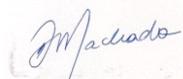
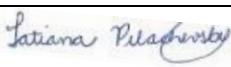


PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE TELES PIRES

P.11 – Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Relatório Consolidado

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Daniel Okamoto Machado Eng. Ambiental, M.Sc.	CREA- RN 131114536-2	5586064	
Karen Caroline Paiva da Silva Eng. Agrícola, M.Sc.	CREA- 5069188924	5808170	
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	

Junho – 2014

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADCP - Perfilador Acústico de correntes por Efeito *Doppler*

AMS-8 - Amostrador de sedimento saca

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

Aw – Tropical úmido

CESP - Companhia Energética de São Paulo

CHTP - Companhia Hidrelétrica Teles Pires

D-GPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial

IIL - Igual Incremento de Largura

IVT - Igual Velocidade de Trânsito

PBA - Projeto Básico Ambiental

PCM - Modulação por Código de Pulso

Q - Vazão ou descarga líquida

Qs - Descarga sólida

Qss - Descarga sólida em suspensão

Qst - Descarga sólida total

vm - velocidade média

vt - velocidade de trânsito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA	01
2.1	MEDIÇÃO DE VAZÃO (DESCARGA LÍQUIDA)	02
2.2	COLETA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO	03
2.3	INSTALAÇÃO DAS ESTAÇÕES	03
2.3.1	Estação UHE Teles Pires	03
2.3.2	Estação Cajueiro do Teles Pires	05
2.3.3	Estação São Pedro do Paranaíta	05
2.3.4	Estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo	06
3	METODOLOGIA	08
3.1	Medição de vazão (descarga líquida)	08
3.1.1	Medição de vazão (descarga líquida) com molinete	09
3.1.2	Medição de vazão (descarga líquida) com o ADCP	12
3.2	Amostragem de sedimento em suspensão e de leito	14
3.3	Análises de laboratório	17
3.3.1	Tubo de retirada pela base	18
3.3.2	Análises de concentração	18
3.3.3	Análise granulométrica do material de leito	18
3.4	Descarga sólida	19
3.4.1	Cálculo da descarga sólida em suspensão	19
3.4.2	Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)	19
3.4.3	Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein	19
4	MANUTENÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	20
5	VAZÃO EXCEPCIONAL (MARÇO DE 2014)	21
6	RESULTADOS	21
6.1	Medições de vazão (descargas líquidas) e descargas sólidas	21
6.2	Análise integrada dos dados físico-químicos da água e dos sedimentos	25
6.3	Determinação das curvas-chave de vazão	27
6.4	Medidas de precipitação e vazão	29
6.4.1	Estação Cajueiro do Teles Pires	29
6.4.2	Estação UHE Teles Pires	33
6.4.3	Estação São Pedro do Paranaíta	36

6.4.4 Estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo	38
7 INDICADORES E METAS	40
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

ANEXOS

ANEXO 1. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS

ANEXO 2. ANÁLISES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO

ANEXO 3. DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL AJUSTADO E VAZÃO

ANEXO 4. BOLETIM PARA VAZÕES EXTRAORDINÁRIAS

1 INTRODUÇÃO

O serviço “Monitoramento Hidrossedimentológico na Área do Futuro 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 futura Hidrelétrica Teles Pires, cuja barragem está sendo construída 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 consolidado são apresentadas as principais atividades realizadas no período entre setembro de 2012 e maio de 2014, as quais consistiram no monitoramento hidrológico e hidrossedimentológico de quatro estações hidrométricas, com destaque às precipitações, descargas líquidas e descargas sólidas.

2 OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA

A operação da rede hidrológica durante o período em referência compreendeu a realização de trabalhos de campo e o processamento dos dados hidrológicos das estações hidrométricas em operação. No total existem quatro estações (**Quadro 1** e **Figura 1**), conforme proposto no Programa Ambiental aprovado pelo IBAMA. O projeto das estações Hidrométricas foi aprovado pela Agência Nacional das Águas - ANA através da Nota Técnica Nº 589/2013/SGH de 5 de Agosto de 2013.

Quadro 1. Nomes e coordenadas das estações hidrométricas da UHE Teles Pires.

Estação	Lat. (°)	Long. (°)	Situação	Tipo
Cajueiro do Teles Pires	-9,453311	-56,493082	Em operação	Telemétrica desde janeiro/2013
UHE Teles Pires	-9,343249	-56,776174	Em operação	Telemétrica desde janeiro/2013
São Pedro do Paranaíta	-9,772928	-56,644913	Em operação	Telemétrica desde abril/2013
Jusante Foz Peixoto de Azevedo	-9,640700	-56,019360	Em operação	Telemétrica desde abril/2013

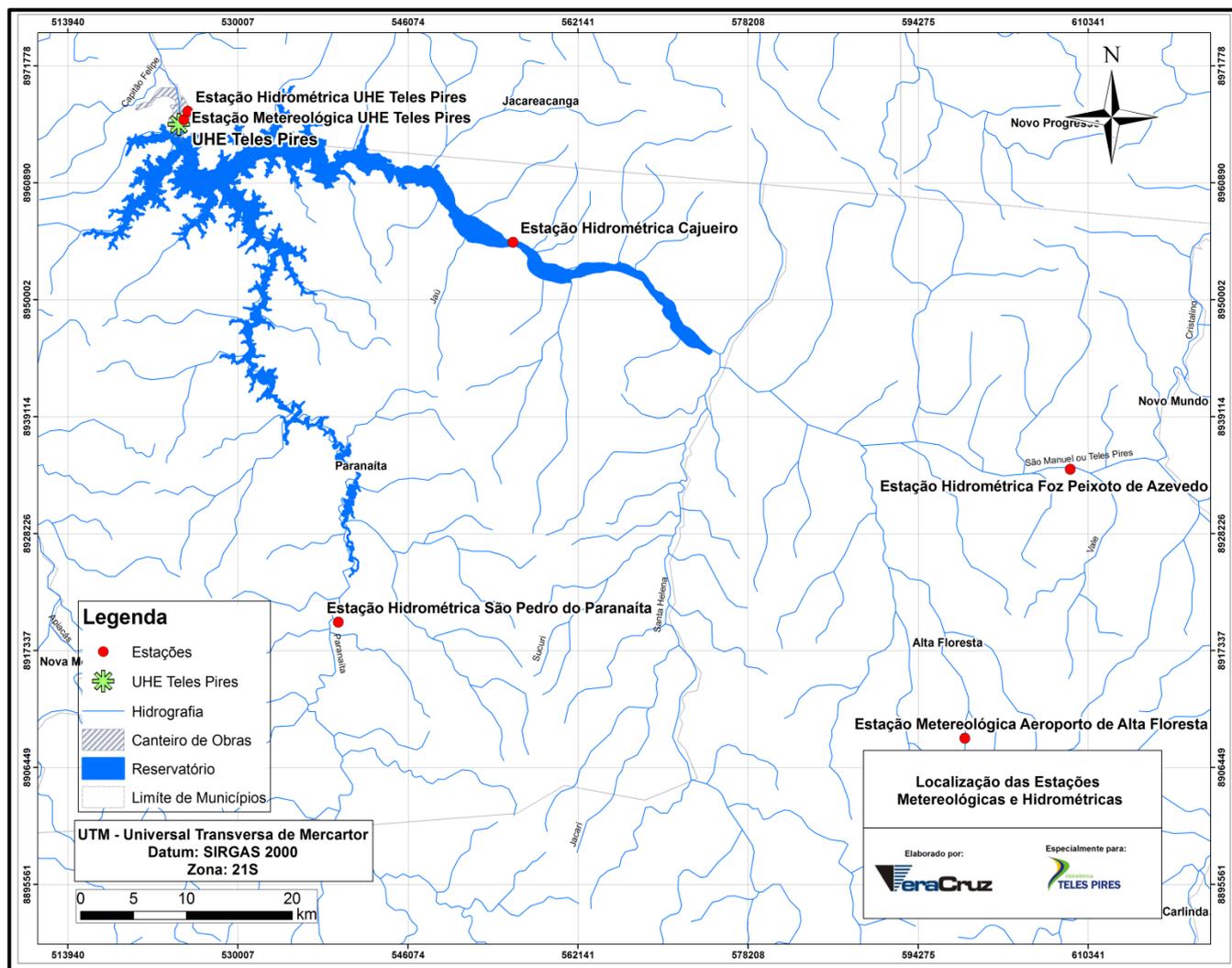


Figura 1. Localização das estações hidrométricas da UHE Teles Pires.

2.1 Medição de vazão (descarga líquida)

Foram efetuadas até o momento, conforme proposto no Projeto Básico Ambiental, medições de vazão nas estações hidrométricas nos meses de setembro e outubro de 2012; janeiro, abril, julho e outubro de 2013; e fevereiro e abril de 2014 (**ANEXO 1**). Na estação UHE Teles Pires, durante a campanha de abril de 2014, ocorreu um problema técnico com o equipamento de medição (ADCP), tendo que a medição ser adiada para o dia 08 de maio de 2014.

Além das medições de vazão propostas para o presente Programa Ambiental, devido a cheia extraordinária ocorrida na região da UHE Teles Pires durante o mês de março de 2014, foram realizadas medições de vazão adicionais nas estações Cajueiro do Teles Pires e Foz Peixoto de Azevedo, com o intuito de melhor estimar a vazão no rio Teles Pires durante períodos de cheias extremas.

2.2 Coleta de sedimentos em suspensão e de leito

Junto com as medições de vazão, foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão e de leito com o objetivo de se calcular as descargas sólidas dos rios Teles Pires e Paranaíba. Dessa forma, foram efetuadas as análises das concentrações dos materiais em suspensão, e granulometrias dos materiais em suspensão e de leito (**ANEXO 2**).

2.3 Instalação das estações

2.3.1 Estação UHE Teles Pires

Em 22 de janeiro de 2013 os equipamentos da estação UHE Teles Pires foram testados e a equipe da **VERACRUZ** efetuou a instalação dos sensores e dos equipamentos de telemetria da estação UHE Teles Pires. A seção de réguas utilizada na estação pertence à empresa *Odebrecht*. As leituras diárias das réguas se iniciaram em 10 de abril de 2012, e os dados telemétricos a partir do dia 26 de fevereiro de 2013. Na **Figura 2** são mostradas fotos do processo de instalação da estação UHE Teles Pires.

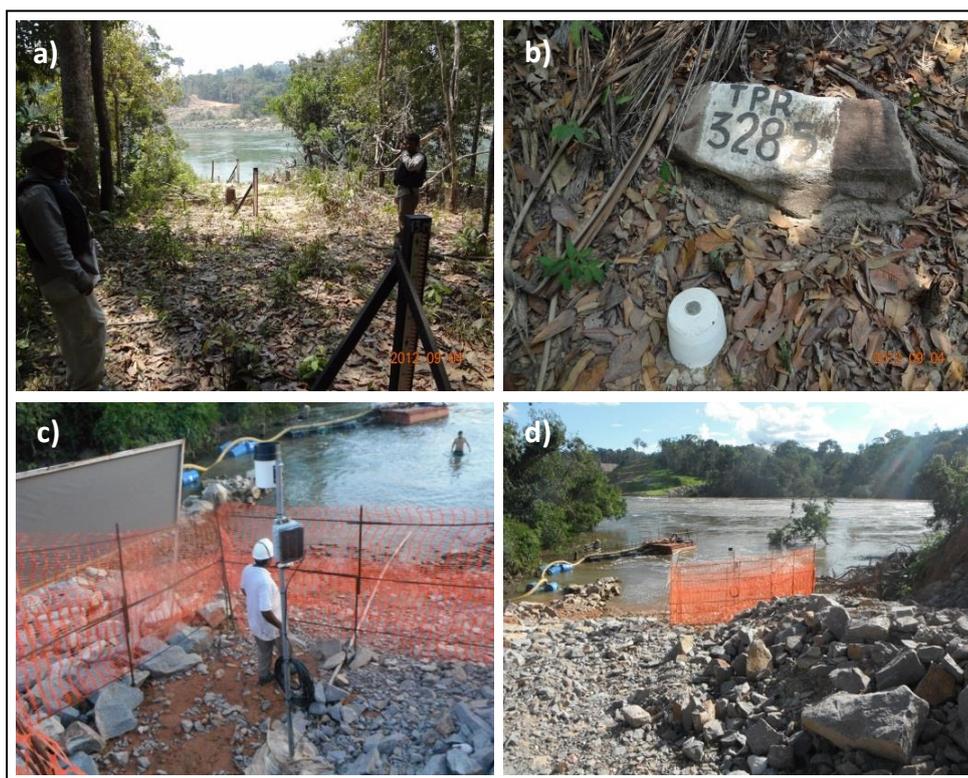


Figura 2. Processo de instalação da estação hidrométrica UHE Teles Pires, incluindo lance de réguas (a); RN (b); instalação do sensor de nível (c); e vista geral da estação (d).

Durante o início do ano de 2014, as fortes chuvas na região da UHE Teles Pires provocaram um aumento do nível do rio Teles Pires, relacionado diretamente com o aumento

da vazão. Devido a esse aumento de vazão, no dia 19 de fevereiro de 2014 uma forte cheia arrastou a estação UHE, incluindo o poste, o pluviômetro com *datalogger* e o sensor de nível.

Em maio de 2014, após a passagem da cheia do rio Teles Pires, a equipe da **VERACRUZ** instalou novamente o poste, o pluviômetro com *datalogger*, o cercado e o sensor de nível na estação UHE (**Figura 3**).



Figura 3. Processo de instalação da nova estação UHE Teles Pires durante a campanha de campo de maio de 2014, incluindo o poste para suporte (a); canaleta para o sensor de nível (b); cercado (c); pluviômetro e *datalogger* (d).

2.3.2 Estação Cajueiro do Teles Pires

A estação Cajueiro do Teles Pires (**Figura 4**) foi instalada em um local desmatado em área de propriedade da Associação dos Pescadores Esportivos de Paranaíta (APEP), próximo à Balsa do Cajueiro. As réguas limnimétricas da estação foram instaladas nas estruturas de um barracão de madeira já construído no local (**Figura 4a**). Foram instalados também dois RN's. A instalação da infra-estrutura ocorreu no dia 06 de setembro de 2012.

No dia 21 de janeiro de 2013, a equipe da **VERACRUZ** efetuou a instalação dos sensores e dos equipamentos de telemetria da estação Cajueiro do Teles Pires. As etapas envolvidas na instalação da estação foram: a limpeza do terreno, escavação de canaleta e utilização de tubos para o enterramento do cabo que liga o sensor de nível ao *datalogger*.

As leituras das réguas às 7 e 17 horas se iniciaram no dia 07 de setembro de 2012, e os dados telemétricos a partir do dia 21 de janeiro de 2013.



Figura 4. Processo de instalação da estação hidrométrica Cajueiro do Teles Pires, incluindo lance de réguas (a); instalação do sensor de nível (b); vista geral da estação (c); e pluviômetro com *datalogger* (d).

2.3.3 Estação São Pedro do Paranaíta

A equipe da **VERACRUZ** efetuou a instalação dos sensores e dos equipamentos de telemetria da estação São Pedro do Paranaíta no dia 23 de janeiro de 2013. As etapas envolvidas na instalação da estação foram: a limpeza do terreno, utilização de tubos para o

enterramento do cabo que liga o sensor de nível ao *datalogger*, construção do cercado com esteios de madeira, base de concreto, tela de aço galvanizado e pintura.

O equipamento apresentou inicialmente alguns problemas técnicos de registro dos dados, os quais foram solucionados posteriormente e desde então a estação está funcionando normalmente. As leituras das régua às 7 e 17 horas se iniciaram no dia 01 de setembro de 2012, e os dados automáticos a partir do dia 12 de abril de 2013. Na **Figura 5** são mostradas as fotos do processo de instalação da estação telemétrica São Pedro do Paranaíta.



Figura 5. Processo de instalação da estação hidrométrica São Pedro do Paranaíta, incluindo o PI (a); lance de régua (b); RN (c); e vista geral da estação (d).

2.3.4 Estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo

Segundo o projeto apresentado e aprovado pela ANA:

A estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (17380000/009560001), tipo PFDST, da ANA, foi proposta pela Companhia Hidrelétrica Teles Pires S/A para atendimento ao quantitativo da Resolução Conjunta. Ressalta-se que a ANA concorda com a proposição apresentada, que é a transição da operação da

CPRM para a Companhia Hidrelétrica Teles Pires S/A da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (17380000/00956001).

Destaca-se que a empresa deve instalar os equipamentos automáticos na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo e quando do início do envio dos dados em tempo real a ANA procederá a transferência da estação para a empresa.

A estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo, localizada a montante do futuro reservatório da UHE Teles Pires, é uma das mais importantes estações compreendidas no estudo hidrológico da UHE Teles Pires, visto que possui série histórica de dados, com leituras desde 1980. Na **Figura 6** são mostrados alguns registros fotográficos do local e da instalação da estação, com destaque aos PIs (Ponto Inicial da seção de medição), PF (Ponto Final), RN's e instalação das régua limnimétricas.

No dia 27 de abril de 2013, a equipe da **VERACRUZ** efetuou a instalação dos sensores e dos equipamentos de telemetria da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo. As etapas envolvidas na instalação da estação foram: a limpeza do terreno, utilização de tubos para o enterramento do cabo que liga o sensor de nível ao *datalogger*, construção do cercado com esteios de madeira e base de concreto, tela de aço galvanizado e pintura.

As régua limnimétricas, RN's, PI e PF foram aproveitados da estação da ANA, operada pela CPRM. Na **Figura 6** são mostradas as fotos do processo de instalação da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo.



Figura 6. Processo de instalação da estação hidrométrica Jusante Foz Peixoto de Azevedo, incluindo a instalação do cercado (a) e (b); sensor de nível (c); e lance de régua (d).

3 METODOLOGIA

3.1 Medição de vazão (descarga líquida)

A medição da vazão de um rio envolve uma série de grandezas características do escoamento na seção, que podem ser agrupadas em duas grandes categorias:

- Grandezas geométricas da seção;
- Grandezas referentes ao escoamento (velocidade e vazão).

As principais grandezas de cada categoria, assim como os símbolos e as unidades mais utilizadas em publicações da área de recursos hídricos são apresentados nos **Quadros 2 e 3**.

Quadro 2. Grandezas geométricas utilizadas na medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Área	A	m ²	---
Perímetro molhado	X	m	---
Raio hidráulico	R	m	$R = A/X$
Largura superficial	L	m	---
Profundidade média	P_{med}	m	$P = A/L$
Profundidade máxima	P_{max}	m	---
Cota limnimétrica	h	cm	---
Ponto inicial da seção transversal	PI	---	---
Ponto final da seção transversal	PF	---	---
Distância entre PI e PF	D	m	---
Distância entre duas verticais	L	M	---
Distância da vertical ao PI	D	m	---
Profundidade de um ponto da vertical	p_i	m	---
Profundidade total numa vertical	P	m	---
Área entre duas verticais	a	---	---

Quadro 3. Grandezas de escoamento da seção de medição (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Velocidade média na seção	V_m	m/s	$V_m = Q/A$
Vazão total na seção	Q	m ³ /s	---
Vazão em um segmento da seção	q_i	m ³ /s	---
Velocidade em um ponto na vertical	V_i	m/s	---
Velocidade na superfície	V_s	m/s	---
Velocidade no fundo	V_f	m/s	---
Velocidade média na vertical	\bar{V}	m/s	---
Velocidade média superficial	V_{sup}	m/s	---
Vazão unitária	Q	m ² /s	---

Tanto as grandezas geométricas quanto as referentes ao escoamento são definidas em função do nível d'água na seção analisada e, portanto, variam com ele. O plano de referência para a cota do nível da água, habitualmente escolhido, é o "zero" da régua limnimétrica.

As medições de vazão em rios mais utilizadas são através do método de medição convencional, com o molinete, e por meio do ADCP.

3.1.1 Medição de vazão (descarga líquida) com molinete

Para o emprego do método de medição convencional, é necessária a determinação da velocidade em um número relativamente grande de pontos na seção transversal, utilizando a integração das velocidades, ou seja, define-se na seção uma série de verticais de acordo com a **Tabela 1** e mede-se as velocidades em vários pontos situados nessas verticais (**Quadro 4**).

O perfil de velocidade é utilizado para se calcular a velocidade média da vertical, que por sua vez, é usada para se calcular a vazão de cada segmento, multiplicando-se a velocidade média da vertical em cada abscissa pela área de influência de cada trecho. A somatória de todas as vazões parciais (q) fornece a vazão total (Q) da seção.

A medição convencional utilizando o molinete hidrométrico é universalmente bem aceita e utilizada para a determinação da vazão em cursos de água naturais e artificiais (canais), e consiste em determinar a área da seção e a velocidade do fluxo que passa na seção.

Tabela 1. Recomendações de distância entre verticais para a medição de velocidade da água (Fonte: **SANTOS et al., 2001**).

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
≤ 3	0,3
3 – 6	0,5
6 – 15	1
15 – 30	2
30 – 50	3
50– 80	4
80 – 150	6
150 – 250	8
250 – 500	12
>500	15

Quadro 4. Fórmulas para o cálculo da velocidade média na vertical (Fonte: ANA, 2009).

Nº de pontos	Posição na vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (Vm) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = V_{0,6}$	$p \leq 0,6$
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$	$0,6 < p \leq 1,2$
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/4$	$1,2 < p \leq 2,0$
4	0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p	$V_m = [V_{0,2} + 2(V_{0,4} + V_{0,6}) + V_{0,8}]/6$	$2,0 < p \leq 4,0$
6	Sup.; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e fundo	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]/10$	$P > 4,0$

A determinação da área da seção é realizada a partir da medição da abscissa e da profundidade do rio em um número significativo de pontos ao longo da seção (**Figura 7**). Estes pontos definem as verticais que ligam a superfície livre ao fundo do rio, sendo que nessas mesmas verticais são realizadas as medições de velocidade com o molinete hidrométrico em certo número de pontos (variando em função da profundidade). A velocidade média na vertical é determinada por meio do método analítico.

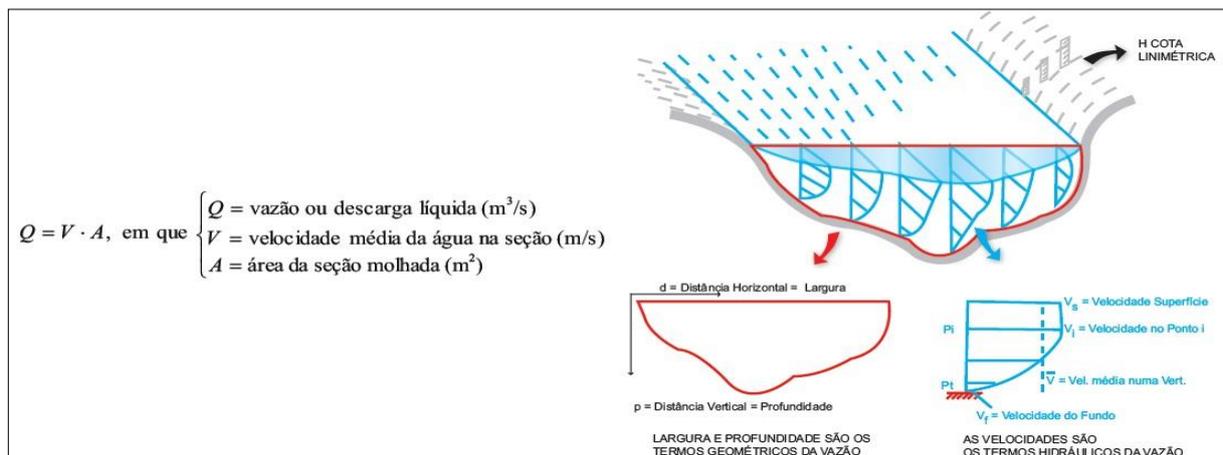


Figura 7. Grandezas necessárias para medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

O molinete usado nas medições possui certificado de calibração contendo a equação a ser utilizada no cálculo das velocidades a partir do número de rotações por segundo. Para exemplo, são apresentadas a seguir as **Equações 1 e 2**, a partir da contagem do número de rotações da hélice por segundo (N).

$$V (m/s) = 0,00991104 + 0,25002366 * N, \quad \text{Válida para } N \leq 0,7304 \quad (1)$$

$$V (m/s) = -0,01770850 + 0,28784040 * N, \quad \text{Válida para } N > 0,7304 \quad (2)$$

A velocidade do fluxo da água é linearmente proporcional ao número de rotações da hélice por segundo (N). O número de rotações é determinado em intervalos de tempo de 50 e 60 segundos, sendo que o número de contagens é dividido por esses tempos para se determinar o valor de N. Desta forma, além do molinete, o contador de rotações é um equipamento indispensável nas medições de vazão. Atualmente, utiliza-se o contador digital

de tempo pré-programado com parada automática em 60 segundos e aviso de pré-parada em 50 segundos.

As rotações do molinete (**Figura 8a e b**) são registradas pelo contador de impulso, o qual é ajustado para emitir um impulso elétrico a cada rotação completa da hélice. Esses impulsos acionam o contador, que é acoplado a um cronômetro de contagem regressiva (**Figura 8c**). Ajusta-se o tempo desejado para a medição, posiciona-se o molinete (profundidade a ser medida a velocidade) e, ao apertar um botão, o contador de impulsos e o cronômetro é acionado simultaneamente. Após o tempo pré-programado, o cronômetro regressivo atinge o zero e o contador para, indicando o total de rotações do molinete no período. O número de rotações é então anotado em planilha apropriada (**Figura 8d**).

As medições com o molinete são feitas com o barco completamente parado para não haver falseamento na medida de velocidade da corrente, e isso pode ser feito com o barco fixado com cabo de aço junto as margens ou com o barco ancorado no fundo do rio.

No caso da utilização do barco ancorado, a ancoragem é realizada de forma sucessiva para cada uma das verticais, dividindo a seção transversal em trechos, dentro do alinhamento PI - PF (Ponto Inicial e Final). Trata-se do método mais trabalhoso e demorado, visto que para cada vertical deve se alinhar o barco com o auxílio de uma âncora fixada que deve ser descida e subida em cada uma das verticais.



Figura 8. (a) Montagem e preparação do molinete hidrométrico; (b) Molinete hidrométrico completo pronto para utilização; (c) Contador de impulsos envolvido em plástico impermeável contra chuva; (d) Planilhas de anotações hidrométricas com saco plástico contra chuva.

3.1.2 Medição de vazão (descarga líquida) com o ADCP

O sistema *SonTek RiverSurveyor* é um sistema Perfilador Acústico *Doppler* (ADCP) robusto e bastante preciso, projetado para medir vazões fluviais, fluxos de água tridimensionais, profundidades e batimetria em embarcações paradas (medidas estacionárias) ou em movimento. O sistema *RiverSurveyor* oferece uma combinação dupla: um perfilador de velocidade acústica *Doppler*, aliado a um conjunto de *softwares* compatíveis com o *Windows* que pode ser usado no computador ou celular. O ADCP portátil (**Figura 9**) é constituído de nove sensores que emitem feixes de ondas acústicas com diferentes frequências, permitindo obter imagens precisas tanto de locais rasos como profundos (até 60 metros de profundidade). Além desses sensores, o M9 tem uma carcaça de *Delrin* de 13 cm de diâmetro, e é composto de dois conjuntos de transdutores para medição de velocidade, ambos em configuração *Janus*: quatro transdutores de 3,0 MHz e quatro de 1,0 MHz. O feixe acústico vertical (sonda *echo sounder*) de 0,5 MHz fornece dados de profundidade.

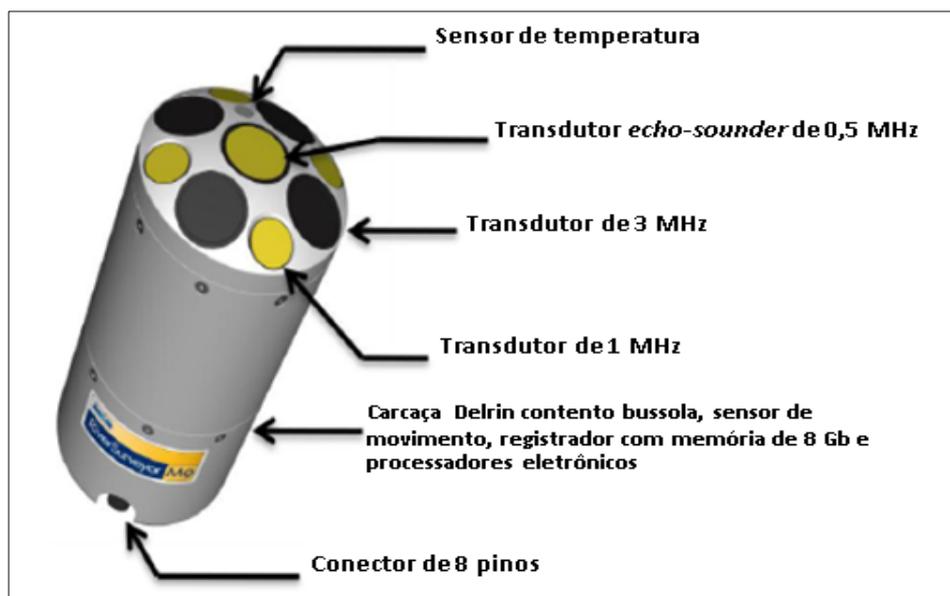


Figura 9. Características do ADCP M9.

O PCM (**Figura 10**) se conecta diretamente ao M9 por meio de um cabo de um metro de comprimento. A sua função é fornecer alimentação ao ADCP usando um conjunto de baterias recarregáveis, a fim de permitir comunicações remotas com o computador ou aparelho celular por *bluetooth*. Existem ainda locais para fixação da haste do D-GPS e o interruptor geral que liga e desliga todo o sistema. O D-GPS pode ser fixado tanto à unidade M9 quanto à unidade PCM.

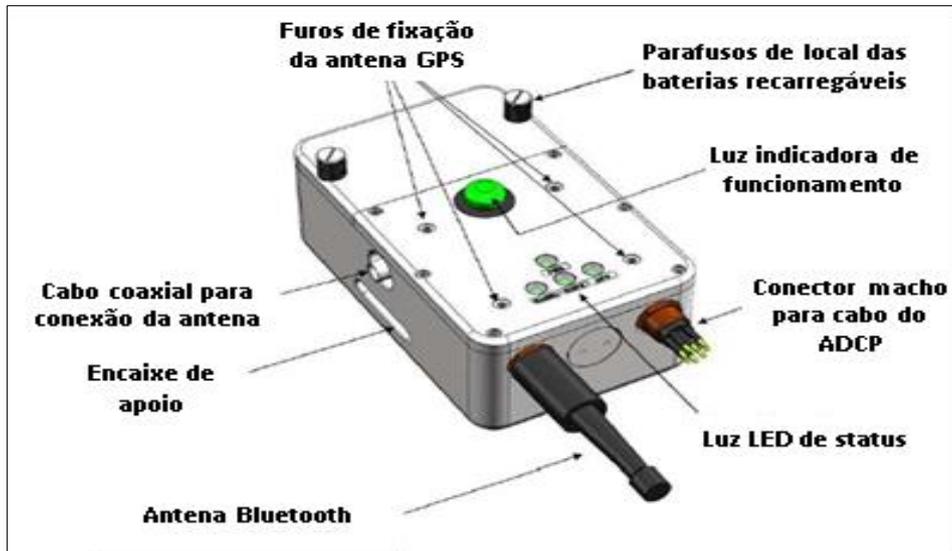


Figura 10. Módulo de alimentação e comunicação (PCM).

A **Figura 11** ilustra as unidades necessárias para a medição de vazão, como a sonda M9, o módulo PCM, a antena D-GPS e o uso facultativo do *notebook* ou celular *smartphone*. As medições de descarga líquida nos quatro postos fluviométricos foram efetuadas com a utilização do conjunto ADCP - sonda M9, módulo PCM, D-GPS (**Figura 12a**) e *notebook* (**Figura 12b**).



Figura 11. Hardware montado para a opção D-GPS com comunicações Bluetooth.

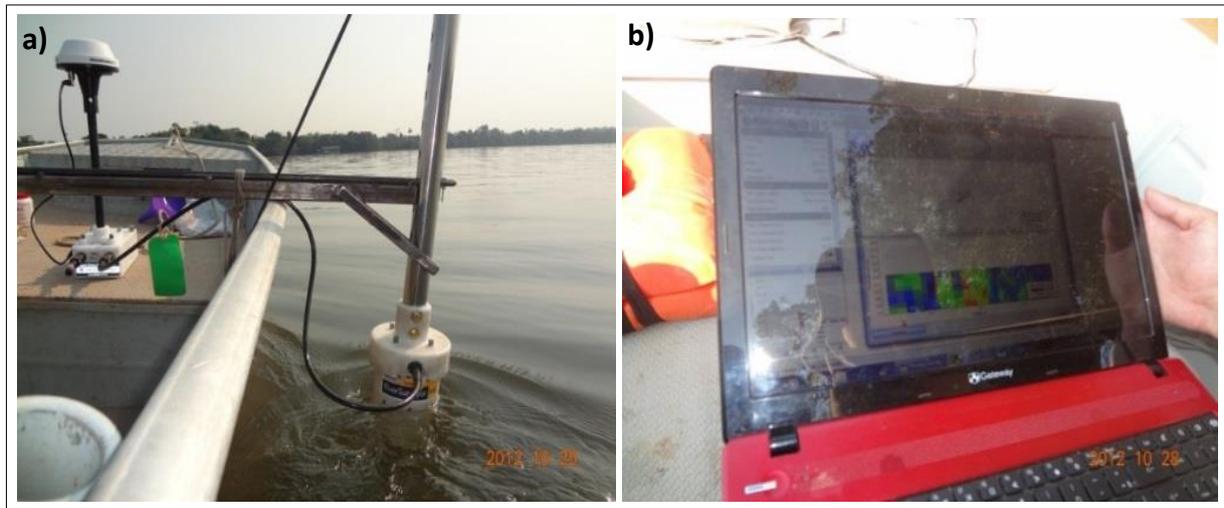


Figura 12. Medição de vazão com utilização do ADCP. **(a)** ADCP parcialmente submerso coletando dados; **(b)** *notebook* usado na visualização dos dados gerados e na orientação da velocidade de trânsito do barco durante a medição.

3.2 Amostragem de sedimento em suspensão e de leito

Para a coleta de sedimentos em suspensão é utilizado um amostrador do tipo saca (**Figura 13**). A amostragem é efetuada por integração na vertical em dois sentidos, descida e subida, em que a mistura água-sedimento é acumulada continuamente no recipiente e o amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito (v_t) constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical. Esse procedimento é conhecido como Igual Velocidade de Trânsito (IVT). Devido ao bico do amostrador ficar um pouco acima do fundo, há uma zona não amostrada de poucos centímetros de profundidade logo acima do leito do rio.



Figura 13. Amostragem da mistura água-sedimento utilizando o amostrador Saca AMS-8 (a, b, c, d) e amostragem do material de leito com a Draga Petersen (e, f).

O método mais utilizado para amostragem de sedimento em suspensão é o Igual Incremento de Largura (IIL), devido a sua simplicidade. No método IIL a área da seção transversal é dividida numa série de verticais igualmente espaçadas, sendo que em cada uma das verticais se utiliza a amostragem por integração vertical (**Figura 14**).

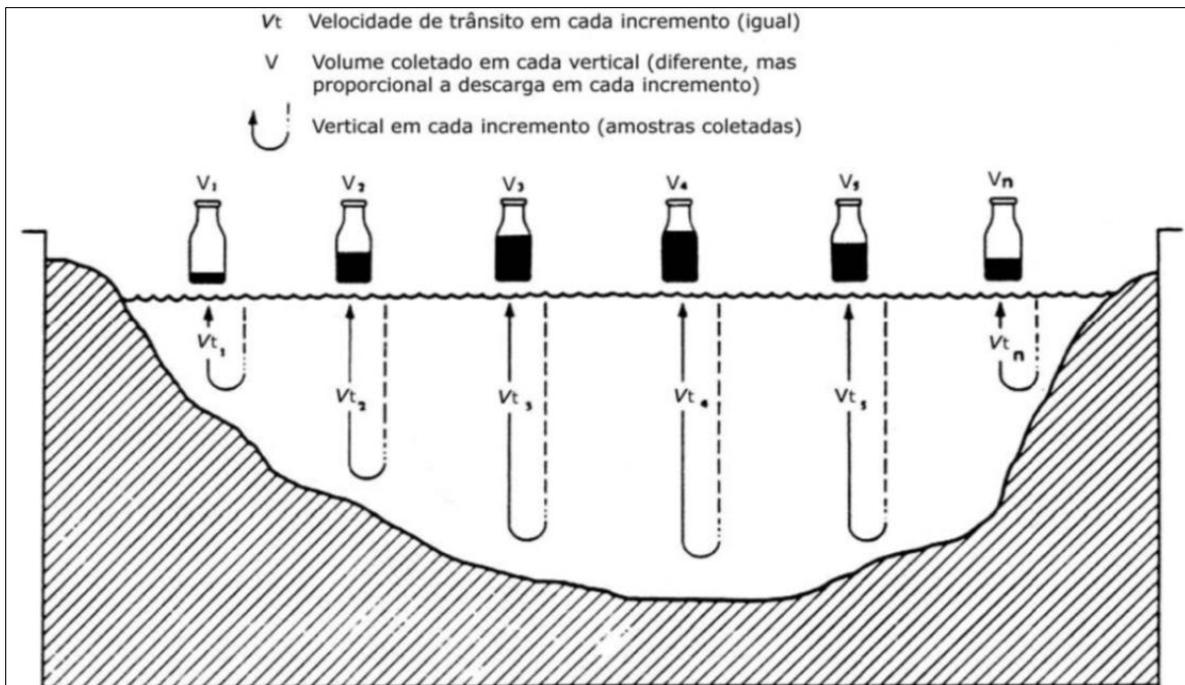


Figura 14. Exemplo de amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (Carvalho et al., 2000).

No método IIL precisa-se de 10 a 20 sub-amostras, logo faz-se a medida da vazão com o dobro da quantidade de sub-amostras desejadas, uma vez que essa vazão tem normalmente um mínimo de 20 verticais. Em seguida, programam-se as verticais escolhidas para amostragem e procura-se entre elas a vertical que apresente o maior produto entre a velocidade média (V_m) e a profundidade (p) na vertical de controle. Nessa vertical obtém-se a primeira amostra, adotando os procedimentos com o cálculo do tempo mínimo de amostragem (t_{min}), o qual será usado para definir a velocidade de descida e subida (velocidade de transito – v_t) do amostrador. Para o bico de $\frac{1}{4}$ " utilizado, o tempo mínimo é definido pela **Equação 3**:

$$t_{min} = 2p/vt = 2p/0,4v_m \quad (3)$$

As outras sub-amostras são obtidas com tempos proporcionais a partir de uma regra de três entre o tempo padrão e as profundidades, mantendo a mesma velocidade de trânsito utilizada na vertical de controle. As sub-amostras obtidas são combinadas em uma só amostra composta para a determinação da concentração média e da granulometria média, permitindo análises com precisão desejável.

Já na amostragem do material de leito é utilizada a Draga Petersen (**Figura 15**), através da metodologia de Igual Incremento de Largura, porém em verticais alternadas em relação a amostragem em suspensão, permitindo uma boa representatividade estatística, que quando analisadas em laboratório podem representar a média.



Figura 15. Amostragem do sedimento de leito utilizando a Draga de Petersen (a), (b), (c) e (d).

3.3 Análises de laboratório

As amostras coletadas são recebidas, checadas e pesadas pela equipe do Laboratório de Águas, Solos e Rochas da **VERACRUZ** em São Paulo. Posteriormente, as amostras de material em suspensão seguem para a determinação da concentração e granulometria do material em suspensão e as amostras de material de leito seguem para análise granulométrica.

Todo o volume de cada uma das amostras em suspensão que chega ao laboratório é analisado, visto que não se deve fazer um fracionamento da amostra total devido a dificuldade de homogeneização da mistura água-sedimento. Uma suposta homogeneização da mistura não fica completa, porque as partículas pesadas vão logo se depositando no instante seguinte, sendo portanto, perdidas em análises fracionadas.

3.3.1 Tubo de retirada pela base

Inicialmente, determina-se a concentração de sais solúveis com a retirada de duas pipetagens de 50 ml da parte sobrenadante da amostra. O método do tubo de retirada pela base consiste em inserir a amostra em um tubo de graduação de 100 centímetros e aproximadamente uma polegada de diâmetro. Deve-se agitar durante cinco minutos para que a amostra fique homogênea. As amostras de água com os sedimentos em suspensão são retiradas a cada dez centímetros em intervalos de tempo pré-determinados de acordo com o diâmetro das partículas. Os tempos para a retirada de cada amostra foram: 30 segundos, 1 min., 2 min., 5 min., 13 min., 32 min., 80 min., 160 min., 450 min. e 451 minutos após o início do ensaio. Para cada retirada deve-se anotar a temperatura da água, pelo fato de que a viscosidade da água se altera de acordo com sua temperatura.

Essas amostras são levadas para a estufa a 105 °C durante 24 horas, e posteriormente ao dessecador. O peso da amostra é definido pela subtração do peso do béquer limpo do valor do peso total do béquer com a amostra seca.

3.3.2 Análises de concentração

As análises de concentração são realizadas pelo método de evaporação, evitando-se a colmatagem do filtro devido a grande quantidade de amostra, mesmo que em baixa concentração.

As amostras são submetidas ao processo de redução após 96 horas de repouso seguindo as instruções da **CESP (2009)**. A mistura água-sedimento reduzida é então colocada em um recipiente para evaporação e levada a estufa para secagem. Depois de algumas horas, quando o sedimento fica visualmente seco, deve-se deixá-lo por mais duas horas na estufa. Posteriormente, as amostras são levadas ao dessecador e depois para pesagem em balança analítica.

Determina-se a concentração de sais solúveis com a retirada de duas pipetagens de 50ml da parte sobrenadante da amostra.

3.3.3 Análise granulométrica do material de leito

Utiliza-se uma série de peneiras de malhas padronizadas, nos seguintes diâmetros: 32 mm, 16 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,250 mm; 0,125 mm e 0,063 mm. Cada porção de material retido na peneira é pesado, sendo a porcentagem de cada diâmetro de malha de peneira obtida com a divisão pelo peso total da amostra.

Sobrando resíduo fino maior que 5% após a peneiração com a malha de 0,063 mm, correspondente aos materiais finos silte + argila, procede-se uma análise pelo processo de pipetagem ou tubo de remoção pela base.

3.4 Descarga sólida

3.4.1 Cálculo da descarga sólida em suspensão

As medições da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}), com amostragens pelo método de Igual Incremento de Largura, possuem uma única análise a partir de amostra composta. A concentração (C) corresponde ao valor médio na seção, sendo a descarga sólida em suspensão calculada pela **Equação 4 (CARVALHO, 2008)**:

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q * C \quad (4)$$

Em que, Q é a descarga líquida em m^3/s , C é a concentração em mg/l , e o resultado de Q_{ss} é dado em ton/dia .

3.4.2 Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)

O método de **Colby (1957)** para o cálculo da descarga sólida total é um método robusto e simples, principalmente considerando o reduzido número de dados necessários para à sua aplicação. Além da concentração de sedimentos em suspensão, são necessários apenas dados de vazão, largura da superfície do canal, velocidade média do escoamento e a profundidade hidráulica (**PAIVA, 2001**).

3.4.3 Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein

O método modificado de Einstein é o resultado de vários anos de pesquisas no campo, conduzidas em conjunto pelo USBR e o USGS em rios aluvionais largos e rasos no estado de Nebraska nos Estados Unidos da América. Dos métodos atualmente disponíveis, é o que possui maior precisão para o cálculo do transporte de sedimentos obtido para diversas granulometrias (**CARVALHO, 2008**). Ele calcula a descarga sólida total de sedimentos a partir de medidas das descargas de sedimentos em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo e da extrapolação da carga em suspensão medida até o fundo do rio.

Para o cálculo do método modificado de Einstein é utilizado um programa desenvolvido por **Mendes (2001)** no Excel.

4 MANUTENÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS

De acordo com os critérios apresentados no Projeto Básico Ambiental, vem sendo realizada com frequência trimestral a manutenção das estações hidrométricas da UHE Teles Pires (**Figura 16**).

Para assegurar o correto funcionamento dos sensores automáticos, durante as campanhas de campo são feitas a verificação de toda a estrutura instalada, como tubulações de acondicionamento dos sensores de nível, sistemas de alimentação por energia solar, baterias internas, *dataloggers*, e limpeza dos pluviômetros e verificação das condições dos cercados. São inspecionados também os RN's e os lances de réguas das estações, bem como, seu estado de conservação e limpeza, condições de acesso, legibilidade das escalas e facilidades de leitura. As seções transversais são mantidas limpas e visíveis, o que permitir realizar as medições adequadamente.

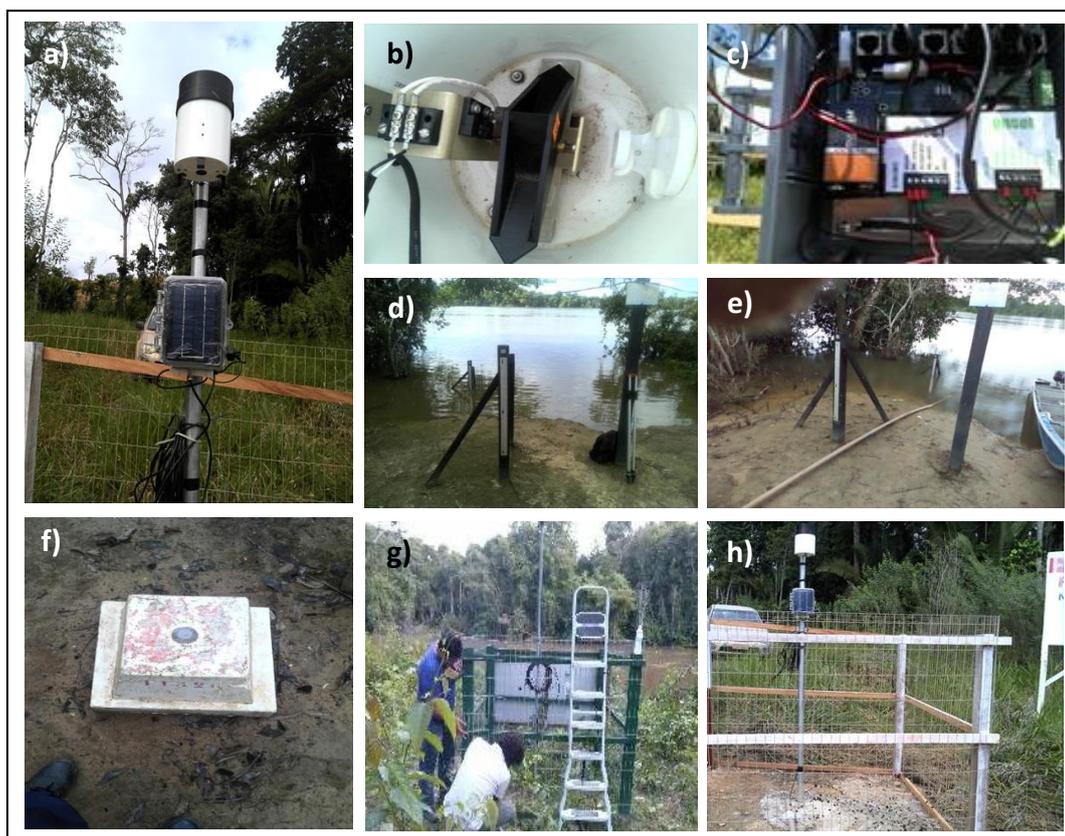


Figura 16. Manutenção das estações hidrométricas; (a) pluviômetro e datalogger; (b) limpeza do pluviômetro; (c) bateria interna; (d) seção de réguas; (e) tubulação do sensor de nível; (f) RN; (g) e (h) condições do cercado e vista geral da estação.

5 VAZÃO EXCEPCIONAL (MARÇO DE 2014)

Durante o mês de março de 2014 as fortes chuvas na região da UHE Teles Pires provocaram um aumento do nível do rio Teles Pires, relacionado diretamente com o aumento da vazão, chegando próxima da vazão com período de recorrência de 50 anos, sendo considerado um período de chuva extraordinário, requerendo maior atenção dos moradores locais e da UHE Teles Pires.

Por se tratar de um evento incomum, foram realizadas, pela **VERACRUZ**, medições de vazão adicionais com o intuito de melhor estimar a vazão no rio Teles Pires durante períodos de cheias extremas. Nessa ocasião também foram emitidos boletins especiais (exemplo no **ANEXO 4**) além de previsões de vazão na estação UHE Teles Pires, o que subsidiou a tomada de importantes decisões técnicas na usina.

Destaca-se que a elevação do rio Teles Pires durante a cheia de março de 2014 se deu devido a uma vazão natural extraordinária, não havendo qualquer relação direta com as obras da UHE Teles Pires.

6 RESULTADOS

6.1 Medições de vazão (descargas líquidas) e descargas sólidas

Os principais resultados de descargas líquidas e descargas sólidas em suspensão e totais referentes as coletas de campo realizadas nas estações Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires, São Pedro do Paranaíta e Jusante Foz Peixoto de Azevedo são apresentados na **Tabela 2** e nas **Figuras 17 a 20**.

Tabela 2. 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	Cajueiro do Teles Pires	São Pedro do Paranaíba	UHE Teles Pires	Jusante Foz Peixoto de Azevedo
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

*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, 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.

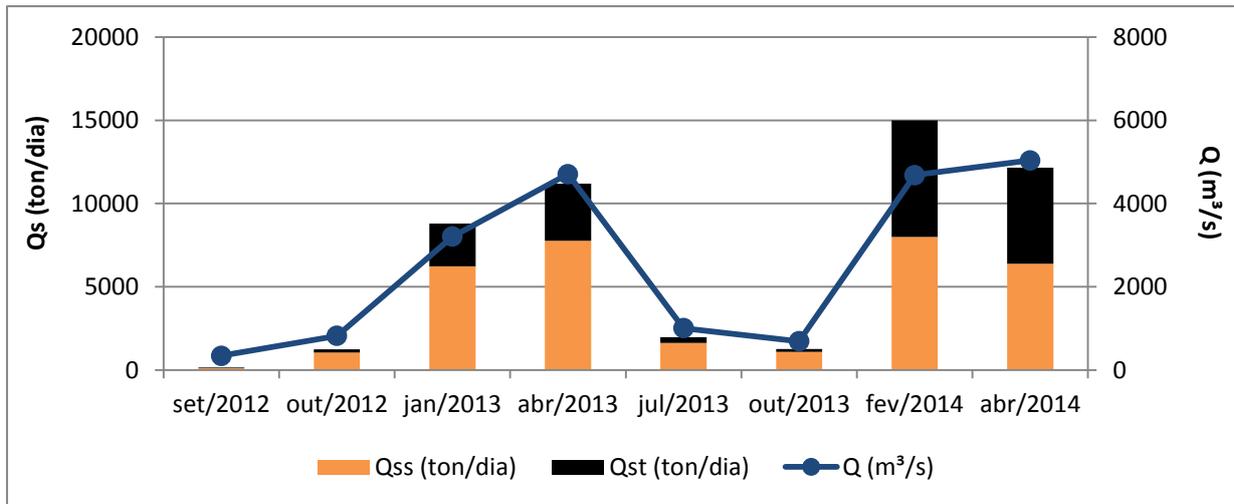


Figura 17. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Cajueiro do Teles Pires nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e abril de 2014.

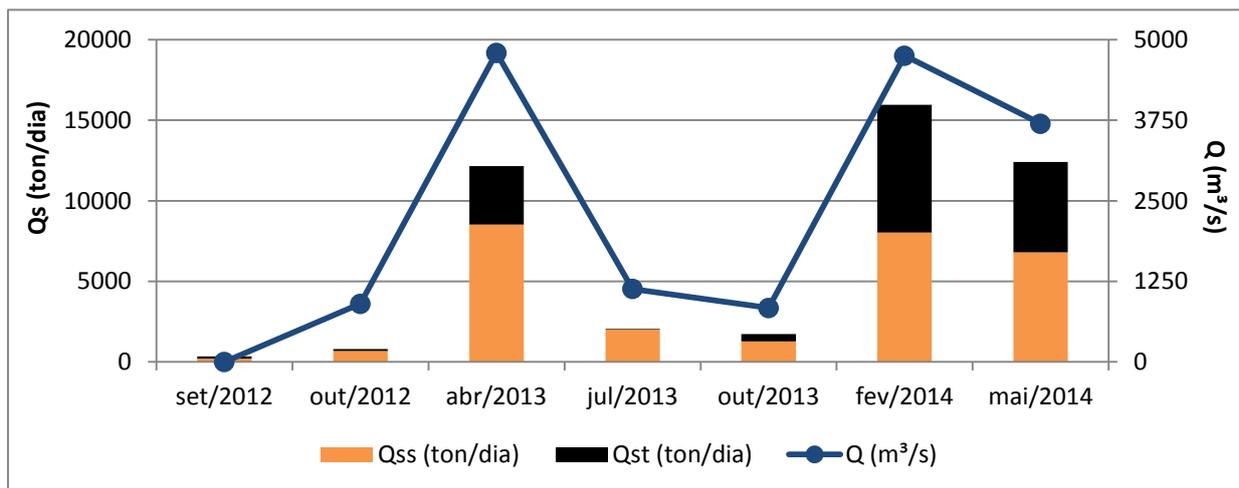


Figura 18. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e maio de 2014.

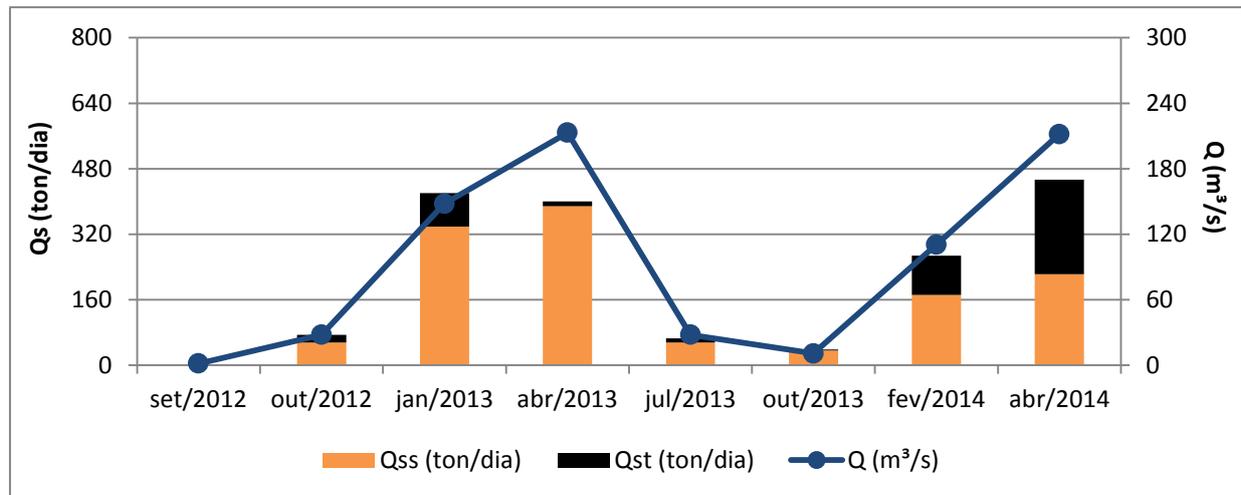


Figura 19. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação São Pedro do Paranaíta nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e abril de 2014.

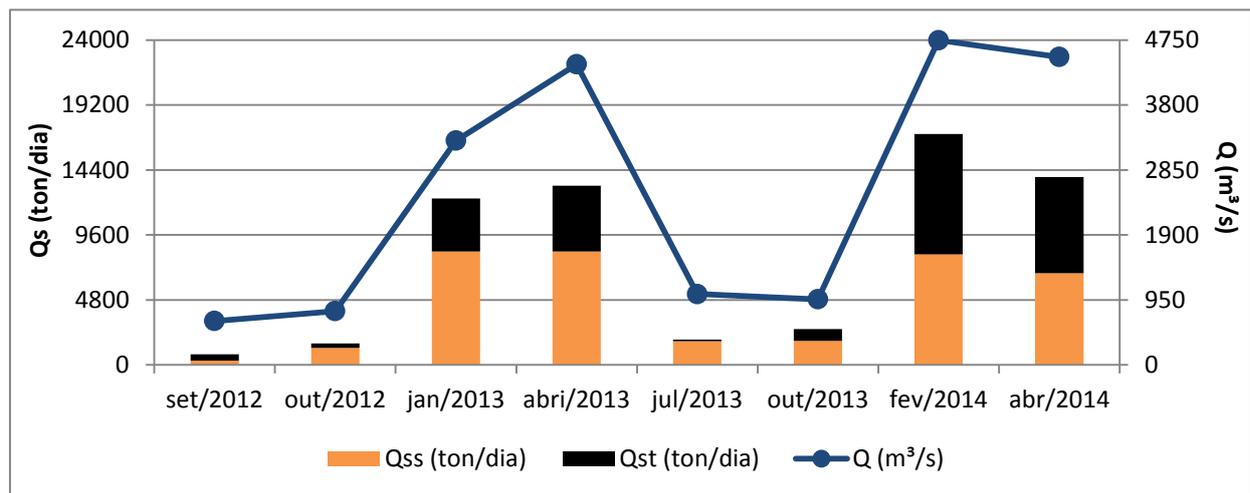


Figura 20. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e fevereiro abril de 2014.

Os valores referentes às descargas sólidas totais das estações variaram conforme a oscilação dos valores de vazão. A variabilidade no comportamento das descargas sólidas também está associada a outros fatores, tais como, os tipos de solos, uso e ocupação da terra, precipitação sazonal, características físicas da bacia e controle de erosão, que sofre ampla influência tanto espacial quanto temporal.

No período de maior regime pluviométrico ocorrem as maiores descargas líquidas e descargas sólidas nas estações. O regime pluviométrico interfere diretamente no escoamento superficial e conseqüentemente no carreamento de sedimentos para os corpos d'água. Segundo a classificação de Köppen, a região de Alta Floresta apresenta clima Aw (tropical com estação seca no inverno). As maiores precipitações ocorrem nos meses de outubro a abril e o período de estiagem se estende de maio a setembro, sendo que nos meses junho a agosto a

precipitação é praticamente igual a zero. Esse comportamento também foi observado nas estações hidrométricas pertencentes à UHE Teles Pires.

De acordo com o “Programa de Monitoramento de Estabilidades das Encostas Marginais Sujeitas a Processos Erosivos” as condições das margens do rio Teles Pires de forma geral encontram-se estáveis e preservadas, contribuindo para a baixa carga de sedimentos no rio. O solo da região é formado predominantemente por materiais argilosos fortemente estruturados e com dura consistência, retardando a erosão por ação fluvial. As margens do rio Paranaíta, apesar de apresentar condições mais suscetíveis aos processos erosivos que o rio Teles Pires, também estão em geral estáveis.

Os rios Teles Pires e São Pedro do Paranaíta apresentaram baixas concentrações de sedimentos em suspensão, com granulometria predominantemente de silte. Quanto à análise granulométrica do sedimento de fundo, os rios apresentaram leitos arenosos.

6.2 Análise dos dados físico-químicos da água e dos sedimentos

De acordo com o proposto pelo IBAMA por meio do Parecer Técnico Nº 111/2010-COVID/CGENE/DILIC/IBAMA de 10 de dezembro de 2010 (condicionante 2.11 da LP nº 386/2010) e com base nos itens “j” e “k” das exigências relativas aos Programas do Meio Físico no Ofício Nº 1203/2010/DILIC/IBAMA, foi incorporado, no âmbito do Programa Monitoramento Hidrossedimentológico, a evolução das características químicas dos sedimentos e a correlação dos resultados do programa hidrossedimentológico com as análises físico-químicas para monitoramento da qualidade de águas superficiais.

No “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” realizado pela empresa Conágua Ambiental Ltda., vem sendo quantificadas as variáveis físicas e químicas das amostras de sedimento em doze pontos de monitoramento, sendo seis localizados no rio Teles Pires (P1, P2, P5, P6, P7 e P8), dois no rio Paranaíta (P3 e P4), um no rio Oscar Miranda (P9), um no rio Vileroy (P10), um no rio São Benedito (P11) e um no rio Apiacás (P12). Entre abril de 2012 a maio de 2014, em cada mês monitorado, as amostras apresentaram valores em não conformidade com os valores norteadores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344/2004 para sedimentos de água doce em pelo menos um ponto no rio Teles Pires ou nos seus principais tributários.

A presença de mercúrio nos sedimentos em concentrações em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 344/2004 foi observada em nove meses dentre os 26 monitorados. Tais resultados evidenciam sedimentos contaminados por mercúrio em diversas porções, tanto do rio Teles Pires como em alguns de seus tributários, que são indicativos da utilização desse metal em atividades, tais como, extração de ouro, sejam aquelas praticadas nas décadas anteriores, ou mesmo atividades mais recentes realizadas de forma ilícita, haja vista

que a utilização de mercúrio em atividades de mineração de ouro tem sido mais controlada pelos órgãos governamentais de controle ambiental nos últimos 10 anos.

Valores de cádmio acima dos limites estabelecidos pela legislação foram também observados nos sedimentos em todos os pontos monitorados em pelo menos três épocas do ano. Essas observações evidenciam outras atividades antrópicas na bacia que geram contaminação, como por exemplo, baterias de níquel cádmio armazenadas de forma imprópria.

Com relação as variáveis abióticas da água, em cada mês monitorado, foi apresentado valores em não conformidade com os valores norteadores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2 em pelo menos um ponto no rio Teles Pires ou nos seus principais tributários no período entre abril de 2012 a maio de 2014.

Valores de fósforo total acima do limite estabelecido pela legislação foram observados em todos os pontos monitorados em agosto e setembro de 2013 e em fevereiro de 2014, bem como, em vários pontos em outubro (P7, P8, P4, P9, P10, e P12) e novembro (P6, P8, P3 e P4) de 2013. É possível que as elevadas concentrações de fósforo total na água estejam, também, relacionadas às atividades antrópicas existentes na bacia, como por exemplo, aplicação de fertilizantes na agricultura, os quais podem ter sido transportados para os corpos de água, principalmente nos períodos mais chuvosos.

Valores de alumínio dissolvido e ferro dissolvido acima do limite estabelecido pela legislação foram observados na grande maioria dos pontos de monitoramento de qualidade, tanto nos períodos mais chuvosos como nos períodos secos. Valores de manganês total acima do limite foram também observados nos meses maio de 2013 (P1, P2, P5, P6, P7, P3, P4, P9, P11 e P12), junho de 2013 (P4, P9, e P12), agosto de 2013 (P2, P5, P6, P3, P4, P9 e P10), novembro de 2013 (P9 e P10) e em maio de 2014 (P3, P4, P9 e P12). Possivelmente os elevados valores de alumínio dissolvido, ferro dissolvido e de manganês total estejam relacionados à litologia da bacia hidrográfica, e portanto, a fatores naturais.

Valores de bário total na água acima do limite estabelecido pela legislação foram observados em alguns pontos no rio Teles Pires e nos tributários em outubro de 2013, possivelmente relacionados a fontes de contaminação existentes na bacia e que no início do período chuvoso acaba sendo transportado por escoamento superficial para os corpos de água.

Os metais em sedimentos são fixados por adsorção sobre as superfícies das partículas minerais como areia, silte e argila. De acordo com **Mudroch e Macknight (1994)** muitos estudos sobre a correlação de metais e o tamanho da partícula dos sedimentos sugerem que usualmente partículas mais finas contêm concentrações mais elevadas de metais e que a principal porção de metais está incorporada na fração silte e argila. Os sedimentos apresentaram concentrações significativas de metais, tais como: mercúrio, cádmio e cromo,

mesmo sendo caracterizados como predominantemente arenosos e com presença reduzida da fração silte e argila.

6.3 Determinação das curvas-chave de vazão

Para o traçado das curvas-chave de vazão em cada estação de monitoramento foi utilizada a função de otimização *solver* do *Excel*, pelo método GRG não linear, com o objetivo de minimizar a soma do quadrado dos desvios.

As curvas-chave preliminares das estações Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires e São Pedro do Paranaíta foram determinadas a partir das medições de vazão realizadas pela **VERACRUZ** entre setembro de 2012 e maio de 2014.

Na estação Cajueiro do Teles Pires (**Figura 21**) o R^2 foi de 0,999, demonstrando um ajuste considerado muito bom para a amplitude de medições. Apesar disso, é necessário um maior número de medições de vazão para um melhor ajuste da curva-chave.

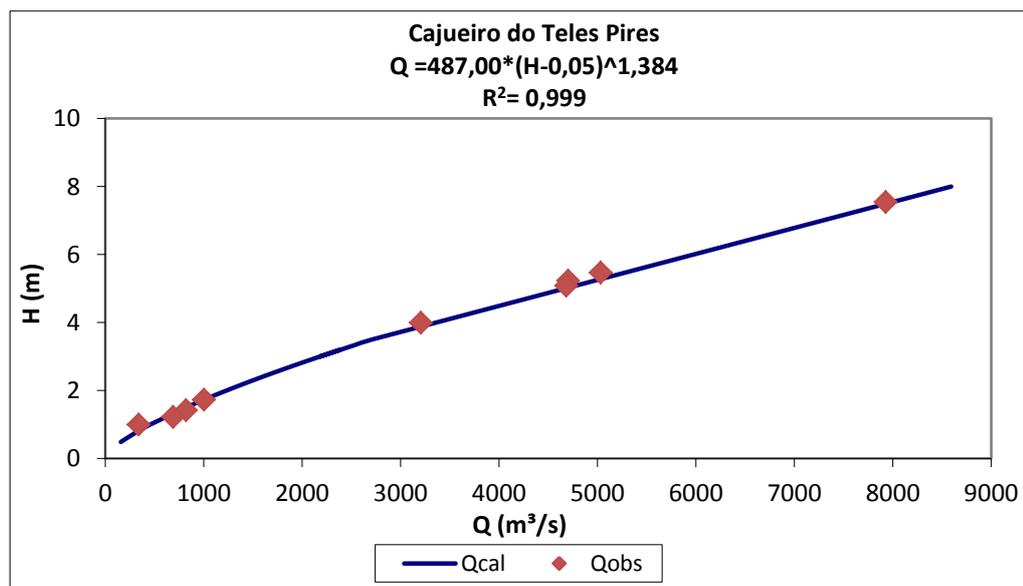


Figura 21. Curva-chave da estação Cajueiro do Teles Pires.

O traçado da curva-chave da estação UHE Teles Pires (**Figura 22**) apresentou um R^2 de 0,998, demonstrando um ajuste satisfatório para a amplitude de medições. Mesmo assim é importante a realização de um maior número de medições de vazão para um melhor ajuste da curva-chave.

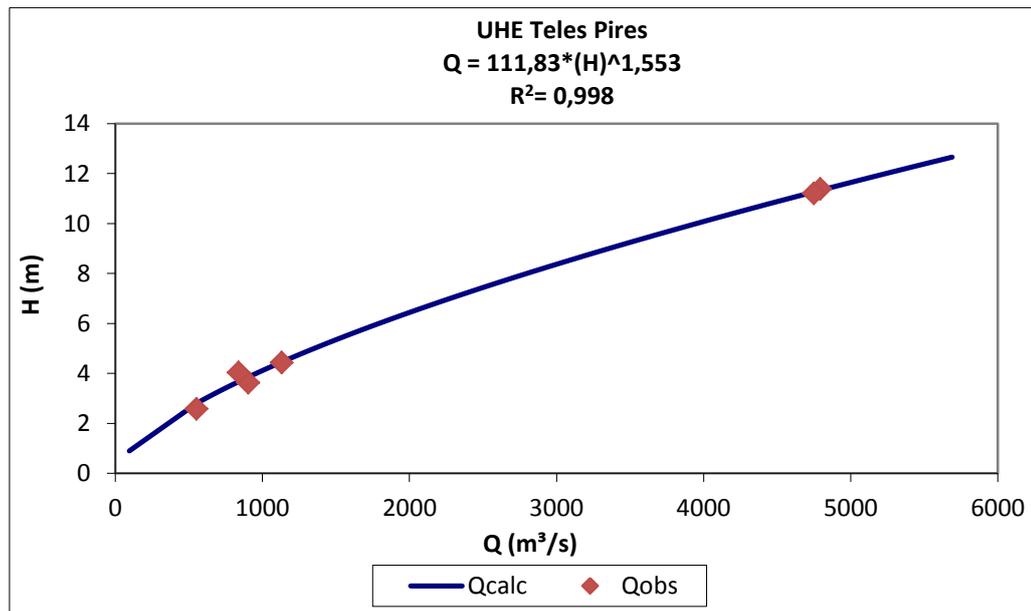


Figura 22. Curva-chave da estação UHE Teles Pires.

Na estação São Pedro do Paranaíta (Figura 23) o R^2 foi de 0,982, demonstrando um ajuste considerado muito bom para a amplitude de medições.

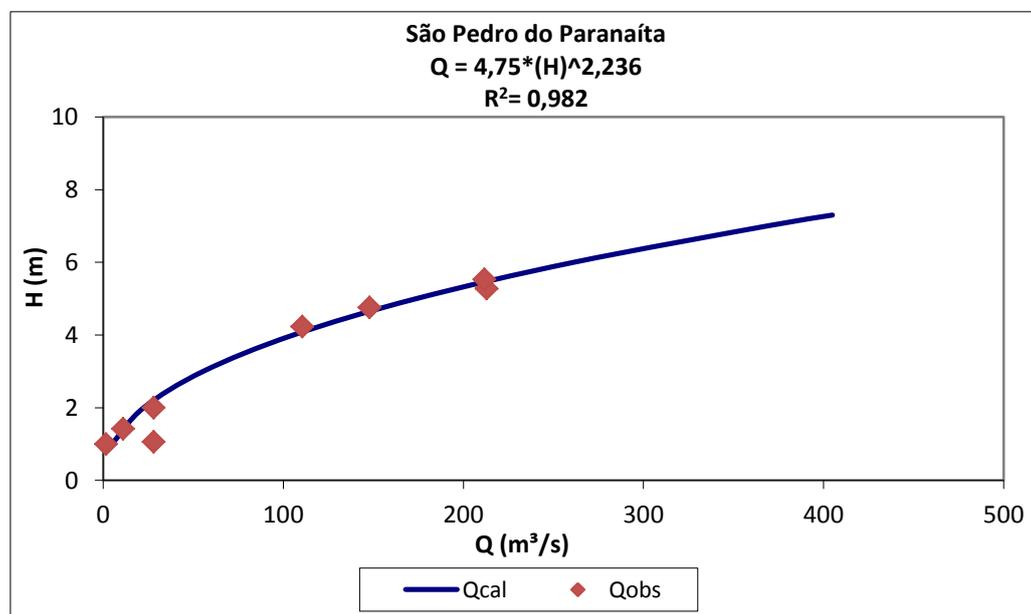


Figura 23. Curva-chave da estação São Pedro do Paranaíta.

Para o traçado da curva-chave da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (Figura 24) foi utilizada toda a série histórica da ANA englobando o período de monitoramento de setembro de 1980 a dezembro de 2012, além das medições de vazão realizadas pela VERACRUZ, entre

setembro de 2012 e maio de 2014. O coeficiente de determinação apresentado foi de 0,992, representando um ajuste muito bom para a curva-chave.

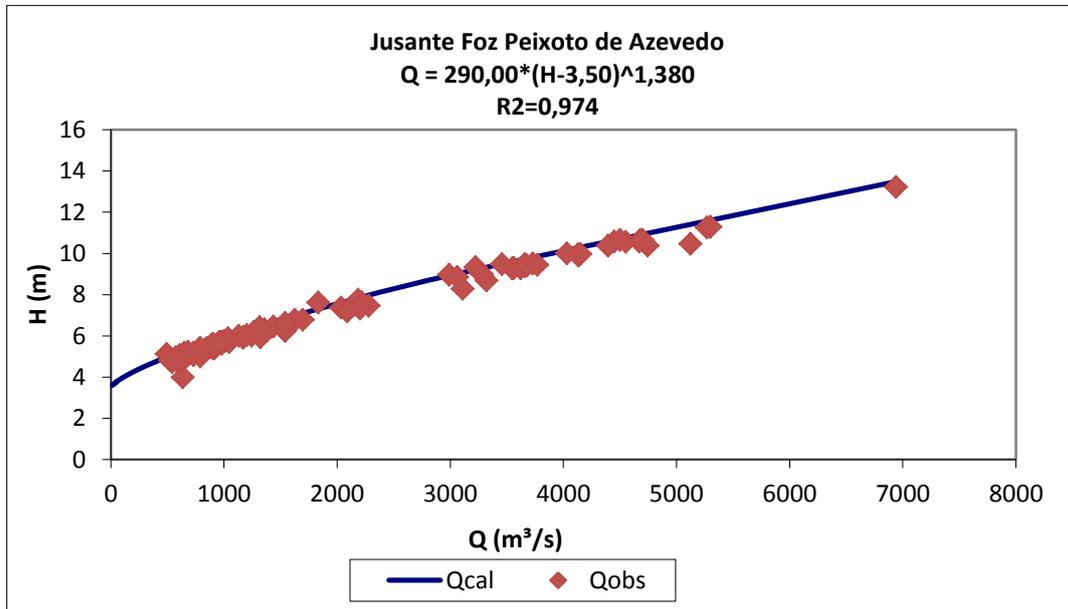


Figura 24. Curva-chave da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

6.4 Medidas de precipitação e vazão

A partir da determinação das curvas-chave e da coleta diária dos dados de nível do rio, foi possível apresentar os gráficos com os dados de vazão das estações. Junto às vazões também estão apresentados os gráficos de precipitação.

Os gráficos de vazão foram elaborados a partir de uma análise de consistência preliminar dos dados de nível, com a comparação dos dados brutos coletados pelos sensores de nível das estações hidrométricas com as leituras das régua limnimétricas, que também estão instaladas em cada estação de monitoramento. Já os gráficos de precipitação foram elaborados a partir dos dados brutos coletados pelos pluviômetros instalados nas estações hidrométricas do rio Teles Pires e Paranaíta (**ANEXO 3**).

6.4.1 Estação Cajueiro do Teles Pires

A **Figura 25** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária na estação Cajueiro do Teles Pires. Durante o período entre 09 de novembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014, devido a presença de árvores próximas a estação, ocorreu um acúmulo de sementes, folhas e penas de aves no pluviômetro, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação. Observou-se que o pluviômetro da estação estava com a água gotejando e apresentando um sinal característico de entupimento, de forma que, a chuva era contabilizada aos poucos e não no momento da chuva propriamente dita. Ressalta-se que durante as campanhas de campo, realizadas a cada três meses, é feita a manutenção das

estações, no entanto, mesmo assim, durante o intervalo entre as campanhas, as estações estão sujeitas a imprevistos causados pelas condições ambientais, como o entupimento dos pluviômetros por penas de pássaros ou entupimento por folhas transportadas pelo vento.

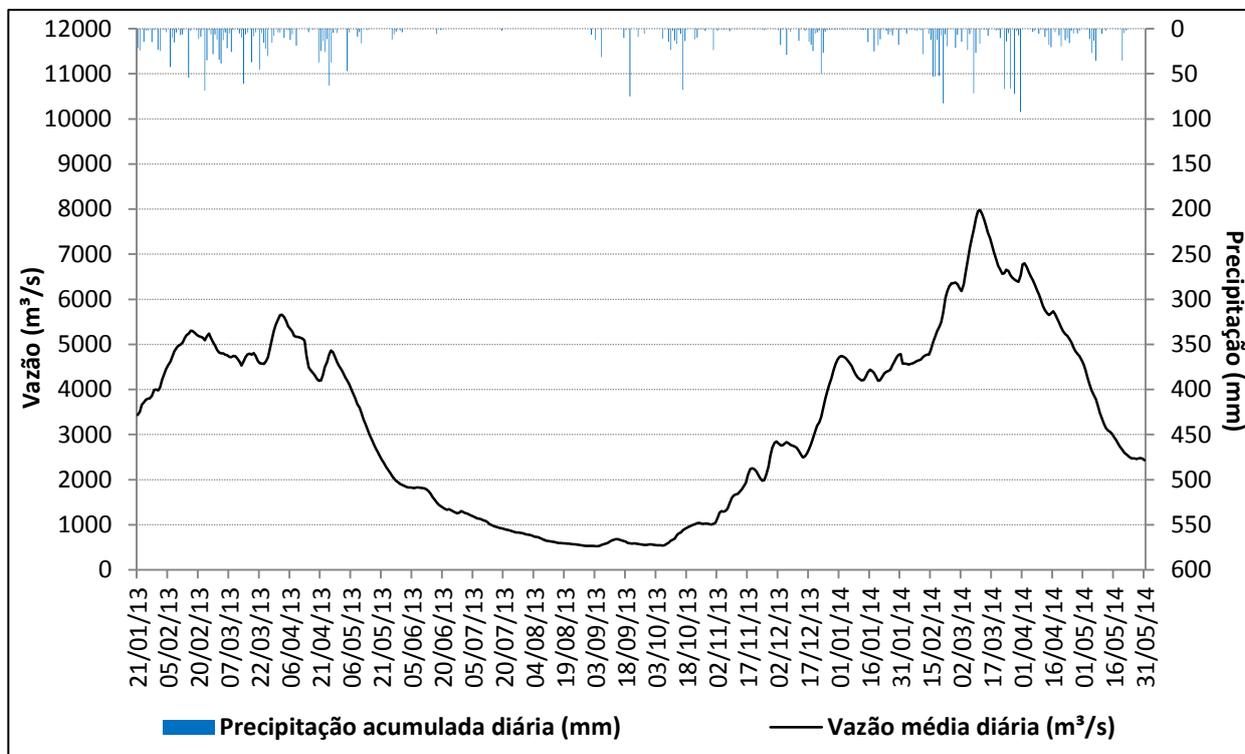


Figura 25. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica Cajueiro do Teles Pires no período entre janeiro de 2013 e maio de 2014. Entre os dias 09 de novembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014, o pluviômetro da estação Cajueiro do Teles Pires apresentou acúmulo de sementes, folhas e penas de aves, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação.

Devido as falhas ocorridas no registro de precipitação, foi feita uma regressão linear para estimar a precipitação acumulada na estação Cajueiro do Teles Pires durante os meses de novembro de 2013, dezembro de 2013, e janeiro de 2014.

Na regressão linear, as precipitações acumuladas mensais da estação com falhas e de um posto vizinho, que possui características climatológicas parecidas, são correlacionadas. Sendo assim, foram feitas correlações entre a estação Cajueiro do Teles Pires com as estações UHE Teles Pires, Jusante Foz Peixoto de Azevedo e com a estação Meteorológica UHE Teles Pires, que também é monitorada pela **VERACRUZ**, e está instalada a aproximadamente 500 m da futura casa de força da UHE Teles Pires.

A correlação entre a estação Cajueiro do Teles Pires e a Meteorológica UHE Teles Pires foi a que apresentou um maior coeficiente de determinação, R² de 0,9528, o que permitiu o preenchimento das falhas mencionadas através da equação linear obtida graficamente (**Figura 26**). Para gerar a equação foram utilizados os dados de precipitação mensal de fevereiro a outubro de 2013, período em que ambas estações funcionaram plenamente.

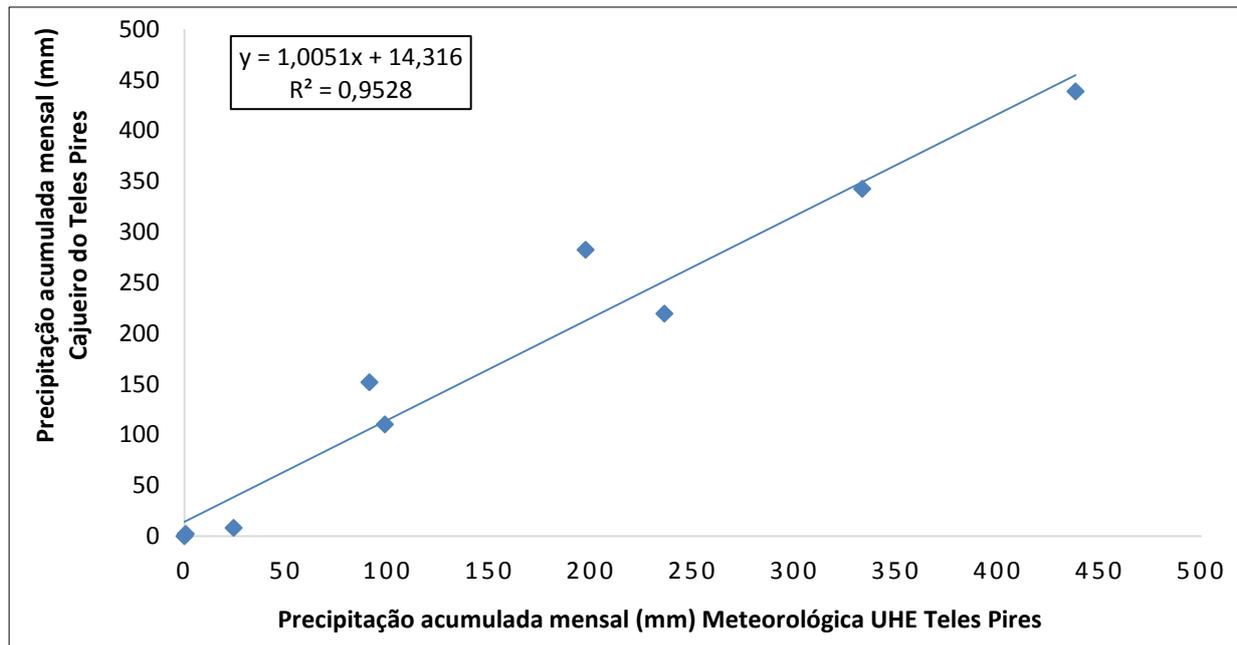


Figura 26. Correlação entre a estação Meteorológica UHE Teles Pires e a estação Cajueiro do Teles Pires.

Na **Figura 27** são apresentadas as precipitações acumuladas mensais na estação Cajueiro do Teles Pires, com as correções para os meses de novembro de 2013, dezembro de 2013 e janeiro de 2014.

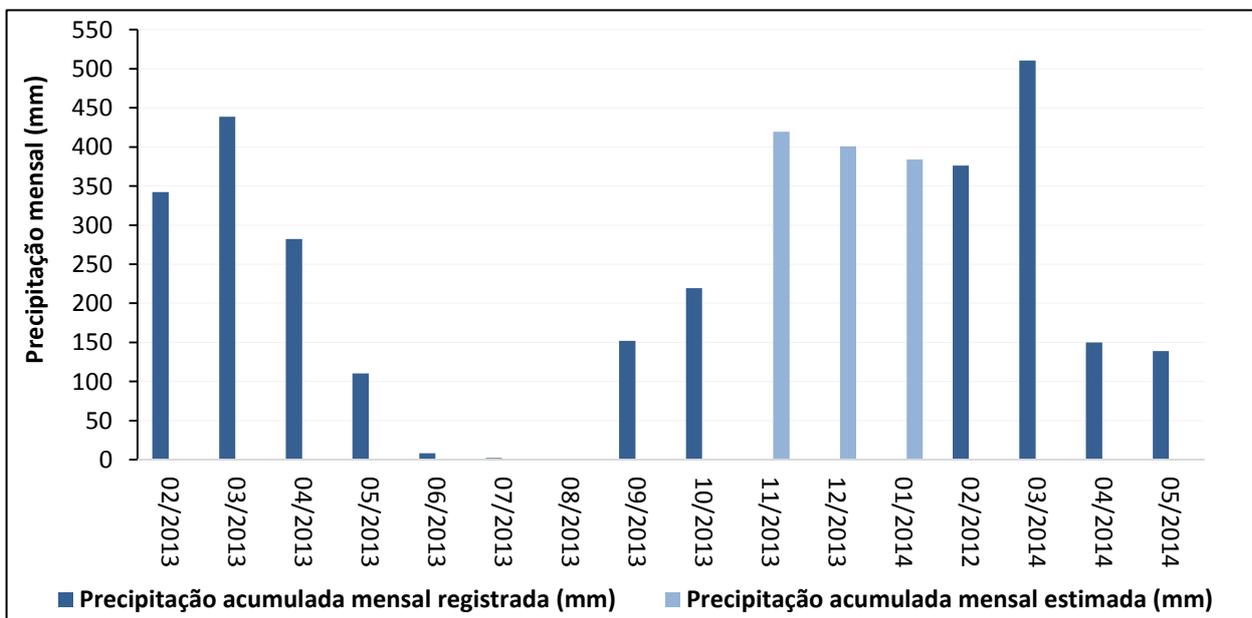


Figura 27. Precipitação acumulada mensal na estação Cajueiro do Teles Pires entre fevereiro de 2013 e maio de 2014.

Após o preenchimento da série pluviométrica é necessário analisar a sua consistência dentro de uma visão regional, isto é, comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis numa estação com relação às observações registradas nas estações vizinhas.

Para tanto, tem-se usado o método de análise de dupla massa (desenvolvido pelo *U. S. Geological Survey*), válido para as séries mensais e anuais. Esse método consiste em construir em um gráfico cartesiano uma curva dupla acumulativa, relacionando os totais anuais (ou mensais) acumulados do posto a consistir (nas ordenadas) e a médias acumuladas dos totais anuais (ou mensais) de todos os postos da região (nas abscissas). A região é hipoteticamente considerada homogênea do ponto de vista hidrológico se os valores do posto a consistir forem proporcionais aos observados na base de comparação. Os pontos devem se alinhar segundo uma única reta e a declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas as séries.

Assim, para análise de consistência dos dados de chuva, foi utilizado o método de dupla massa a partir dos dados acumulados mensais da estação Cajueiro do Teles Pires com os dados acumulados mensais da estação Meteorológica UHE Teles Pires. O resultado mostra uma consistência satisfatória para os dados de precipitação da estação Cajueiro do Teles Pires (**Figura 28**).

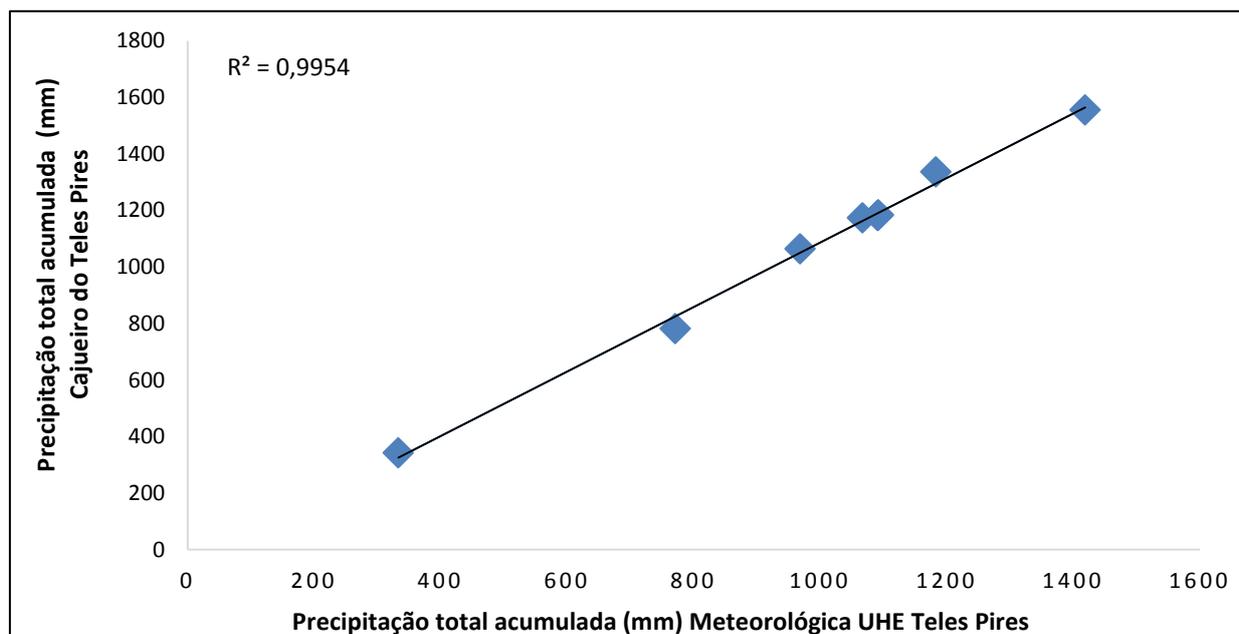


Figura 28. Método de dupla massa entre a estação Meteorológica UHE Teles Pires e Cajueiro do Teles Pires.

No ano de 2013 foi observada durante o mês de fevereiro a maior média de vazão na estação Cajueiro do Teles Pires, com aproximadamente 4.947 m³/s, e no mês de setembro a menor média, com aproximadamente 589 m³/s. No mês de março foi observada a maior precipitação acumulada, de 438,7 mm, já durante o mês de setembro a precipitação acumulada foi de apenas 2,2 mm e durante o mês de agosto não ocorreu precipitação.

Em 2014 as maiores vazões foram observadas durante o mês de março, quando ocorreu vazões extremas com médias diárias de até 7.900 m³/s. A média mensal de vazão foi de aproximadamente 6.961 m³/s e a precipitação acumulada de 510,7 mm.

6.4.2 Estação UHE Teles Pires

A **Figura 29** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária na estação UHE Teles Pires. No dia 22 de novembro de 2013 ocorreu um incidente com o sensor de nível. O cabo do sensor da estação foi arrancado, provavelmente, devido a passagem de embarcações próximas à estação, retirando o sensor do lugar e consequentemente, interrompendo a coleta de dados de nível. Os dados de precipitação, no entanto, foram registrados normalmente.

Dessa forma, as vazões diárias na estação UHE Teles Pires foram determinadas a partir dos dados de nível coletados diariamente pela *Odebrecht*, que possui régua limnimétrica instaladas próximas a estação. A equipe da **VERACRUZ** esteve em campo durante o mês de janeiro de 2014 para troca do sensor de nível da estação, sendo que os dados voltaram a ser registrados a partir do dia 15 de janeiro.

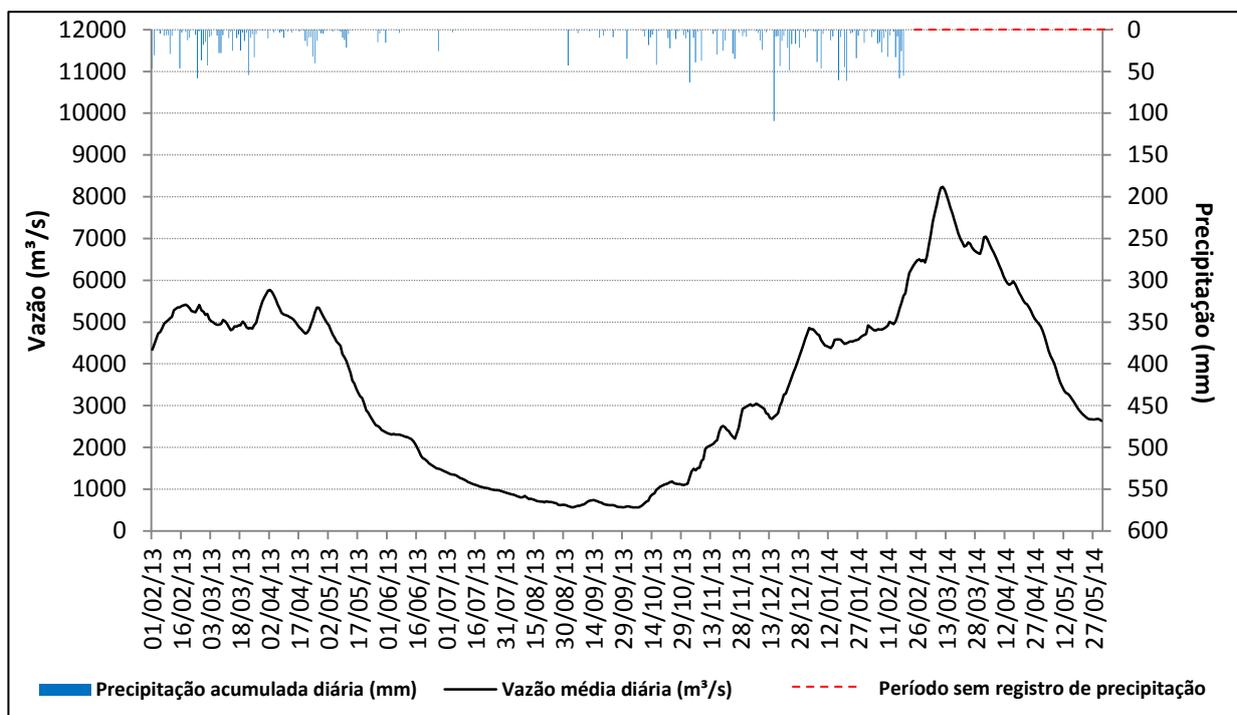


Figura 29. Vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires, de fevereiro de 2013 a maio de 2014 e precipitação acumulada diária (mm) de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014. No dia 19 de fevereiro de 2014 uma forte cheia no rio Teles Pires arrastou toda a estação UHE, incluindo o pluviômetro, o que interrompeu a coleta de dados de chuva na estação.

No início do ano de 2014, as fortes chuvas na região da UHE Teles Pires provocaram um aumento do nível do rio Teles Pires, relacionado diretamente com o aumento da vazão. Devido a esse aumento de vazão, no dia 19 de fevereiro de 2014 uma forte cheia arrastou a estação UHE, incluindo o poste, o pluviômetro com *datalogger* e o sensor de nível, interrompendo a coleta de dados no local. Com isso, as vazões diárias na estação UHE Teles Pires foram determinadas a partir dos dados de nível coletados diariamente pela *Odebrecht*. A

partir do momento em que as réguas da estação ficaram submersas devido a cheia extrema ocorrida no local, foi utilizado o método de regressão linear, a partir dos dados da estação Cajueiro do Teles Pires para estimar a vazão na estação UHE.

Para o preenchimento de falhas de precipitação durante os meses de fevereiro a maio de 2014, foi utilizada a correlação feita entre a estação UHE Teles Pires e a estação Cajueiro do Teles Pires, a partir dos dados de precipitação mensal de fevereiro a outubro de 2013, período em que ambas estações funcionaram plenamente. Obteve-se um coeficiente de determinação satisfatório, R^2 de 0,9296, o que permitiu o preenchimento das falhas mencionadas através da equação linear obtida graficamente (**Figura 30**).

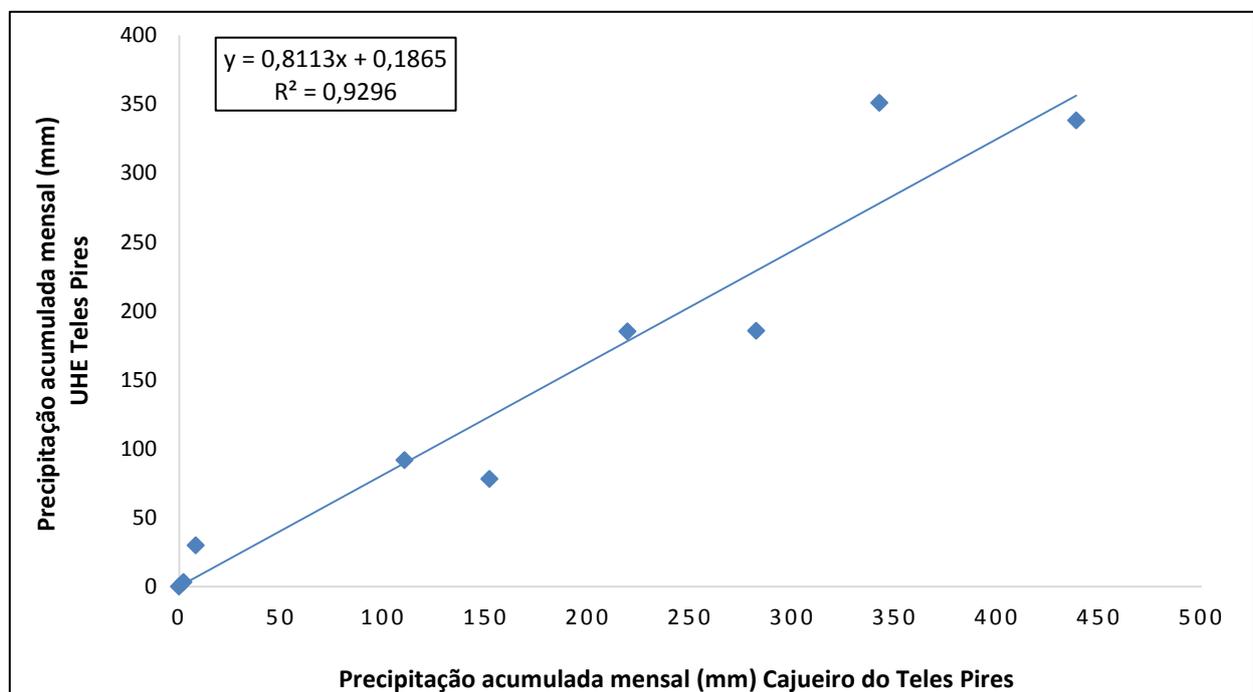


Figura 30. Correlação entre a estação Cajueiro do Teles Pires e a estação UHE Teles Pires.

Na **Figura 31** são apresentadas as precipitações acumuladas mensais na estação UHE Teles Pires.

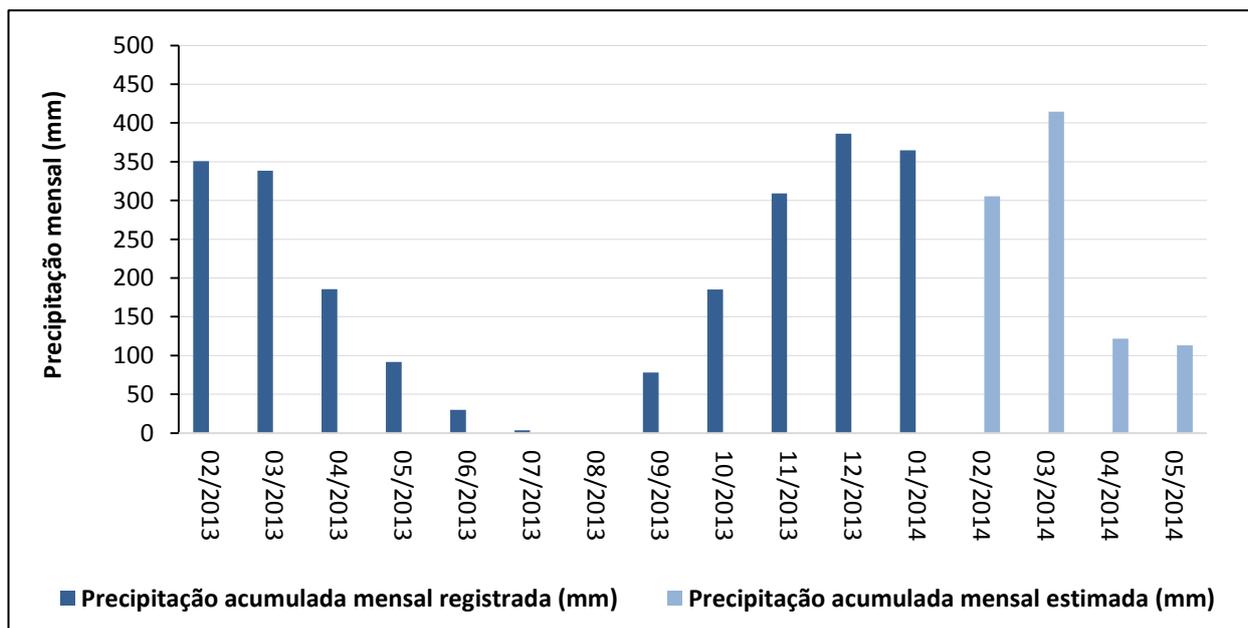


Figura 31. Precipitação acumulada mensal na estação UHE Teles Pires entre fevereiro de 2013 e maio de 2014.

A Figura 32 apresenta o resultado da análise de dupla massa para a estação UHE Teles Pires com a estação Cajueiro do Teles Pires.

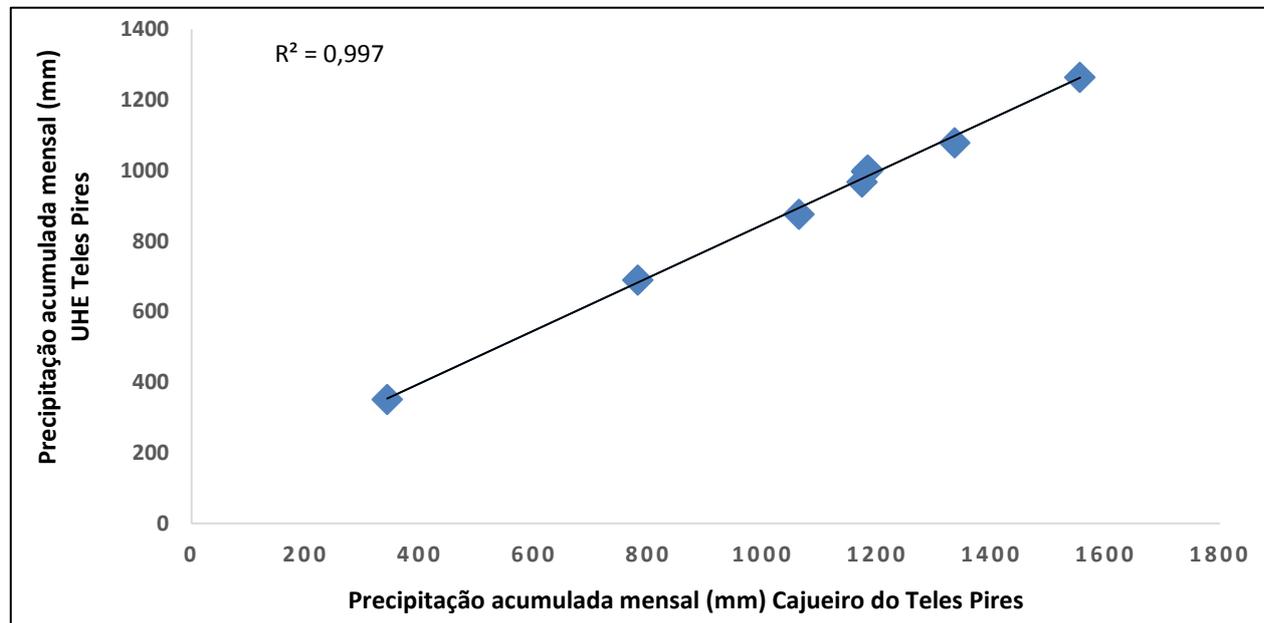


Figura 32. Método de dupla massa entre a estação Cajueiro do Teles Pires e UHE Teles Pires.

No ano de 2013 foi observada durante o mês de abril a maior média de vazão na estação UHE Teles Pires, com aproximadamente 5.176 m³/s, e no mês de setembro a menor média, com aproximadamente 630 m³/s. No mês de dezembro foi observada a maior precipitação acumulada de 386,3 mm, já durante o mês de julho a precipitação acumulada foi de apenas 3,4 mm e durante o mês de agosto não ocorreu precipitação.

Em 2014 as maiores vazões foram observadas durante o mês de março quando ocorreu vazões extremas, com médias diárias de aproximadamente 8.000 m³/s. A média mensal de vazão foi de aproximadamente 7.213 m³/s e precipitação acumulada de 510,7 mm.

6.4.3 Estação São Pedro do Paranaíta

A **Figura 33** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária na estação São Pedro do Paranaíta. Durante o período entre 04 de dezembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014, devido a presença de árvores próximas a estação, ocorreu um acúmulo de sementes, folhas e penas de aves no pluviômetro, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação.

Devido as falhas ocorridas no registro de precipitação foi utilizado o método de regressão linear para estimar a precipitação acumulada na estação São Pedro do Paranaíta durante os meses dezembro de 2013 e janeiro de 2014. Para o preenchimento de falhas de chuva, a correlação feita entre a estação São Pedro do Paranaíta e UHE Teles Pires foi a que apresentou um maior coeficiente de determinação, R² de 0,9153, o que permitiu o preenchimento das falhas mencionadas através da equação linear obtida graficamente (**Figura 34**). Para gerar a equação foram utilizados os dados de precipitação mensal de maio a novembro de 2013, período em que ambas estações funcionaram plenamente.

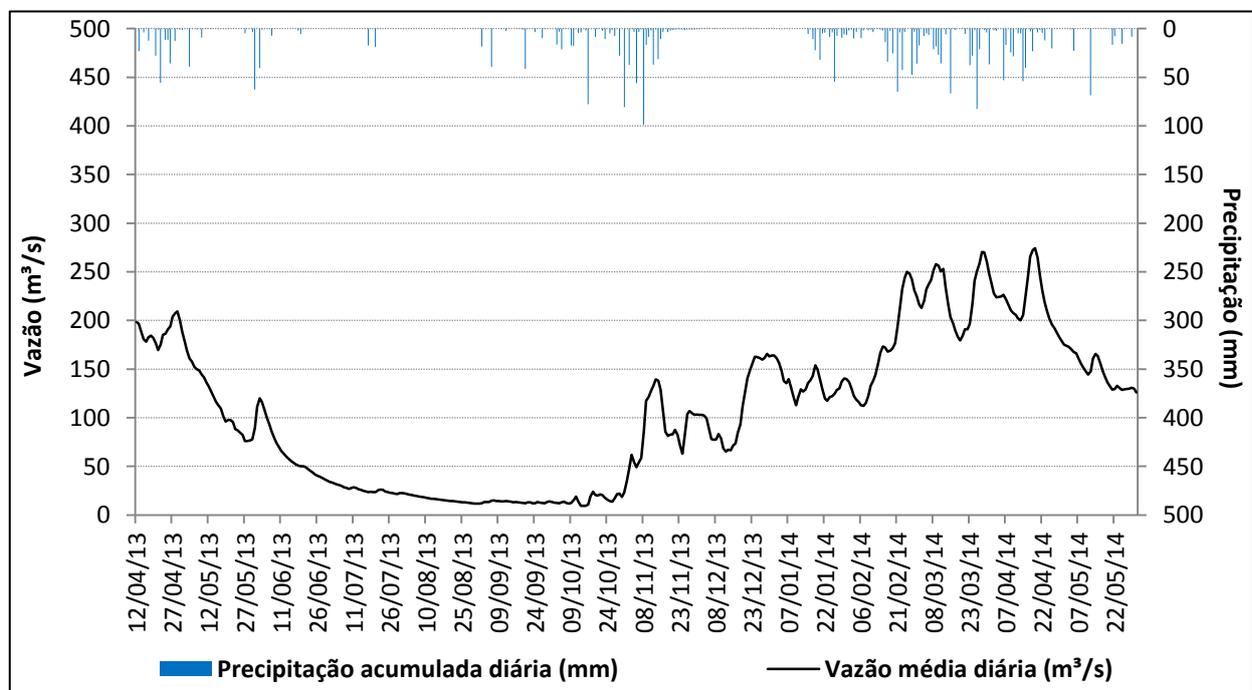


Figura 33. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica São Pedro do Paranaíta de abril de 2013 a maio de 2014. Entre os dias 04 de dezembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014 o pluviômetro da estação São Pedro do Paranaíta apresentou acúmulo de sementes, folhas e penas de aves, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação.

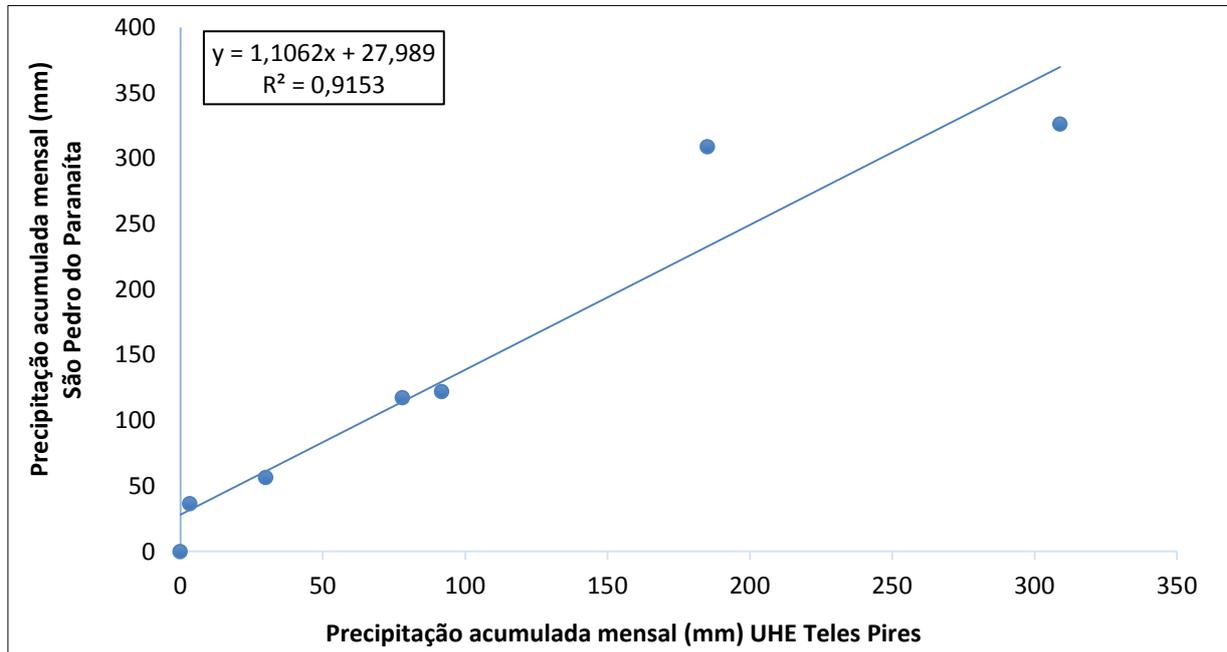


Figura 34. Correlação entre a estação UHE Teles Pires e a estação São Pedro do Paranaíba.

Na **Figura 35** são apresentadas as precipitações acumuladas mensais na estação São Pedro do Paranaíba.

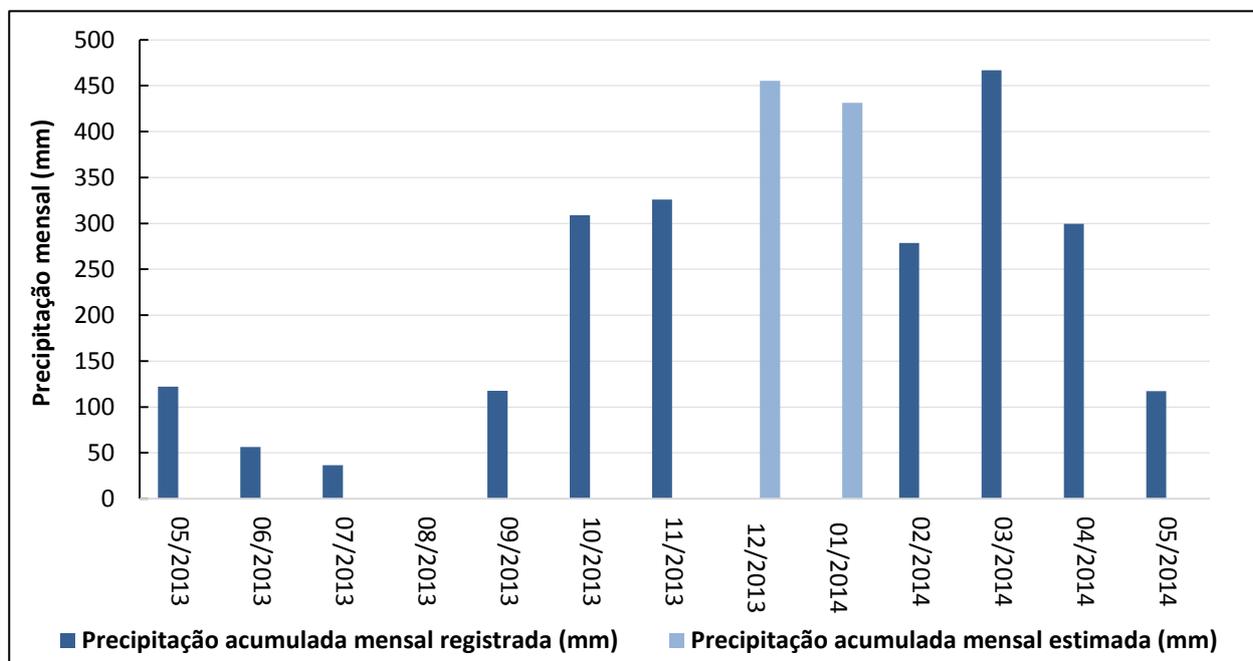


Figura 35. Precipitação acumulada mensal na estação São Pedro do Paranaíba entre maio de 2013 e maio de 2014.

A **Figura 36** apresenta o resultado da análise de dupla massa para a estação São Pedro do Paranaíba com a estação UHE Teles Pires.

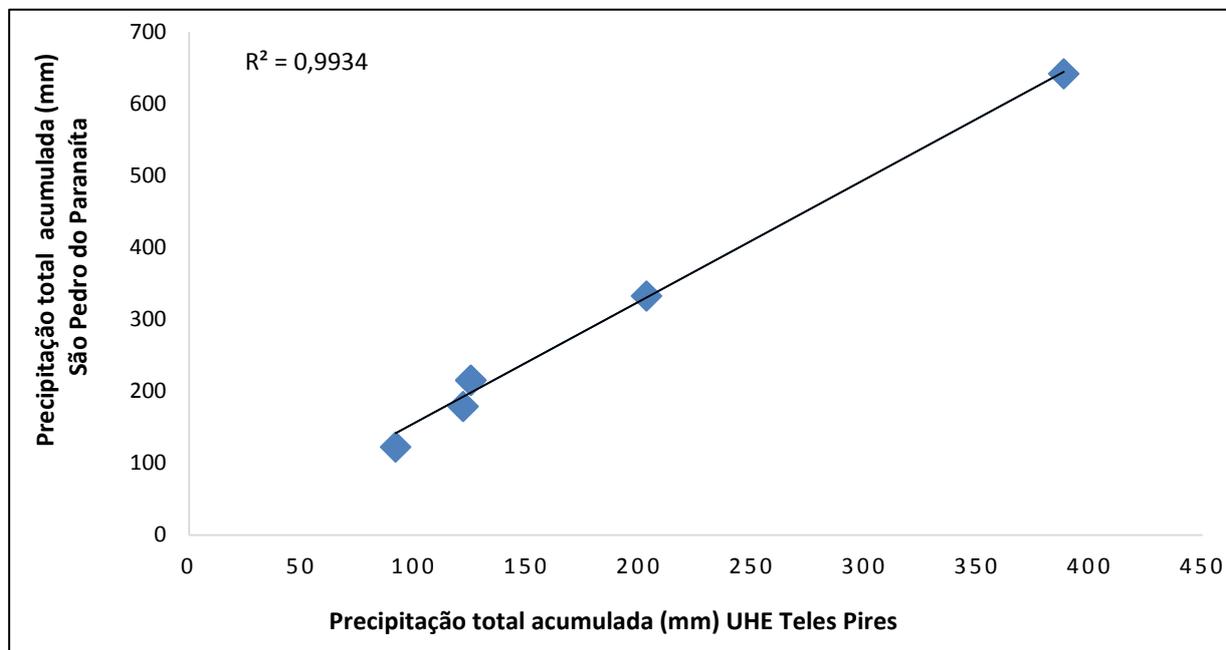


Figura 36. Método de dupla massa entre a estação UHE Teles Pires e São Pedro do Paranaíba.

Na estação São Pedro do Paranaíba no período de abril a dezembro de 2013 o mês de abril foi o apresentou a maior média de vazão, com aproximadamente 189 m³/s e o mês de setembro apresentou a menor média, com aproximadamente 13 m³/s. No mês de dezembro foi observada a maior precipitação acumulada, de aproximadamente 455,2 mm, já durante no mês de agosto não ocorreu registro de precipitação.

Em 2014 o mês de março apresentou maior vazão média mensal, de 227 m³/s, e precipitação acumulada de 466,7 mm.

6.4.4 Estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo

A **Figura 37** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m³/s) média diária na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

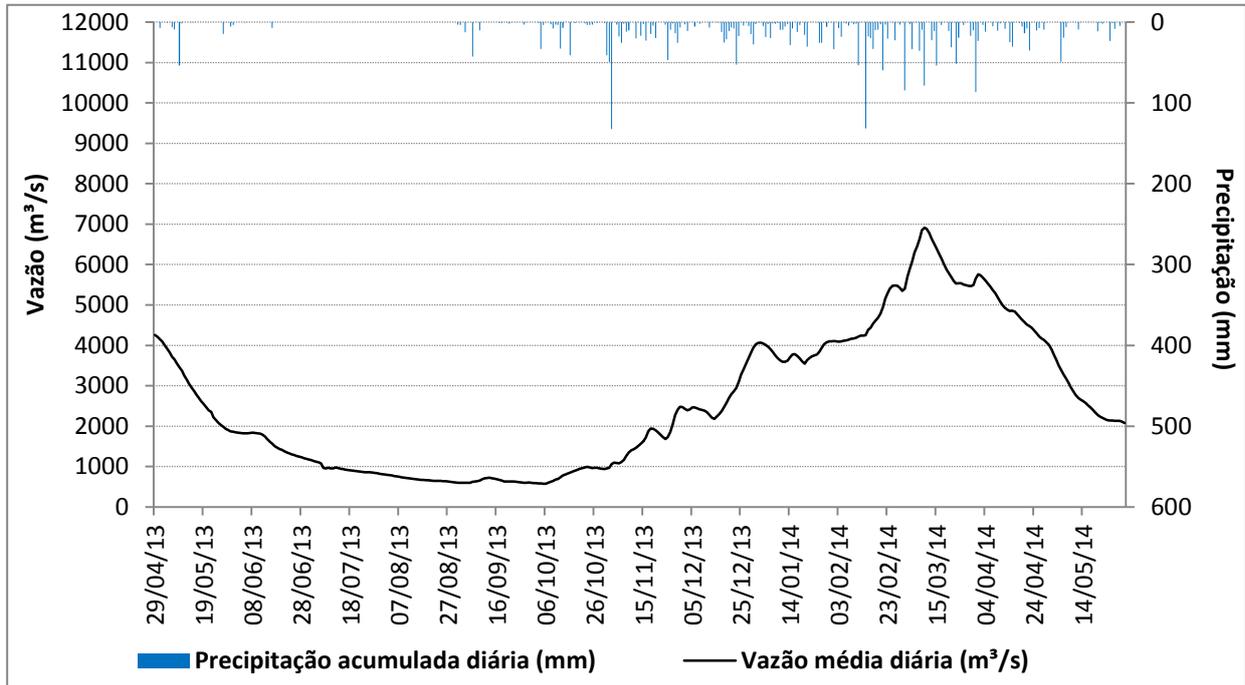


Figura 37. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica Jusante Foz Peixoto de Azevedo de abril de 2013 a maio de 2014.

Na Figura 38 são apresentadas as precipitações acumuladas mensais na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo, que não apresentou falhas no registro de precipitação durante todo o período de monitoramento.

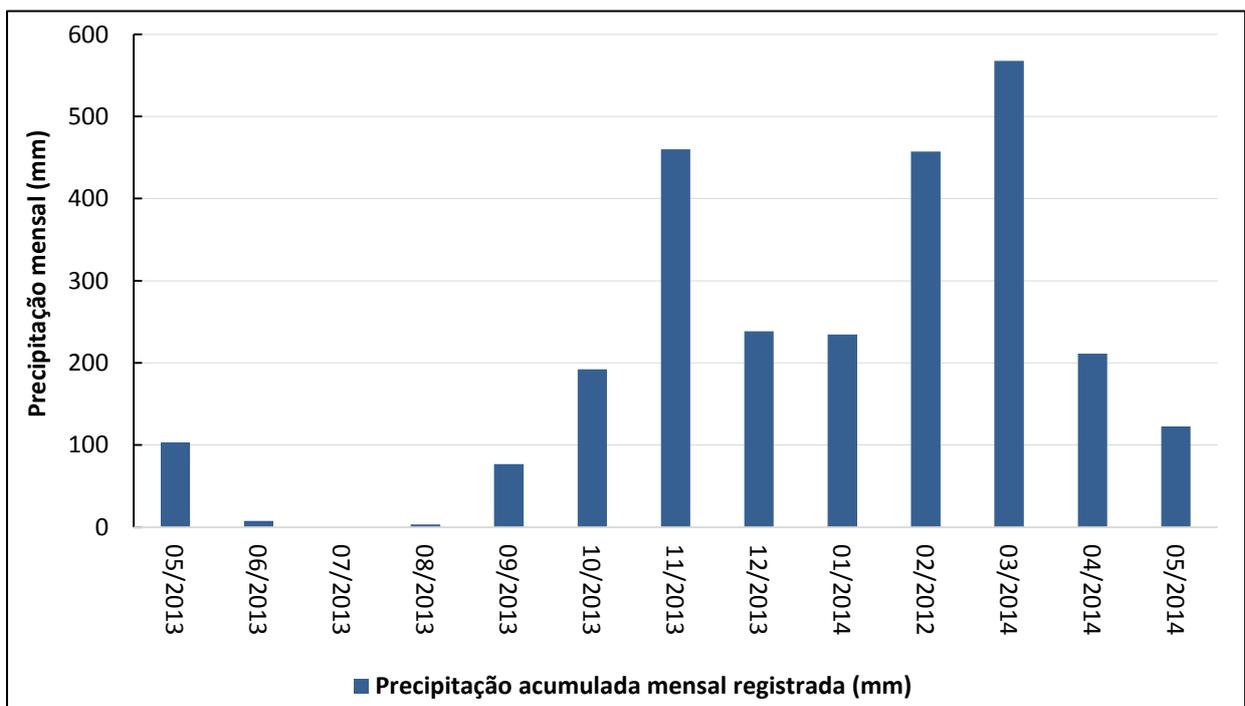


Figura 38. Precipitação acumulada mensal na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo entre maio de 2013 e maio de 2014.

Na estação Foz Peixoto de Azevedo no período de abril a dezembro de 2013 o mês de abril foi o apresentou a maior média de vazão com aproximadamente 4.234 m³/s e o mês de setembro apresentou a menor média com aproximadamente 641 m³/s. No mês de novembro foi observada a maior precipitação acumulada de 459,9 mm, já durante o mês de setembro não ocorreu precipitação e no mês de agosto a precipitação acumulada foi de apenas 3,2 mm.

Em 2014 o mês de março apresentou maior vazão média mensal de 5.995 m³/s e precipitação acumulada de 567,7 mm.

7 INDICADORES E METAS

O monitoramento hidrossedimentológico visa acompanhar a evolução da deposição de sedimentos e avaliar os aportes das descargas sólidas no reservatório da UHE Teles Pires. Para o monitoramento do aporte de sedimentos e de vazão, foram instaladas as estações Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires e São Pedro do Paranaíta, e está sendo dada continuidade ao monitoramento na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo, instalada pela ANA. Nas estações são realizadas, desde setembro de 2012, as seções de medição de vazão e coleta de sedimentos de suspensão e leito, com frequência trimestral, conforme proposta apresentada no PBA da UHE Teles Pires (Programa Básico Ambiental).

Vem sendo apresentadas também as análises de laboratório, com os resultados das granulometrias dos materiais de leito e de suspensão, e concentração dos sedimentos em suspensão. A partir das análises de laboratório são apresentadas, junto as descargas líquidas, os resultados das descargas sólidas em suspensão e totais de todas as estações.

Desde o início do monitoramento, apenas na campanha de janeiro de 2013, não foi possível realizar medições de vazão e coleta de sedimentos em uma das estações (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 a realização do trabalho. Nas demais estações 100% das medições previstas foram realizadas.

Além disso, quando ocorreu um aumento extraordinário da vazão no rio Teles Pires, foram realizadas medições de vazão adicionais com o intuito de melhor estimar a vazão no rio Teles Pires durante períodos de cheias extremas. Foram emitidos também boletins especiais de vazão e realizadas previsões de descarga líquida na estação UHE Teles Pires durante o mês de março de 2014.

Todas as quatro estações de monitoramento hidrossedimentológico possuem sensores para a coleta de dados de precipitação e nível, e operam por telemetria transmitindo os dados em tempo real para a internet. Durante a cheia do início de 2014 a estação UHE Teles Pires acabou sendo arrastada pelo rio. Uma nova estação foi instalada durante o mês de maio de 2014, incluindo sensor de nível, pluviômetro e *datalogger*. Apesar da interrupção nos registros (precipitação e nível) a quantidade de informações existentes nas demais estações

permitiu a realização de estimativas de dados mensais de chuva e de vazão diária na estação UHE.

As **Tabelas 3 a 6** apresentam um resumo quantitativo das atividades realizadas em comparação com as atividades previstas no cronograma para as estações hidrométricas da UHE Teles Pires.

Tabela 3. Resumo quantitativo das atividades na estação Cajueiro do Teles Pires.

Atividades	Produção
Medição de descarga líquida	100%
Coleta de sedimentos de suspensão e leito	100%
Análise laboratorial das amostras de sedimentos em suspensão e leito	100%
Cálculo e análise da descarga líquida e sólida	100%
Coleta de dados fluviométricos (sensor de nível)	100%
Coleta de dados pluviométricos	87%

Tabela 4. Resumo quantitativo das atividades na estação UHE Teles Pires.

Atividades	Produção
Medição de descarga líquida	75%
Coleta de sedimentos de suspensão e leito	75%
Análise laboratorial das amostras de sedimentos em suspensão e leito	75%
Cálculo e análise da descarga líquida e sólida	75%
Coleta de dados fluviométricos (sensor de nível)	62%
Coleta de dados pluviométricos	73%

Tabela 5. Resumo quantitativo das atividades na estação São Pedro do Paranaíba.

Atividades	Produção
Medição de descarga líquida	100%
Coleta de sedimentos de suspensão e leito	100%
Análise laboratorial das amostras de sedimentos em suspensão e leito	100%
Cálculo e análise da descarga líquida e sólida	100%
Coleta de dados fluviométricos (sensor de nível)	84%
Coleta de dados pluviométricos	76%

Tabela 6. Resumo quantitativo das atividades na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

Atividades	Produção
Medição de descarga líquida	100%
Coleta de sedimentos de suspensão e leito	100%
Análise laboratorial das amostras de sedimentos em suspensão e leito	100%
Cálculo e análise da descarga líquida e sólida	100%
Coleta de dados fluviométricos (sensor de nível)	88%
Coleta de dados pluviométricos	100%

A **VERACRUZ** também esteve presente nas apresentações ao IBAMA-DF (Acompanhamento das Atividades do Plano Básico Ambiental da UHE Teles Pires) quando foram mostrados os resultados adquiridos ao longo do programa. Ressalta-se que até o momento também foram cumpridas as recomendações propostas pelo IBAMA para melhorias do programa de hidrossedimentologia, como por exemplo, integrar os resultados físico-químicos da água e dos sedimentos (**Item 6.2**), segundo o Parecer Técnico Nº 111/2010, e esclarecer os resultados apresentados nos gráficos das medições de velocidade da água com ADCP (**ANEXO 1**), em conformidade com o Parecer Técnico Nº 6042/2013.

Para o período de operação é prevista a continuidade das atividades de campo, medição de descargas líquidas/ sólidas, manutenção das estações, coleta dos dados telemétricos, além das análises laboratoriais e apresentação dos resultados por meio de relatórios parciais trimestrais e de consolidação (a cada 6 meses). Também está prevista a instalação, até 30 dias antes do enchimento do reservatório, de uma estação limnimétrica junto a barragem. As atividades relacionadas ao “Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico” estão de acordo com o cronograma, sendo que o programa deve ser mantido durante toda a concessão do empreendimento, passando para frequência semestral após os cinco primeiros anos de operação da usina.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente relatório foram descritas as principais atividades já realizadas no “Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico” da UHE Teles Pires no período de setembro de 2012 a maio de 2014.

Foi apresentado o comportamento hidrossedimentológico desde setembro de 2012 com o intuito de oferecer uma visão mais completa e bem documentada da área onde está localizado o reservatório da UHE Teles Pires.

As estações hidrométricas Cajueiro do Teles Pires, São Pedro do Paranaíta e Jusante Foz Peixoto de Azevedo estão em pleno funcionamento. Após a passagem da cheia do rio Teles Pires foram instalados novamente os sensores na estação UHE Teles Pires garantindo a continuidade da coleta de dados de nível e de precipitação no local.

Os dados de precipitação registrados pelas estações hidrométricas também fornecem subsídio ao “Programa de Monitoramento Climatológico”, contribuindo para um maior conhecimento do regime pluviométrico da região.

Além disso, os resultados obtidos de descargas líquidas e sólidas também contribuíram para o estudo de Modelagem Geológica como parte do “Programa de Qualidade das Águas Subterrâneas”.

As atividades do monitoramento hidrossedimentológico estão de acordo com o prazo previsto de execução e atendem as condicionantes propostas na licença de Instalação (LI N° 818/2011, IBAMA) emitida pelo IBAMA e a Resolução Conjunta ANA/ANEEL n° 3 de 2010.

REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico**. Brasília: ANA; SGH, 2009.
- 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. **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.
- 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.
- 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.
- Mudroch, A. and S.D. MacKnight. 1994. **CRC Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling**, 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 210 p.
- 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.