalho (2008)** faz as seguintes considerações:

- Depósito em Delta: Quando o reservatório apresenta um alargamento na sua entrada com grande redução de velocidade, a Capacidade de Afluência do reservatório é grande, sendo o nível d'água mantido elevado e a carga sólida contendo grande quantidade de material grosso, permitindo a formação de um delta no remanso do reservatório, o qual se movimenta com o tempo para jusante, fazendo com que o assoreamento ocorra de montante para jusante;
- Depósito em camada estreita uniforme: Quando o reservatório é do tipo de garganta, tendo um canal profundo, com Capacidade de Afluência grande, o sedimento afluente é relativamente fino e o nível d'água varia frequentemente, resultando em um depósito formado principalmente pela flutuação do nível do reservatório, que no caso de usinas hidrelétricas, fica entre o nível mínimo e o nível máximo. Esse tipo de depósito é representado por uma deposição em camada uniforme em todo o reservatório;
- Depósito em cunha: Quando o reservatório é do tipo de garganta, com a variação do nível d'água do reservatório flutuante, e com Capacidade de Afluência pequena e carga sólida composta principalmente por sedimentos relativamente finos, o sedimento tenderá a alcançar o local da barragem em menor tempo, se depositando nas proximidades da barragem. Nesse caso, o assoreamento ocorre da jusante para a montante.

- **Critério II de Zhide (1998)**

De acordo com **Jiao apud Zhide (1998)** essa regra de classificação seria a seguinte:

Formação em delta:

$$\frac{V_{afluente}}{S_{afluente}} \geq 2 \quad e \quad \frac{\Delta H}{H_0} < 0,15 \quad (7)$$

Formação em cunha:

$$\frac{V_{afluente}}{S_{afluente}} < 2 \quad e \quad \frac{\Delta H}{H_0} > 0,15 \quad (8)$$

Em que: $S_{afluente}$ = deflúvio sólido afluente no tempo ΔT (em m^3);

ΔH = amplitude de variação do NA no reservatório no tempo ΔT (em m);

H_0 = profundidade média da água acima da tomada d'água em ΔT (em m).

- **Critério III de Zhide (1998)**

Outra regra de classificação apresentada por **Zhide (1998)** define o tipo de depósito de sedimentos em reservatórios utilizando o seguinte critério:

Formação em delta:

$$\frac{C * V_{reservatorio}}{Q} > 10^8 \quad e \quad \frac{\Delta H}{H_0} < 0,1 \quad (9)$$

Formação em camada estreita:

$$0,25 * 10^8 < \frac{C * V_{reservatorio}}{Q} < 10^8 \quad e \quad 0,1 < \frac{\Delta H}{H_0} < 1 \quad (10)$$

Formação em cunha:

$$\frac{C * V_{reservatorio}}{Q} < 0,25 * 10^8 \quad e \quad \frac{\Delta H}{H_0} > 0,1 \quad (11)$$

Em que:

C = Concentração média de sedimentos (em kg/m^3);

Q = Descarga Líquida (m^3/s).

- **Critério IV de Zhide (1998)**

Segundo **Carvalho (2008)**, outro critério importante é definido por **Luo** no trabalho de **Zhide (1998)**, que utiliza o seguinte parâmetro:

$$Critério_{IV} = \frac{S_{afluente}}{\gamma_{aparente} * V_{reservatorio}} \quad (12)$$

Em que:

S_{afluente} = Deflúvio Sólido Médio Anual (em t/ano);

γ_{aparente} = Peso específico aparente (em t/m³).

Segundo esse critério, a classificação do tipo de deposição de sedimentos no reservatório é feita respeitando as seguintes condições:

Formação de delta: Critério_{IV} com valor entre 0,78 e 1,75;

Formação de camada: Critério_{IV} com valor entre 1,10 a 3,98;

Formação de cunha: Critério_{IV} com valor entre 4,38 a 5,20.

- **Outras Classificações**

Segundo **Zhide (1998) apud Carvalho (2008)** os reservatórios podem ser classificados de acordo com os parâmetros abaixo, tendo a concentração como terceira variável:

$$\phi = \frac{V_{\text{reservatorio}}}{S_{\text{afluente}}} \quad e \quad \psi = \frac{V_{\text{reservatorio}}}{S_{\text{afluente}}} \quad (13)$$

Em que:

$V_{\text{reservatorio}}$ = Capacidade do reservatório (em m³);

S_{afluente} = Deflúvio sólido afluente em (m³/ano);

V_{afluente} = Volume de água afluente (em m³).

Considerando que os reservatórios vão se assoreando, esses parâmetros vão mudando com o tempo e, em consequência, a classificação.

Essa sedimentação que provoca o assoreamento dos reservatórios é um problema universal e os reservatórios têm diferentes comportamentos na formação dos depósitos. Segundo **Zhide (1998) apud Carvalho (2008)** existem três grupos de reservatórios classificados segundo os valores de Φ e Ψ , os quais representando diferentes tipos de rios, como segue:

- O primeiro grupo de reservatórios são aqueles de rios de águas limpas onde a concentração afluente média anual do reservatório é $< 1 \text{ kg/m}^3$;
- O segundo grupo inclui reservatórios com valores médios afluentes com concentração média anual compreendida entre 1 a 10 kg/m^3 .
- O terceiro grupo inclui rios com grande carga sólida afluente com concentração média anual maior que 10 kg/m^3 .

De acordo com a posição de um determinado reservatório, Φ representa um índice de gravidade da sedimentação. Quando esse índice é maior que 100, pode-se afirmar que o fenômeno de assoreamento não representa um problema importante para o reservatório, enquanto que no caso $\Phi < 100$ o assoreamento representa um problema sério (a maioria dos reservatórios se encontra nesse grupo).

5.4. Previsão do Assoreamento do Reservatório

A seguir será apresentado o conceito básico utilizado em todos os algoritmos de estudo de assoreamento, sendo que no **Item 6.5** deste relatório, são apresentados os resultados obtidos para o reservatório da UHE Teles Pires, utilizando o método de **Borland & Miller** que é o método empregado pelos softwares **SEDIMENT** e **DPOSIT**, desenvolvidos por Anderson Braga da ELETROBRAS.

5.4.1. Equação Básica para o Cálculo do Assoreamento

Para o cálculo preliminar do assoreamento utilizam-se as seguintes expressões:

$$S = \frac{D_{st} * E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 * Q_{st} * E_r}{\gamma_{ap}} \quad (14)$$

$$T = \frac{V_{reservatório}}{S} \quad (15)$$

Em que:

S- Volume de sedimento retido no reservatório [m³/ano];

D_{st} - Deflúvio sólido total médio anual afluyente ao reservatório [t/ano];

E_r - Eficiência de Retenção do sedimento afluyente ao reservatório [t/ano];

Y_{ap} - Peso específico aparente médio dos depósitos [t/m³];

Q_{st} - Descarga sólida total média afluyente ao reservatório [t/dia];

T - Tempo de assoreamento de um determinado volume [anos];

V_{reservatorio} - Volume do reservatório total, volume morto ou outro [m³].

Os valores de D_{st}, Q_{st}, E_r, Y_{ap} e V_{reservatorio} são variáveis com o tempo, sendo que a descarga sólida varia com o aumento da erosão na bacia, a qual aumenta a quantidade de sedimento transportado pelo curso d'água. Da mesma forma, a eficiência de retenção de sedimentos no reservatório diminui à medida que aumentam os depósitos de sedimentos em seu interior. Além disso, o peso específico aparente dos sedimentos depositados no reservatório

umenta com o passar do tempo, visto que esses sedimentos sofrem compactação devido ao próprio peso e ao peso dos sedimentos que se depositam acima destes.

6. RESULTADOS

6.1. Medições de Vazão e Descargas Sólidas

Os principais resultados das medições de vazão realizadas durante as campanhas de campo de julho e outubro de 2016 são apresentados na **Tabela 1**. As **Figuras 5 a 12** apresentam as seções das medições de vazão que foram feitas utilizando o ADCP e são apresentadas em um esquema falsa cor, ilustrando a variação da velocidade da água em cada transecto. Os detalhes das medições de vazão são apresentados no **ANEXO 2**.

Tabela 1. Resumo das medições de hidrometria, com destaque a vazão calculada. As datas e os horários das medições também são apresentados.

Estação	Data e Horário do Início da Medição	Vazão (m ³ /s)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Área da Seção (m ²)
UHE Teles Pires Montante 1	15/07/2016 – 16:37 h	557,737 ± 13,984	358,801 ± 0,775	0,171 ± 0,005	3.267,966 ± 58,200
UHE Teles Pires Jusante	20/07/2016 – 13:58 h	506,427 ± 12,053	191,223 ± 0,646	0,234 ± 0,004	2.162,305 ± 33,747
UHE Teles Pires Rio Paranaíta	21/07/2016 – 13:06 h	3,698 ± 0,057	38,284 ± 0,434	0,035 ± 0,001	104,743 ± 0,158
UHE Teles Pires Montante 2	19/07/2016 – 11:27 h	513,043 ± 4,264	382,232 ± 1,038	0,262 ± 0,002	1.957,199 ± 17,813
UHE Teles Pires Montante 1	21/10/2016 – 16:58 h	543,635 ± 17,296	360,049 ± 0,252	0,169 ± 0,005	3.225,817 ± 21,528
UHE Teles Pires Jusante	02/11/2016 – 12:41 h	743,287 ± 63,350	138,271 ± 1,075	0,332 ± 0,026	2.237,505 ± 13,822
UHE Teles Pires Rio Paranaíta	21/10/2016 – 11:27 h	2,604 ± 0,079	38,426 ± 0,940	0,027 ± 0,002	98,464 ± 8,518
UHE Teles Pires Montante 2	29/10/2016 – 10:17 h	649,011 ± 7,156	371,212 ± 4,415	0,323 ± 0,003	2.007,092 ± 18,885

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

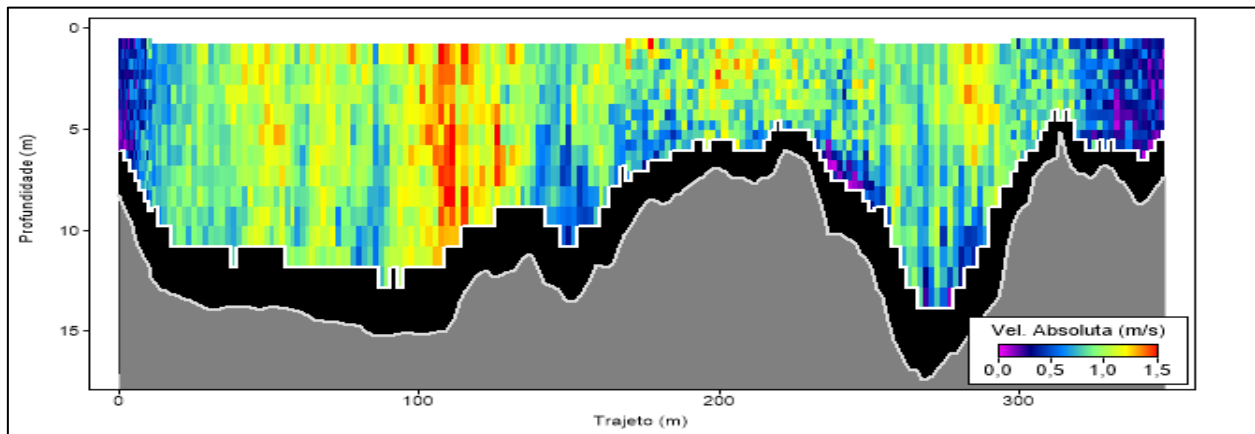


Figura 5. Resultado da medição de vazão realizada no dia 15 de julho de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Montante 1. Cores quentes (tons de vermelho e amarelo) indicam velocidades maiores, enquanto que cores frias (tons de azul) indicam velocidades de corrente menores para a velocidade da água (veja legenda junto a figura). A parte preta indica um descarte da medição de velocidade da água próximo ao leito devido às incertezas referentes a alta reflexão do sinal *doppler* pela matéria orgânica, vegetação e transporte de sedimentos de arrasto. Nessa área a velocidade da água é interpolada exponencialmente conferindo um melhor resultado. O limite branco junto a área cinza indica o leito do rio.

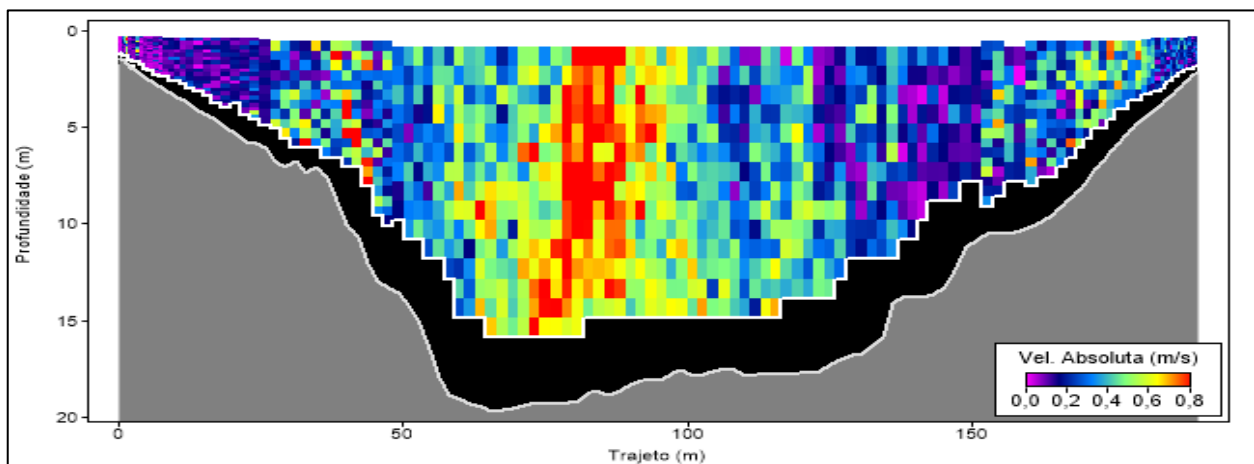


Figura 6. Resultado da medição de vazão realizada no dia 20 de julho de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Jusante. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

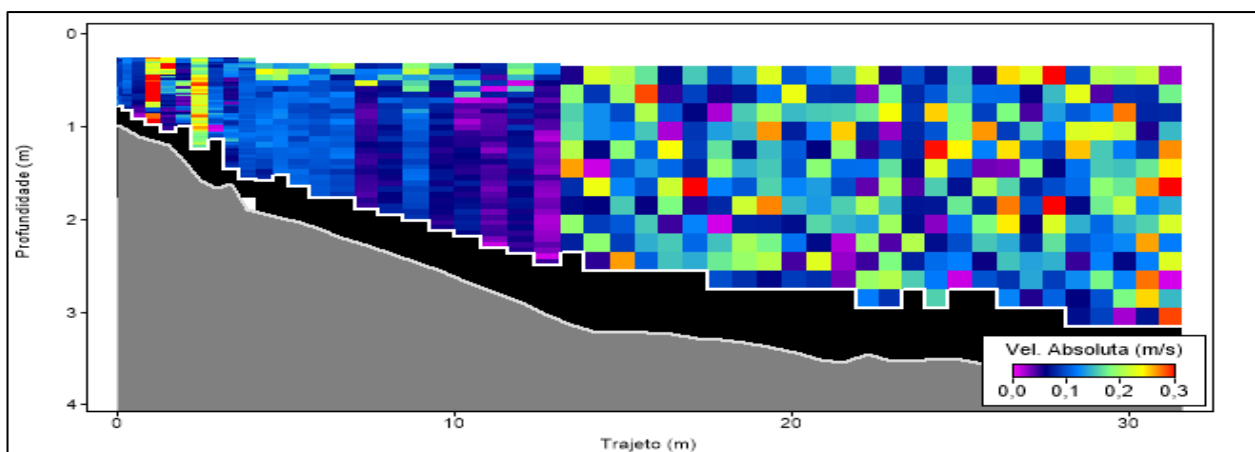


Figura 7. Resultado da medição de vazão realizada no dia 21 de julho de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Rio Paranaíta. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

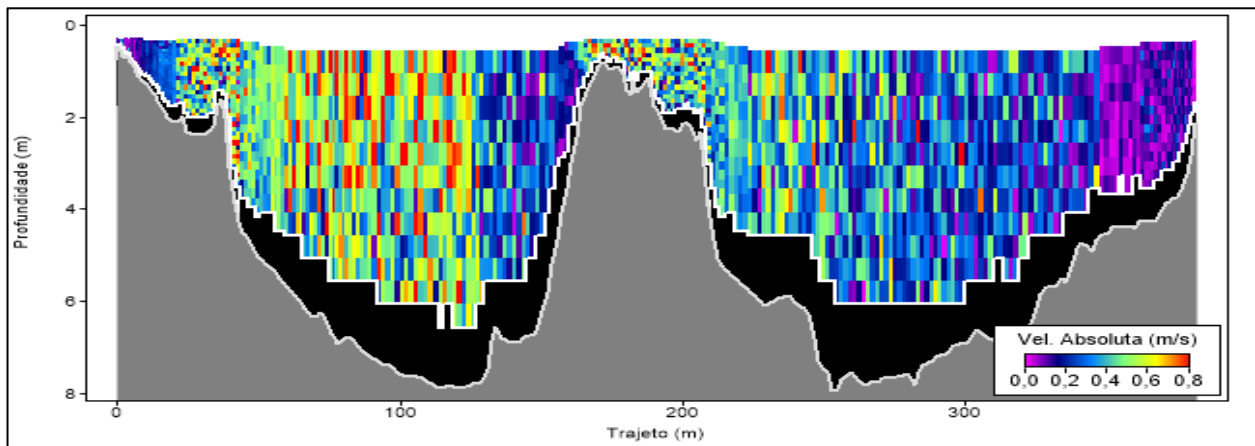


Figura 8. Resultado da medição de vazão realizada no dia 19 de julho de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Montante 2. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

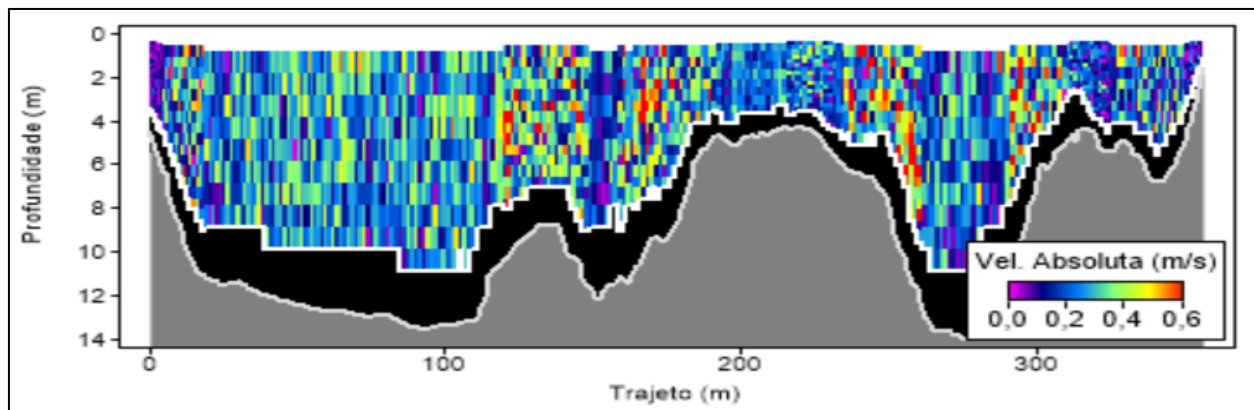


Figura 9. Resultado da medição de vazão realizada no dia 21 de outubro de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Montante 1. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

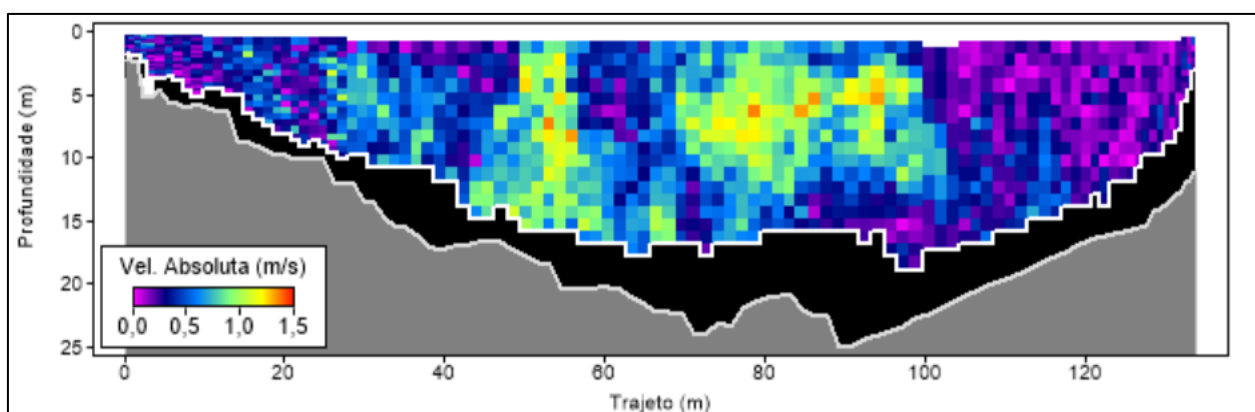


Figura 10. Resultado da medição de vazão realizada no dia 02 de novembro de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Jusante. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

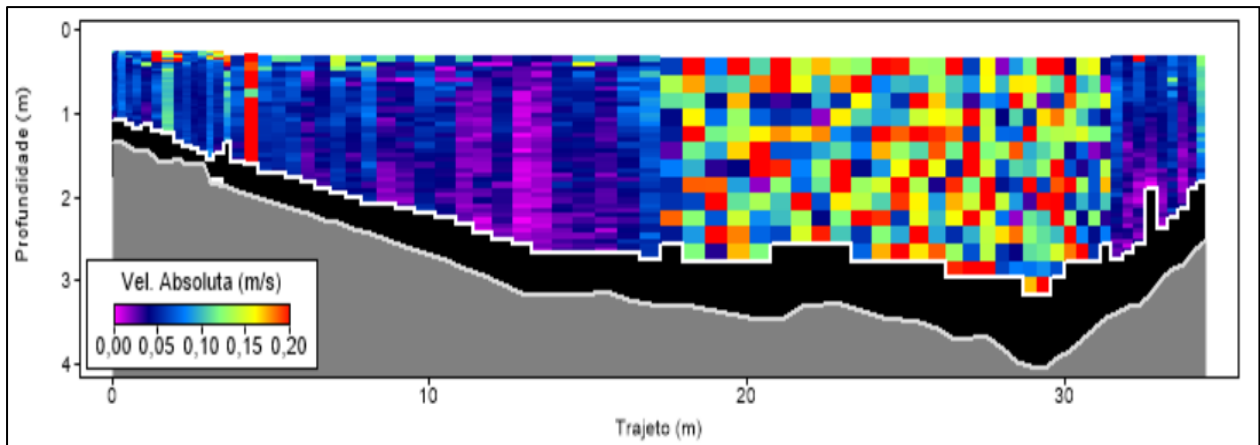


Figura 11. Resultado da medição de vazão realizada no dia 21 de outubro de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Rio Paranaíba. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

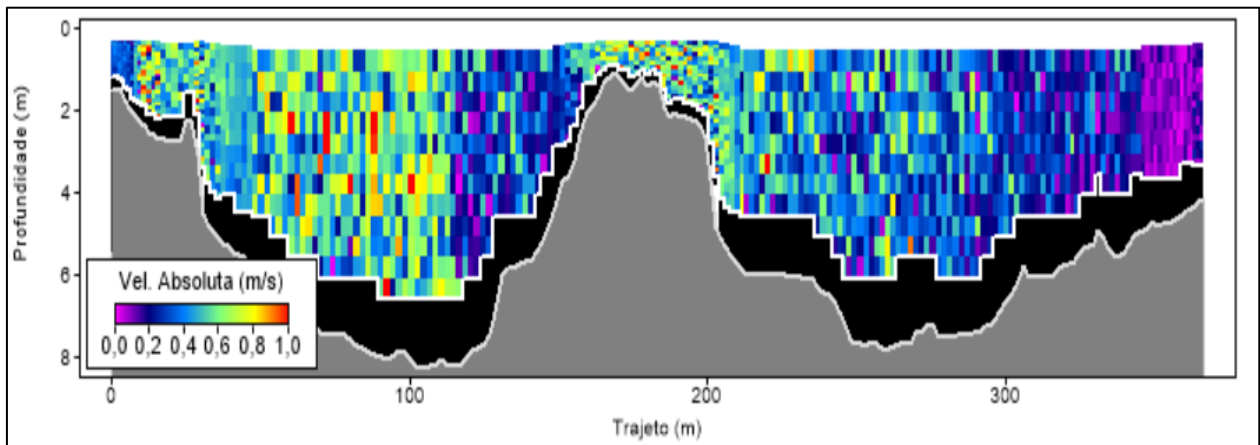


Figura 12. Resultado da medição de vazão realizada no dia 29 de outubro de 2016, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires Montante 2. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 5**.

Juntamente com as medições de vazão também foram coletadas as amostras de sedimentos. Nas **Tabelas 2 e 3** são apresentadas as concentrações dos materiais em suspensão e as granulométricas dos materiais de suspensão e leito. Os detalhes das análises de sedimentos são apresentados no **ANEXO 3**.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Tabela 2. Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em julho de 2016 nas estações hidrométricas da UHE Teles Pires. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		UHE Teles Pires Montante 1	UHE Teles Pires Jusante	UHE Teles Pires Rio Paranaíta	UHE Teles Pires Montante 2
LEITO	D10 (mm)	0,379	0,142	0,077	0,345
	D30 (mm)	0,653	0,199	0,112	0,703
	D35 (mm)	0,715	0,213	0,121	0,823
	D50 (mm)	0,901	0,259	0,160	1,279
	D60 (mm)	1,064	0,310	0,186	1,644
	D65 (mm)	1,225	0,335	0,200	1,827
	D75 (mm)	1,546	0,385	0,226	2,387
	D90 (mm)	2,179	0,461	0,379	3,488
	Cascalho (%)	10,85	0,00	0,00	30,26
	Areia Grossa (%)	31,15	0,31	0,46	27,36
	Areia Média (%)	56,09	51,57	15,75	39,38
	Areia Fina (%)	1,88	47,92	82,04	2,98
	Silte + Argila (%)	0,02	0,20	1,74	0,01
SUSPENSÃO	Areia (%)	26,5	28,9	14,9	45,1
	Silte (%)	48,5	16,9	66,4	37,1
	Argila (%)	25,0	54,2	18,7	17,8
	Concentração (ppm)	12,79	11,62	14,01	13,31

Tabela 3. Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em outubro de 2016 nas estações hidrométricas da UHE Teles Pires. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		UHE Teles Pires Montante 1	UHE Teles Pires Jusante	UHE Teles Pires Rio Paranaíta	UHE Teles Pires Montante 2
LEITO	D10 (mm)	0,245	0,174	0,073	0,152
	D30 (mm)	0,322	0,304	0,108	0,297
	D35 (mm)	0,340	0,329	0,116	0,338
	D50 (mm)	0,395	0,404	0,159	0,462
	D60 (mm)	0,431	0,454	0,193	0,856
	D65 (mm)	0,450	0,480	0,211	1,639
	D75 (mm)	0,486	0,630	0,246	-
	D90 (mm)	0,785	0,959	0,617	-
	Cascalho (%)	0,00	0,00	0,00	33,38
	Areia Grossa (%)	1,57	8,09	1,52	4,44
	Areia Média (%)	88,18	72,62	22,03	37,85
	Areia Fina (%)	10,22	18,91	72,80	23,41
	Silte + Argila (%)	0,04	0,38	3,65	0,91
SUSPENSÃO	Areia (%)	39,6	18,4	32,9	11,0
	Silte (%)	32,0	57,6	42,5	47,3
	Argila (%)	28,4	24,0	24,6	41,7
	Concentração (ppm)	14,04	11,42	29,47	17,55

Os principais resultados de descargas líquidas e descargas sólidas em suspensão e totais referentes as coletas de campo realizadas de setembro de 2012 a outubro de 2016 nas estações hidrométricas Montante 1, Jusante, Rio Paranaíta e Montante 2 são apresentados na **Tabela 4** e nas **Figuras 13 a 16**.

Tabela 4. Descargas líquidas e sólidas das campanhas realizadas nas estações hidrométricas da UHE Teles Pires. As descargas sólidas totais apresentadas foram calculadas pelo método de **Colby (1957)**.

Mês	Medida	UHE Teles Pires Montante 1	UHE Teles Pires Rio Paranaíta	UHE Teles Pires Jusante	UHE Teles Pires Montante 2
Set/12	Q (m ³ /s)	340,5± 3,9	1,63 ± 0,04	551,3 ± 15,2	641,8 ± 9,1
	Qss (t/dia)	109	1,03	197	307
	Qst (t/dia)	145	1,05	336	788
Out/12	Q (m ³ /s)	818,783 ± 18,946	27,687 ± 0,304	902,706 ± 17,321	788,338 ± 14,839
	Qss (t/dia)	1.050	56	678	1.249
	Qst (t/dia)	1.249	75	803	1.580
Jan/13	Q (m ³ /s)	3.206,6 ± 20,0	148,5 ± 3,2	*	3.279,6 ± 14,13
	Qss (t/dia)	6.228	339	*	8.387
	Qst (t/dia)	8.793	421	*	12.284
Abr/13	Q (m ³ /s)	4.705,125 ± 104,080	212,877 ± 4,641	4.793,620 ± 104,720	4.394,864 ± 17,424
	Qss (t/dia)	7.769	389	8.519	8.380
	Qst (t/dia)	11.203	400	12.158	13.240
Jul/13	Q (m ³ /s)	1.004,113 ± 17,523	28,206 ± 0,618	1.132,209 ± 38,346	1.036,586 ± 16,477
	Qss (t/dia)	1.622	56	2.011	1.759
	Qst (t/dia)	1.971	66	2.043	1.866
out/13	Q (m ³ /s)	689,636 ± 11,521	10,881 ± 0,104	837,621 ± 88,697	959,259 ± 10,221
	Qss (t/dia)	1.078	36	1.280	1.780
	Qst (t/dia)	1.251	38	1.732	2.643
Fev/14	Q (m ³ /s)	4.684,2±5,8	110,6±2,6	4.749,7±81,7	4.746,6±52,8
	Qss (t/dia)	7.985	171	8.027	8.164
	Qst (t/dia)	14.987	268	15.962	17.057
**Mar/14	Q (m ³ /s)	7.928,674±19,054	-	-	6.939,594±47,935
	Qss (t/dia)	-	-	-	-
	Qst (t/dia)	-	-	-	-
Abr/14	Q (m ³ /s)	5.035,186±75,456	211,807±6,603	***3.694,475±109,725	4.502,212±30,415
	Qss (t/dia)	6.373	222	6.809	6.788
	Qst (t/dia)	12.160	453	12.406	13.876
Jul/14	Q (m ³ /s)	990,651 ± 7,284	19,539 ± 0,252	979,404 ± 34,193	927,119 ± 10,730
	Qss (t/dia)	1.431	16	1.774	1.266
	Qst (t/dia)	1.846	19	2.268	1.905
Out/14	Q (m ³ /s)	614,435 ± 2,915	4,687 ± 0,097	891,032 ± 122,39	525,027 ± 7,942
	Qss (t/dia)	659	7,026	1.037	581
	Qst (t/dia)	754	7,302	1.442	772

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Mês	Medida	UHE Teles Pires Montante 1	UHE Teles Pires Rio Paranaíta	UHE Teles Pires Jusante	UHE Teles Pires Montante 2
Jan/15	Q (m ³ /s)	2.350,922 ± 9,398	94,552 ± 1,143	3.138,790 ± 47,006	3.072,308 ± 15,671
	Qss (t/dia)	4.137	177	3.195	5.916
	Qst (t/dia)	6.231	245	6.784	7.380
Abr/15	Q (m ³ /s)	4.102,430 ± 101,440	113,732 ± 1,733	4.321,632 ± 133,352	3.573,947 ± 11,782
	Qss (t/dia)	5.161	155	4.615	4.845
	Qst (t/dia)	9.324	257	9.702	9.648
Jul/15	Q (m ³ /s)	1.089,616 ± 34,505	28,824 ± 0,460	925,797 ± 17,948	799,872 ± 1,208
	Qss (t/dia)	1.133	23	657	590
	Qst (t/dia)	1383	30	952	964
Out/15	Q (m ³ /s)	648,498 ± 3,956	5,074 ± 1,064	734,743 ± 15,522	609,867 ± 64,399
	Qss (t/dia)	675	6,72	607	705
	Qst (t/dia)	780	6,82	798	947
Jan/16	Q (m ³ /s)	3.304,675 ± 21,908	45,964 ± 0,638	2.890,366 ± 89,171	3.110,909 ± 7,399
	Qss (t/dia)	7.175	142	2.665	7.854
	Qst (t/dia)	11.582	170	5.151	13.225
****Mai/16	Q (m ³ /s)	1.311,230 ± 29,041	38,800 ± 1,410	670,373 ± 1,669	1.389,515 ± 6,487
	Qss (t/dia)	1.955	69	628	2.037
	Qst (t/dia)	2.580	85	835	3.149
Jul/16	Q (m ³ /s)	557,737 ± 13,984	3,698 ± 0,057	506,427 ± 12,053	513,043 ± 4,264
	Qss (t/dia)	616	4,48	508	590
	Qst (t/dia)	717	4,61	638	781
Out/16	Q (m ³ /s)	543,635 ± 17,296	2,604 ± 0,079	743,287 ± 63,350	649,011 ± 7,156
	Qss (t/dia)	659	6,63	733	984
	Qst (t/dia)	753	6,73	1003	1.322

*Na campanha de janeiro de 2013 não foi possível realizar medições de vazão na estação UHE Teles Pires devido a enchente com alta vazão concentrada no trecho do Rio Teles Pires onde as seções são realizadas, o que impôs uma alta velocidade a água e gerou risco na realização da medição.

**Medições de vazão adicionais, devido a cheia extraordinária ocorrida na região da UHE Teles Pires durante o mês de março de 2014.

***Na estação UHE Teles Pires Jusante, durante a campanha de abril de 2014, ocorreu um problema técnico com o equipamento de medição (ADCP), sendo que a medição teve que ser adiada para o dia 08 de maio de 2014.

**** Na estação UHE Teles Pires Jusante, durante a campanha de maio de 2016, primeiramente a medição de vazão foi realizada a partir do molinete hidrométrico, porém, devido a extensão das seções de medição e pela dificuldade de ancoragem do barco, optou-se por refazer a medição utilizando do ADCP, que ocorreu no dia 26 de junho de 2016.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

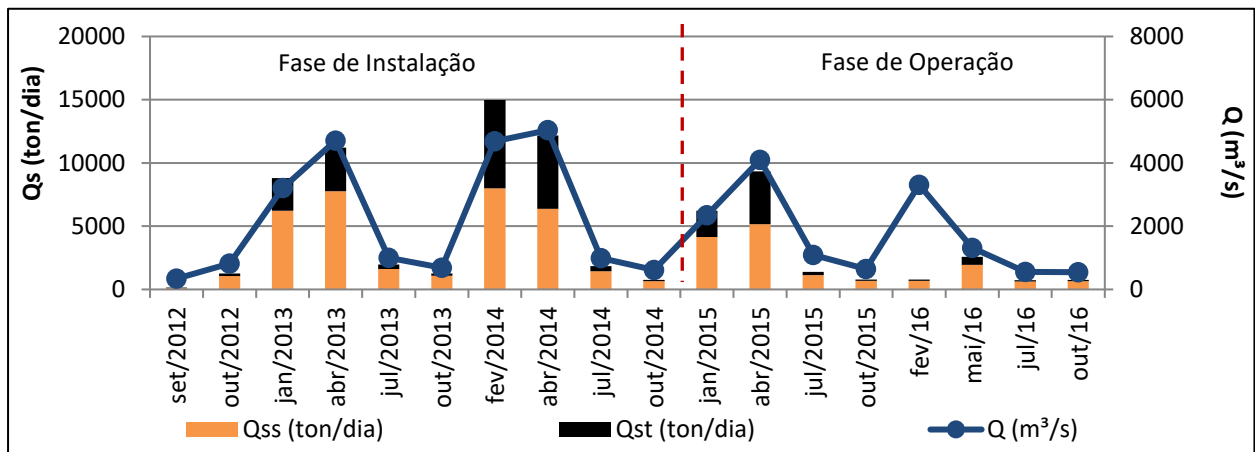


Figura 13. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires Montante 1 nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2016.

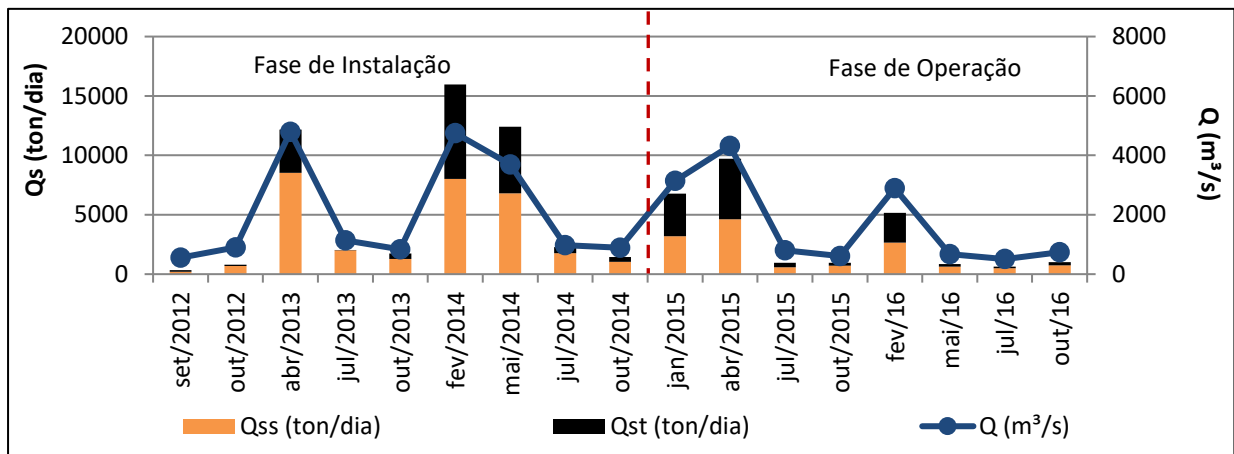


Figura 14. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires Jusante nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2016.

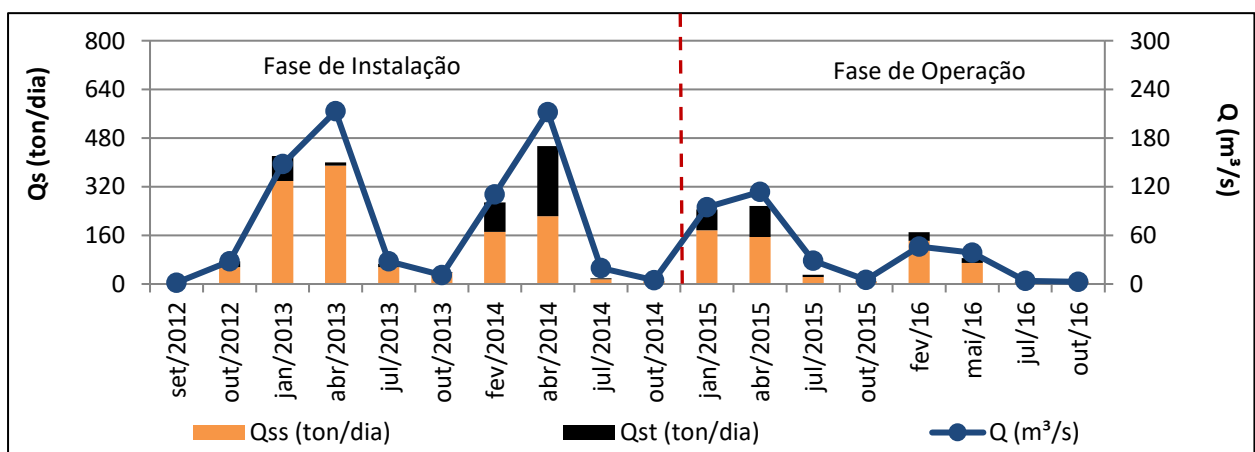


Figura 15. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires Rio Paranaíta nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2016.

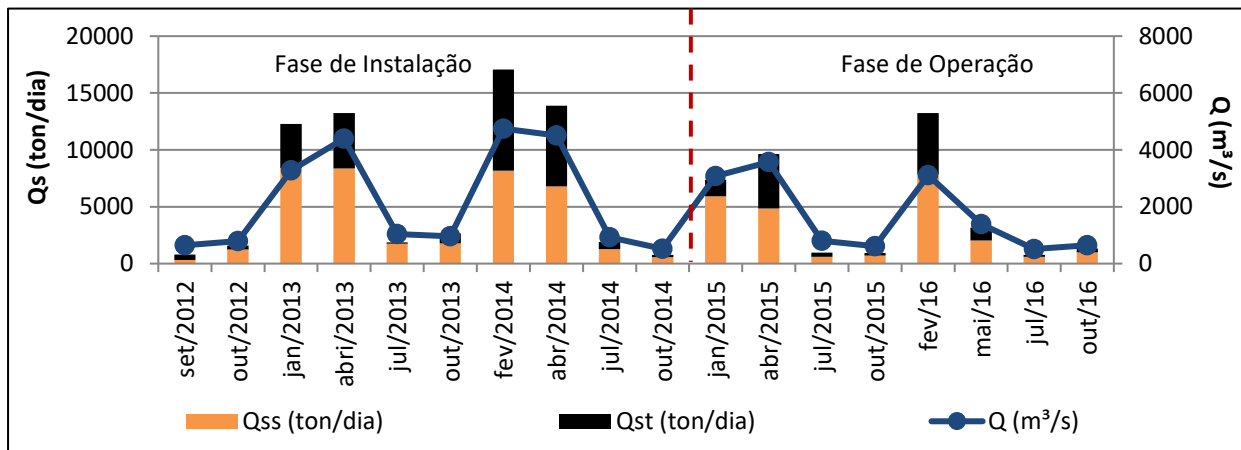


Figura 16. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires Montante 2 nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2016.

Os rios Teles Pires e Paranaíta apresentaram baixas concentrações de sedimentos em suspensão, sendo que nas campanhas de julho e outubro de 2016 a granulometria predominantemente nos rios foi de silte. Quanto à análise granulométrica do sedimento de fundo, o rio Paranaíta apresentou leito com predominância de areia fina, e o rio Teles Pires nos trechos das estações Montante 1 e Jusante, apresentou leito com predominância de areia média. No trecho da estação Montante 2, prevaleceu também a presença de areia média, seguida de cascalho. Os sedimentos que alcançam a região de monitoramento são originários da área de drenagem contribuinte e são transportados, principalmente, através da rede principal do canal fluvial. A produção desses sedimentos derivados da área de drenagem é dependente principalmente do escoamento das águas da chuva com o carreamento dos sedimentos e das características de transporte no curso d’água, além da erosão da margens, que, de acordo com o “Programa de Monitoramento de Estabilidades das Encostas Marginais Sujeitas a Processos Erosivos”, se encontram em um bom estado de preservação.

Com relação ao aporte de sedimentos logo a jusante do eixo da barragem, nota-se menores quantidades de sedimentos transportados pelo rio Teles Pires no trecho da estação Jusante. Este comportamento, já esperado, ocorre principalmente devido ao barramento que retém parte dos sedimentos em suspensão transportados. É importante ressaltar que, apesar do aumentando do poder erosivo da água, no trecho logo a jusante as margens encontram-se estáveis, contribuindo também para a baixa carga de sedimentos no rio (concentração de sedimentos). No entanto, as feições e configurações topográficas com menor estabilidade devem ser sempre acompanhadas junto ao monitoramento de processos erosivos.

6.2. Atualização das Curvas-chave de Vazão

A seguir são apresentadas as curvas-chave de vazão atualizadas para as estações UHE Teles Pires Montante 2 (**Figura 17**) e UHE Teles Pires Rio Paranaíta (**Figura 18**), localizadas a montante do reservatório e fora da área de remanso, e para a estação UHE Teles Pires Jusante (**Figura 19**),

localizada a jusante da barragem. Conforme mencionado nos relatórios anteriores, para a estação UHE Teles Pires Montante 1 (**Figura 20**), com o enchimento do reservatório foi observada a formação de remanso no local onde a estação encontra-se instalada, causando instabilidades hidráulicas, como por exemplo, valores altos de cotas para baixas velocidades da água. A curva-chave de vazão está inteiramente relacionada às características hidráulicas da seção de controle, o que implica na variação da expressão matemática quando há qualquer variação hidráulica. Alterações geométricas na seção, como exemplo, o enchimento de um reservatório, causam mudanças na velocidade do escoamento e nas relações entre a área, raio hidráulico e profundidade, afetando diretamente a relação cota-descarga.

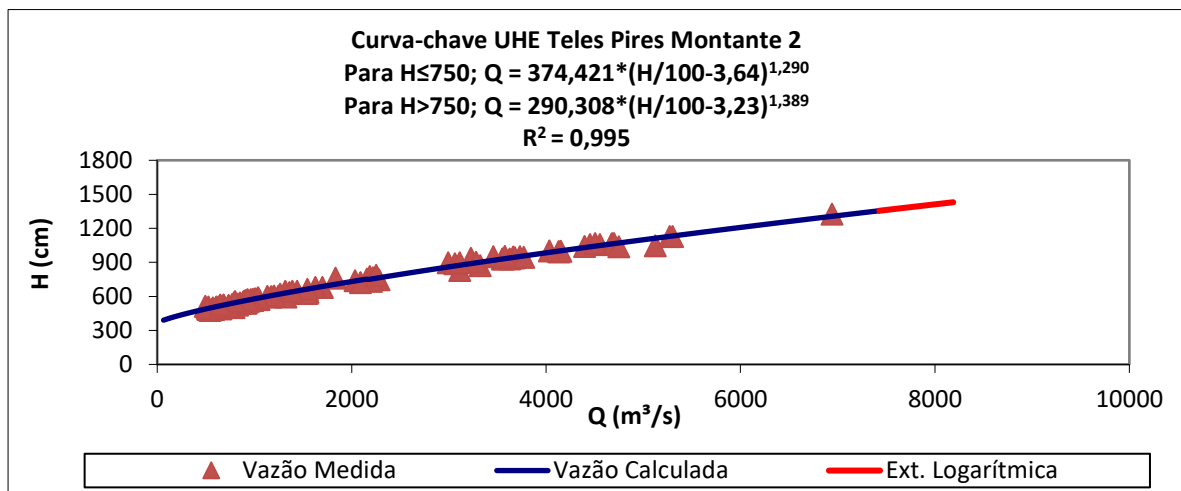


Figura 17. Curva-chave de vazão da estação UHE Teles Pires Montante 2.

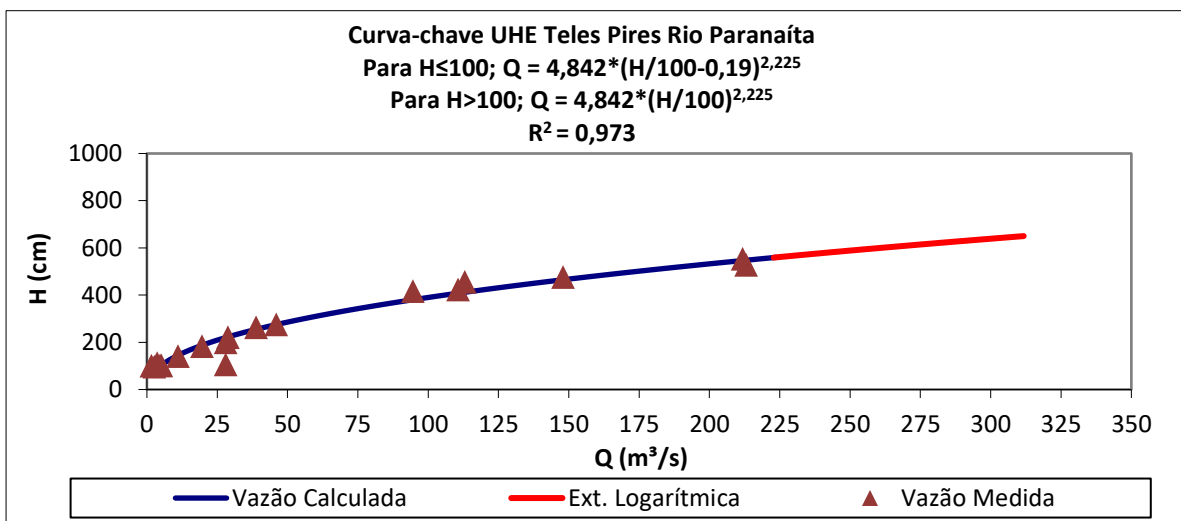


Figura 18. Curva-chave de vazão da estação UHE Teles Pires Rio Paranaíba.

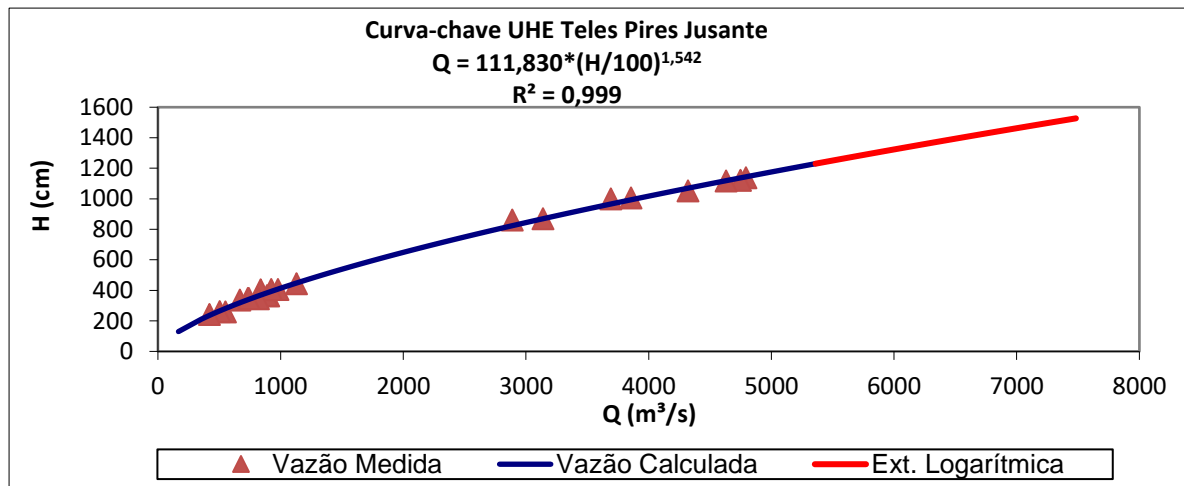


Figura 19. Curva-chave de vazão da estação UHE Teles Pires Jusante.

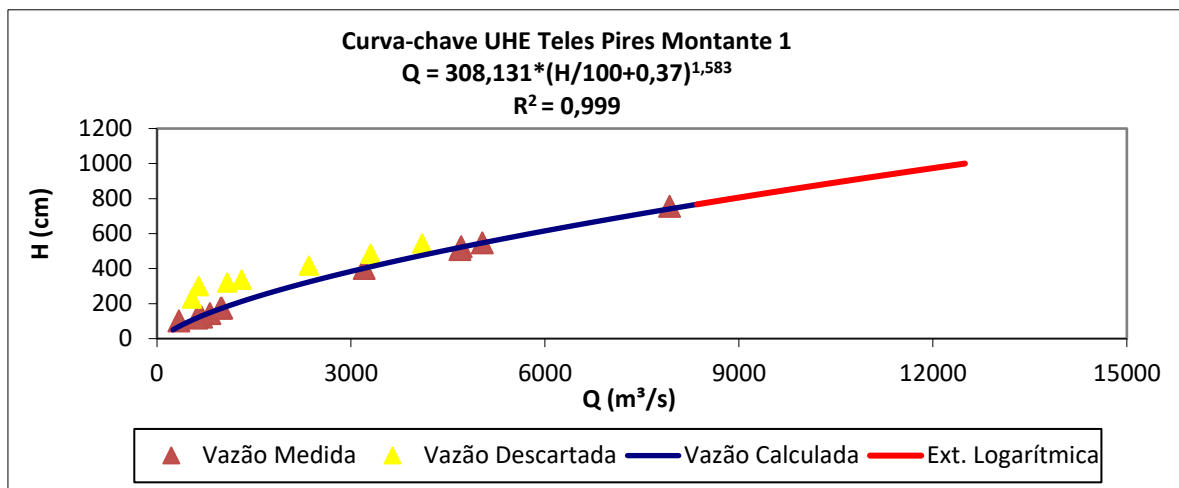


Figura 20. Curva-chave de vazão da estação UHE Teles Pires Montante 1. Foram descartadas as últimas medições que se apresentaram fora do ajuste da curva-chave, com elevados desvios entre a vazão medida e a vazão calculada (medições representadas em amarelo no gráfico).

6.3. Atualização das Curvas-chave de Sedimento

A seguir são apresentadas as curvas-chave de sedimento atualizadas para as estações hidrométricas da UHE Teles Pires (Figuras 21 a 24). As curvas-chave traçadas para as estações apresentaram de uma forma geral um bom ajuste, sendo que o índice de determinação mínimo obtido foi de 0,8798 na estação Jusante e máximo de 0,9309 na estação Rio Paranaíta. Ressalta-se que para uma curva-chave de sedimento, valores de R^2 acima 0,7 são considerados satisfatórios pela literatura (VESTENA, 2009).

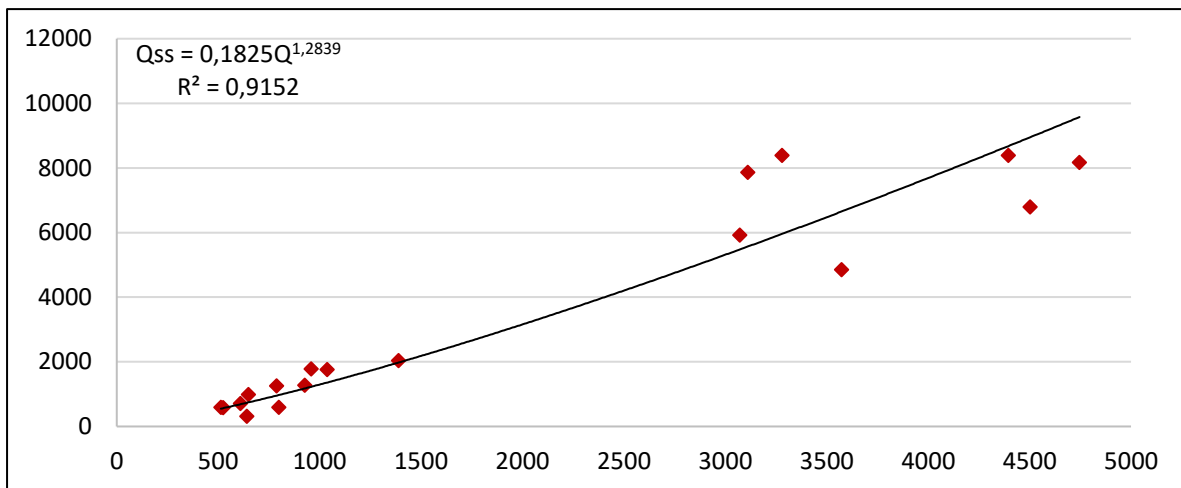


Figura 21. Curva-chave de sedimento da estação UHE Teles Pires Montante 2. (Q) vazão, (Q_{ss}) descarga sólida em suspensão.

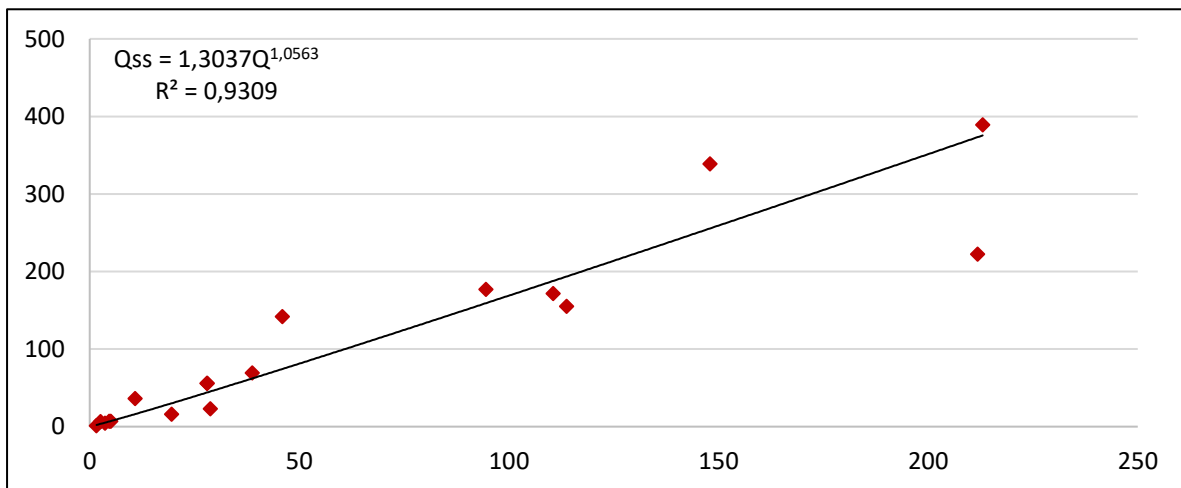


Figura 22. Curva-chave de sedimento da estação UHE Teles Pires Rio Paranaíta. (Q) vazão, (Q_{ss}) descarga sólida em suspensão.

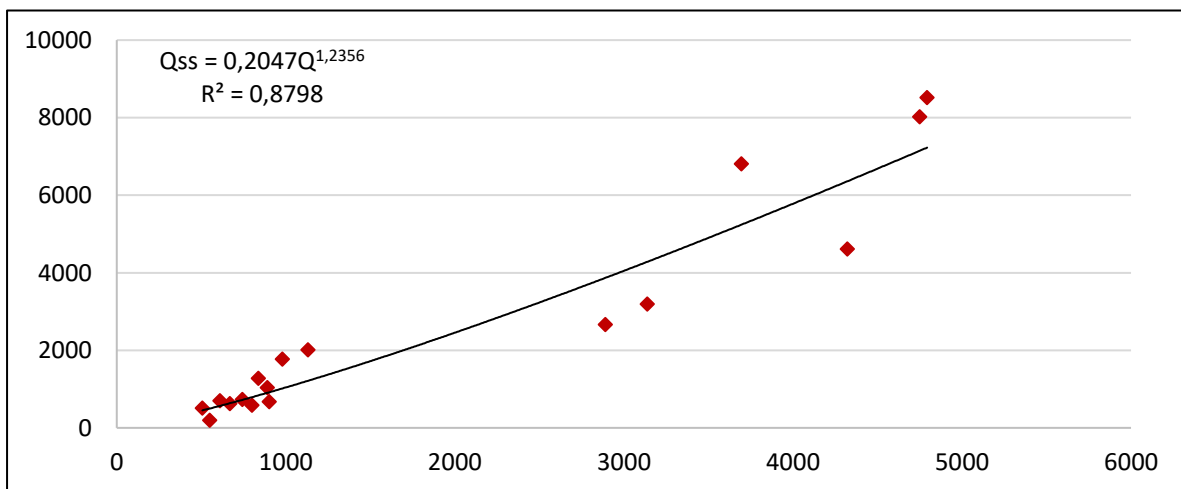


Figura 23. Curva-chave de sedimento da estação UHE Teles Pires Jusante. (Q) vazão, (Q_{ss}) descarga sólida em suspensão.

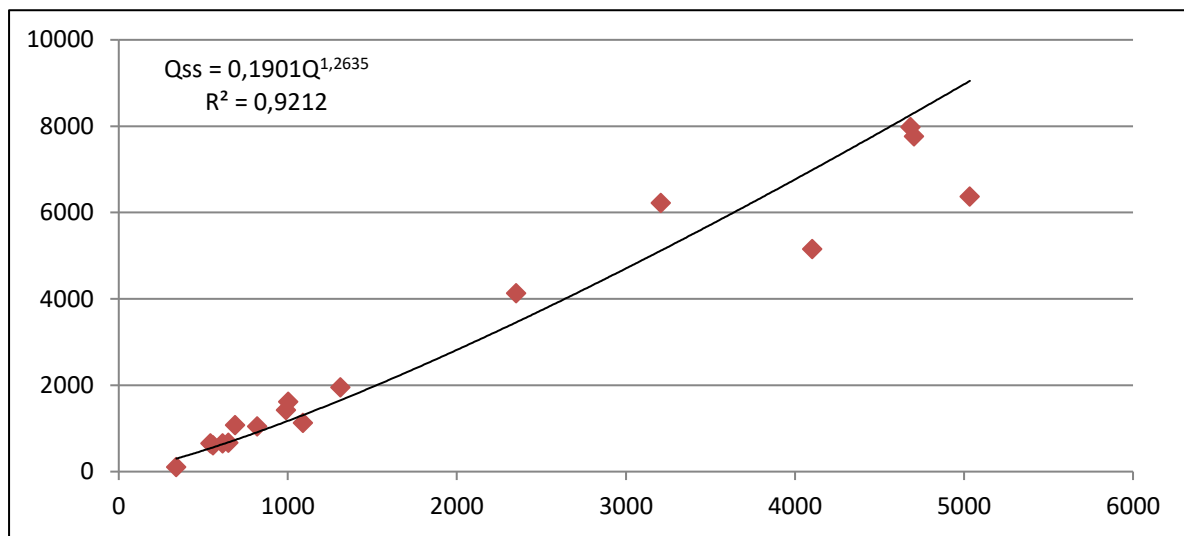


Figura 24. Curva-chave de sedimento da estação UHE Teles Pires Montante 1. (Q) vazão, (Q_{ss}) descarga sólida em suspensão.

6.4. Medidas de Precipitação, Nível e Vazão

6.4.1. Estação UHE Teles Pires Jusante

A **Figura 25** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária na estação UHE Teles Pires Jusante entre julho e dezembro de 2016. Os detalhes com os dados diários da estação são apresentados no **ANEXO 4**. Durante o período em análise, o mês de agosto foi o que apresentou a menor vazão média mensal, de 456 m³/s. Já o mês de dezembro apresentou a maior vazão média, de 2.301 m³/s.

A partir do mês de setembro de 2016, foi observado que a estação vinha apresentando baixos valores de precipitação quando comparados com os registros das demais estações de monitoramento, sendo assim, foi realizada a troca do pluviômetro no dia 17 de novembro de 2016 (**Figura 26**), sendo que desde então a estação vem operando normalmente.

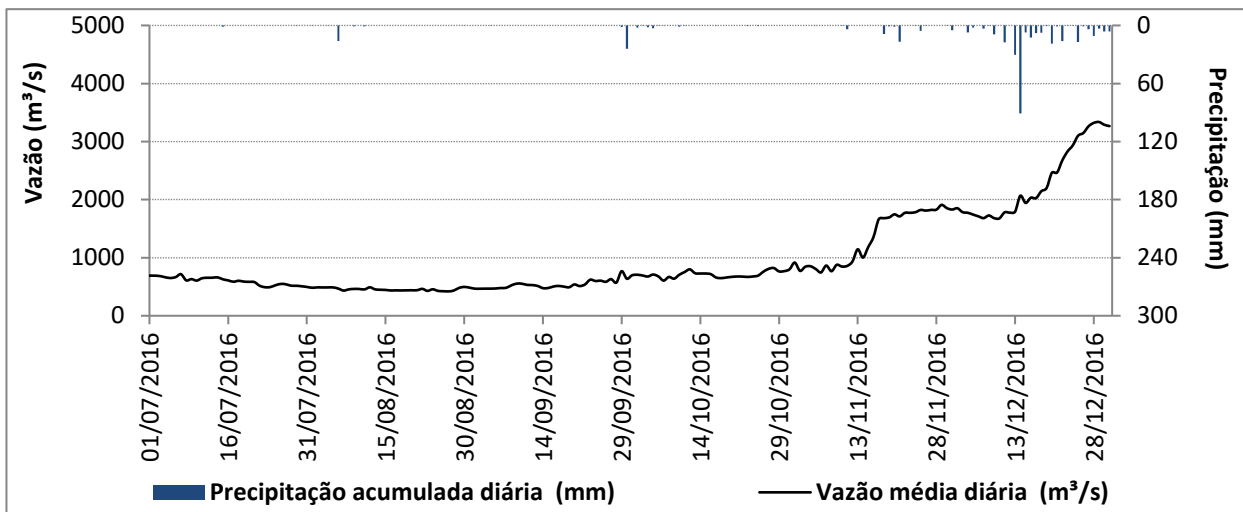


Figura 25. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires Jusante no período de 01 de julho a 31 de dezembro de 2016. Entre setembro e novembro a estação apresentou baixos valores de precipitação, sendo que no dia 17 de novembro foi realizada então a troca do pluviômetro.



Figura 26. Estação hidrométrica UHE Teles Pires Jusante durante vistoria realizada no dia 17 de novembro de 2016. A seta em vermelho indica a estaca instalada próxima a estação para o monitoramento da margem do local.

6.4.2. Estação UHE Teles Pires Montante 2

A **Figura 27** apresenta a estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 durante campanha de campo realizada em julho de 2016 e a **Figura 28** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária registrada na estação no período de julho a

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

dezembro de 2016. Entre julho e dezembro, o mês de agosto foi o que apresentou a menor vazão média mensal, de 419 m³/s, já o mês de dezembro apresentou a maior média mensal, de 2.124 m³/s. O mês de novembro foi o que apresentou a maior taxa de precipitação, com um total acumulado de 475,7 mm. Durante o mês de julho não ocorreu registro de precipitação e durante o mês de agosto a precipitação acumulada foi de apenas 0,8 m.



Figura 27. Estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 durante vistoria realizada no dia 19 de julho de 2016.

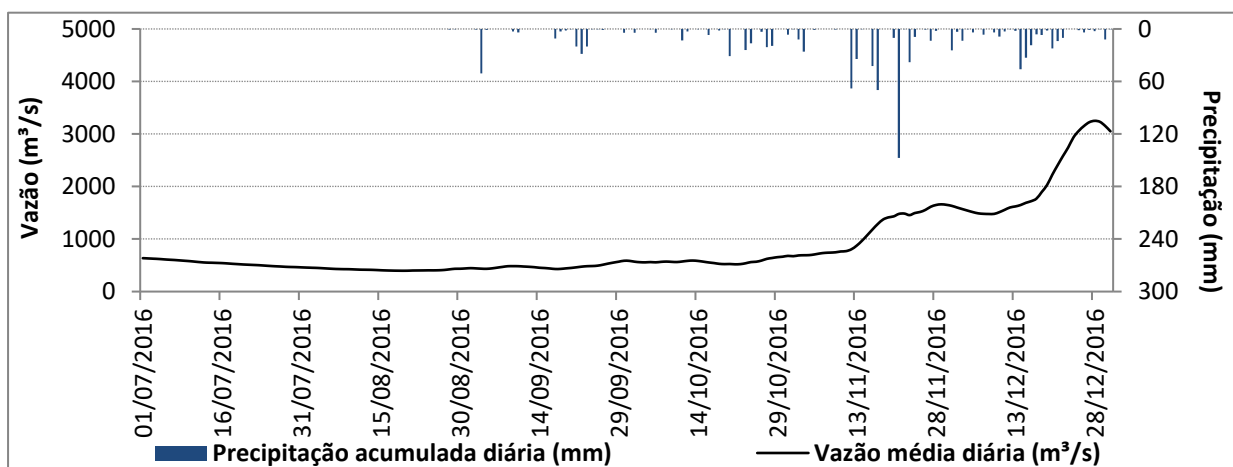


Figura 28. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 no período de 01 de julho a 31 de dezembro de 2016.

6.4.3. Estação UHE Teles Pires Rio Paranaíta

A **Figura 29** apresenta a estação hidrométrica UHE Teles Pires Rio Paranaíta durante campanha de campo realizada em outubro de 2016. Conforme mencionado no relatório anterior, durante vistoria realizada durante o mês maio, foi observado que o cano de proteção do sensor de nível havia se rompido, possivelmente por vandalismo, danificando o sensor. No mês de junho a estação interrompeu também a transmissão dos dados de precipitação. Devido aos problemas apresentados, no dia 02 de setembro novos equipamentos foram instalados em campo, sendo que desde então a estação vem operando normalmente.

Para o período em que a estação não operou, foi realizado o preenchimento dos dados fluviométricos, a partir do método de regressão linear. A série de vazão da estação Rio Paranaíta foi então correlacionada com as vazões médias mensais das demais estações da região (considerando o período que as estações operaram normalmente), tendo em vista identificar a melhor correlação entre os dados. A melhor correlação ocorreu entre a estação Montante 2, que apresentou um R^2 satisfatório de 0,9408 (**Figura 30**), o que permitiu então o preenchimento das falhas, sendo que o gráfico com os dados de vazão da estação é apresentado na **Figura 31**. Com relação as dados de precipitação, optou-se por não realizar o preenchimento dos dados visto que durante os meses de julho e agosto, as precipitações acumuladas das demais estações de monitoramento foram baixas ou iguais a zero, por se tratar do período de seca da região, que ocorre entre julho e setembro.



Figura 29. Estação hidrométrica UHE Teles Pires Rio Paranaíta durante vistoria realizada no dia 21 de outubro de 2016.

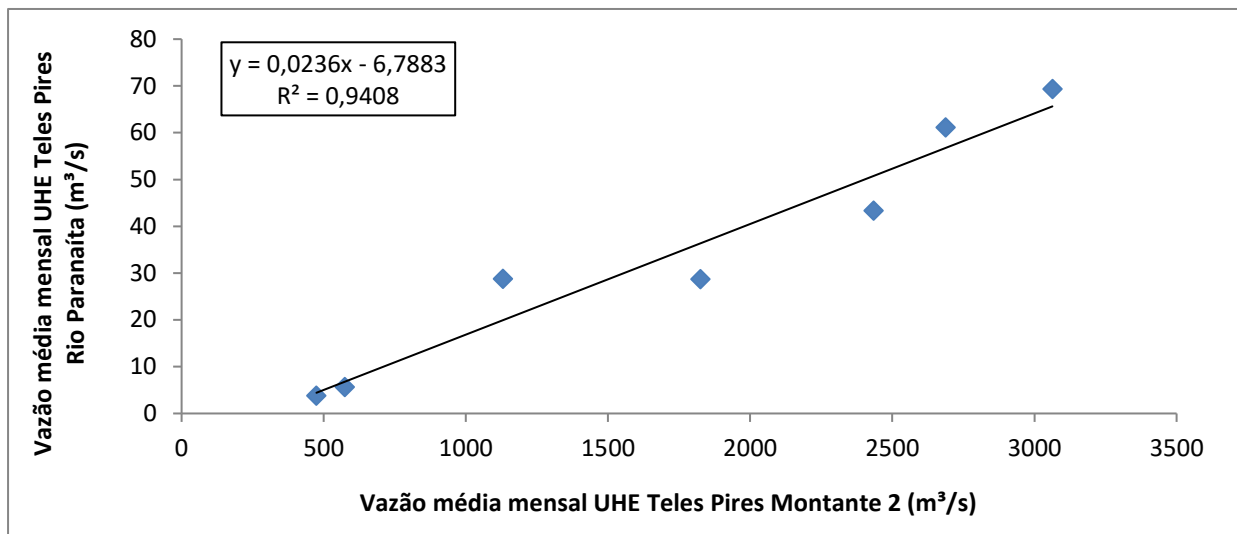


Figura 30. Correlação entre a estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 e a estação hidrométrica UHE Teles Pires Rio Paranaíta.

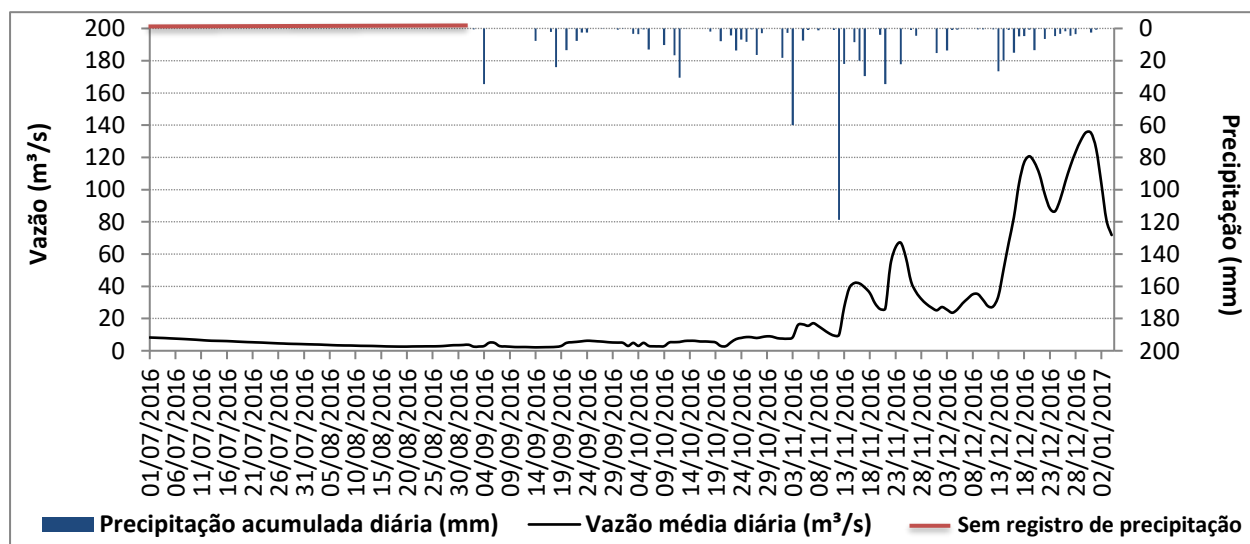


Figura 31. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires Rio Paranaíta no período de 01 de julho a 31 de dezembro de 2016. Entre 01/07/2016 e 01/09/2016 os dados de vazão foram estimados a partir de regressão linear entre as estações UHE Teles Pires Montante 2 e Rio Paranaíta. Entre 01/07/2016 e 01/09/2016 não foram registrados dados de precipitação.

6.4.4. Estação UHE Teles Pires Montante 1

A Figura 32 apresenta a estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 1 durante campanha de campo realizada em outubro de 2016. A partir de 26 de junho a estação apresentou falhas de registro do dados de nível (m) e a partir do dia 23 de julho a estação interrompeu também o registro de precipitação. Devido aos problemas apresentados, no dia 30 de agosto novos equipamentos foram instalados em campo, sendo que desde então a estação vem operando normalmente.

Para o período em que a estação não operou, foi realizado o preenchimento dos dados fluviométricos, a partir do método de regressão linear. A série de nível da estação Montante 1

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

foi então correlacionada com os níveis mensais das demais estações da região (considerando o período que as estações operaram normalmente), tendo em vista identificar a melhor correlação entre os dados. A melhor correlação ocorreu entre a estação Montante 2, que apresentou um R^2 satisfatório de 0,9944 (**Figura 33**), o que permitiu então o preenchimento das falhas, sendo que o gráfico com os dados de nível da estação é apresentado na **Figura 34**. Com relação aos dados de precipitação, optou-se por não realizar o preenchimento dos dados visto que durante os meses de julho e agosto, as precipitações acumuladas das demais estações de monitoramento foram baixas ou iguais a zero, por se tratar do período de seca da região, que ocorre entre julho e setembro.



Figura 32. Estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 durante vistoria realizada no dia 21 de outubro de 2016.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

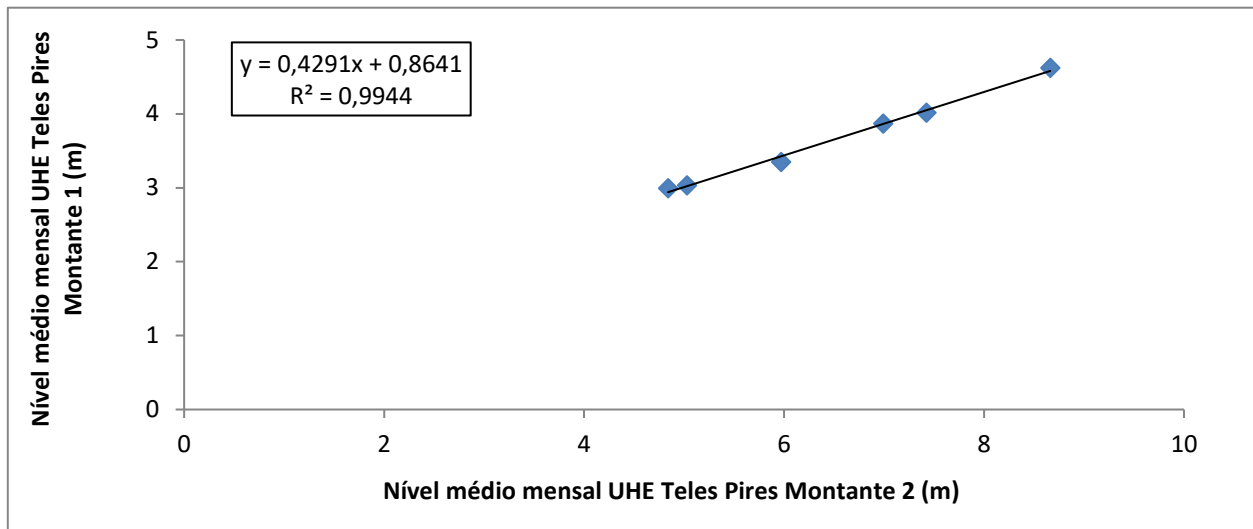


Figura 33. Correlação entre a estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 2 e a estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 1.

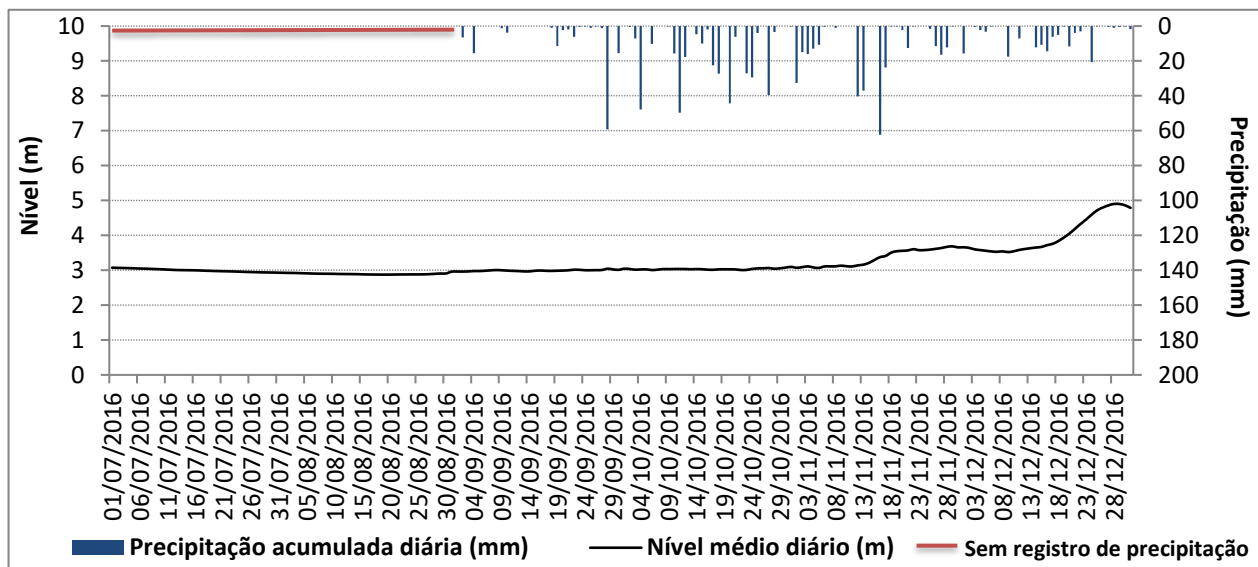


Figura 34. Precipitação (mm) acumulada diária e nível (m) médio diário na estação hidrométrica UHE Teles Pires Montante 1 no período de 01 de julho a 31 de dezembro de 2016. Entre 01/07/2016 e 30/08/2016 os dados de nível foram estimados a partir de regressão linear entre as estações UHE Teles Pires Montante 2 e Montante 1. Entre 01/07/2016 e 30/08/2016 não foram registrados dados de precipitação.

6.4.5. Estação UHE Teles Pires Barramento

Para contribuir com o monitoramento pluviométrico na área de entorno da usina, no dia 6 de outubro de 2016 foi instalado um pluviômetro na estação UHE Teles Pires Barramento (**Figura 35**). A **Figura 36** apresenta então os dados de cota (m) média registrados pela estação entre julho e dezembro, e dados de precipitação acumulada diária (mm) a partir do dia 6 de outubro.



Figura 35. Estação hidrométrica UHE Teles Pires Barramento durante vistoria realizada no dia 06 de outubro de 2016.

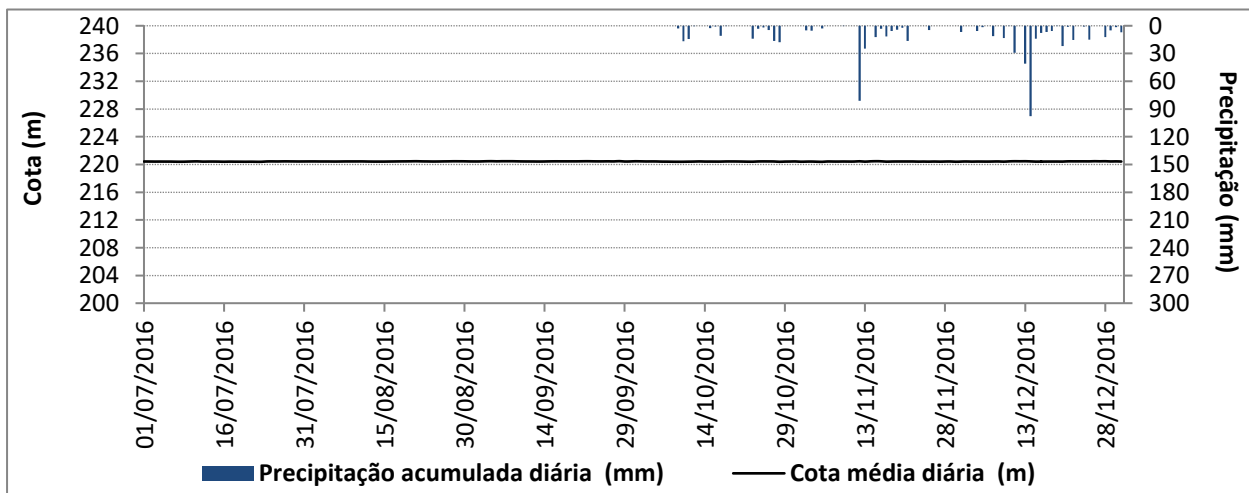


Figura 36. Cota (m) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires Barramento no período de 01 de julho a 31 de dezembro de 2016, e precipitação acumulada diária (mm) no período de 06 de outubro (instalação do pluviômetro) a 31 de dezembro.

6.5. Produção de Sedimentos, Assoreamento e Vida Útil do Reservatório

Na análise hidrossedimentológica da área de entorno do reservatório da UHE Teles Pires, utilizou-se basicamente do histórico de dados das estações de montante da usina, UHE Teles Pires Montante 2, UHE Teles Pires Montante 1 e UHE Teles Pires Rio Paranaíta.

Primeiramente, para determinação da vazão afluente da UHE Teles Pires, foi utilizada a série histórica de vazão da estação UHE Teles Pires Montante 2 (antiga estação da ANA Jusante Foz Peixoto de Azevedo) que possui registros de dados desde 1931. Um ciclo hidrológico completo, em geral, é subdividido em quatro períodos, definidos segundo critérios hidrológicos: seca, enchente, cheia, e vazante. Na **Figura 37** são mostrados então os períodos de cheia, vazante, estiagem (seca) e enchente, estimados para a barragem da UHE Teles Pires a partir das vazões médias mensais observadas na estação Montante 2, entre o período de 1931 e 2016. As vazões mensais da estação Montante 2 foram transferidas para o local da UHE Teles Pires utilizando-se a relação entre as áreas de drenagem (fator de transferência $90.455 \text{ Km}^2/80.247 \text{ Km}^2$). Ressalta-se que a série de dados de vazão afluente da UHE Teles Pires utilizada no presente estudo, é a mesma disponível pela ANEEL, no documento TX-MC-ECUS-C18-00001-0A.

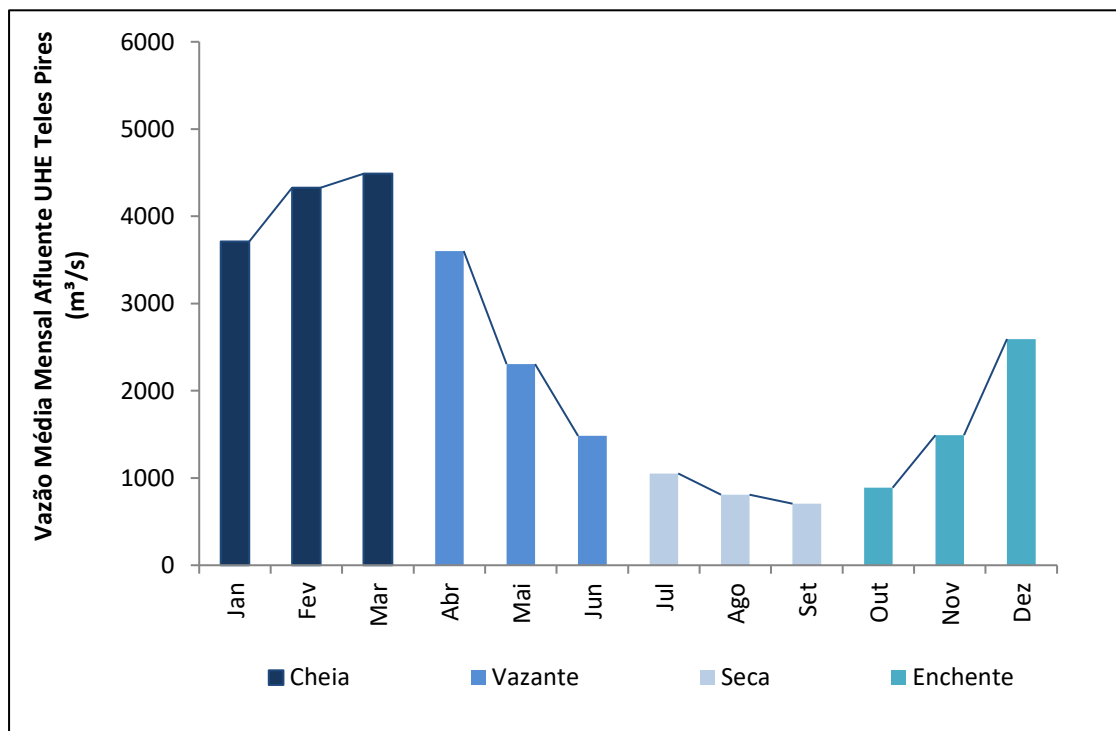


Figura 37. Hidrograma médio mensal do rio Teles Pires até o eixo da barragem da UHE Teles Pires, elaborado a partir das vazões médias mensais observadas entre o período de 1931 e 2016 na estação UHE Teles Pires Montante 2 (antiga estação da ANA Jusante Foz Peixoto de Azevedo). As vazões mensais da estação Montante 2 foram transferidas para o local da UHE Teles Pires utilizando-se a relação entre as áreas de drenagem (fator de transferência $90.455 \text{ Km}^2/80.247 \text{ Km}^2$).

Posteriormente, foi ajustada uma curva-chave de sedimento válida para a barragem da UHE Teles Pires (**Figura 38**), a partir dos dados de descargas sólidas totais das estações Montante 2, Montante 1 e Paranaíta, obtidas a partir do monitoramento realizado de setembro de 2012 a outubro de 2016 (**Tabela 4 do Item 6.1**).

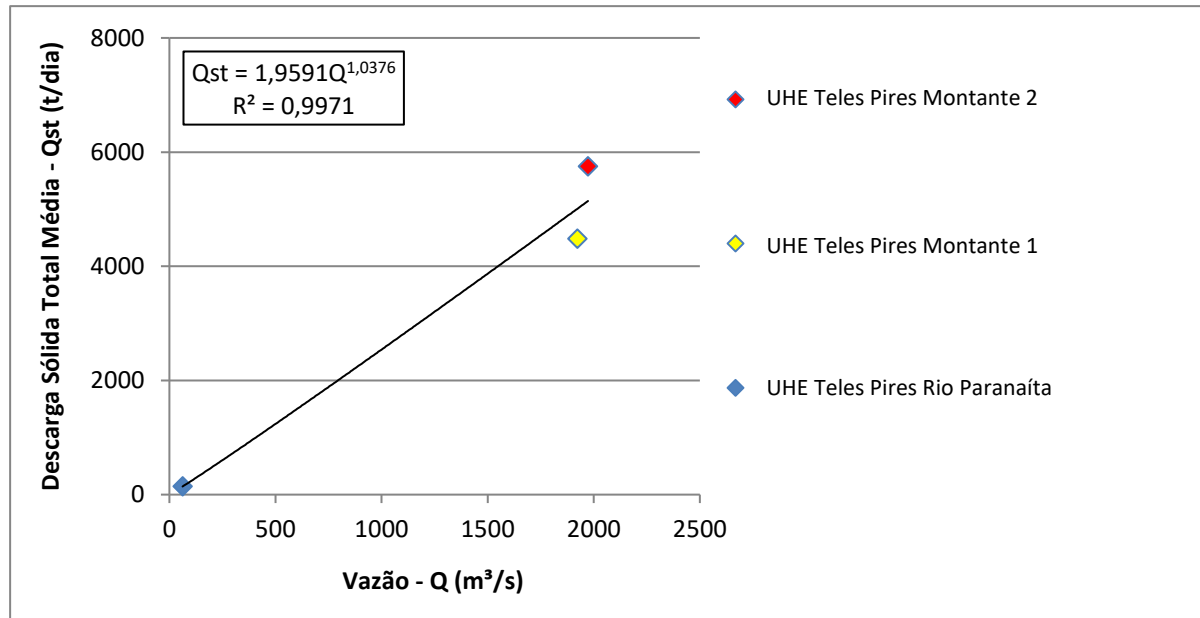


Figura 38. Curva-chave de sedimento estimada para a barragem da UHE Teles Pires.

A **Tabela 5** apresenta então um resumo com os valores médios de vazão (m³/s), descarga sólida total (t/dia) e deflúvio sólido total (t/ano), estimados para a barragem da UHE Teles Pires.

Tabela 5. Valores médios de vazão e descarga sólida.

Rio	Posto	Área de Drenagem (km²)	Vazão Média (m³/s)	Descarga Sólida Total Média (t/dia)	Deflúvio Sól. Total Anual (t/ano)
Teles Pires	UHE Teles Pires Barramento	90.455	2.288	5.996	2.188,371

6.5.1. Produção de Sedimentos na Bacia

Como a descarga sólida de sedimento anual para a Barragem da UHE Teles Pires (QST) é da ordem de 2.188.371 t/ano, e a área de drenagem (A) é de aproximadamente 90.455 km², a produção de sedimentos é da ordem de 24,19 t/km²/ano, sendo um valor compatível com o Mapa do Potencial de Produção de Sedimentos do Brasil, elaborado pela ANEEL, conforme **Figura 39**. O referido Mapa apresenta, para a bacia do rio Teles Pires a montante da UHE Teles Pires, um potencial predominante de produção de sedimentos muito baixo (em amarelo, valores menores que 5 t/km².ano), com algumas regiões tendo potenciais altos (em lilás, de 200 a 400

t/km².ano). O potencial afluente da UHE Teles Pires pode então ser classificado como baixo (de 5 a 70 t/km².ano).

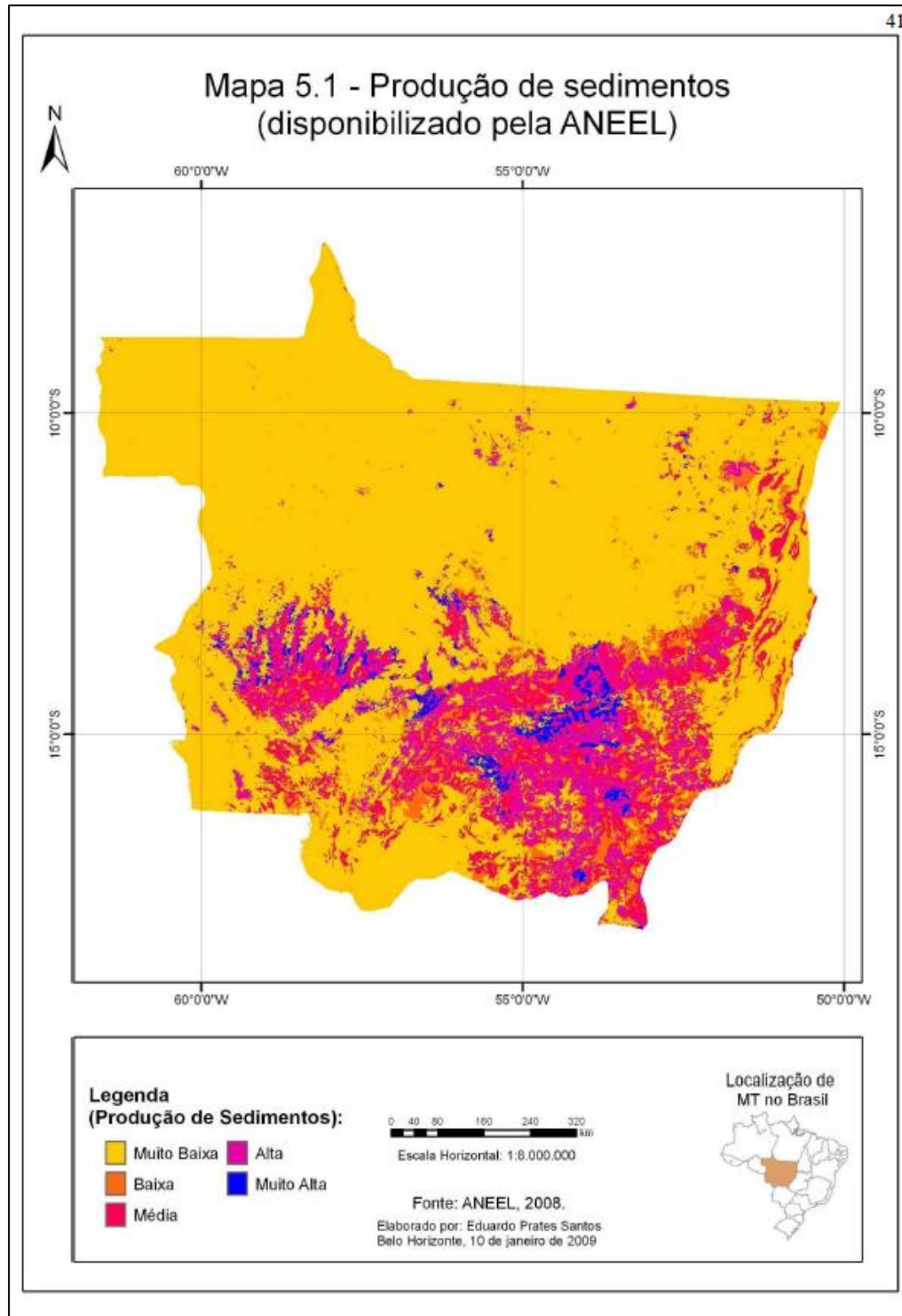


Figura 39. Mapa do potencial de produção de sedimentos (ANEEL) no estado do Mato Grosso. A produção de sedimentos pode ser classificada como muito baixa (em amarelo, para valores menores que 5 t/km².ano); baixa (em laranja, de 5 a 70 t/km².ano); média (em rosa, de 70 a 200 t/km².ano); alta (em lilás, de 200 a 400 t/km².ano) e muito alta (em azul, > 400 t/km².ano).

6.5.2. Previsão do Tipo de Assoreamento do Reservatório

De acordo com os critérios apresentados para previsão do tipo de assoreamento em reservatórios (**Item 5.3**), considerando primeiramente o Critério I de **Zhide (1998)** e levando em conta a alta capacidade de afluência do reservatório da UHE Teles Pires, alargamento na sua entrada com grande redução de velocidade e nível d'água mantido elevado, pode-se considerar a formação de um assoreamento do tipo delta no remanso do reservatório, o qual se movimenta com o tempo para jusante, fazendo com que o assoreamento ocorra de montante para jusante.

Considerando o Critério II de **Zhide (1998)**, no caso da UHE Teles Pires, o deflúvio sólido anual (S_{afluente}) é de 2.188.371 t/ano, que é equivalente a aproximadamente 1.838.967 m³/ano; e os valores de ΔH e H_0 são próximos de 0,00 metros e 28,00 metros, respectivamente. Desta forma, para a UHE Teles Pires $\Delta H/H_0$ é menor que 0,1, e a relação $V_{\text{afluente}}/S_{\text{afluente}}$ é bem maior do que 2, sendo que também pelo Critério II, o depósito de sedimento ocorre em Delta, em conformidade com os resultados encontrados anteriormente com o Critério I.

Seguindo o Critério III de **Zhide (1998)**, em que C é igual a 0,019 Kg/m³, Volume do reservatório é igual a 904,5 milhões de m³ e Q é igual 2.288 m³/s, tem-se:

$$\frac{C * V_{\text{reservatório}}}{Q} = \frac{0,019 * 904,5 * 10^6}{2.288} = 7.371,20 < 0,25 * 10^8$$

$$e \frac{\Delta H}{H_0} = 0,00 < 0,1$$

Devido aos resultados, não é possível classificar o reservatório da UHE Teles Pires seguindo o Critério III de **Zhide (1998)**.

Também seguindo o Critério IV de **Zhide (1998)**, não seria possível classificar o tipo de assoreamento visto que o valor do parâmetro Critério IV para o reservatório é abaixo do intervalo adotado na metodologia (valor obtido de 0,00000557).

Já segundo **Zhide (1998)** apud **Carvalho (2008)**, de acordo com a posição de um determinado reservatório, Φ (razão entre a Capacidade do Reservatório e o Deflúvio Sólido Afluente) representa um índice de gravidade da sedimentação. Quando esse índice é maior que 100, pode-se afirmar que o fenômeno de assoreamento não representa um problema importante para o reservatório, enquanto $\Phi < 100$ o assoreamento representa um problema sério. No caso da UHE Teles Pires o valor de Φ é próximo de 492, indicando que o reservatório se encontra no grupo dos reservatórios que não tem sérios problemas com assoreamento.

Por fim, os resultados evidenciam que o reservatório da UHE Teles Pires não tem propensão a grandes problemas com assoreamento, e que a deposição de sedimentos deve ser do tipo delta, o qual se movimenta com o tempo de montante para jusante.

6.5.3. Eficiência de Retenção de Sedimentos no Reservatório

Considerando o método de **Brown (1943) apud Pereira (1998)** no estudo da eficiência de retenção de sedimentos, no caso da UHE Teles Pires, a capacidade do reservatório é igual a 904,5 milhões de m³ e a área da bacia hidrográfica equivale a 90.455 milhões de m², indicando então uma retenção de sedimento Er que pode ser considerada muito pequena ou até mesmo nula, mostrando que além do reservatório não ter propensão a sofrer assoreamento grave, o mesmo não deve interferir drasticamente na dinâmica da bacia hidrográfica. Além disso, deve-se considerar as Usinas Colider e Sinop, que estão sendo implantadas a montante da UHE Teles Pires, o que contribuirá com a diminuição do fluxo total de sedimento afluente no reservatório de Teles Pires.

Por outro lado, como pode ser observado na **Figura 40**, embora a Curva de Brown (1943) indique uma eficiência de retenção próxima de zero para o reservatório da UHE Teles Pires, essa curva mostra uma aparente envoltória inferior, principalmente considerando a grande dispersão de dados para os valores menores de eficiência calculados com essa curva.

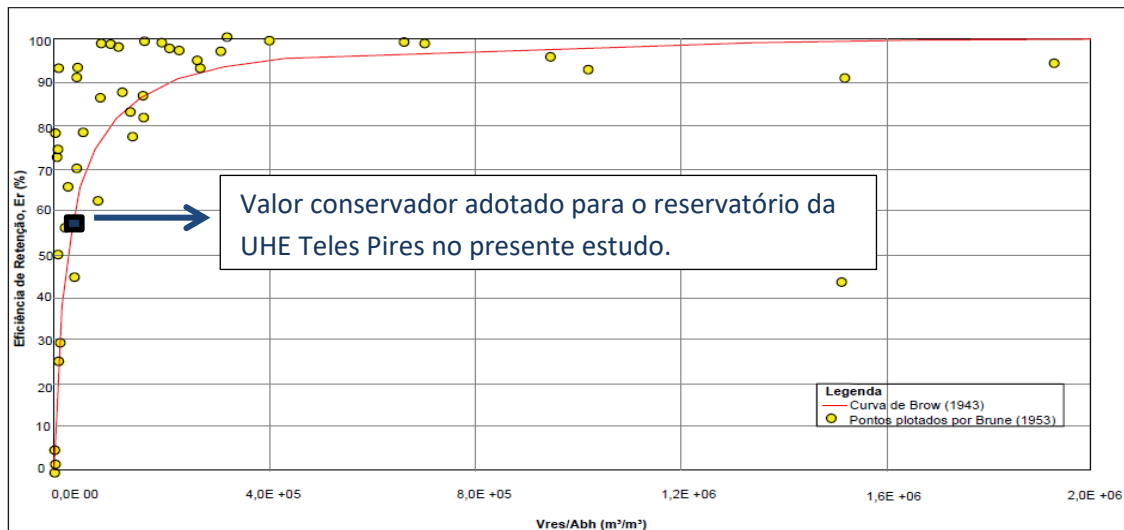


Figura 40. Curva de Brown (linha vermelha) para a determinação da eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, incluindo a comparação da mesma com os dados dos reservatórios usados para o estabelecimento da curva de **Brune (1953) apud Pereira (1998)**. Figura adaptada de **Carvalho (2008)**.

Já seguindo o método de **Brune (1953)** para determinação da eficiência de retenção de sedimentos, é o método mais utilizado no Brasil para médios e grandes reservatórios, que possui uma envoltória superior e outra envoltória inferior (**Figura 41**), as quais dizem respeito a depósitos contendo sedimentos finos (envoltória inferior) e sedimentos grossos (envoltória superior). A UHE Teles Pires é considerada de grande porte e os sedimentos transportados são

de granulometria média, porém, afim de se adotar um critério mais conservador, utilizou-se da curva superior para estimativa da eficiência de retenção de sedimentos.

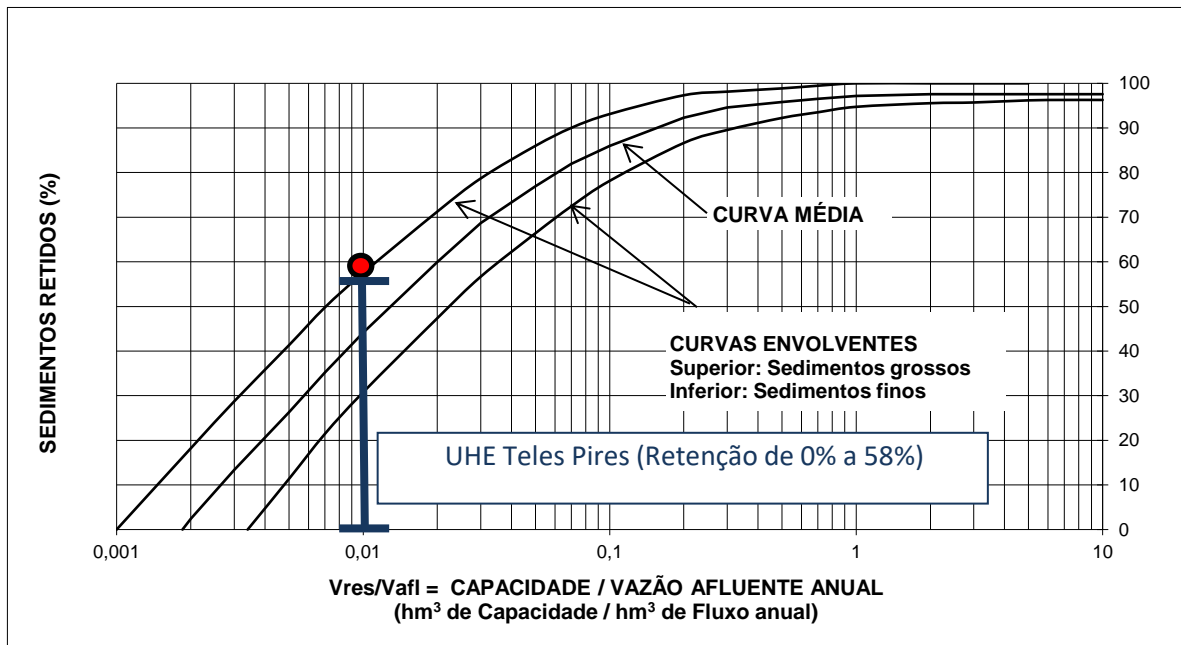


Figura 41. Curvas de Brune (1953) de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios. A barra azul identifica o possível intervalo do valor da eficiência de retenção de sedimentos do reservatório da UHE Teles Pires. O círculo vermelho indica o valor adotado no presente estudo, que é de 58%. Figura adaptada de Carvalho (2008).

Na Tabela 6 são apresentados os valores da eficiência de retenção obtidos com as curvas pesquisadas, e o valor da eficiência de retenção adotado no presente estudo sobre o assoreamento na UHE Teles Pires.

Tabela 6. Valor de eficiência de retenção de sedimentos para o reservatório da UHE Teles Pires. Também é apresentado o valor médio e o valor adotado no presente estudo.

Método	Eficiência de Retenção de Sedimentos
Curva de Brune Média (1953)	45%
Envoltória Superior da Curva de Brune (1953)	58%
Envoltória Inferior da Curva de Brune (1953)	30%
Curva de Brown (1943)	0%
Valor Médio	44%
Valor adotado para a UHE Teles Pires	58%

6.5.4. Previsão do Assoreamento do Reservatório

No cálculo do assoreamento do reservatório da UHE Teles Pires, com o objetivo de gerar projeções mais realistas possíveis para longos períodos, considerou-se um aumento da descarga sólida de 1% ao ano, visto que é impossível saber se o uso atual do solo será o mesmo em um período de 100 ou 200 anos. Outras premissas conservadoras foram adotadas para avaliação do assoreamento do reservatório, como a utilização do método de Colby para o cálculo da descarga sólida total, utilização da curva de eficiência superior de Brune, além de não ser considerada a retenção de sedimentos proporcionada pelos reservatórios de montante.

O cálculo do assoreamento incluiu também o cálculo do peso específico aparente do sedimento acumulado no fundo o reservatório, o qual varia com o tempo e depende da granulometria dos sedimentos acumulados.

6.5.4.1. Cálculo do Peso Específico Aparente (γ_{ap})

O peso específico aparente de depósitos de reservatórios é importante porque a carga sólida é medida em massa por tempo e o grau de assoreamento é dado em volume do material depositado em relação ao volume do reservatório. Assim, o conhecimento do peso específico aparente permite empregar a relação entre massa e volume.

O peso específico aparente varia com o tempo devido à compactação do sedimento pela água e pelo próprio sedimento nos níveis superiores (CARVALHO, 2008). Lara e Pemberton (1965 apud STRAND, 1987) concluíram a partir de 1300 amostras de sedimentos analisadas estatisticamente que os fatores que influem significativamente no cálculo do peso específico aparente são: a maneira como o reservatório é operado; a textura e a granulometria das partículas e a composição e o grau de consolidação dos depósitos. A partir dessas análises, são utilizadas equações matemáticas para avaliar a variação do peso específico aparente com o tempo e o tipo de operação do reservatório. Os reservatórios são classificados de acordo com seu tipo de operação, como mostra o **Quadro 3**.

Quadro 3. Tipo de operação do reservatório.

Tipo de Operação	Classificação
1	Sedimento sempre ou quase sempre submerso
2	Depleção do reservatório de pequena a média
3	Reservatório com consideráveis variações de nível
4	Reservatórios normalmente vazios

Uma vez escolhido o tipo de operação do reservatório, o peso específico aparente pode ser calculado pela equação:

$$y_{ap} = W_c.P_c + W_m.P_m + W_s.P_s \quad (29)$$

Onde y_{ap} é o peso específico aparente; W_c , W_m e W_s são os pesos específicos de argila, silte e areia, respectivamente, obtidos segundo o tipo de operação do reservatório (**Tabela 7**); P_c , P_m e P_s são as frações de argila, silte e areia, respectivamente, no sedimento afluente.

Tabela 7. Constante W para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (**STRAND, 1987**).

Tipo de Operação	W_c	W_m	W_s
1	416	1120	1550
2	561	1140	1550
3	641	1150	1550
4	961	1170	1550

Ao longo dos anos, o nível de compactação do sedimento depositado varia e o peso aparente específico também se altera. Miller (**1953 apud STRAND, 1987**) desenvolveu uma equação empírica para calcular o novo peso específico aparente no tempo t :

$$y_t = y_i + 0,4343.K \left[\frac{t}{t-1} \ln(t) - 1 \right] \quad (30)$$

$$K = K_c.P_c + K_m.P_m + K_s.P_s \quad (31)$$

Onde y_t é o peso específico aparente no tempo t ; y_i é o peso específico aparente inicial; K é uma constante que depende da granulometria, baseada no tipo de operação do reservatório (**Tabela 8**).

Tabela 8. Constante K para o cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (CARVALHO, 2008).

Tipo de Operação	Kc	Km	Ks
1	0,2563	0,0913	0,0
2	0,1346	0,0288	0,0
3	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0

Considerando o reservatório da UHE Teles Pires do tipo de operação 1, sedimentos sempre ou quase sempre submersos; porcentagem média afluyente dos sedimentos de 26 % de argila, 47 % de silte e 27 % de areia, considerando a descarga sólida em suspensão representando, em média, 66 % e a de leito 34 %, tem-se $y_{ap} = 1,1860 \text{ t/m}^3$ e $K = 0,1551$. Utilizando a Equação 30 para o cálculo de y_t , tem-se para 100 anos de formação do reservatório $y_{100} = 1,4321 \text{ t/m}^3$. Ressalta-se que o peso específico para a UHE Teles Pires foi calculado utilizando-se dos resultados das análises granulométricas das estações UHE Teles Pires Montante 1, UHE Teles Pires Montante 2 e UHE Teles Pires Rio Paranaíta.

6.5.4.2. Cálculo do Assoreamento com o Método de Borland & Miller

O método *software* SEDIMENT utiliza o método de **Borland & Miller** o qual é um método empírico de redução de área desenvolvido com base em um levantamento sistemático de assoreamento em 30 reservatórios nos Estados Unidos, coordenados pelo *U.S. Bureau of Reclamation*.

O SEDIMENT foi utilizado para elaborar dezenas de cenários de assoreamento para o reservatório da UHE Teles Pires, e considerando um cenário conservador, é possível observar que para um período de curto prazo, 25 anos após o enchimento, o assoreamento do reservatório será pequeno, com uma diminuição do volume total de apenas 3,4% (**Tabelas 9 e 10**). Em 50 anos o sedimento atingirá a cota 180 metros e provocará uma perda de apenas 7,5% do volume total do reservatório. Para o período de 75 anos a diminuição do volume total será de 12,7 %, e a previsão para o sedimento atingir a altura da soleira da tomada d'água (192,44 m) é de aproximadamente 110 anos (**Figuras 42 e 43**).

Por fim, é importante destacar que essa previsão é conservadora, porém, deve-se considerar a importância de uma boa conservação da bacia.

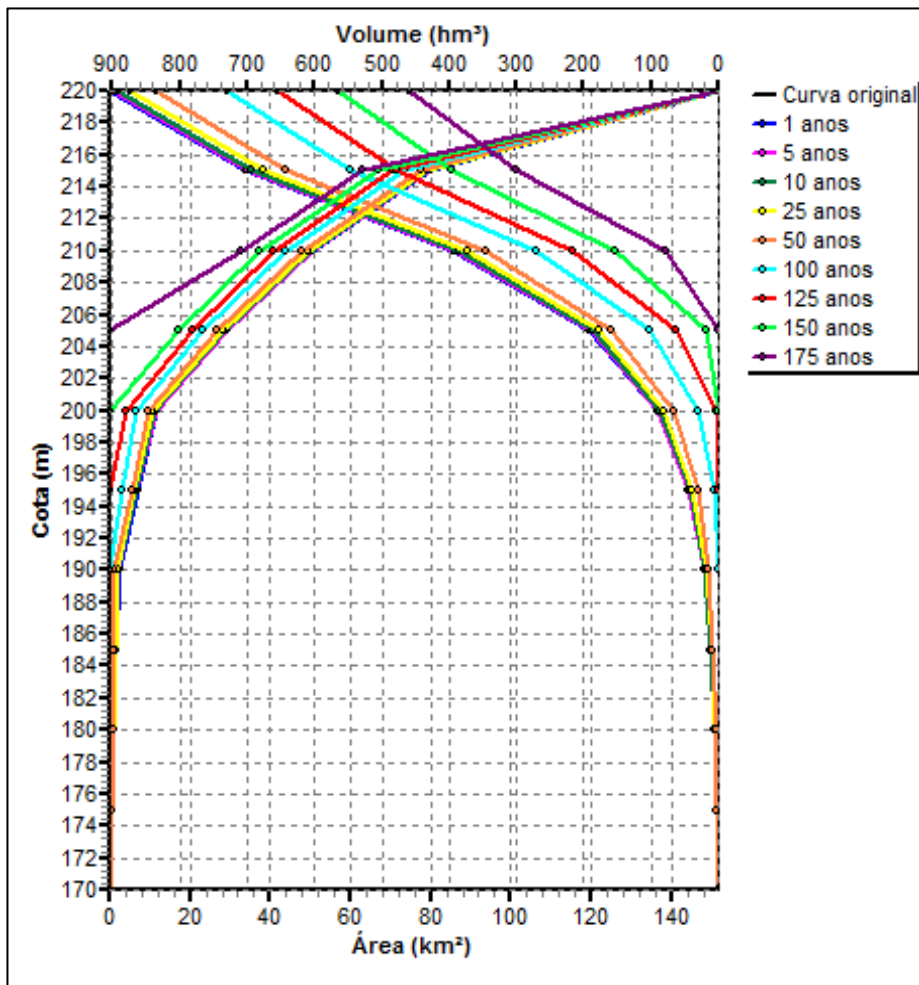


Figura 42. Curvas Cota x Área x Volume simuladas com os softwares SEDIMENT e DPOSIT. A curva preta mostra a situação inicial do reservatório da UHE Teles Pires, e a azul 100 anos após o enchimento do reservatório.

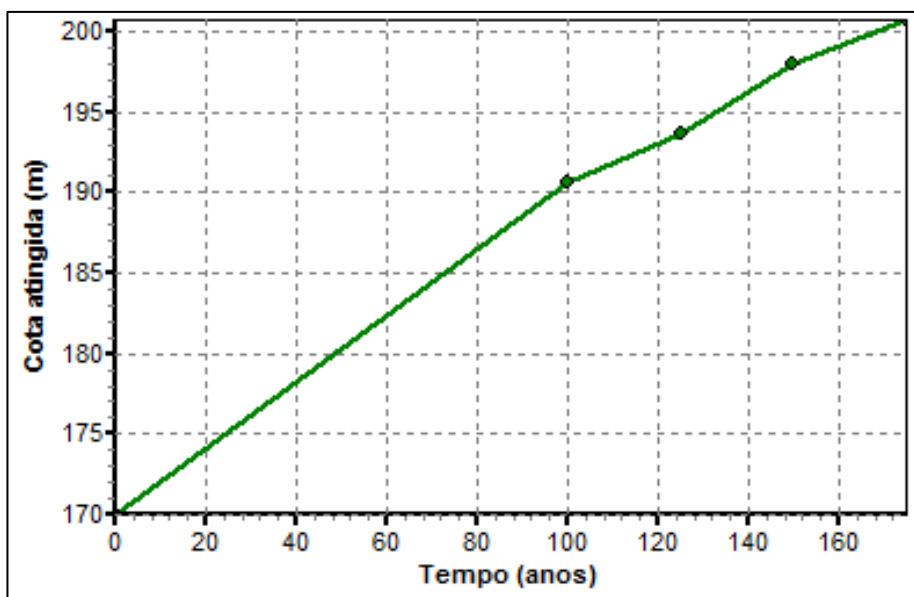


Figura 43. Simulação para UHE Teles Pires, depósito no pé da barragem.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Tabela 9. Diminuição do volume total do reservatório da UHE Teles Pires em função dos sedimentos depositados no fundo do reservatório.

Anos	Diminuição do Volume Total do Reservatório (%)
1	0,1
2	0,3
5	0,6
10	1,3
25	3,4
50	7,5
75	12,7
100	19,3
125	27,5
150	37,5
175	49,3
200	62,6

Tabela 10. Resultado final adotado para o presente estudo sobre o futuro assoreamento do reservatório da UHE Teles Pires.

Tempo (Anos)	Volume Sólido Depositado (hm ³)	Volume Sólido Efluente (hm ³)	Er (%)	Peso Específico Aparente (t/m ³)	Q _{ST} Afluente (t/ano) x 10 ³	Q _{ST} Efluente (t/ano) x 10 ³	Volume Assoreado (%)
1	1,216	0,88	58,0	1,055	2.210,25	928,31	0,1
2	2,385	1,727	58,0	1,08	2.232,36	937,59	0,3
3	3,544	2,566	58,0	1,096	2.254,68	946,97	0,4
4	4,699	3,403	58,0	1,108	2.277,23	956,44	0,5
5	5,854	4,239	58,0	1,117	2.300,00	966	0,6
10	11,699	8,471	58,0	1,146	2.417,32	1.015,28	1,3
25	30,498	22,085	58,0	1,187	2.806,44	1.178,70	3,4
50	67,801	49,097	58,0	1,219	3.599,06	1.511,61	7,5
75	114,885	83,193	58,0	1,238	4.615,56	1.938,53	12,7
100	174,654	128,547	57,7	1,251	5.919,14	2.505,61	19,3
125	248,822	186,42	55,4	1,261	7.590,89	3.386,96	27,5
150	338,813	264,993	52,2	1,27	9.734,80	4.650,42	37,5
175	445,489	373,77	47,7	1,277	12.484,22	6.523,27	49,3
200	565,87	529,149	40,7	1,284	16.010,16	9.490,67	62,6

7. PROGRAMAÇÃO PARA O PERÍODO SEGUINTE

No **Quadro 3** é apresentada as atividades previstas e executadas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Teles Pires.

Quadro 3. Atividades previstas e realizadas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Teles Pires.

Descrição	Item	Atividade	Previsto/Realizado	2012				2013				2014				2015				2016				2017			
				T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
P11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico																											
1	P	Campanhas de medições de vazão e coletas de sedimentos nas estações hidrométricas.																									
R																											
2	P	Análises laboratoriais das amostras de sedimento de suspensão e de leito.																									
R																											
3	P	Limpeza e manutenção dos pluviômetros, sensores de nível, cercados e área de entorno das estações.																									
R																											
4	P	Nivelamento das seções de réguas.																									
R																											
5	P	Disponibilidade dos dados em tempo real para a ANEEL/ANA.																									
R																											
6	P	Relatórios parciais (mensais.)																									
R																											
7	P	Relatórios de consolidação (a cada seis meses).																									
R																											

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente relatório foram descritas as principais atividades realizadas durante o período de julho a dezembro de 2016, que consistiram: (i) no monitoramento das estações hidrométricas; (ii) realização de duas campanhas de medições de vazão e coletas de sedimentos em suspensão e de leito; (iii) determinação das granulometrias dos materiais de leito e de suspensão; (iv) determinação das concentrações dos sedimentos em suspensão; (v) cálculo das descargas sólidas em suspensão e totais; (vi) atualização das curvas-chave de vazão e de sedimentos das estações e (vii) estudo da produção de sedimentos, assoreamento e vida útil do reservatório.

Além das manutenções periódicas realizadas a cada trimestre, manutenções adicionais foram realizadas, a fim de garantir um melhor funcionamento das estações hidrométricas da UHE Teles Pires. Ressalta-se que para os maiores períodos em que as estações não operaram normalmente, foi apresentado o preenchimento de falhas dos dados fluviométricos, seguindo as metodologias indicadas pela Resolução Conjunta ANEEL/ANA No.03 de 10 de Agosto de 2010.

As descargas líquidas e descargas sólidas variaram de acordo com as características do regime hidrológico da região, com o período de enchente ocorrendo entre outubro a dezembro, cheia de janeiro a março, vazante entre abril e junho e seca de julho a setembro, não ocorrendo alterações após o início de operação da UHE Teles Pires.

Com relação ao aporte de sedimentos, nota-se menores quantidades de sedimentos transportados pelo rio Teles Pires no trecho da estação Jusante. Este comportamento, já esperado, ocorre principalmente devido ao barramento, que retém parte dos sedimentos em suspensão transportados. É importante ressaltar que, apesar do aumento do poder erosivo da água, no trecho logo a jusante as margens encontram-se estáveis, contribuindo também para a baixa carga de sedimentos no rio (concentração de sedimentos).

Adicionalmente, em atendimento ao Item 6.7 do Plano Básico Ambiental, referente a eficiência de retenção de sedimentos da barragem, foi realizado um estudo detalhado dos aspectos hidrossedimentológicos da área de interesse, assim como prognóstico do comportamento no interior do reservatório, com base em classificações da literatura para esse tipo de empreendimento.

O estudo do assoreamento do reservatório realizado através do método determinístico mostrou que até o momento ainda não foi observada uma alteração significativa da curva cota x área x volume da UHE Teles Pires, bem como a evolução da retenção de sedimento do reservatório. Considerando o curto período de operação da usina, que completou 2 anos de operação em dezembro de 2016, tem-se como estimativa uma redução do volume total de apenas 0,3%, sendo que o tempo estimado para o sedimento alcançar a tomada d'água e impedir o funcionamento da usina é de aproximadamente 110 anos.

Por fim, é importante destacar que essa previsão é conservadora, porém, deve-se considerar a importância de uma boa conservação da bacia.

P. 11 - Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

A estação UHE Teles Pires Montante 1 está sendo influenciada pelos efeitos do remanso do reservatório, sendo que a sua curva-chave de vazão não está mais sendo utilizada. Por outro lado, as análises de sedimentos desta estação foram bastante importantes para a avaliação das características deposicionais na fase de reservatório. Para previsão das vazões afluentes da barragem vem sendo utilizada então a série de dados da estação Montante 2, que é de grande importância na tomada de decisão operacional da usina em períodos extremos de alta e baixas vazões.

As atividades do monitoramento hidrossedimentológico estão de acordo com o prazo previsto de execução do cronograma do PBA e atendem a Resolução Conjunta ANA/ANEEL N°. 03 de 2010.

REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico**. Brasília: ANA; SGH, 2009.
- Brune, G.M. (1953), **Trap efficiency of reservoirs**, Transactions, American Geophysical Union, Washington, DC, 34(3), 407-418.
- Brown, C.B. (1943), **Discussion of sedimentation in reservoir**, In: Witzig, B.J., Procedures American Society of Civil Engineers, 69(6), 1493-1499.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.
- Carvalho, N.O.; Ide, C.N.; Val, L.A.A.; Rondon, M.A.C.; Barbedo, A.G.A. & Cybis, L.F.A. (2005), **Distribution and sediment yield in the upper basin of the Paraguay river and in the Pantanal Matogrossense, Brazil, Proceedings of Symposium on Sediment Budgets**, IAHS Publication 292, Foz do Iguaçu-PR.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CESP. Laboratório Cesp de Engenharia Civil. **Ensaio Sedimentométrico** – Companhia Energética de São Paulo, Ilha Solteira, São Paulo, 2009.
- COLBY, B. R.; HEMBRE, C. H. **Computation of Total Sediment Discharge**, Niobrara River near Cody, Nebraska. U. S. Geol. Survey. Water Supply. Paper 1357, 1955.
- COLBY, B.R. **Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity**. Transactions, Amer. Geophys. Union. v. 38, n. 5, oct, p.708-719, 1957.
- Eletróbrás (1991), **Diagnóstico sedimentológico dos principais rios brasileiros**, Relatório Técnico elaborado pelo IPH/UFRGS, Rio de Janeiro-RJ.
- Heinemann, H.G. (1981), **A new sediment trap efficiency curve for small reservoirs**, Water Resources Bulletin, 17, 825-830.
- ICOLD (1989), **Sedimentation control of reservoirs** – Guidelines, Paris.
- Lima, J.E.F.W.; Lopes, W.T.A.; Carvalho, N.O.; Silva, E.M. & Vieira, M.R. (2006), **Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro**, VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 10p.

- MAHMOOD, K. (1987), *Reservoir sedimentation – impact, extent, and mitigation*, World Bank Tech, Paper N°. Washington, DC.
- MAIA, A.G. & Villela, S.M. (2009), *Análise do assoreamento do reservatório de Promissão através do modelo RESSASS*, Revista Ambiência, Guarapuava-PR, 5(2), 247-262.
- MENDES, A. B. Einstein.xls, **Modelo matemático para cálculo da descarga sólida total pelo método modificado de Einstein**. Monografia de final de Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- Merten, C.H.; Horowitz, A.; Clarke, R.; Minella, J.; Pickbrenner, K. & Pinto M. (2000), *Considerações sobre a utilização da curva-chave para determinação de fluxo de sedimentos*, resumo PAP0027.
- PAIVA, J.B.D. **Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios**, In: Paiva, J.B.D. *et al.* Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, Porto Alegre, ABRH, 313-364, 2001.
- Pereira, M.B. (1998), *Sedimentação em Reservatórios*, COPPE/UFRJ, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro-RJ.
- SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001.
- Strand, R.I. (1974), *Design of small dams – Sedimentation*, Bureau of Reclamation, Washington, DC.
- Vanoni, V. (1977), *Sedimentation engineering*, ASCE, Nova York.
- Villela, S.M. & Matos, A. (1975), *Hidrologia Aplicada*, Editora Mc Graw-Hill do Brasil.
- Zhide, Z. (1998), *Outline of reservoir sedimentation*, IRTCES, III Encontro de Engenharia de Sedimentos, Belo Horizonte-MG.