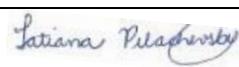


PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE TELES PIRES

P.11 – Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Relatório Semestral

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	
Rhobysson B. da Silva Técnico de Meio Ambiente	-	5545778	

Fevereiro – 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

C - Concentração de sedimentos em suspensão

°C - Grau Celsius

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

Mhz - Megahertz

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

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	01
3. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA	02
4. METODOLOGIA	02
4.1. Medição vazão (descarga líquida)	02
4.1.1. Medição de vazão (descarga líquida) com molinete	03
4.1.2. Medição de vazão (descarga líquida) com o ADCP	06
4.2. Amostragem de sedimento em suspensão e de leito	08
4.3. Análises de laboratório	11
4.3.1. Tubo de retirada pela base	12
4.3.2 Análises de concentração	12
4.3.3. Análise granulométrica do material de leito	12
4.4. Descarga sólida	13
4.4.1. Cálculo da descarga sólida em suspensão	13
4.4.2 Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)	13
4.4.3. Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein	13
5. RESULTADOS	13
5.1. Medições de vazão e descargas sólidas	13
5.2. Determinação das curvas-chave	20
5.3. Medidas de precipitação e vazão	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	33

ANEXOS

ANEXO 1. DADOS BRUTOS DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL DAS ESTAÇÕES	01
ANEXO 2. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	703
ANEXO 3. ANÁLISES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO	795
ANEXO 4. DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL AJUSTADO E VAZÃO	804

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 são apresentadas as principais atividades realizadas entre os meses agosto de 2013 e fevereiro de 2014, as quais consistiram no monitoramento hidrológico e hidrossedimentológico de quatro estações hidrométricas, com destaque às precipitações, descargas líquidas e descargas sólidas.

2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Os trabalhos de campo foram realizados pelos membros da equipe da **VERACRUZ** nos meses outubro de 2013 e fevereiro de 2014. Durante essas atividades de campo a equipe da **VERACRUZ** realizou medições de vazão nos rios Teles Pires e Paranaíta, que inclui medições com o ADCP e molinete hidrométrico, amostragem de sedimentos em suspensão e amostragem de sedimentos de leito. Foram realizados os cálculos das medições de vazão e análises laboratoriais das amostras de sedimentos das campanhas de campo. Através das 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.

Na primeira campanha de 2014, as medições de descargas líquidas e sólidas se iniciaram no dia 26 de janeiro de 2014. Porém, devido a um defeito no bico do amostrador saca de sedimentos em suspensão, as medições precisaram ser realizadas entre os dias 03 e 06 de fevereiro, garantindo a qualidade dos dados coletados e aproveitando o período de cheia dos rios Teles Pires e Paranaíta. Ressalta-se que as medições de vazão também foram realizadas no início de fevereiro uma vez que as amostras de sedimento em suspensão devem ser coletadas no mesmo dia das medições de vazão.

É importante destacar que devido à baixa concentração de sedimentos nos rios Teles Pires e Paranaíta foram coletadas cerca de 40 litros da mistura água-sedimento em cada seção de monitoramento visando a obtenção da concentração e da granulometria do sedimento em suspensão, a fim de garantir a execução do ensaio do tubo de remoção pela base em laboratório. As amostras em suspensão com quantidade muito pequena de sedimento tendem

a aumentar os erros causados na pesagem e transferência de um recipiente ao outro, por isso optou-se por uma grande quantidade de amostra.

Durante o período de agosto de 2013 a janeiro de 2014 as estações hidrométricas Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires, São Pedro do Paranaíta e Jusante Foz Peixoto de Azevedo registraram e transmitiram seus dados de nível e precipitação, e os mesmos se encontram no **ANEXO 1**.

No presente relatório também são apresentadas as curvas-chaves preliminares atualizadas para as estações hidrométricas analisadas, visando à transformação de uma série histórica de nível em uma série histórica vazão.

3. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA

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

Quadro 1. Nomes e coordenadas das estações hidrométricas.

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

4. METODOLOGIA

4.1. 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 apresentadas 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	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 podem ser realizadas através do método de medição convencional, com o molinete, e por meio do ADCP.

4.1.1. 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 1**). 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.

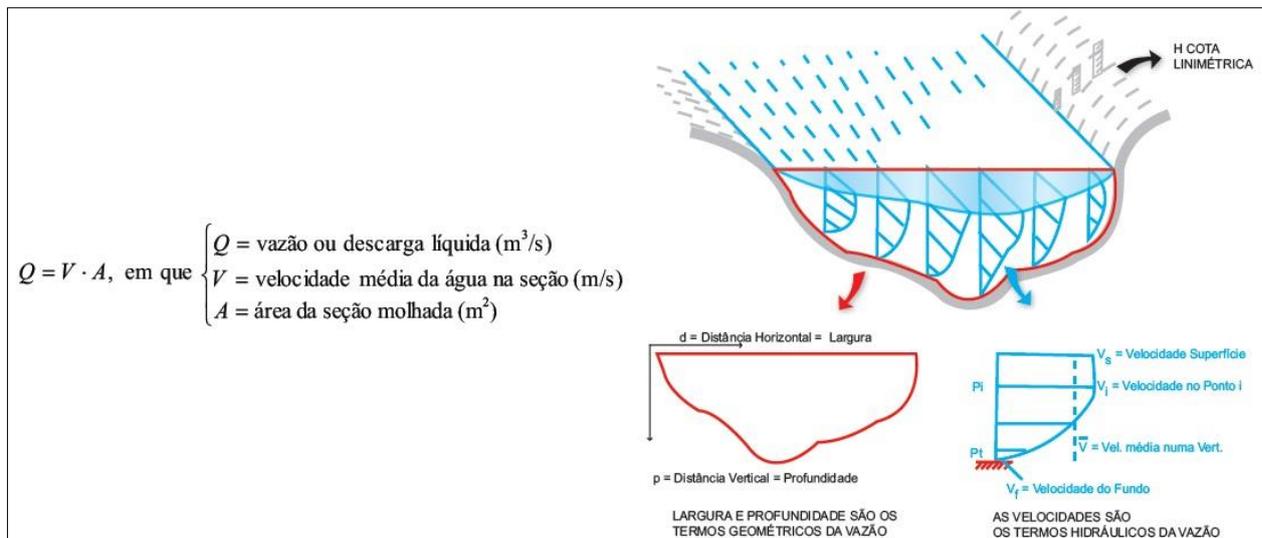


Figura 1. Grandezas necessárias para medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

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).

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

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

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 2a 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 2c**). 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 2d**).

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.

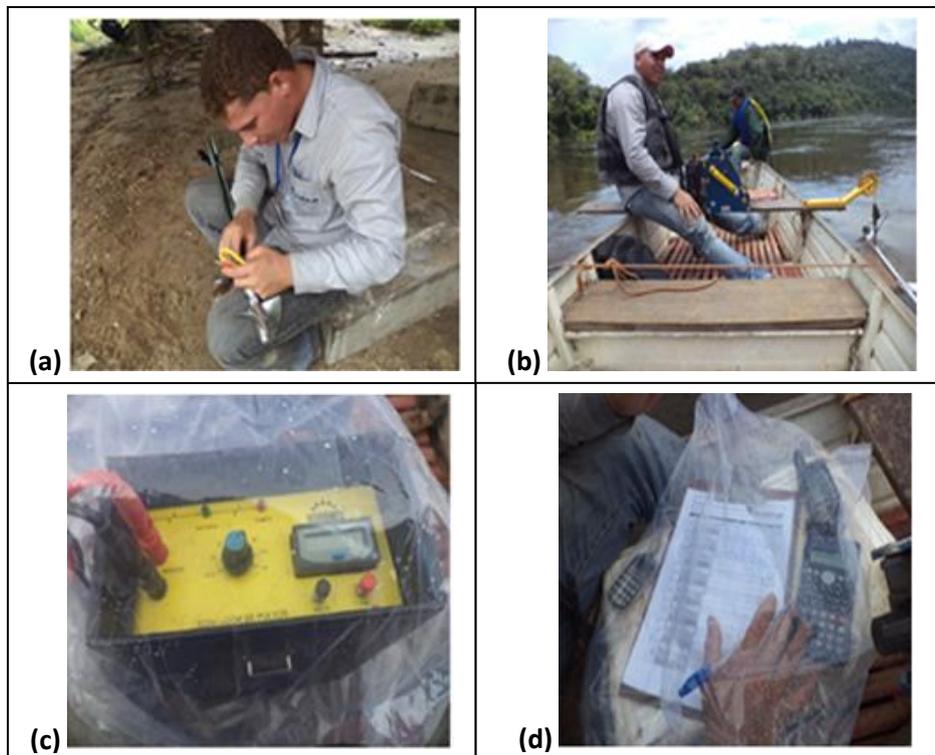


Figura 2. (a) Montagem e preparação do molinete hidrométrico; (b) Molinete hidrométrico completo pronto para utilização; (c) Contador de impulsos envolvido em plástico impermeável contra chuva; (d) planilhas de anotações hidrométricas com saco plástico contra chuva.

4.1.2. 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 3**) 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.

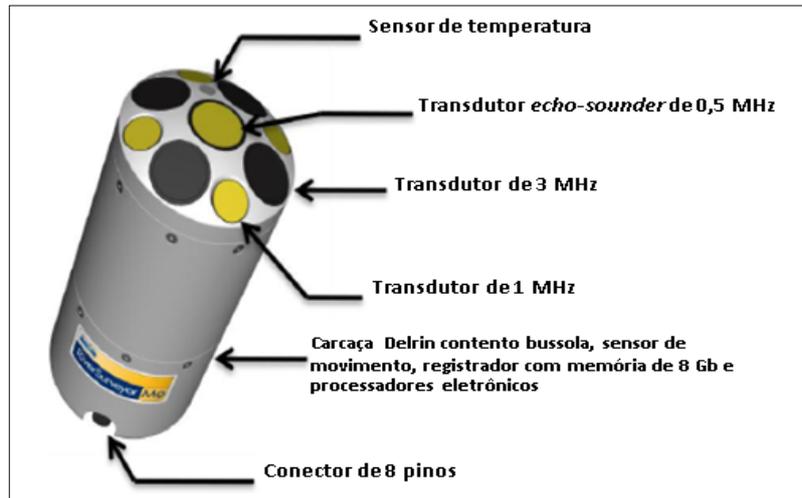


Figura 3. Características do ADCP M9.

O PCM (Figura 4) 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.

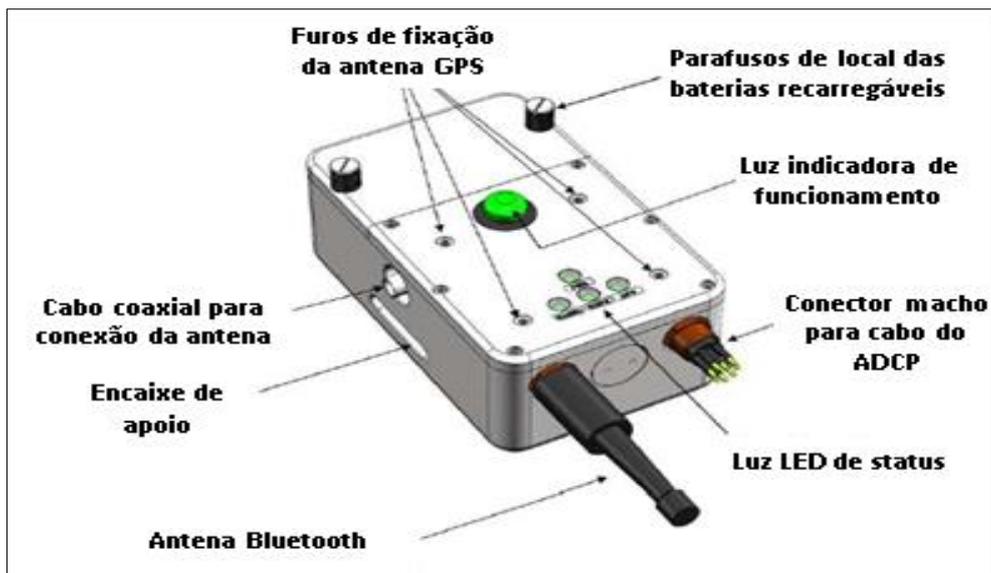


Figura 4. Módulo de alimentação e comunicação (PCM).

A **Figura 5** 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 6a**) e *notebook* (**Figura 6 b**).

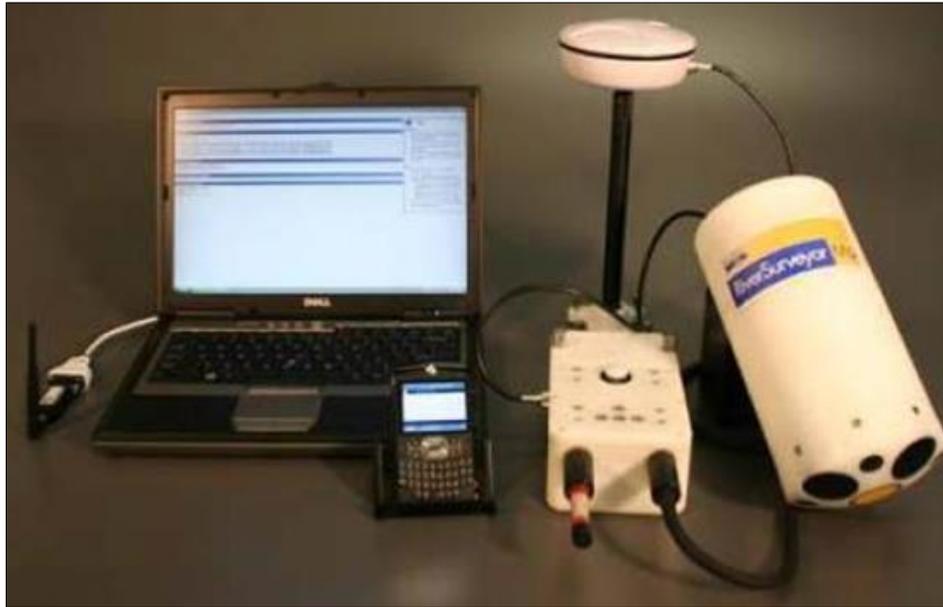


Figura 5. Hardware montado para a opção D-GPS com comunicações Bluetooth.



Figura 6. 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.

4.2. Amostragem de sedimento em suspensão e de leito

Para a coleta de sedimentos em suspensão é utilizado um amostrador do tipo saca (**Figura 7**). 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 7. 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 8**).

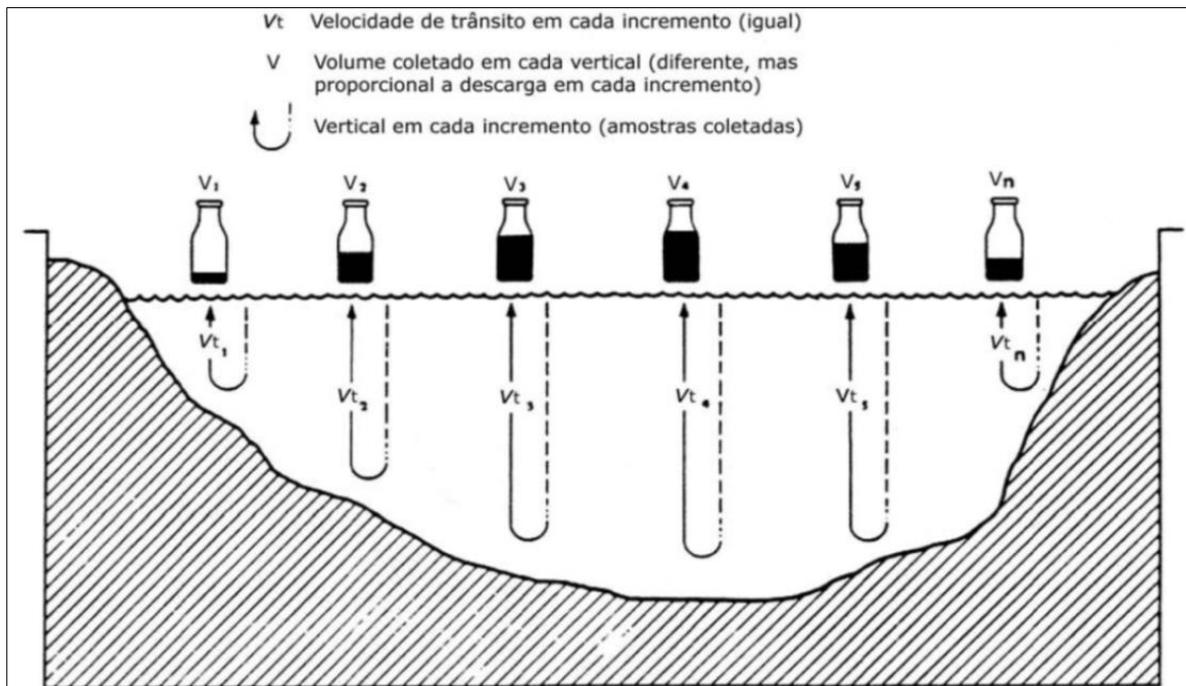


Figura 8. Exemplo de amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (Carvalho et al., 2000).

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 trânsito – v_t) do amostrador. Para o bico de $\frac{1}{4}$ " utilizado o tempo mínimo é definido pela **Equação 3**:

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

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 9**), 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.

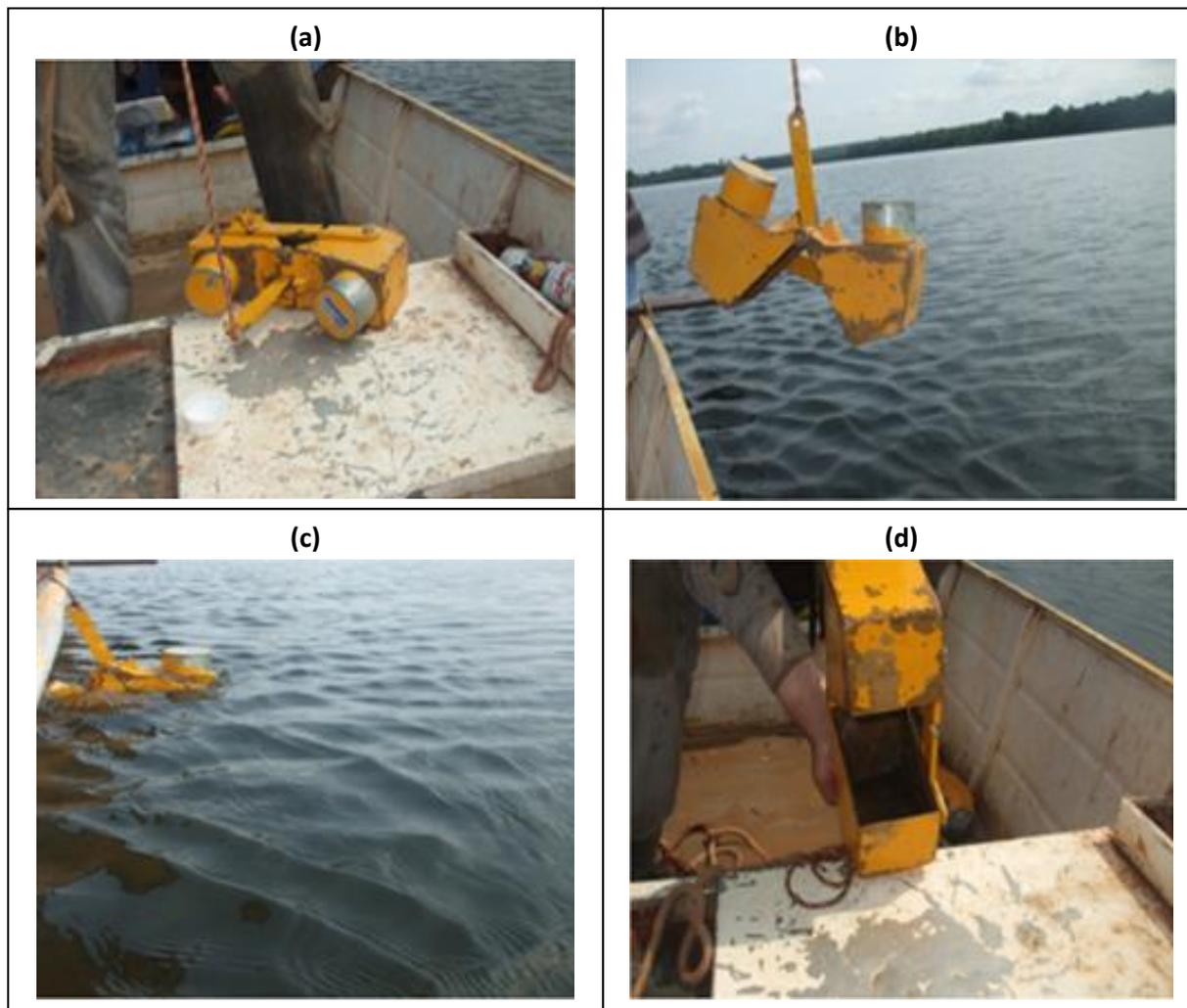


Figura 9. Amostragem do sedimento de leito utilizando a Draga de Petersen.

4.3. 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.

4.3.1. 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.

4.3.2 Análises de concentração

As análises de concentração são realizadas pelo método de evaporação, evitando-se a colmatção 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.

4.3.3. 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 foi 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.

4.4. Descarga sólida

4.4.1. 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 .

4.4.2. 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**).

4.4.3. 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.

5. RESULTADOS

5.1. Medições de vazão e descargas sólidas

Os principais resultados das medições de vazão realizadas durante a campanha de campo de outubro de 2013 são apresentados na **Tabela 2**. As **Figuras 10 a 13** 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 2. Resumo das medições de hidrometria realizadas em outubro de 2013 nas estações da UHE Teles Pires.

Estação	Área da Seção (m ²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Cajueiro do Teles Pires	3.610,4±76,8	412,85±1,21	0,191±0,007	689,636±11,521
UHE Teles Pires	2.118,1±293,6	184,94±14,69	0,397±0,013	837,621±88,697
São Pedro do Paranaíta	120,1±0,7	40,65±0,46	0,091±0,001	10,881±0,104
Jusante Foz Peixoto de Azevedo	2.166,4±27,8	390,85±0,44	0,443±0,009	959,259±10,221

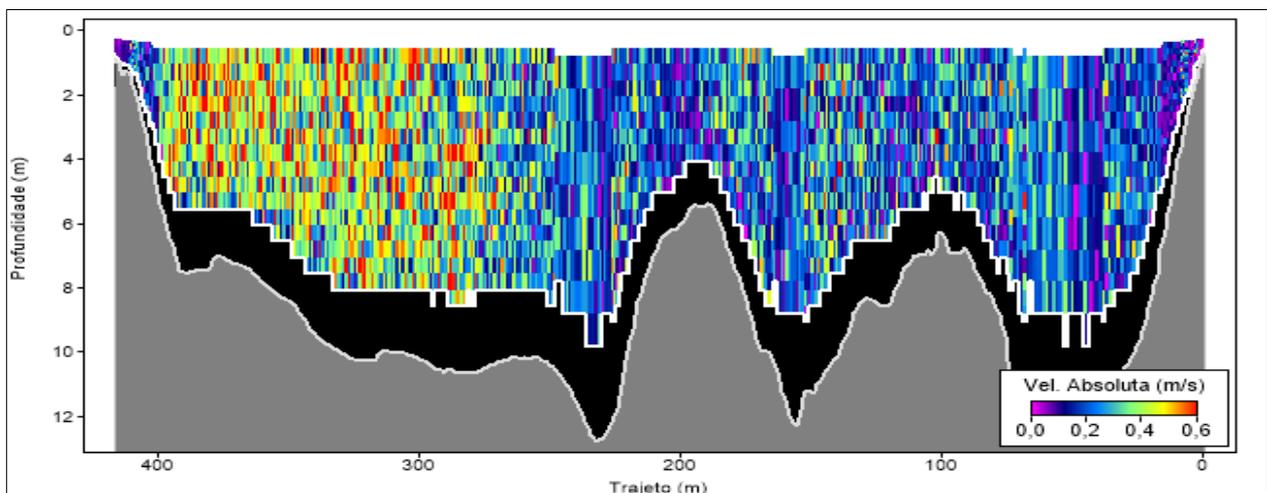


Figura 10. Resultado da medição de vazão realizada no dia 11 de outubro de 2013, utilizando o ADCP, na estação Cajueiro do Teles Pires. Cores quentes (tons de vermelho e amarelo) indicam velocidades maiores, enquanto que cores frias (tons de azul) indicam velocidades de corrente menores para a velocidade 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.

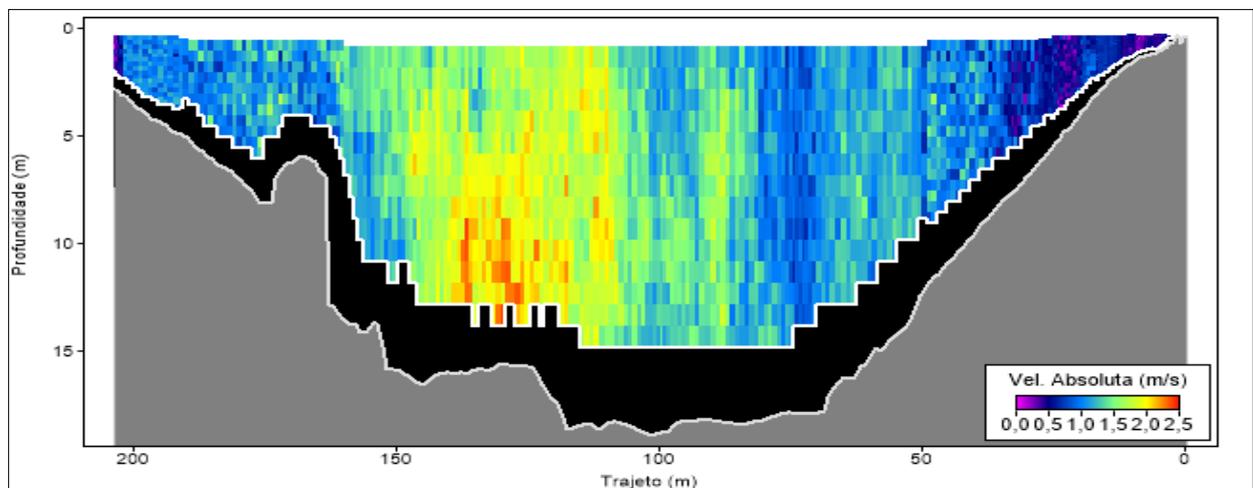


Figura 11. Resultado da medição de vazão realizada no dia 19 de outubro de 2013, utilizando o ADCP, na estação UHE Teles Pires. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 10**.

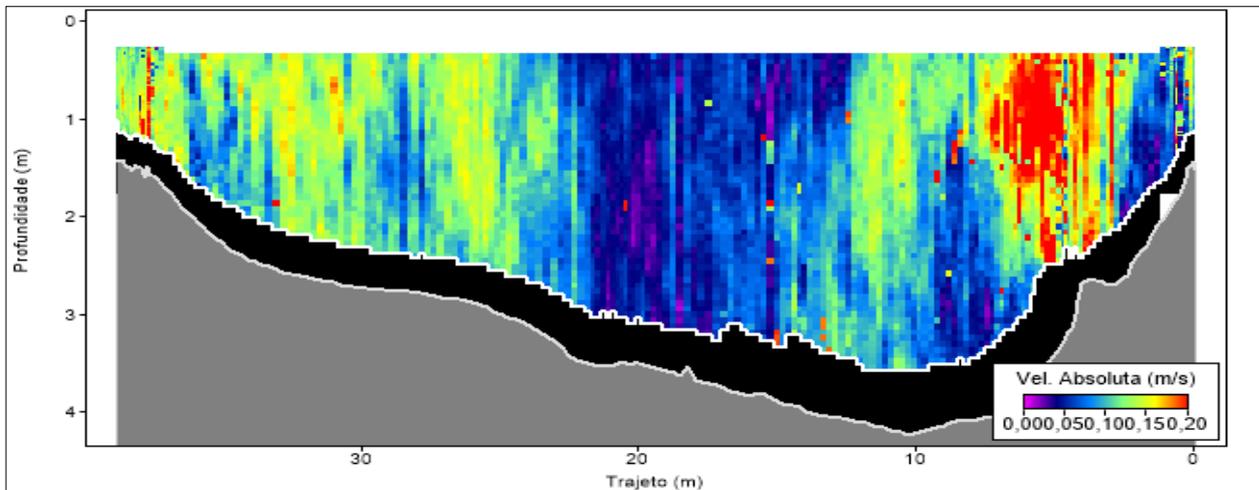


Figura 12. Resultado da medição de vazão realizada no dia 12 de outubro de 2013, utilizando o ADCP, na estação São Pedro do Paranaíta. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 10**.

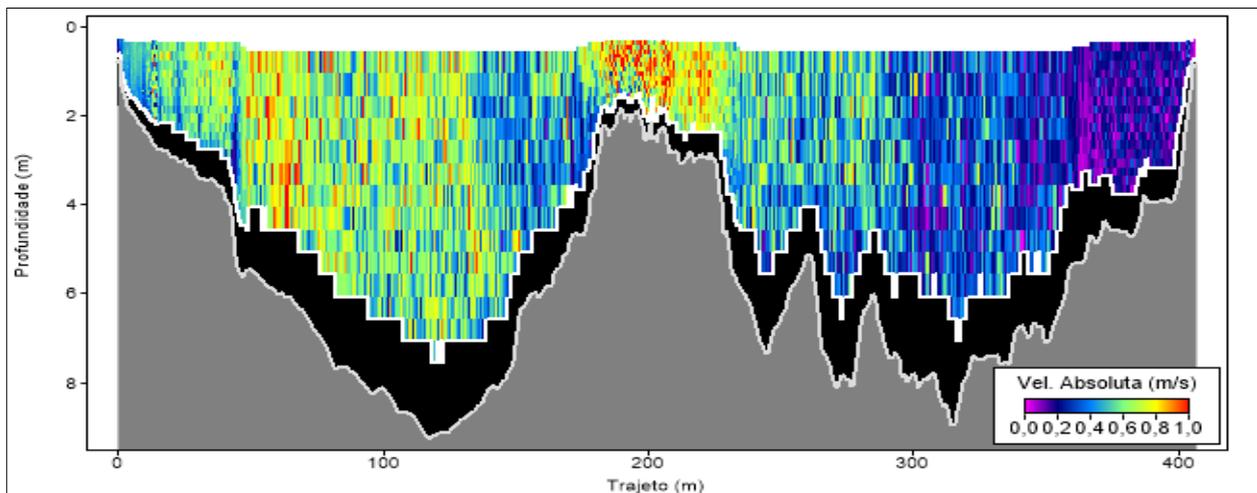


Figura 13. Resultado da medição de vazão realizada no dia 21 de outubro de 2013, utilizando o ADCP, na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 10**.

Durante a primeira campanha de 2014 o equipamento ADCP estava em manutenção, sendo assim, as medições de vazão foram realizadas a partir do Molinete Hidrométrico (**Tabela 3 e Figura 14**). Os detalhes das medições de vazão são apresentados no **ANEXO 2**.

Tabela 3. Resumo das medições de hidrometria realizadas entre os dias 03 e 06 de fevereiro de 2014 nas estações da UHE Teles Pires.

Estação	Área da Seção (m ²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Cajueiro do Teles Pires	4.313,2	343,13	1,086±0,285	4.684,214±5,751
UHE Teles Pires	4.138,9	411,82	1,148±0,285	4.749,688±81,708
São Pedro do Paranaíta	245,5	48,05	0,450±0,012	110,501±2,618
Jusante Foz Peixoto de Azevedo	4.105,0	419,05	1,156±0,381	4.746,182±52,841

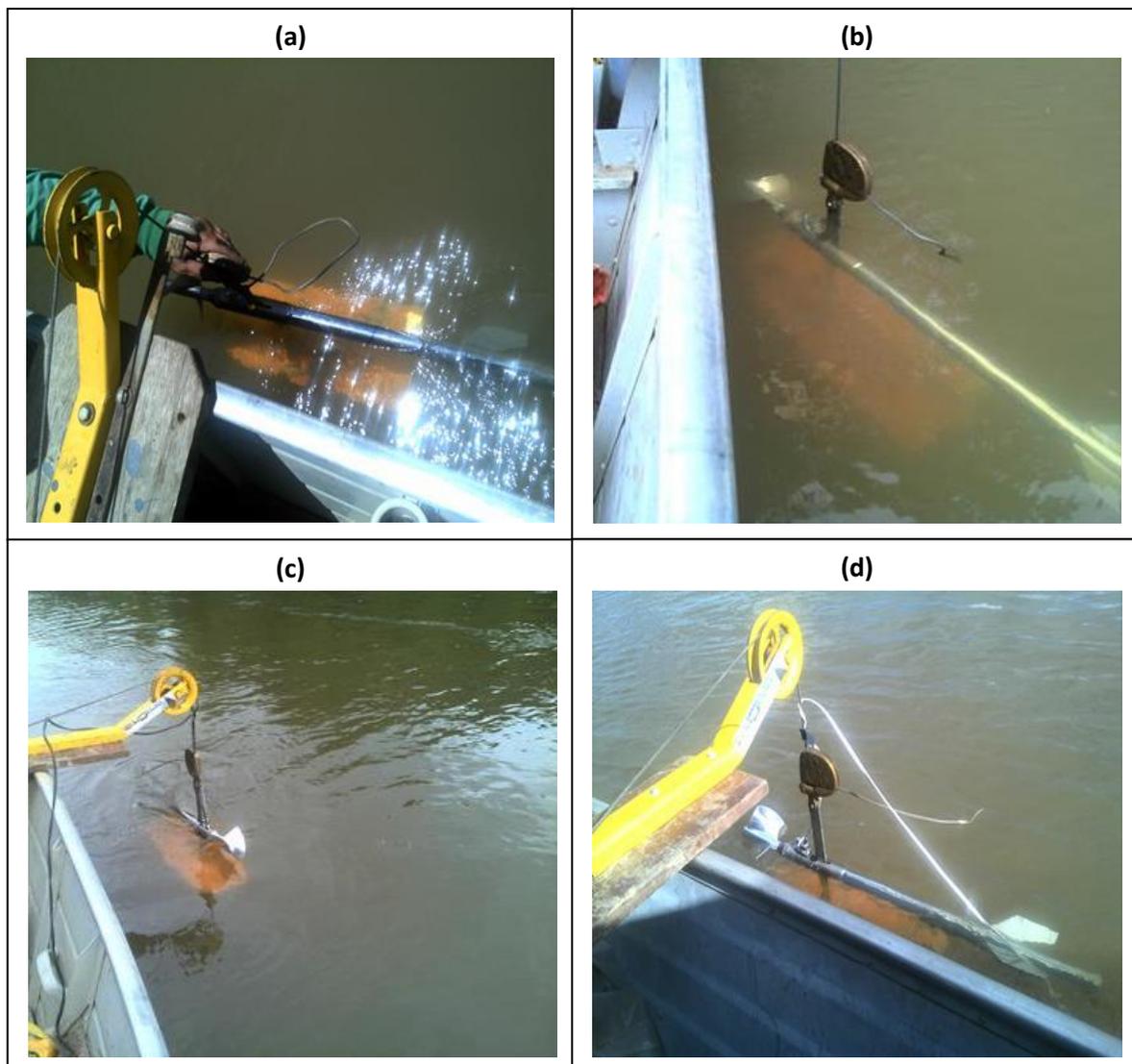


Figura 14. Medições de vazão com o Molinete Hidrométrico na campanha de campo de fevereiro de 2014. **(a)** Estação Cajueiro do Teles Pires; **(b)** UHE Teles Pires; **(c)** São Pedro do Paranaíba; **(d)** Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

Juntamente com as medições de vazão também foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão e de leito. Na **Tabela 4** são apresentadas as concentrações dos materiais em suspensão e as granulométricas dos materiais de suspensão e leito referentes as amostras coletadas em outubro de 2013. Os detalhes das análises de sedimentos são apresentados no **ANEXO 3**.

No momento estão sendo realizadas no Laboratório de Solos e Rochas da **VERACRUZ** as análises das amostras de sedimentos coletadas durante a campanha de campo de fevereiro de 2014, sendo que os resultados serão apresentados no próximo relatório.

Tabela 4. Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em outubro de 2013 nas estações da UHE Teles Pires, divididos em cascalho, areia, silte e argila, junto com seus respectivos diâmetros característicos. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		Cajueiro do Teles Pires	UHE Teles Pires	São Pedro do Paranaíta	Jusante Foz Peixoto de Azevedo
Leito	D10 (mm)	0,201	0,221	0,071	0,247
	D35 (mm)	0,330	0,304	0,110	0,312
	D50 (mm)	0,414	0,344	0,140	0,342
	D65 (mm)	0,543	0,389	0,174	0,379
	D90 (mm)	1,363	0,501	0,250	0,467
	Cascalho (%)	5,4	0,1	0,0	0,1
	Areia (%)	94,5	99,6	95,1	99,9
	Silte + Argila (%)	0,1	0,3	4,9	0,0
Suspensão	Areia (%)	27,3	7,8	26,8	7,2
	Silte (%)	65,6	84,1	68,3	69,5
	Argila (%)	7,1	8,1	4,9	23,3
	Concentração (ppm)	18,09	17,69	38,51	21,48

Os principais resultados de descargas líquidas e descargas sólidas em suspensão e totais referentes as coletas de campo realizadas de setembro de 2012 a fevereiro 2014 nas estações Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires, São Pedro do Paranaíta e Jusante Jusante Foz Peixoto de Azevedo são apresentados na **Tabela 5** e nas **Figuras 15 a 18**.

Tabela 5. 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).

	Estação		Cajueiro do Teles Pires	São Pedro do Paranaíba	UHE Teles Pires	Jusante Foz Peixoto de Azevedo
set/12	Q	(m ³ /s)	341 ± 4	1,63 ± 0,04	551 ± 15	642 ± 9
	Qss	(t/dia)	109	1,03	197	307
	Qst	(t/dia)	145	1,05	336	788
out/12	Q	(m ³ /s)	819 ± 19	28 ± 1	903 ± 17	788 ± 15
	Qss	(t/dia)	1.050	56	678	1.249
	Qst	(t/dia)	1.249	75	803	1.580
jan/13	Q	(m ³ /s)	3.207 ± 20	148 ± 3	-	3.280 ± 14
	Qss	(t/dia)	6.228	339	-	8.387
	Qst	(t/dia)	8.793	421	-	12.284
abr/13	Q	(m ³ /s)	4.705 ± 104	213 ± 5	4.794 ± 105	4.395 ± 17
	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 ± 17	28 ± 1	1.132 ± 38	1.037 ± 16
	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)	690 ± 11	10,8 ± 0,1	838 ± 88	959 ± 10
	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±5,7	110,5±2,6	4.749,6±81,7	4.746,1±52,8
	Qss	(t/dia)	-	-	-	-
	Qst	(t/dia)	-	-	-	-

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.

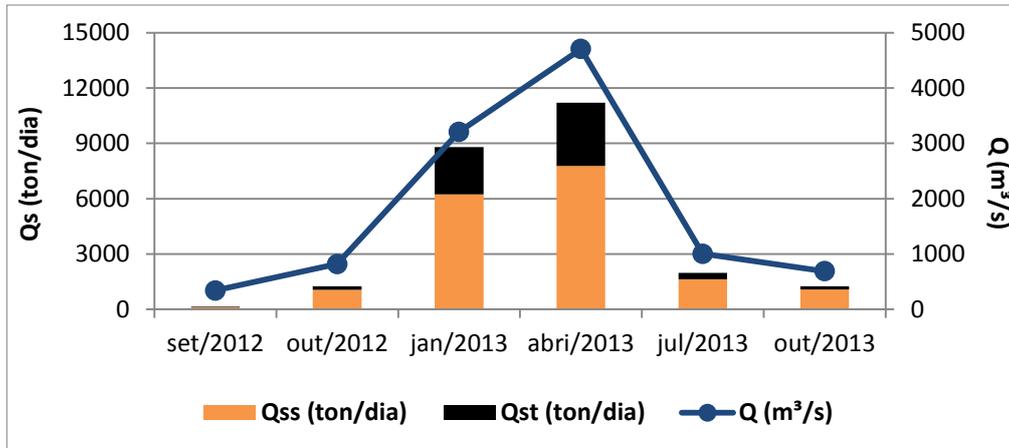


Figura 16. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Cajueiro do Teles Pires nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2013.

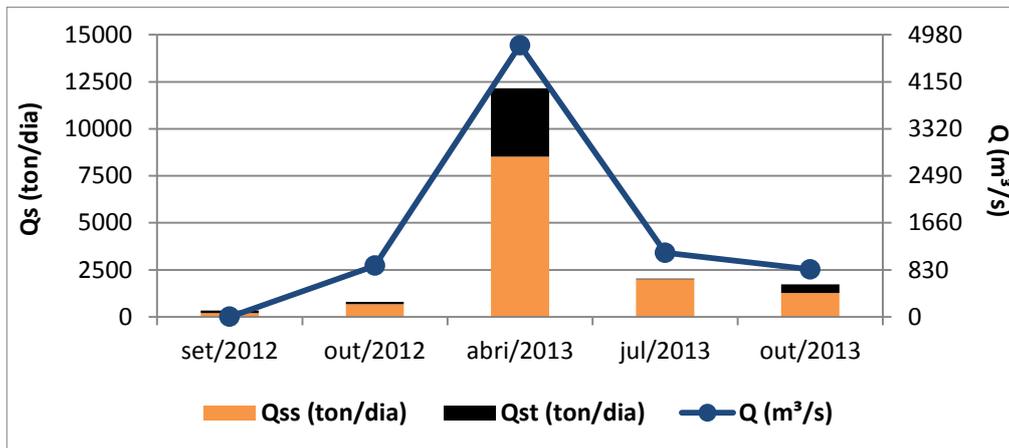


Figura 17. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação UHE Teles Pires nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2013.

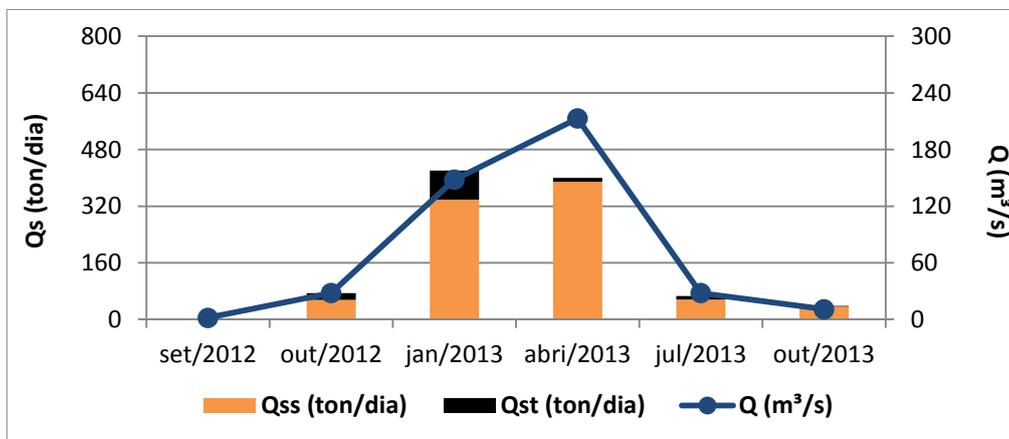


Figura 18. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação São Pedro do Paranaíta nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2013.

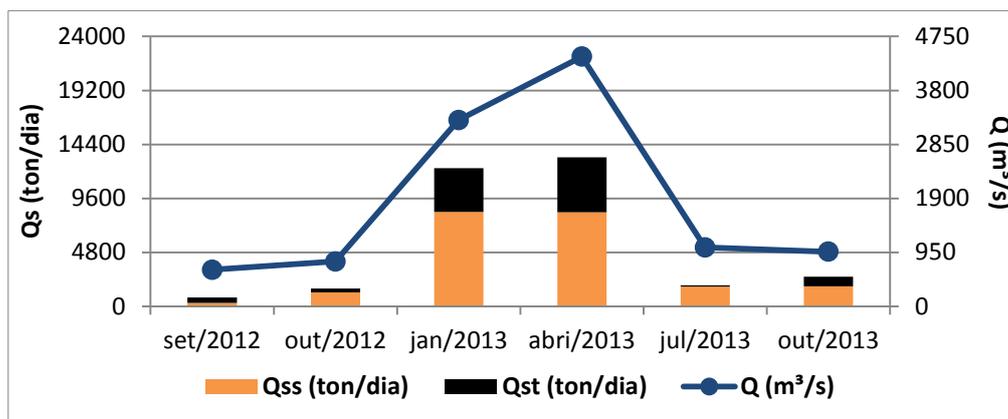


Figura 19. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo nas campanhas realizadas entre setembro de 2012 e outubro de 2013.

5.2. Determinação das curvas-chave

Para o traçado das curvas-chave de 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 fevereiro de 2014.

Na estação Cajueiro do Teles Pires (**Figura 19**) o R^2 foi de 0,99, demonstrando um ajuste considerado ótimo para a amplitude de medições. Apesar disso, é necessário um maior número de medições de vazão para um melhor ajuste da curva-chave.

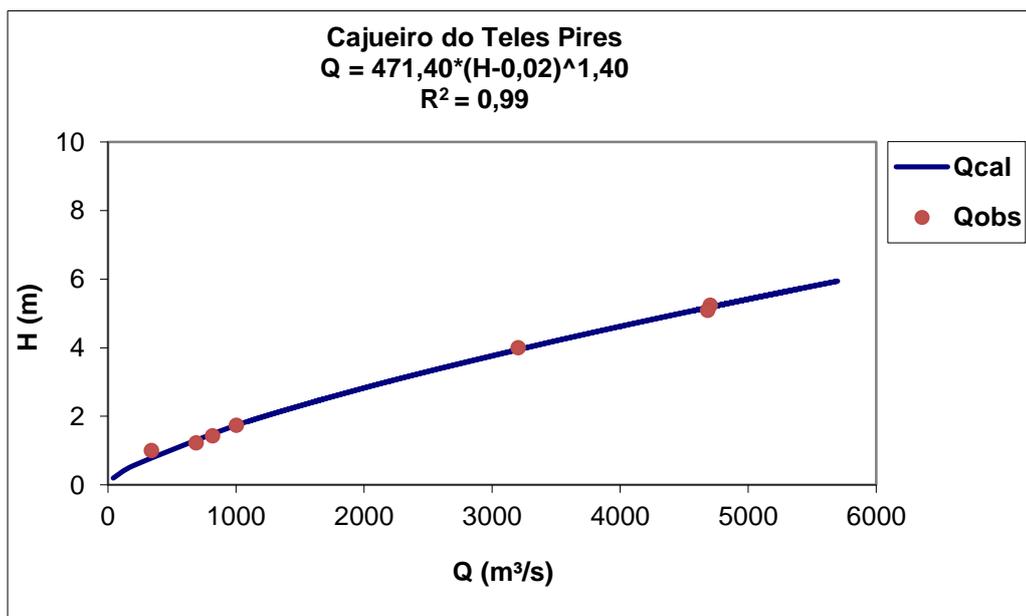


Figura 19. Curva-chave da estação Cajueiro do Teles Pires.

O traçado da curva-chave da estação UHE Teles Pires (**Figura 20**) apresentou um R^2 de 0,99, demonstrando um ótimo ajuste para a amplitude de medições. Mesmo assim é importante a realização de um número maior de medições de vazão para o ajuste da curva-chave.

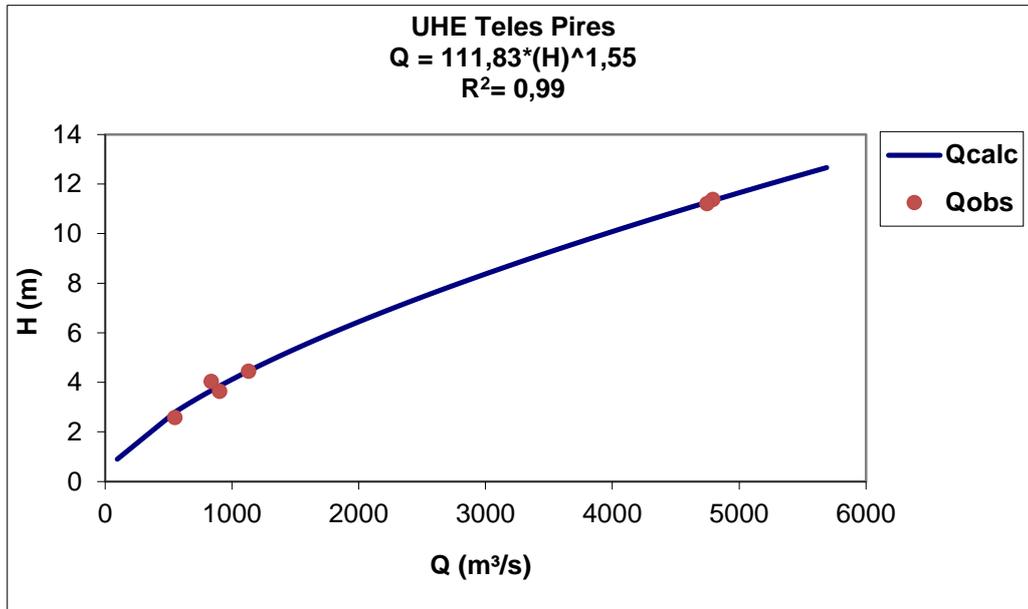


Figura 20. Curva-chave da estação UHE Teles Pires.

Na estação São Pedro do Paranaíta (**Figura 21**) o R^2 foi de 0,97, demonstrando um ajuste considerado muito bom para a amplitude de medições. Apesar disso, é necessário um maior número de medições de vazão para o ajuste da curva-chave.

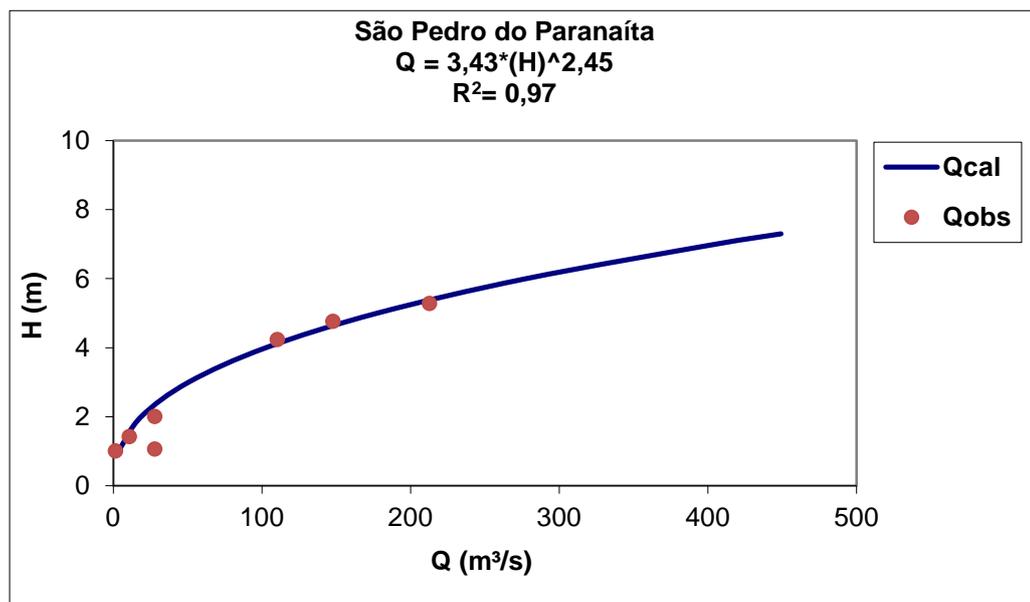


Figura 21. Curva-chave da estação São Pedro do Paranaíta.

Para o traçado da curva-chave da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (**Figura 22**) foi utilizada toda a série histórica da **ANA** englobando o período de monitoramento de setembro de 1980 a dezembro de 2012. O coeficiente de determinação apresentado foi de 0,99, representando um ajuste considerado ótimo.

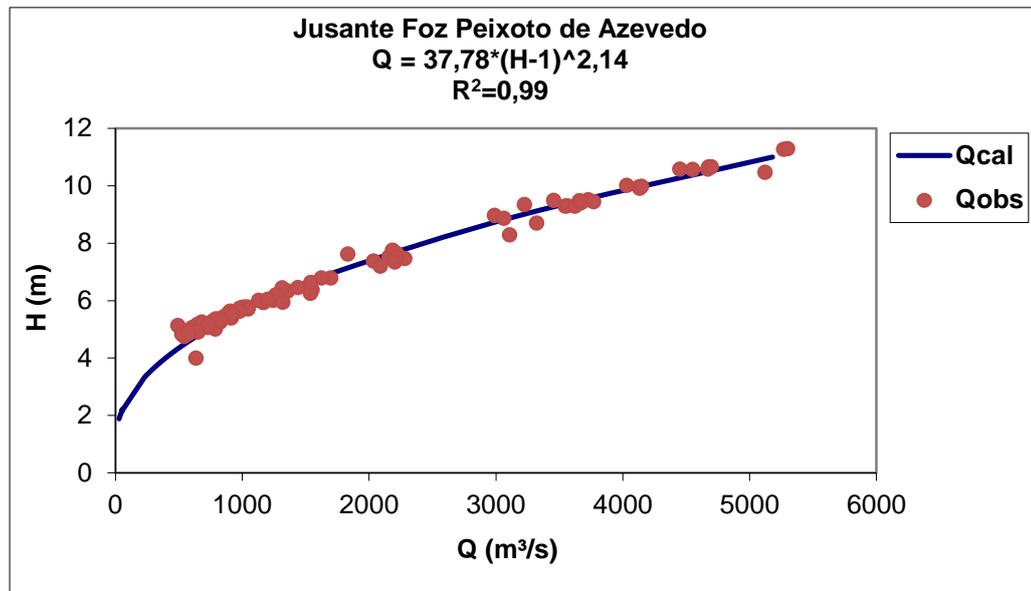


Figura 22. Curva-chave da estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

5.3. 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, comparando os dados brutos coletados pelos sensores de nível das estações hidrométricas com as leituras das réguas 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. Os detalhes com os dados diários de nível (ajustados), dados de vazão e de precipitação das estações hidrométricas estão apresentados no **ANEXO 4**.

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 devido provavelmente a passagem de embarcações próximas à estação, retirando o sensor do lugar e conseqüentemente 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 réguas limnimétricas instaladas próximas a estação.

A **Figura 23** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m^3/s) média diária na estação UHE Teles Pires. Durante o período de 01 de fevereiro de 2013 a 31 de janeiro de 2014, o mês de setembro foi o que apresentou a menor vazão média mensal, de $628 m^3/s$. Já o mês de abril apresentou a maior vazão média mensal, de $5.137 m^3/s$. O mês de dezembro foi o que apresentou a maior taxa de precipitação, com um total acumulado de 386 mm. No mês de agosto de 2013 não ocorreu precipitação na estação UHE Teles Pires e durante o mês de julho a precipitação acumulada foi de apenas 3,4 mm.

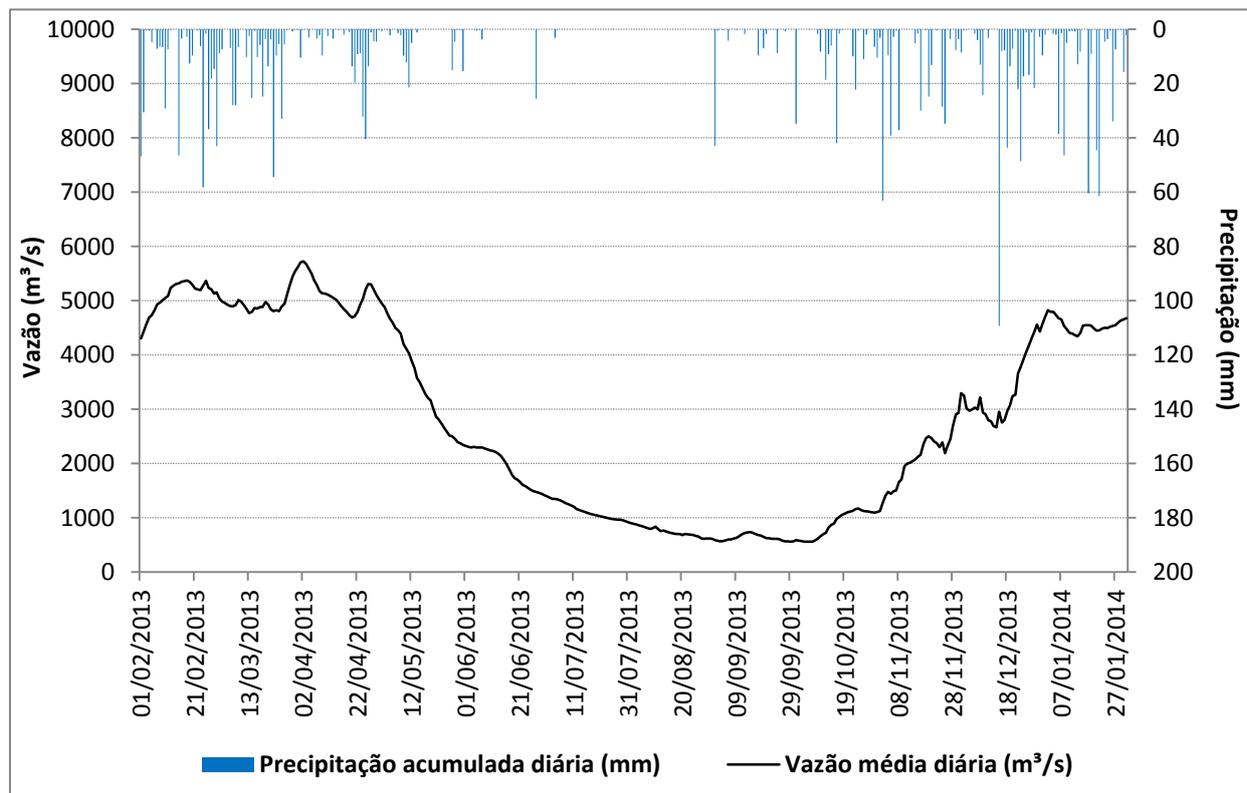


Figura 23. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m^3/s) média diária na estação hidrométrica UHE Teles Pires no período de 01 de fevereiro de 2013 a 31 de janeiro de 2014.

A **Figura 24** apresenta a precipitação (mm) acumulada diária e a vazão (m^3/s) média diária na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo. Durante o período de 29 de abril de 2013 a 31 de janeiro de 2014, o mês de setembro foi o que apresentou a menor vazão média mensal, de $844 m^3/s$. Já o mês de abril, entre os dias analisados, apresentou a maior vazão média, de $4.620 m^3/s$. O mês de novembro foi o que apresentou a maior taxa de precipitação, com um total acumulado de 460 mm. No mês de julho não ocorreu precipitação na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo e durante o mês de agosto a precipitação acumulada foi de apenas 3,2 mm.

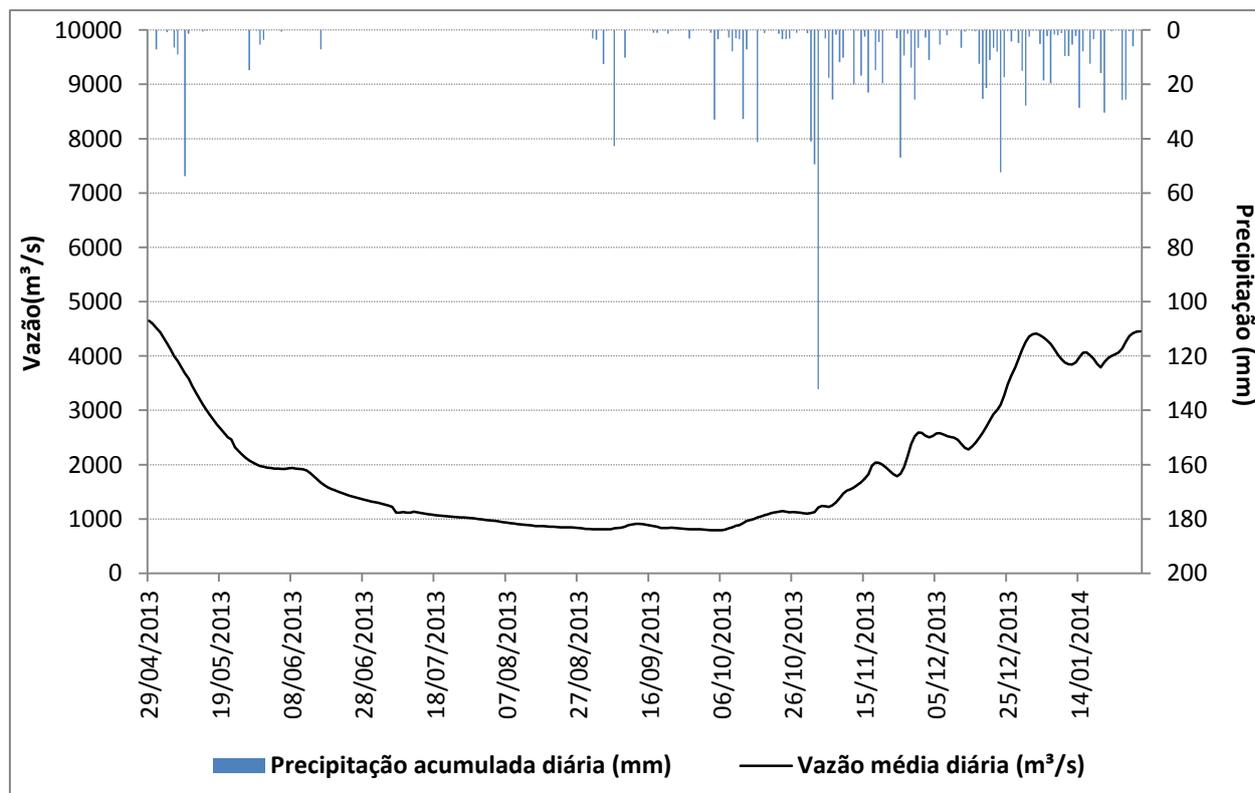


Figura 24. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica Jusante Foz Peixoto de Azevedo no período de 29 de abril de 2013 a 31 de janeiro de 2014.

Durante o período de 09 de novembro de 2013 a 14 de janeiro de 2014 na estação Cajueiro do Teles Pires (**Figura 25**) e de 04 de dezembro de 2013 a 14 de janeiro de 2014 na estação São Pedro do Paranaíta (**Figura 26**), devido a presença de árvores próximas as estações, ocorreu um acúmulo de sementes, folhas e penas de aves nos pluviômetros, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação. Na estação Cajueiro do Teles Pires o pluviômetro 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.

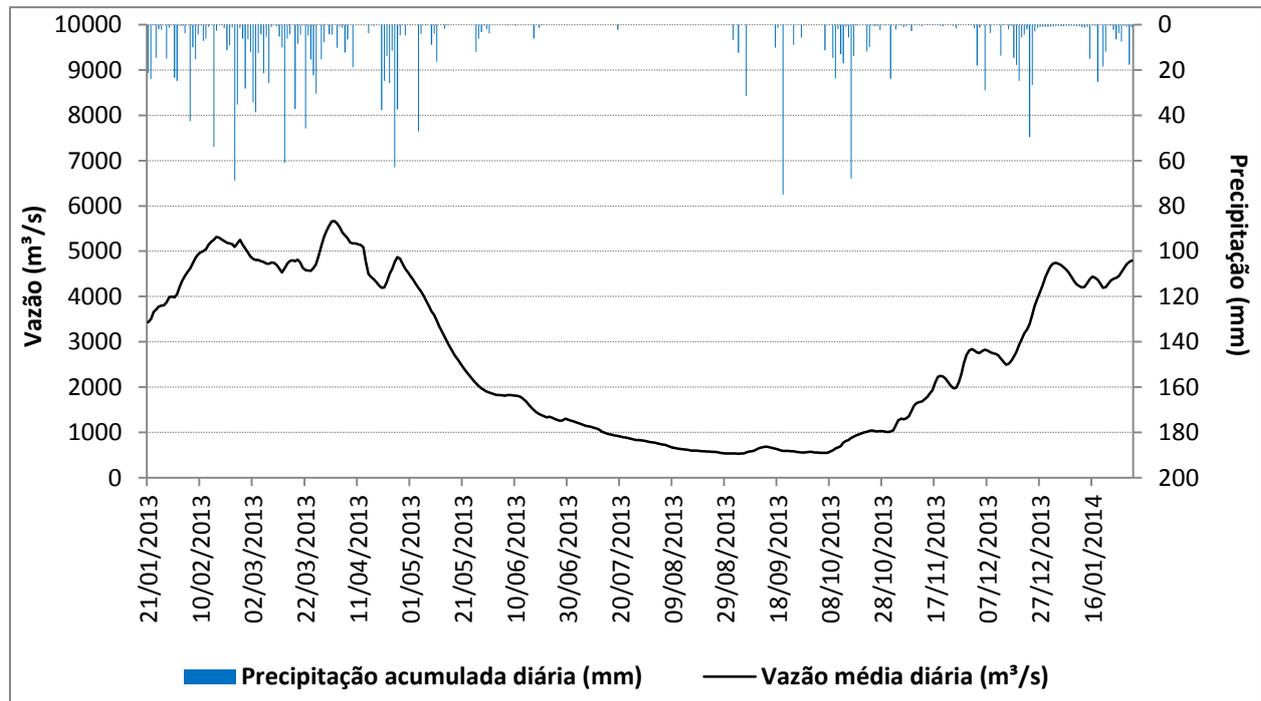


Figura 25. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica Cajueiro do Teles Pires no período de 21 de janeiro de 2013 a 31 de janeiro de 2014. Entre os dias 09 de novembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014 o pluviômetro da estação Cajueiro do Teles Pires apresentou acúmulo de sementes, folhas e penas de aves, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação.

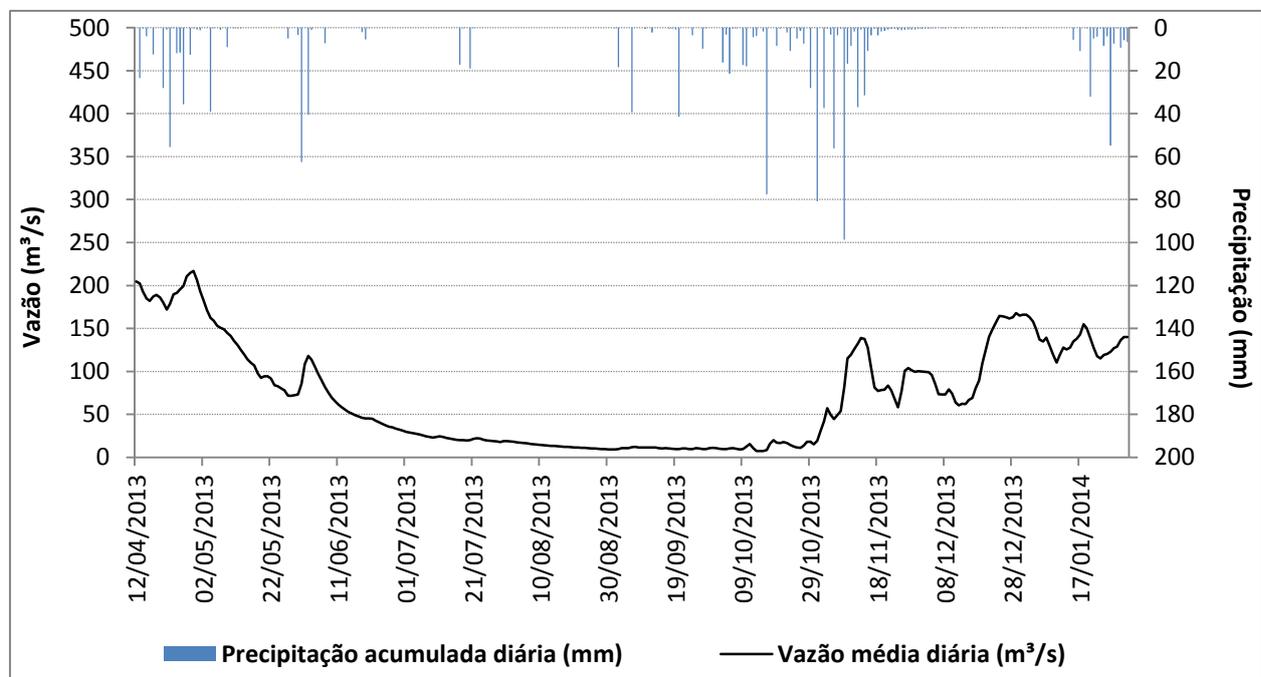


Figura 26. Precipitação (mm) acumulada diária e vazão (m³/s) média diária na estação hidrométrica São Pedro do Paranaíta no período de 12 de abril de 2013 a 31 de janeiro de 2014. Entre os dias 04 de dezembro de 2013 e 14 de janeiro de 2014 o pluviômetro da estação São Pedro do Paranaíta apresentou acúmulo de sementes, folhas e penas de aves, prejudicando a coleta de dados diários de precipitação.

Na estação Cajueiro do Teles Pires no período de 21 de janeiro de 2013 a 31 de janeiro de 2014, o mês de setembro foi o que apresentou a menor vazão média mensal, de 592m³/s, e o mês de fevereiro apresentou a maior vazão média mensal, de 4.953 m³/s. Já na estação São Pedro do Paranaíta, de 12 de abril de 2013 a 31 de janeiro de 2014, a menor vazão média mensal foi observada durante o mês de setembro, de 11 m³/s, e a maior vazão média mensal foi observada durante o mês de abril, com 194 m³/s.

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

Na regressão linear, as precipitações acumuladas mensais de uma estação com falhas e de um posto vizinho, que possui características climatológicas parecidas, são correlacionadas. Sendo assim, foram feitas correlações entre as estações Cajueiro do Teles Pires e São Pedro do Paranaíta 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.

Para correlação da estação São Pedro do Paranaíta com as estações UHE Teles Pires, Jusante Foz Peixoto de Azevedo e estação Meteorológica UHE Teles Pires (**Figuras 27 a 29**), foram utilizados os dados de precipitação acumulada dos meses maio a novembro de 2013.

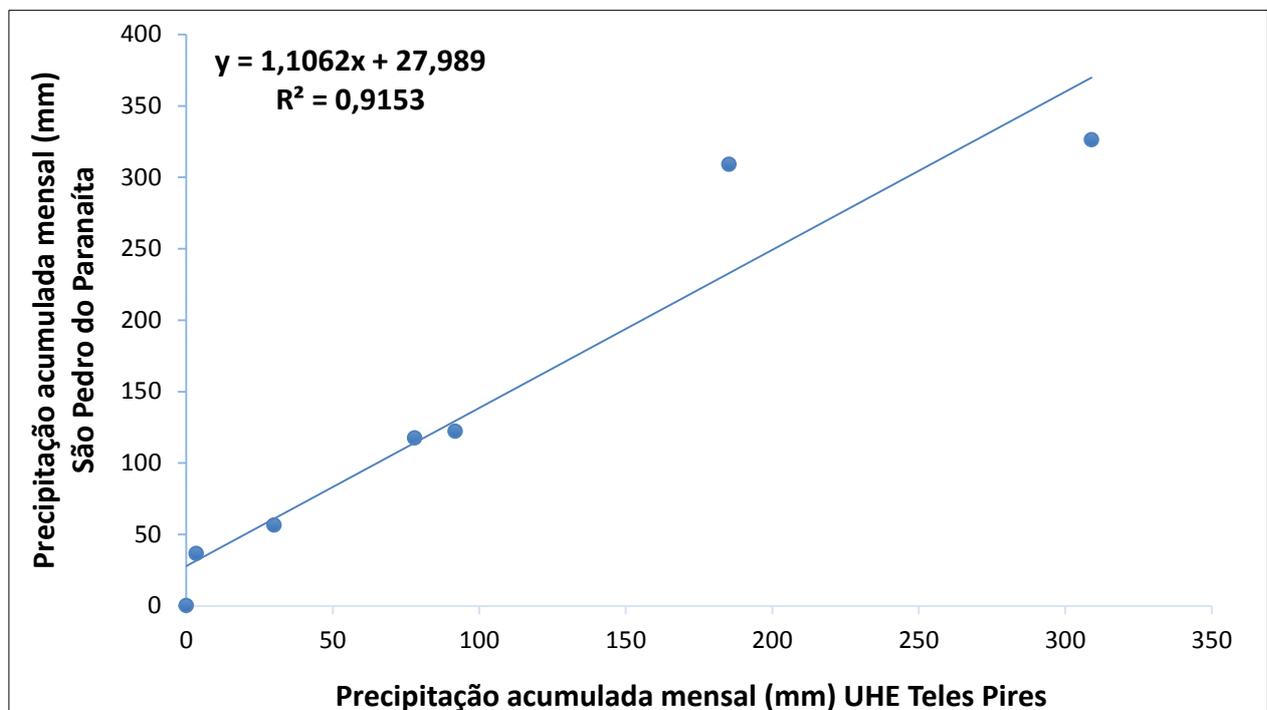


Figura 27. Correlação entre as estações São Pedro do Paranaíta e UHE Teles Pires.

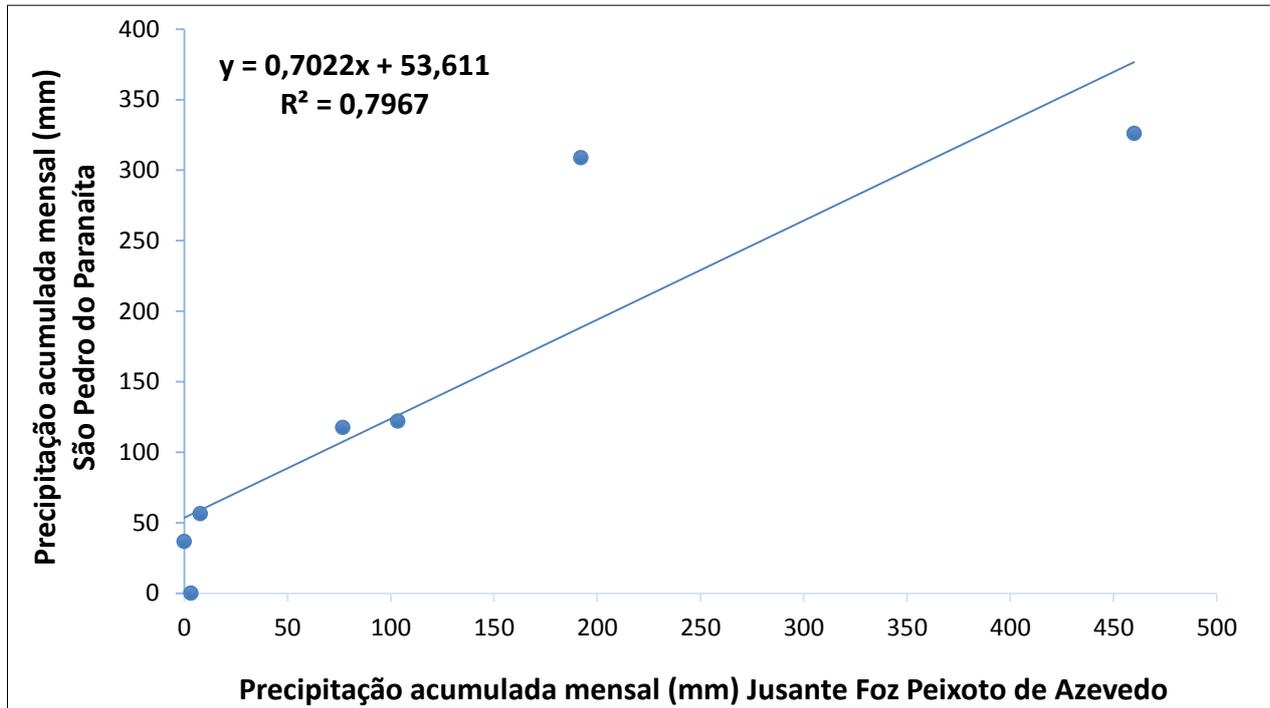


Figura 28. Correlação entre as estações São Pedro do Paranaíta e Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

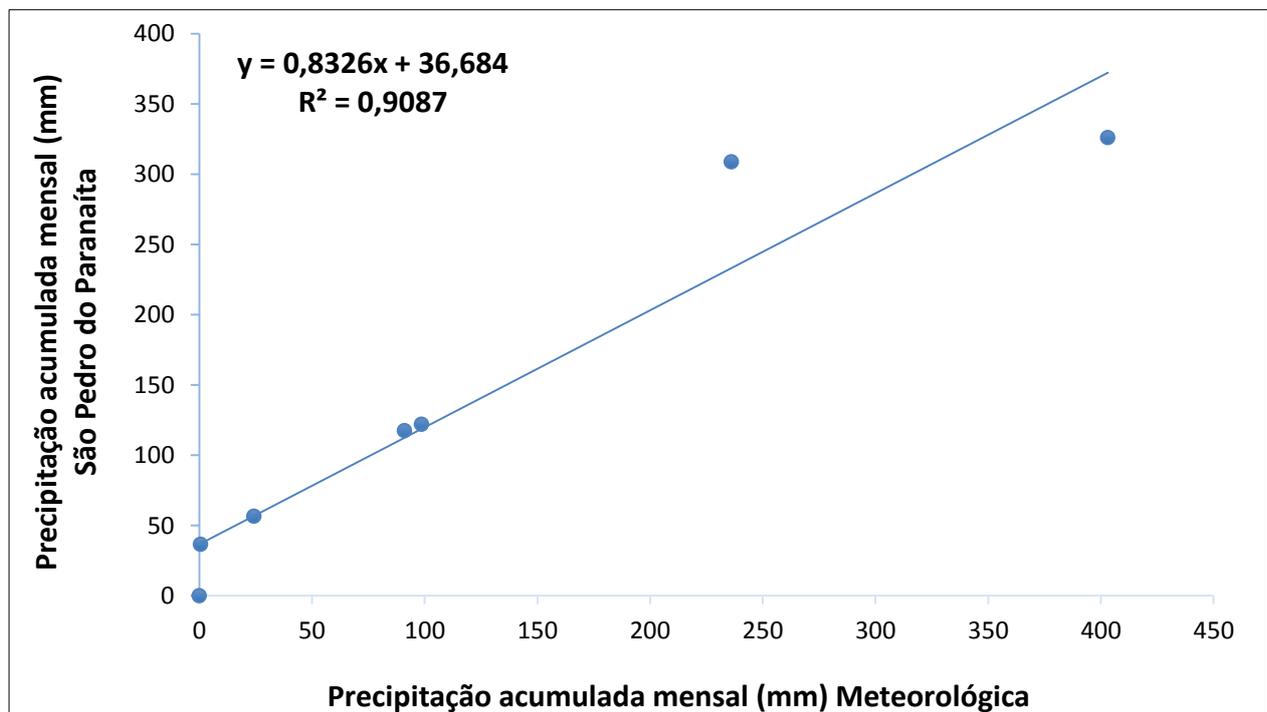


Figura 29. Correlação entre a estação São Pedro do Paranaíta e a estação Meteorológica UHE Teles Pires.

Para correlação da estação Cajueiro do Teles Pires com as estações UHE Teles Pires e a estação Meteorológica UHE Teles Pires (Figuras 30 e 32), foram utilizados os dados de precipitação acumulada dos meses de fevereiro a outubro de 2013. Na correlação com a

estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo foram utilizados os dados de precipitação acumulada dos meses de maio a outubro de 2013.

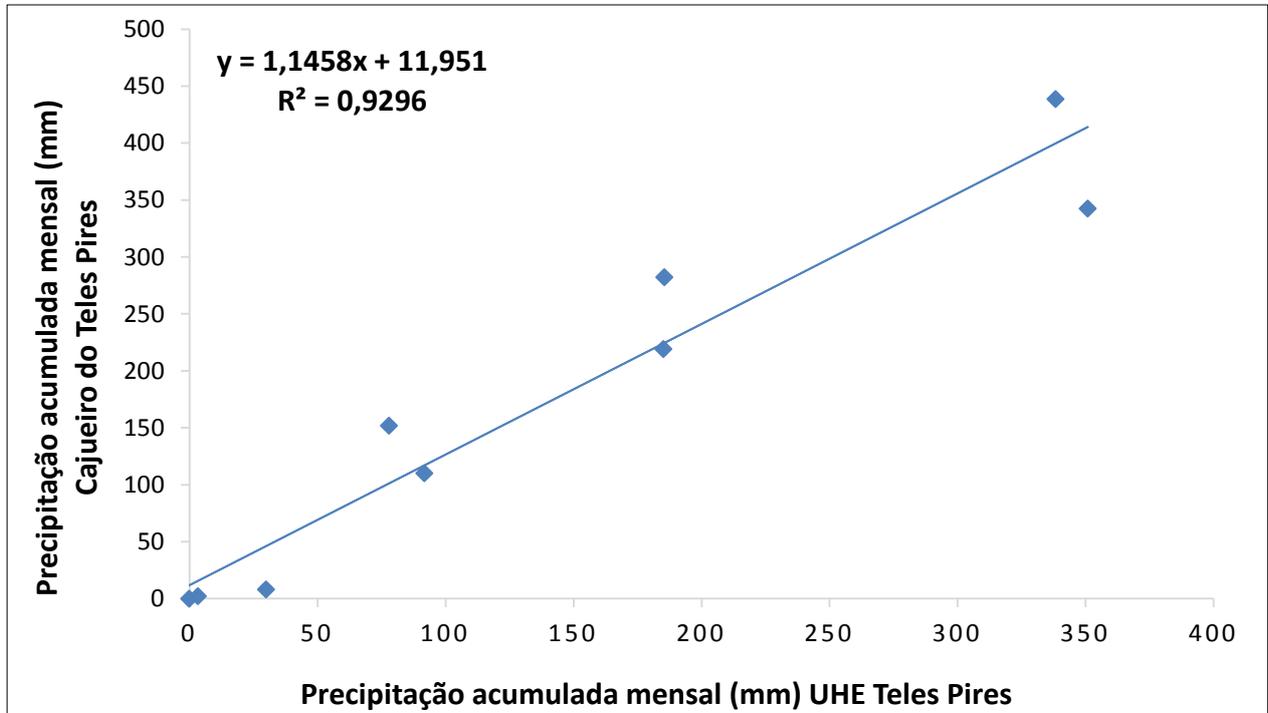


Figura 30. Correlação entre a estação Cajueiro do Teles Pires e UHE Teles Pires.

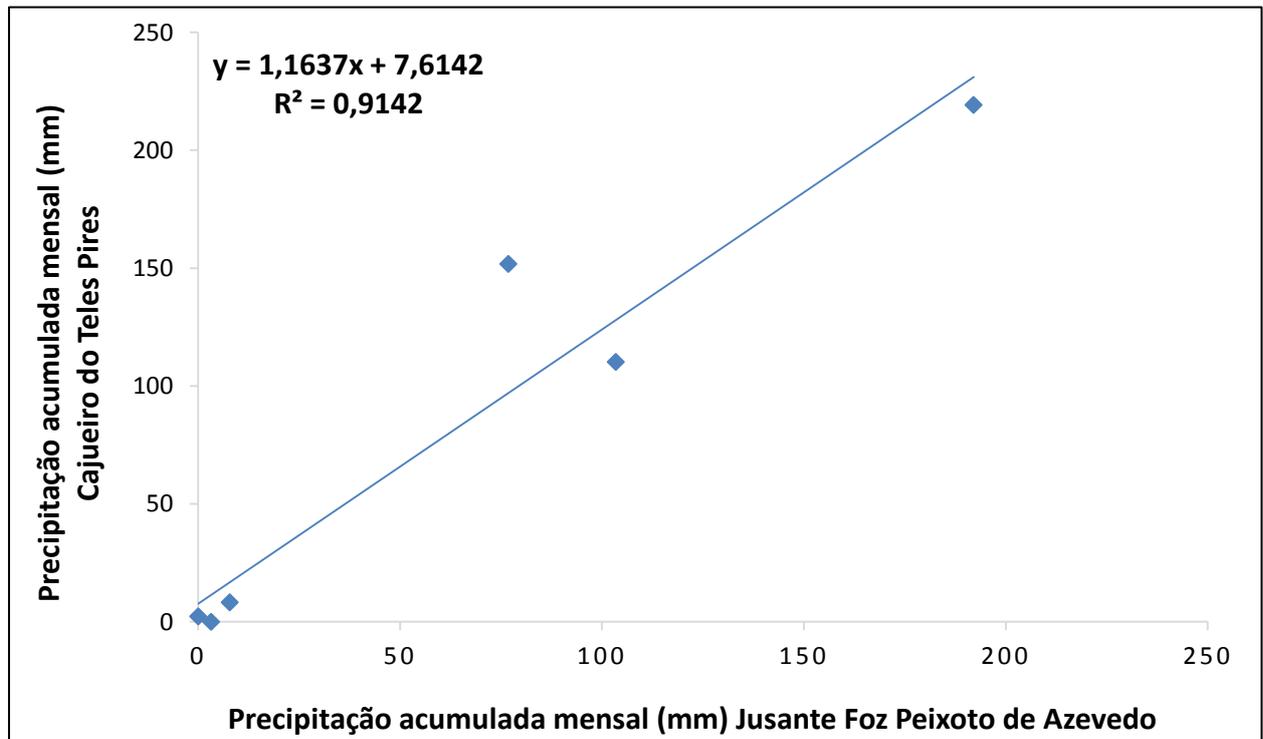


Figura 31. Correlação entre a estação Cajueiro do Teles Pires e Jusante Foz Peixoto de Azevedo.

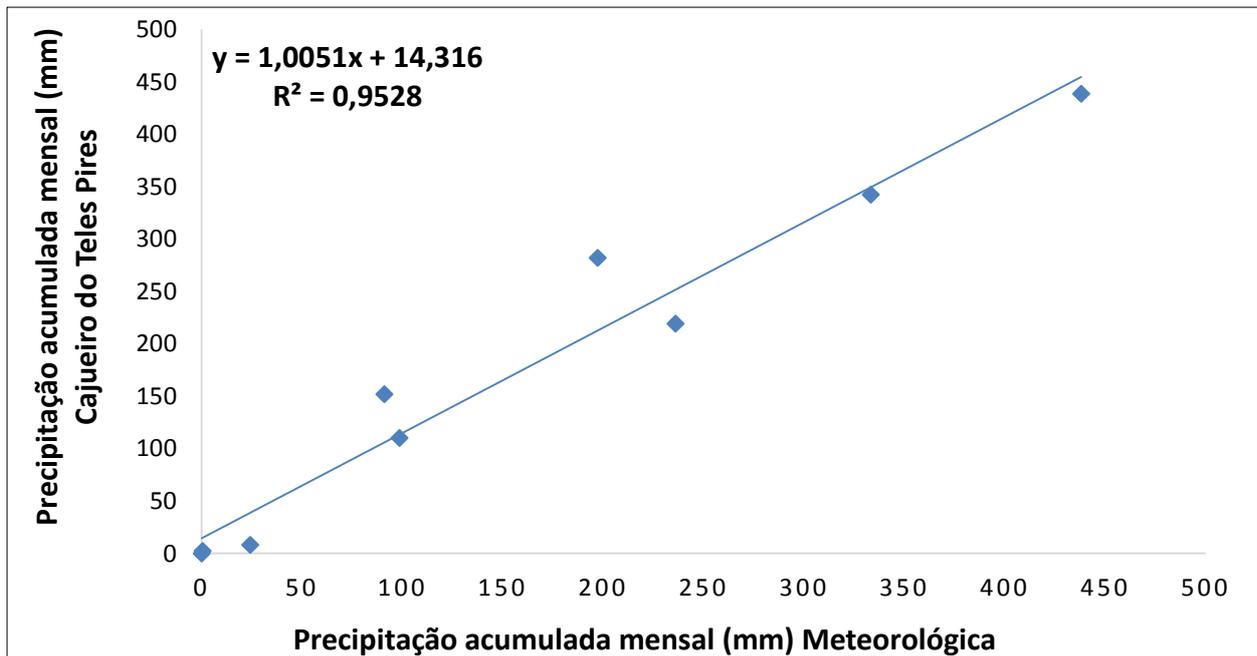


Figura 32. Correlação entre a estação Cajueiro do Teles Pires e a estação Meteorológica UHE Teles Pires.

Analisando as **Figuras 27 a 29** pode-se observar que a correlação entre a estação São Pedro do Paranaíta e UHE Teles Pires apresentou um maior coeficiente de determinação, com um R^2 de 0,9153. Já para a estação Cajueiro do Teles Pires (**Figuras 30 a 32**) o maior coeficiente de determinação, R^2 de 0,9528, foi obtido a partir da correlação com a estação Meteorológica UHE Teles Pires. Os preenchimentos e correções das estações Cajueiro e Paranaíta foram feitos então com as equações de maiores coeficientes de determinação.

Na **Figura 33** são apresentadas as precipitações acumuladas mensais da estação São Pedro do Paranaíta, com as correções para os meses dezembro de 2013 e janeiro de 2014.

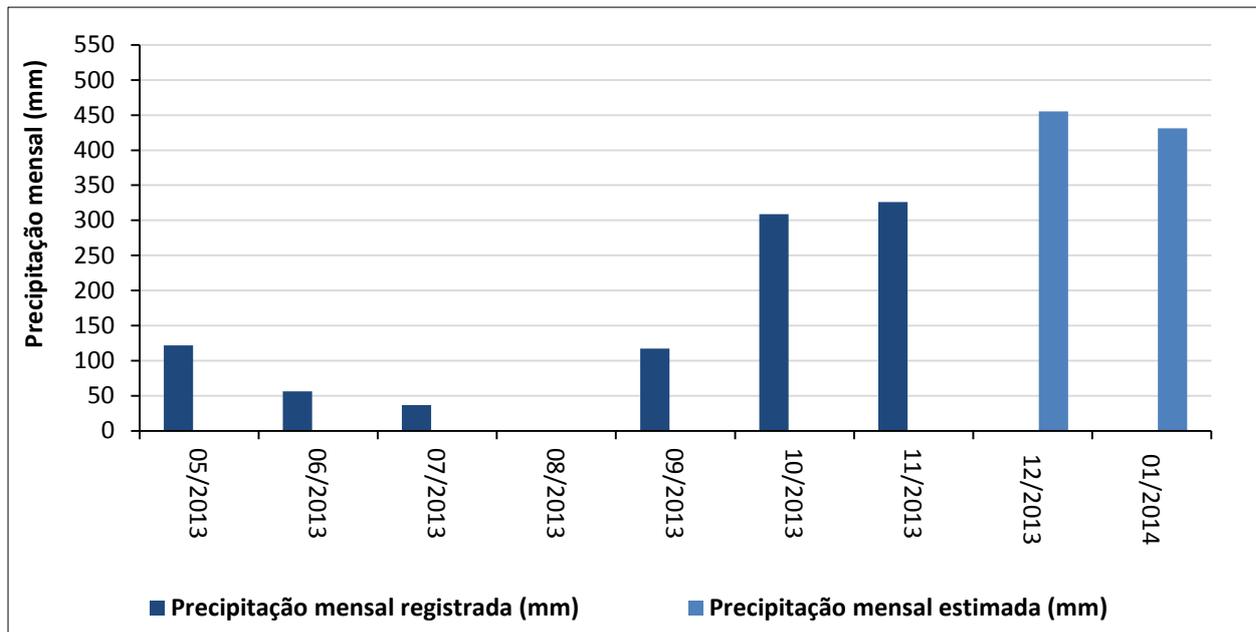


Figura 33. Precipitação acumulada mensal na estação São Pedro do Paranaíta entre os meses de maio de 2013 e janeiro de 2014.

Na **Figura 34** são apresentadas as precipitações acumuladas mensais na estação Cajueiro do Teles Pires, com as correções para os meses novembro e dezembro de 2013 e janeiro de 2014.

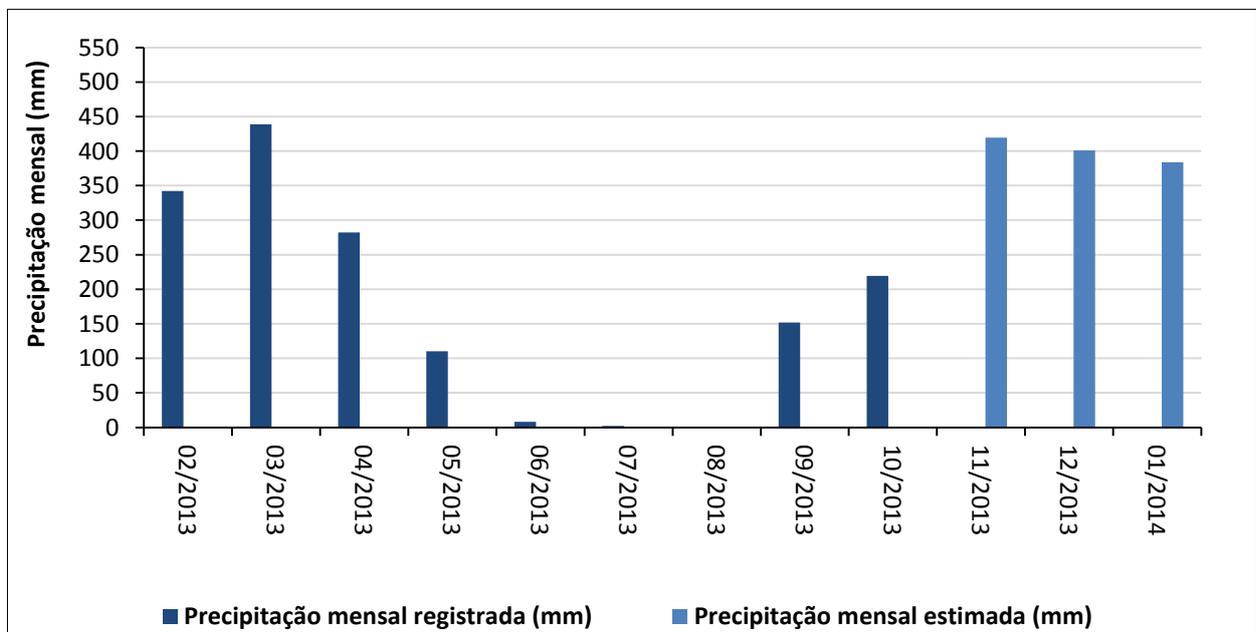


Figura 34. Precipitação acumulada mensal na estação Cajueiro do Teles Pires entre nos meses de fevereiro de 2013 e janeiro de 2014.

A equipe da **VERACRUZ** esteve em campo durante o mês de janeiro de 2014 para manutenção das estações hidrométricas, reparo dos pluviômetros e troca do sensor de nível da

estação UHE Teles Pires (**Figura 35**). Os dados de precipitação das estações São Pedro do Paranaíta e Cajueiro de Teles Pires e os dados de nível da estação UHE Teles Pires voltaram a ser registrados e transmitidos normalmente a partir do dia 15 de janeiro.



Figura 35. Manutenção nas estações hidrométricas da UHE Teles Pires durante o mês de janeiro de 2014.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente relatório foram descritas as principais atividades realizadas durante o período de agosto de 2013 a fevereiro de 2014, que consistiram: (i) no monitoramento das estações hidrométricas; (ii) na realização de duas campanhas de medições de vazão e coletas de sedimentos em suspensão e de leito; (iii) na determinação das granulometrias dos materiais de leito e de suspensão; (iv) na determinação das concentrações dos sedimentos em suspensão; (v) no cálculo das descargas sólidas em suspensão e totais; e (vi) na estimativa da

precipitação mensal por regressão linear nas estações Cajueiro do Teles Pires e São Pedro do Paranaíta entre os meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

As estações hidrométricas Cajueiro do Teles Pires, UHE Teles Pires, São Pedro do Paranaíta e Jusante Foz Peixoto de Azevedo estão em pleno funcionamento. Os dados de nível registrados pelos sensores estão sendo sempre analisados junto aos dados das régua limnimétricas que também estão operando corretamente.

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 atividades do monitoramento hidrossedimentológico estão de acordo com o prazo previsto de execução do cronograma do PBA e atende 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.
- 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.