

P.45 - PLANO BÁSICO AMBIENTAL INDÍGENA

UHE TELES PIRES

Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico Indígena

Relatório Final

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

Março – 2016

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

C - Concentração de sedimentos em suspensão

D-GPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial

IIL - Igual Incremento de Largura

IVT - Igual Velocidade de Trânsito

PCM - Modulação por Código de Pulso

Q - Vazão ou descarga líquida

Qs - Descarga sólida

Qss - Descarga sólida em suspensão

Qst - Descarga sólida total

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	02
2.3 Instalação das estações	03
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	15
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. RESULTADOS	19
4.1 Medições de Vazão (Descargas Líquidas) e Descargas Sólidas	20
4.2 Determinação das Curvas-chave de Vazão	22
4.3 Determinação das Curvas-chave de Sedimento	25
4.4 Monitoramento das Praias Indígenas	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	36

ANEXOS

ANEXO 1. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS

ANEXO 2. ANÁLISES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO

ANEXO 3. DADOS DE PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS

ANEXO 4. DADOS DE NÍVEL E VAZÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS

1. INTRODUÇÃO

Este relatório está relacionado ao Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico na área das terras indígenas, que atende as condicionantes apresentadas no Plano Básico Ambiental Indígena da UHE Teles Pires, assim como demais solicitações do IBAMA e FUNAI.

Este estudo foi executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda.** tendo como objetivo fornecer informações referentes às taxas de aporte e deposição sedimentar nas drenagens adjacentes às terras indígenas a jusante da barragem da UHE Teles Pires e identificar os principais pontos de deposição, viabilizando a elaboração de projetos que venham a preservar as áreas e as etnias indígenas.

O presente relatório visa apresentar os resultados alcançados com a realização do monitoramento hidrossedimentológico na área das terras indígenas, durante o período de outubro de 2013 a fevereiro de 2016.

2. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA

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

Quadro 1. Estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires.

Estação	Coord. UTM –WGS-84	Rio	Município	Tipo
Coelho	21 L 493204 8996621	Teles Pires	Jacareacanga	PFDS
Apiacás	21 L 492442 8983868	Apiacás	Apiacás	PFDS
São Benedito	21L 497085 8992401	São Benedito	Jacareacanga	PFDS
Santa Rosa	21 L 453884 9020632	Teles Pires	Apiacás	PFDS

Legenda do tipo de monitoramento: P – Pluviométrico, F – Fluviométrico (Nível), D – Medição de Descarga Líquida e S – Medição de Descarga Sólida.

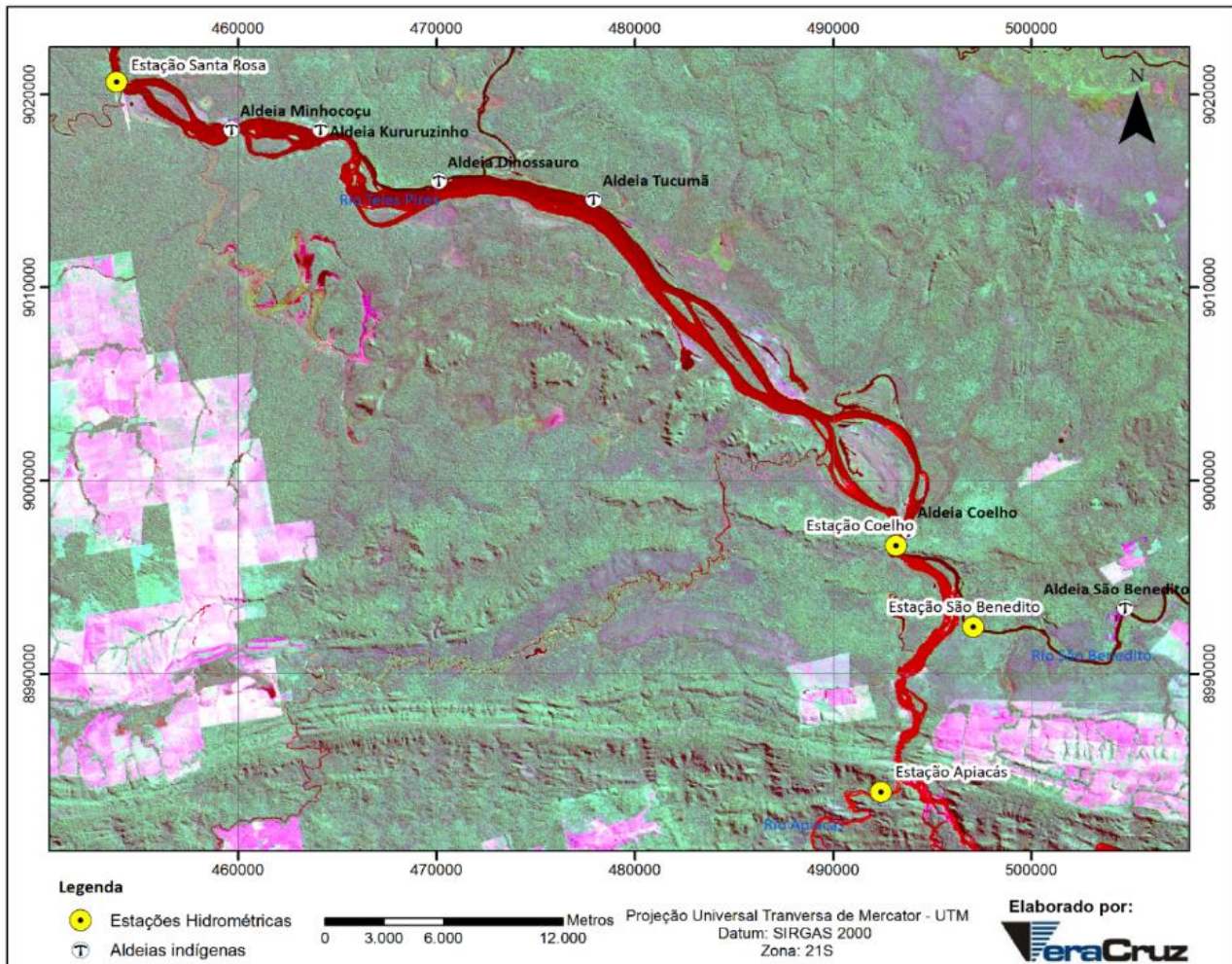


Figura 1. Localização das estações hidrométricas.

2.1 Medição de Vazão (Descarga Líquida)

No período de outubro de 2013 a fevereiro de 2016 foram efetuadas dez campanhas de medições de vazão nas estações hidrométricas, que são apresentadas com detalhes no **ANEXO 1**.

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, Apiacás e São Benedito. 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 Hidrométricas

A equipe da **VERACRUZ** esteve em campo entre os dias 15 e 18 de outubro de 2013 para o reconhecimento da área de estudo, seleção e limpeza dos locais para instalação das estações hidrométricas, instalação das seções de réguas limnimétricas e instalação dos pluviógrafos (**Figuras 2 a 5**). Os pluviógrafos instalados são da marca *Irriplus*, modelo P300, que tem por finalidade medir e registrar, de hora em hora, os dados referentes à precipitação. Possuem precisão de 0,33 mm e comportam uma intensidade máxima de precipitação de até 200mm/hora.



Figura 2. Instalação da estação hidrométrica Coelho. **(a)** limpeza do local e nivelamento das réguas com o nível topográfico; **(b)** réguas limnimétricas; **(c)** e **(d)** pluviógrafo e cercado com esteios de madeira.



Figura 3. Instalação da estação hidrométrica Apiácas. **(a)** pluviógrafo; **(b)** cercado com esteios de madeira, tela de aço galvanizado e pintura; **(c)** e **(d)** réguas limnimétricas.

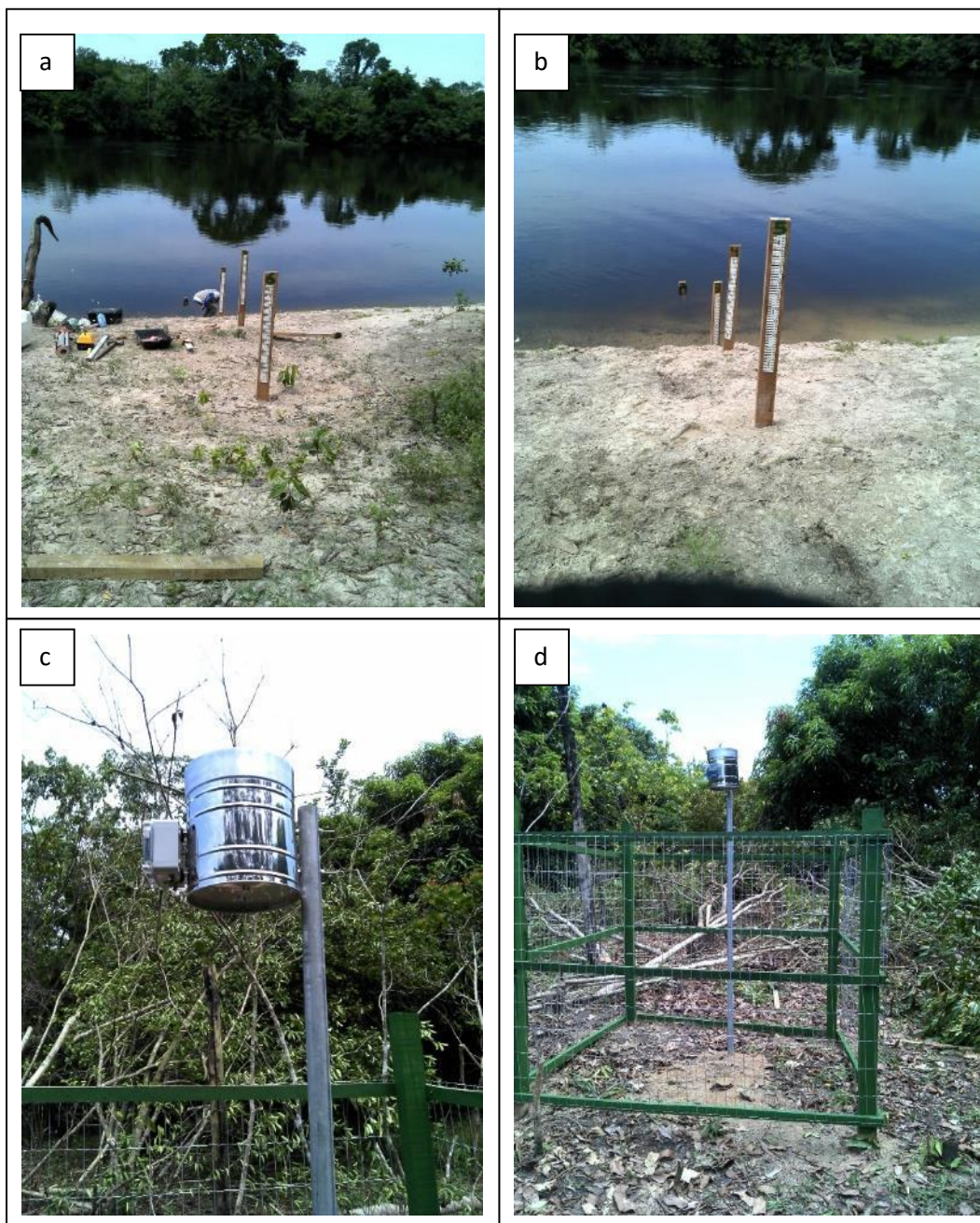


Figura 4. Instalação da estação hidrométrica São Benedito. (a) e (b) réguas limnimétricas; (c) pluviógrafo; e (d) cercado com esteios de madeira, tela de aço galvanizado e pintura.

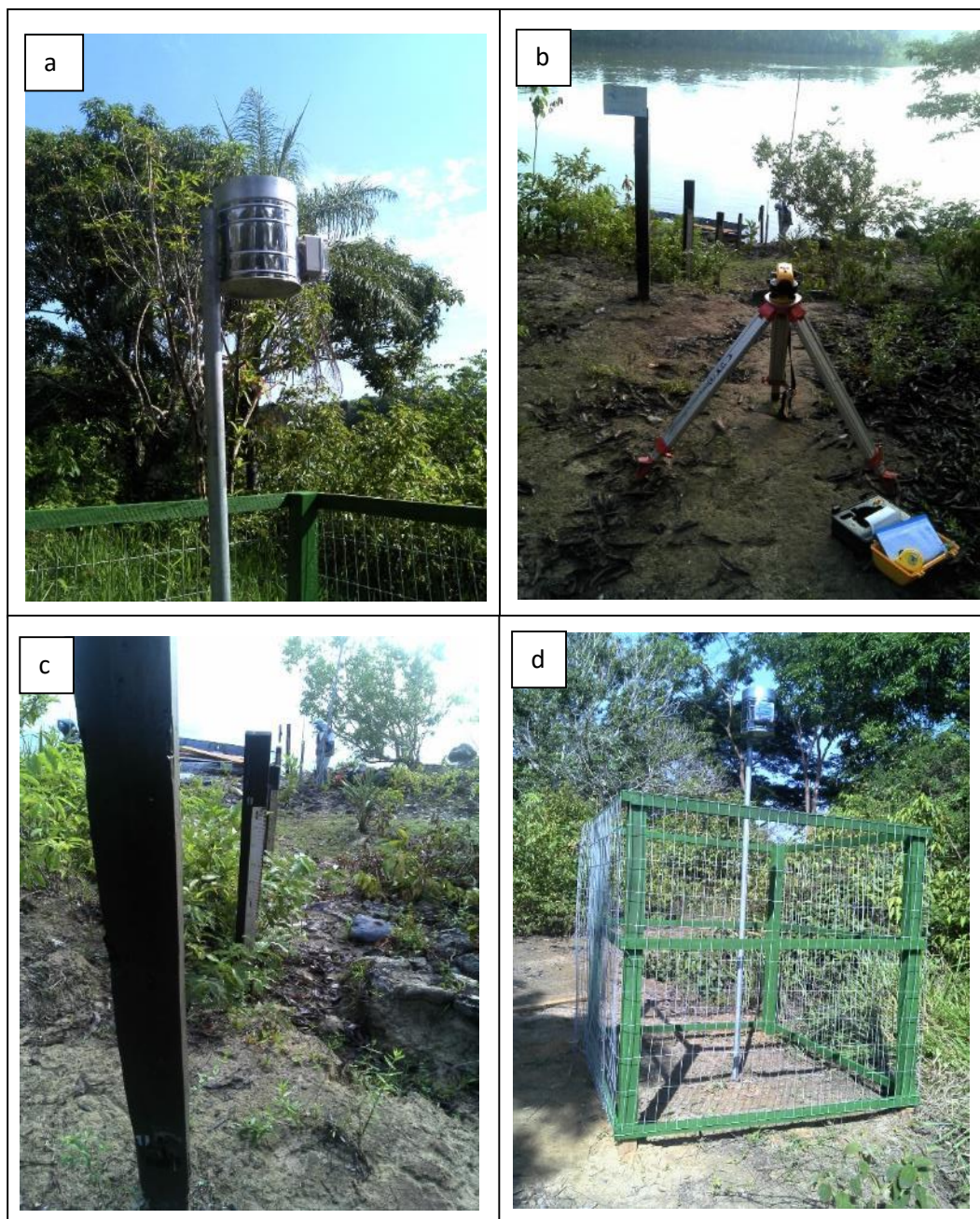


Figura 5. Instalação da estação hidrométrica Santa Rosa. **(a)** pluviógrafo; **(b)** nivelamento das réguas limnimétricas com o nível topográfico; **(c)** réguas limnimétricas; e **(d)** cercado com esteios de madeira, tela de aço galvanizado e pintura.

Para o monitoramento dos parâmetros de variação de nível d'água também foram instalados, durante a segunda campanha de campo, realizada entre os dias 12 e 13 de dezembro de 2013, os sensores de nível nas estações hidrométricas. Os sensores instalados são da marca *Levellogger*, Modelo 3001 LT *Levellogger* Junior EDGE (**Figura 6**), que combinam um *datalogger* (armazenador de dados), sensor de temperatura, transdutor de pressão e uma bateria interna com capacidade de 5 anos de duração. Possuem uma capacidade de armazenamento de 32.000

posições de temperatura e pontos de nível d'água. As leituras são lineares e realizadas em intervalos de tempo de 0,5 segundos a 99 horas, com precisão de $\pm 0,1\%$ (Figura 6).

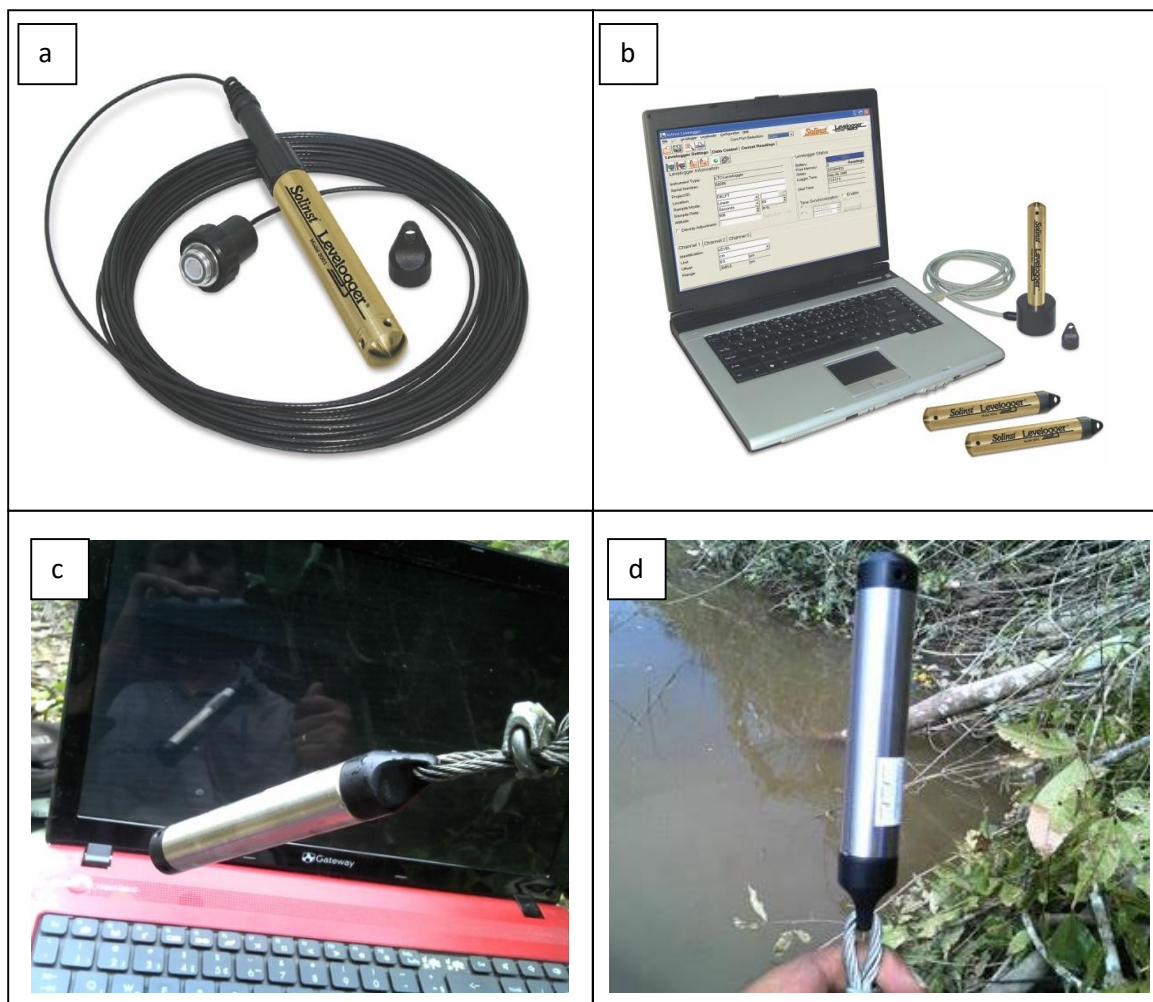


Figura 6. Modelo do sensor de nível instalado nas estações hidrométricas Coelho, Apiácas, São Benedito e Santa Rosa.

As primeiras referências de nível (RN's) das estações hidrométricas Coelho, Apiácas e São Benedito foram instaladas entre os dias 8 e 11 de fevereiro de 2014 (Figura 7). A estação Santa Rosa já possuía referências de nível, visto que anteriormente o local era monitorado pela Agência Nacional de Águas (ANA).



Figura 7. Instalação das referências de nível (RN's) das estações hidrométricas. **(a)** RN da estação São Benedito; **(b)** estação Coelho; **(c)** estação Apiácas, **(d)** na estação Santa Rosa foi aproveitado o RN instalado pela ANA.

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

3.1.1 Medição de Vazão (Descarga Líquida) com Molinete Hidrométrico

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

Tabela 2. 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 8**). 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.

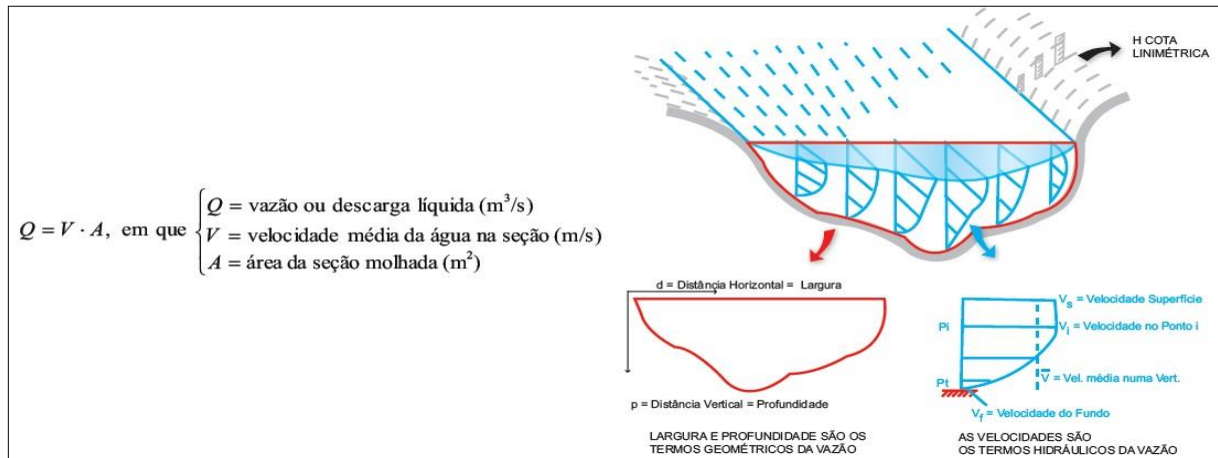


Figura 8. Grandezas necessárias para medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

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).

$$V \text{ (m/s)} = -0,00217717 + 0,28265740 * N, \quad \text{Válida para } N \leq 0,8054 \quad (1)$$

$$V \text{ (m/s)} = -0,02298625 + 0,30849593 * N, \quad \text{Válida para } N > 0,8054 \quad (2)$$

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 9a 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 9c**). 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 9d**).

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 9. (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 10**) 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.

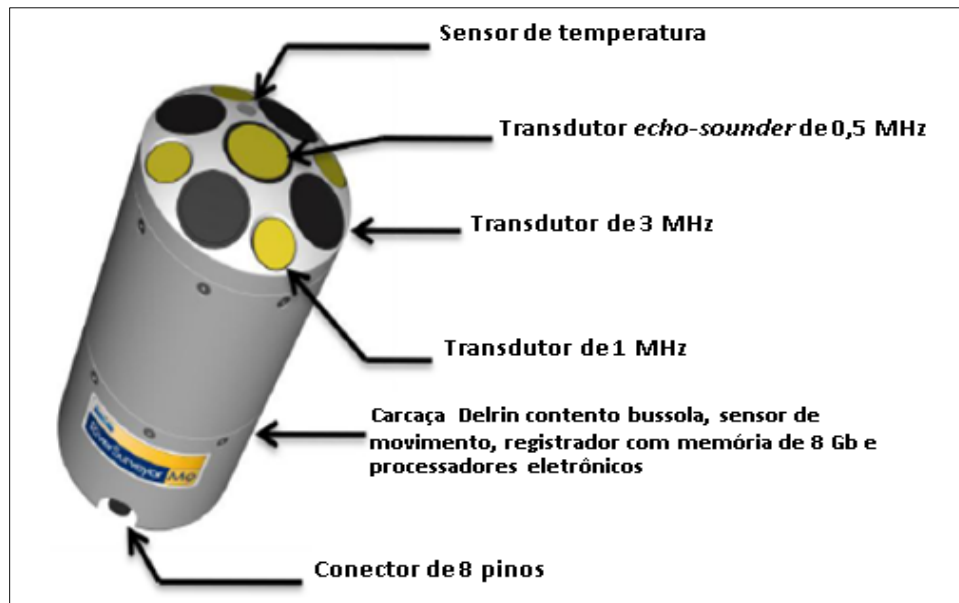


Figura 10. Características do ADCP M9.

O PCM (**Figura 11**) 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.

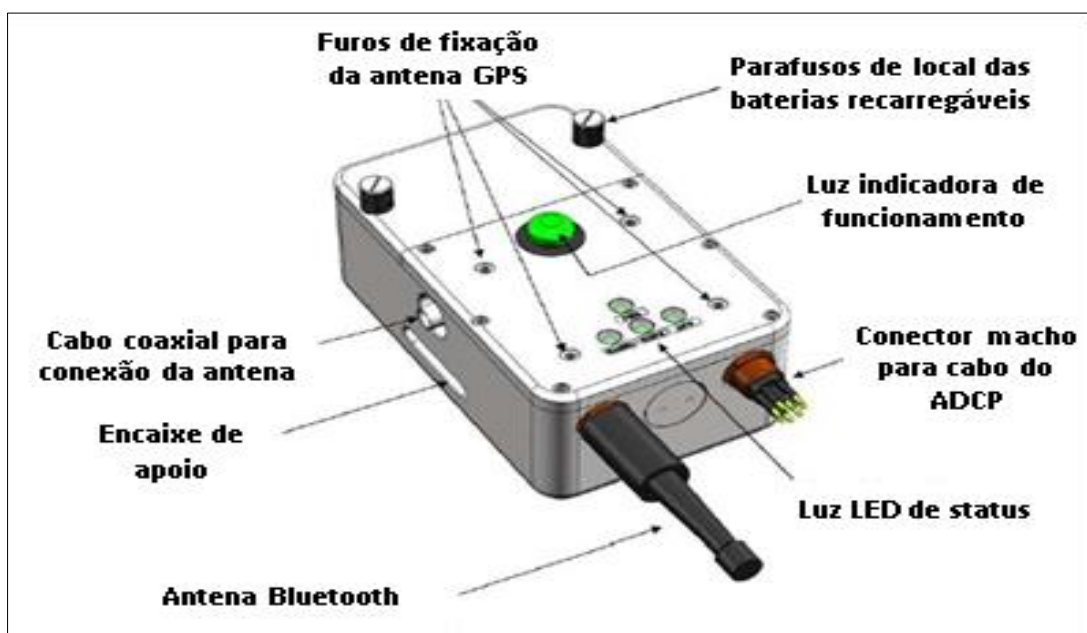


Figura 11. Módulo de alimentação e comunicação (PCM).

A **Figura 12** 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 nas quatro estações hidrométricas indígenas foram efetuadas principalmente com a utilização do conjunto ADCP - sonda M9, módulo PCM, D-GPS (**Figura 13a**) e *notebook* (**Figura 13b**).



Figura 12. Hardware montado para a opção D-GPS com comunicações *Bluetooth*.

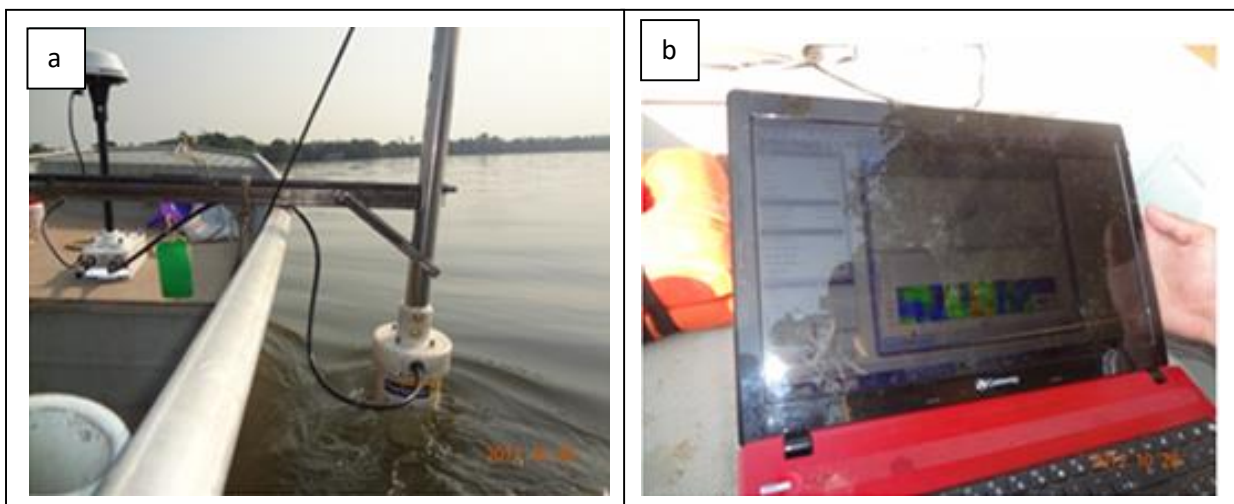


Figura 13. Medição de vazão com utilização do ADCP. **(a)** ADCP parcialmente submerso coletando dados; **(b)** *notebook* usado na visualização dos dados gerados e na orientação da velocidade de trânsito do barco durante a medição.

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 14**). 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 14. Amostragem da mistura água-sedimento utilizando o amostrador Saca AMS-8 (a, b, c e d).

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 15**).

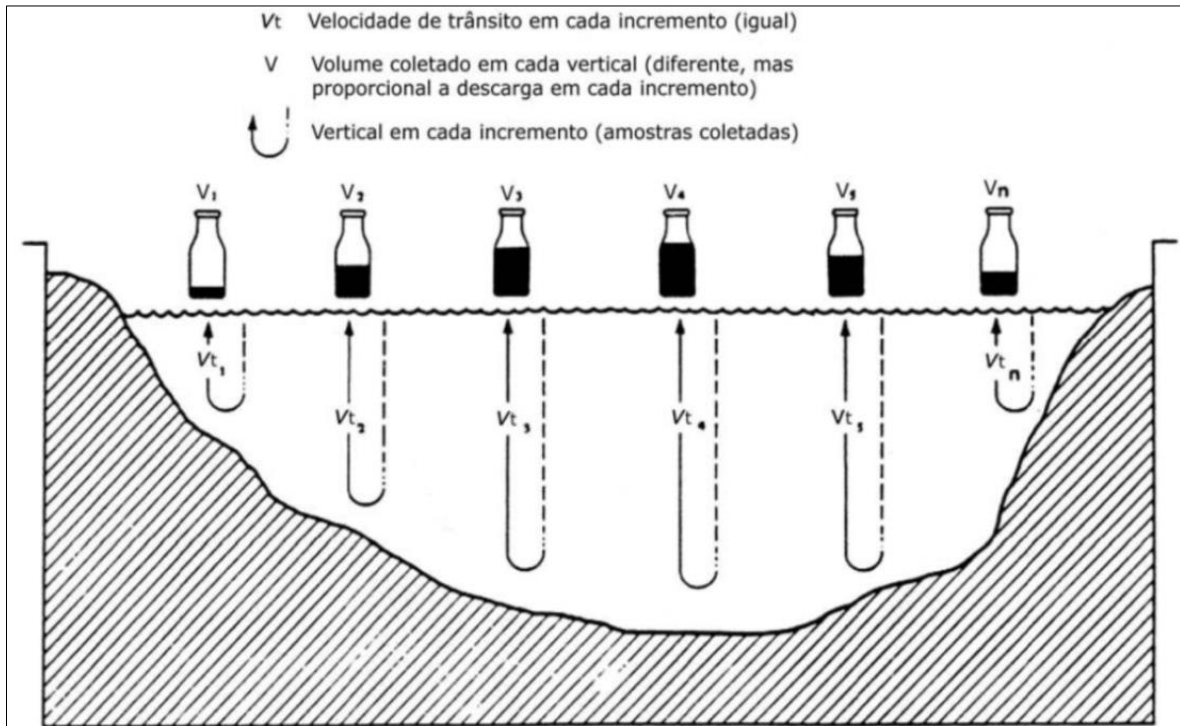


Figura 15. Exemplo de amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (Carvalho et al., 2000).

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**:

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

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 16**), 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 16. 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 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.

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 RESULTADOS

Os principais resultados alcançados ao longo deste monitoramento são apresentados nos itens a seguir. Estes resultados foram obtidos tendo como base a instalação e manutenção das quatro estações hidrométricas, com a obtenção de dados de nível d'água e pluviosidade e das medições fluviométricas e sedimentométricas trimestrais realizadas desde dezembro de 2013.

4.1 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 Coelho, Apiacás, São Benedito e Santa Rosa são apresentados na **Tabela 3** e nas **Figuras 17 a 20**.

Tabela 3. Descargas líquidas e sólidas calculadas para as estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires. As descargas sólidas totais apresentadas foram calculadas pelo método de Colby (1957).

	Estação		Coelho	Apiacás	São Benedito	Santa Rosa
Dez/2013	Q	(m ³ /s)	3.131,454 ± 41,796	329,965 ± 11,734	322,818 ± 1,830	3.497,398 ± 28,241
	Qss	(t/dia)	6.612	728	407	7.415
	Qst	(t/dia)	10.687	952	696	12.199
Fev/2014	Q	(m ³ /s)	6.928,139 ± 32,572	733,056 ± 0,392	516,6 ± 4,1	7.121,495 ± 35,61
	Qss	(t/dia)	12.510	1.987	599	13.764
	Qst	(t/dia)	24.498	3.063	942	27.732
Mai/2014	Q	(m ³ /s)	4.577,933 ± 34,100	880,473 ± 10,892	568,868 ± 1,546	5.209,773 ± 84,948
	Qss	(t/dia)	8.460	2.350	515	8.696
	Qst	(t/dia)	15.239	3.863	1.066	16.865
Ago/2014	Q	(m ³ /s)	1.191,498 ± 16,151	81,613 ± 1,163	218,596 ± 1,724	1.324,066 ± 8,842
	Qss	(t/dia)	1.569	101	196	1.147
	Qst	(t/dia)	2.060	113	463	1.638
Nov/2014	Q	(m ³ /s)	1.521,983 ± 35,185	129,781 ± 0,790	258,796 ± 3,711	1.784,447 ± 25,555
	Qss	(t/dia)	2.501	178	323	4.297
	Qst	(t/dia)	3.435	210	680,	5.769
Fev/2015	Q	(m ³ /s)	5.247,142 ± 119,386	652,819 ± 3,860	516,848 ± 5,385	5.766,941 ± 69,922
	Qss	(t/dia)	14.398	746	818	15.845
	Qst	(t/dia)	24.221	1.426	1.417	28.448
Jun/2015	Q	(m ³ /s)	2.962,540 ± 51,325	393,198 ± 9,607	409,976 ± 54,714	3.219,492 ± 26,806
	Qss	(t/dia)	3.747	720	357	3.491
	Qst	(t/dia)	6.327	1.024	767	6.516
Ago/2015	Q	(m ³ /s)	1.017,195 ± 22,248	63,814 ± 0,572	202,843 ± 1,52	1.203,750 ± 19,235
	Qss	(t/dia)	739	47	147	843
	Qst	(t/dia)	929	53	383	1.245
Nov/2015	Q	(m ³ /s)	816,614 ± 15,650	32,154 ± 5,036	168,238 ± 0,887	1.031,679 ± 14,618
	Qss	(t/dia)	4.071	42	159	953
	Qst	(t/dia)	4.426	44	333	1.306
*Fev/2016	Q	(m ³ /s)	4.340,238 ± 41,580	506,008 ± 7,597	261,845 ± 6,810	4.767,038 ± 50,799
	Qss	(t/dia)	-	-	-	-
	Qst	(t/dia)	-	-	-	-

*No momento estão sendo realizadas as análises das amostras de sedimentos coletadas durante a campanha de campo de fevereiro de 2016, sendo que os resultados serão apresentados no próximo relatório.

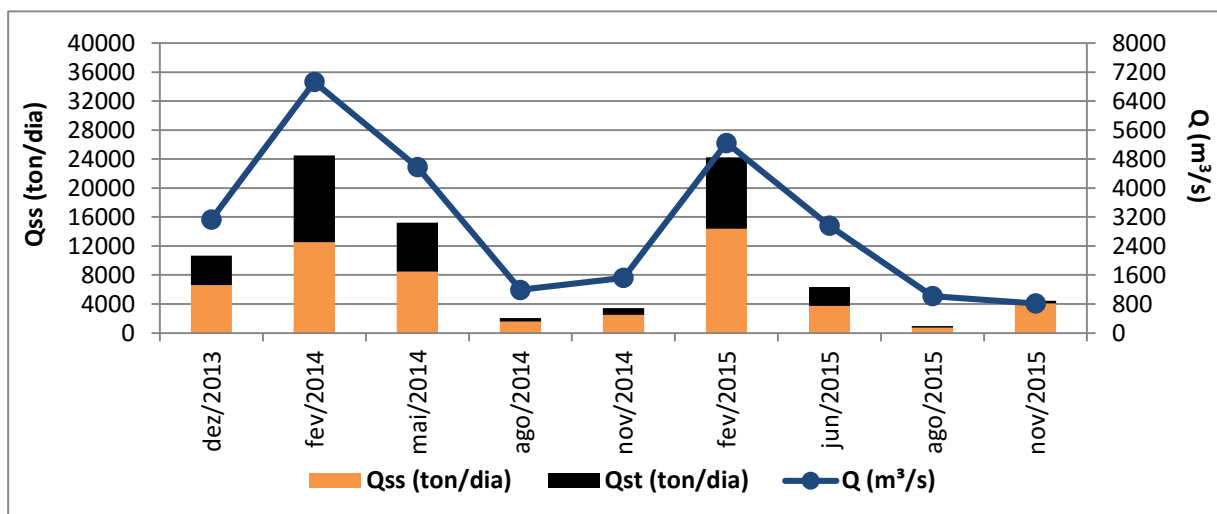


Figura 17. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Coelho nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e novembro de 2015.

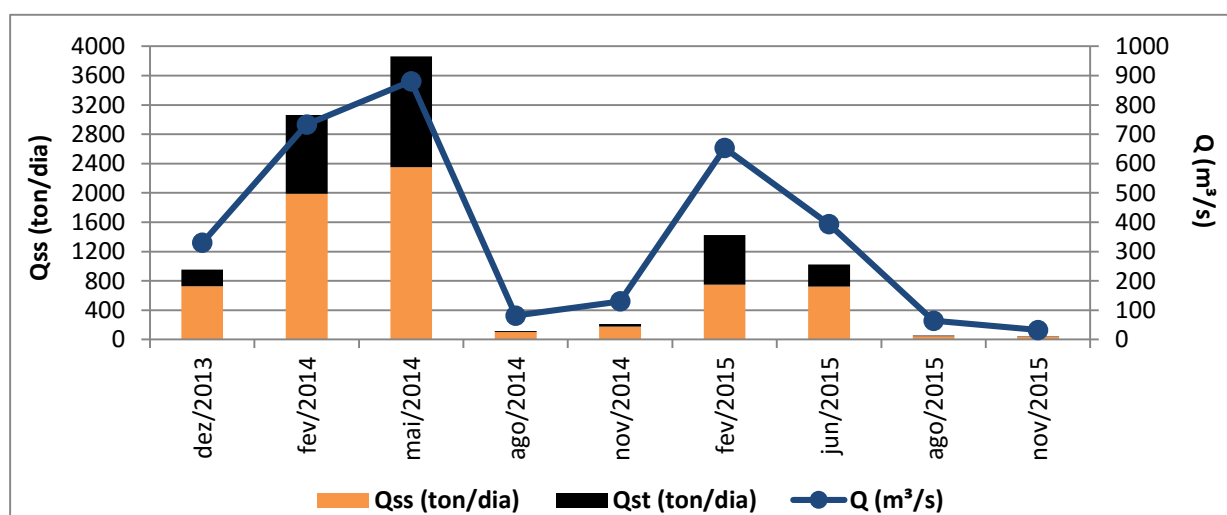


Figura 18. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Apiacás nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e novembro de 2015.

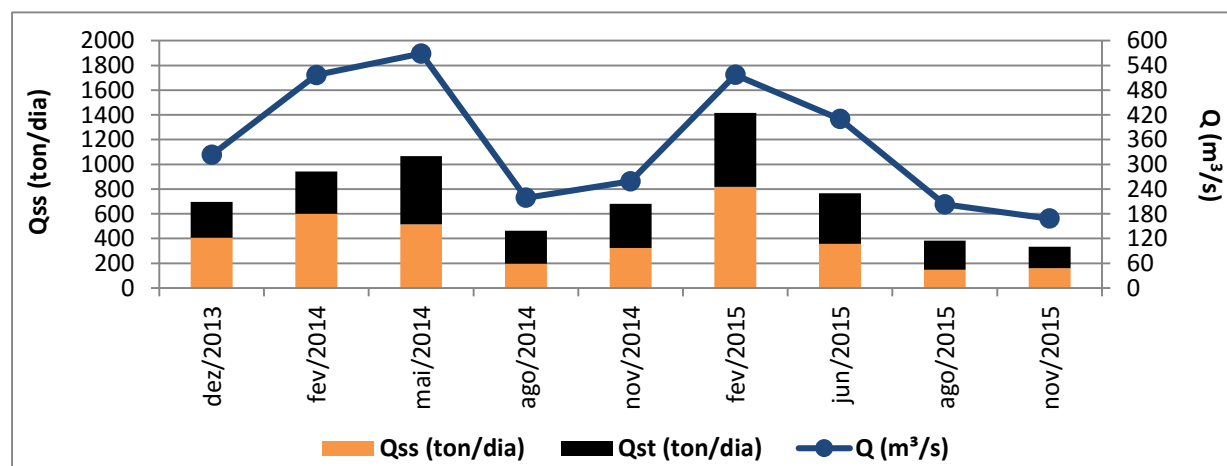


Figura 19. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação São Benedito nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e novembro de 2015.

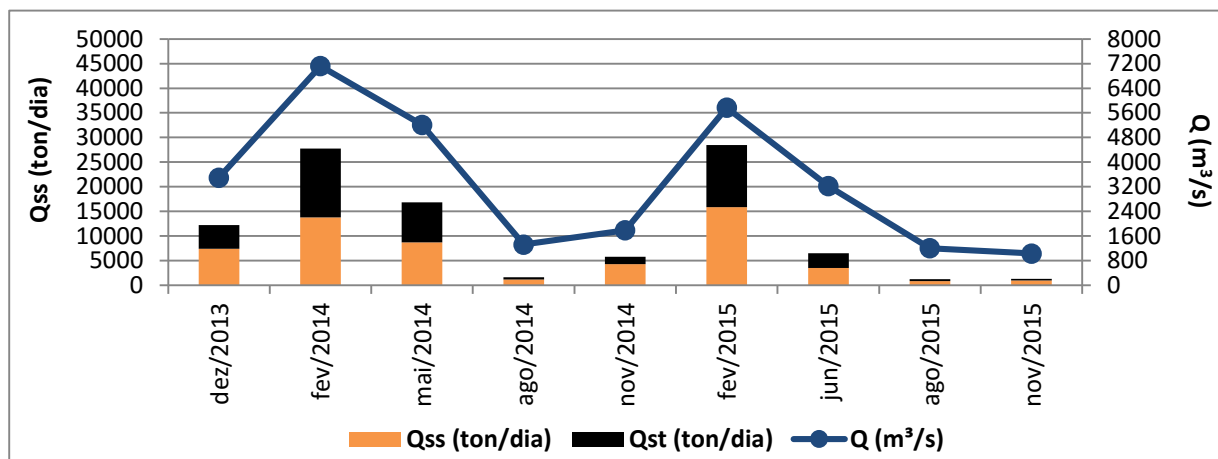


Figura 20. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Santa Rosa nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e novembro de 2015.

Considerando todo o período de monitoramento, os rios Teles Pires, São Benedito e Apiacás apresentaram, no geral, baixas concentrações de sedimentos em suspensão, sendo que a granulometria predominantemente nos rios foi de silte. Quanto à análise granulométrica do sedimento de fundo, os rios apresentaram leitos com predominância de areia média e fina. Pode-se observar maiores valores de descargas sólidas e líquidas na região ocorrendo entre os meses de janeiro a maio e os menores valores entre julho e novembro.

Quando se relaciona o primeiro ano do monitoramento, 2014, com o ano de 2015, pode-se observar uma maior descarga líquida nas estações durante o ano de 2014. As fortes chuvas na região durante o ano de 2014 produziram um aumento do nível dos rios, levando a um aumento da vazão, sendo que durante o mês de março a vazão do rio Teles Pires chegou próxima da vazão com período de recorrência de 50 anos, sendo um período de vazão extraordinária. Já durante o ano de 2015, as descargas líquidas e, em geral, as descargas sólidas registradas na região foram menores. O enchimento do reservatório da UHE Teles Pires ocorreu em dezembro de 2014, porém, como 2014 foi um ano atípico, recomenda-se aguardar um período maior de monitoramento para avaliar as modificações na dinâmica hidrossedimentológica do rio Teles Pires no trecho situado a jusante da barragem, nas drenagens adjacentes às terras indígenas.

4.2 Determinação das Curvas-chave de Vazão

Entre as funções estudadas para representar uma curva-chave de vazão, as encontradas na literatura e que oferecem os melhores resultados são as do tipo potência e polinomial (Chevalier, 2004). Abaixo são mostradas as estruturas desses dois tipos de curva-chave:

a) Potência

$$Q = a \cdot (H - H_0)^b$$

Em que:

H- Nível da régua correspondente à vazão Q;

H₀ – Nível da régua para o qual a vazão é nula;

a e b – Constantes representativas da seção fluviométrica de interesse.

b) Polinomial

$$Q = a_0 + a_1 \cdot H + a_2 \cdot H^2 + \dots + a_n \cdot H^n$$

Em que:

a_i – Constantes da função polinomial;

n – Grau do polinômio.

Os ajustes de funções polinomiais são considerados ajustes mais matemáticos do que físicos, ou seja, com pouca relação direta com as características do fenômeno. O ajuste da função do tipo potência é então o mais representativo da realidade física do fenômeno, e no presente estudo também foi o que ofereceu o melhor ajuste para os dados.

Para o traçado das curvas-chave preliminares de vazão das estações hidrométricas indígenas 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 traçadas para as estações apresentaram em geral coeficientes de determinação satisfatórios (**Figuras 21 a 24**), porém, é necessário um maior número de medições para melhor ajuste das curvas e extrapolação do ramo alto e baixo.

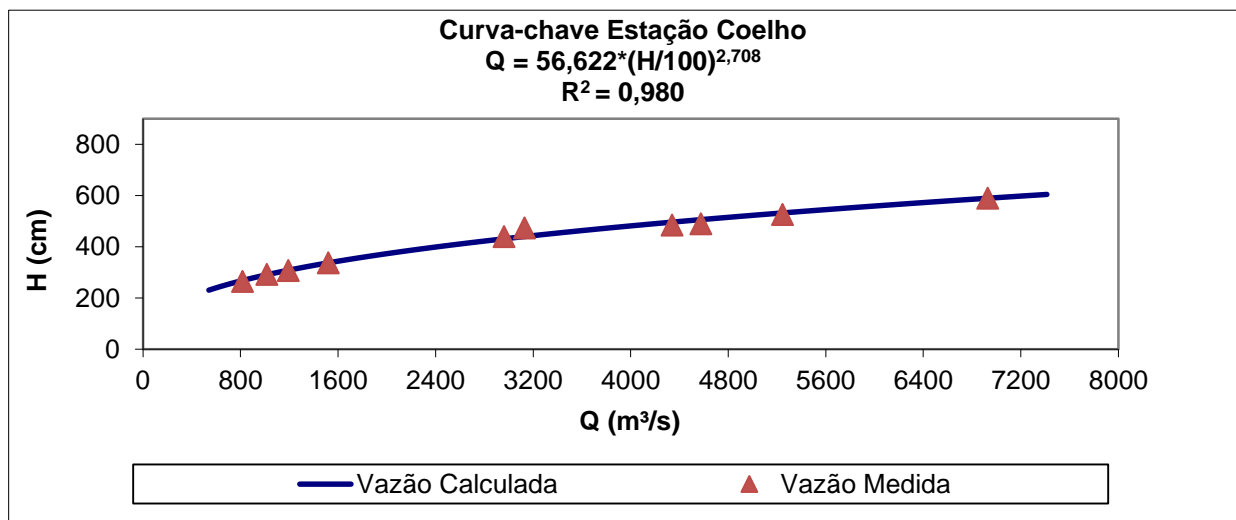


Figura 21. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Coelho.

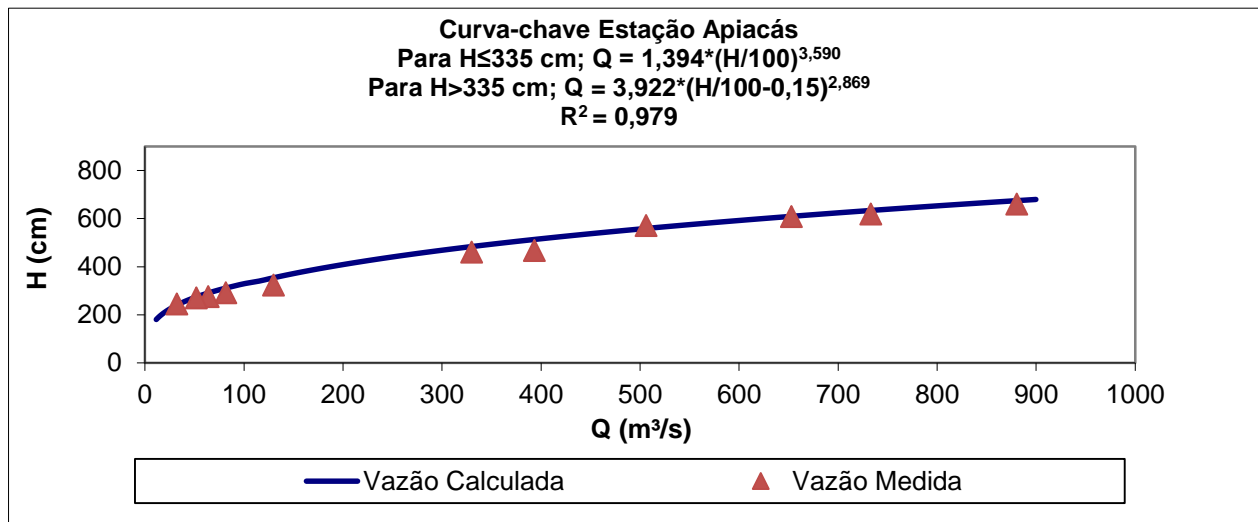


Figura 22. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Apicás.

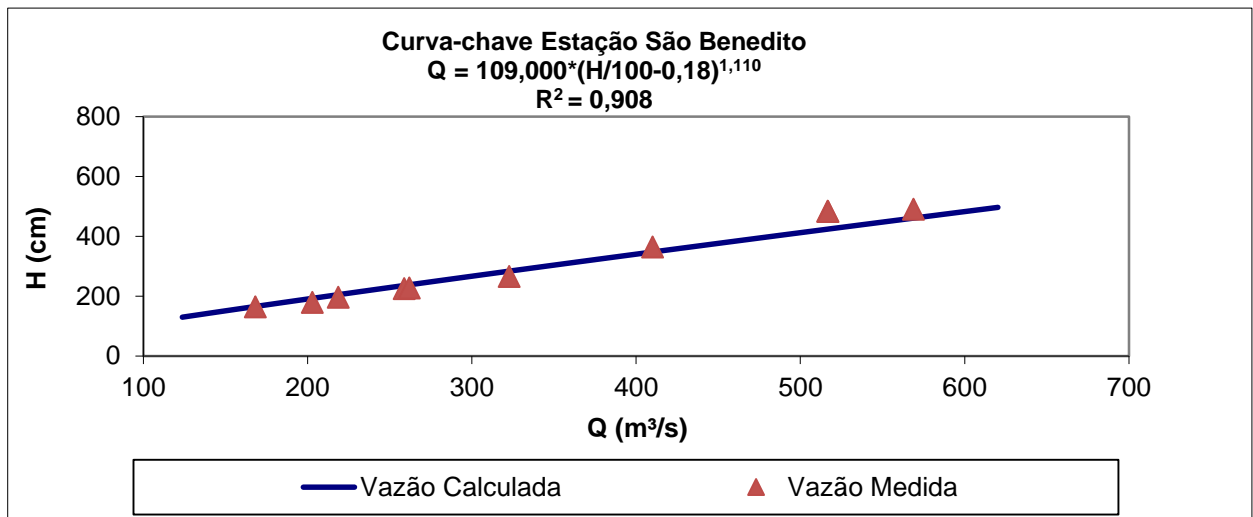


Figura 23. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica São Benedito.

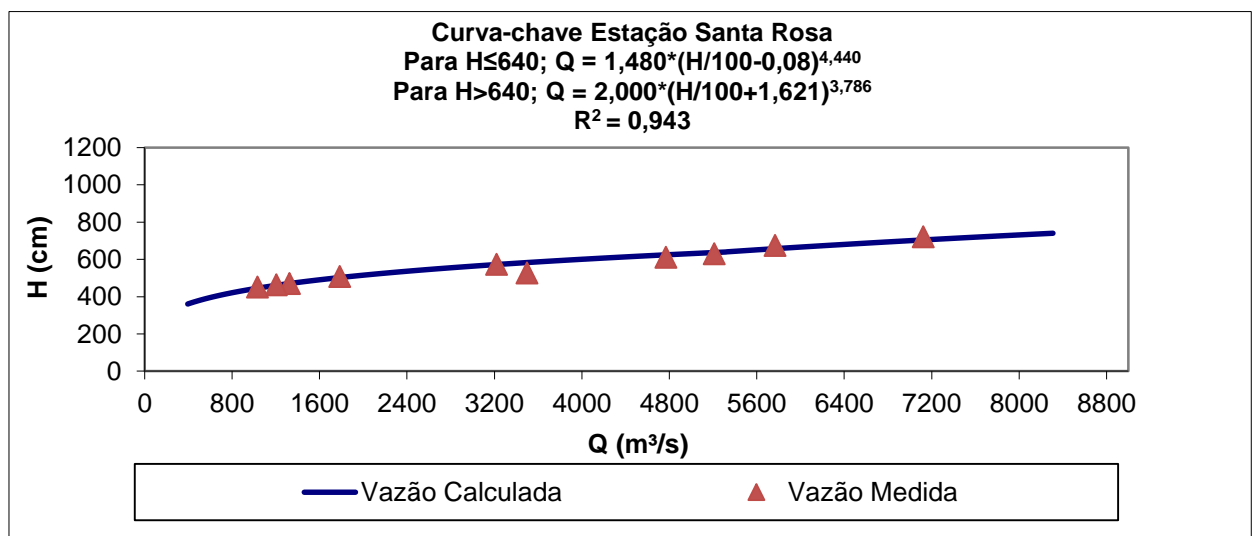


Figura 24. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Santa Rosa.

4.3 Determinação das Curvas-chave de Sedimento

A seguir são apresentadas as curvas-chave de sedimento atualizadas para as estações hidrométricas indígenas (**Figuras 25 a 28**). As curvas-chave preliminares traçadas para as estações apresentaram de uma forma geral um bom ajuste, sendo que o índice de determinação mínimo obtido foi de 0,8663 na estação Santa Rosa e máximo de 0,9581 na estação Apiacás.

Para a estação Coelho, a descarga sólida referente a campanha de campo de novembro de 2015 não foi considerada no ajuste final da curva de sedimento, devido ao alto desvio em relação as demais campanhas, que pode ser explicado pela alta concentração de sedimento que foi de 57,7 ppm. Este valor está muito acima do que normalmente é observado na estação Coelho, mesmo quando consideramos as campanhas referentes ao período de operação da usina, campanhas realizadas após dezembro de 2014. Além disso, este comportamento não foi observado nas demais estações hidrométricas. Após futuras campanhas de campo, será possível observar se realmente está ocorrendo alterações na seção de medição da estação Coelho, se é um efeito do reservatório, ou se foi apenas um acontecimento pontual.

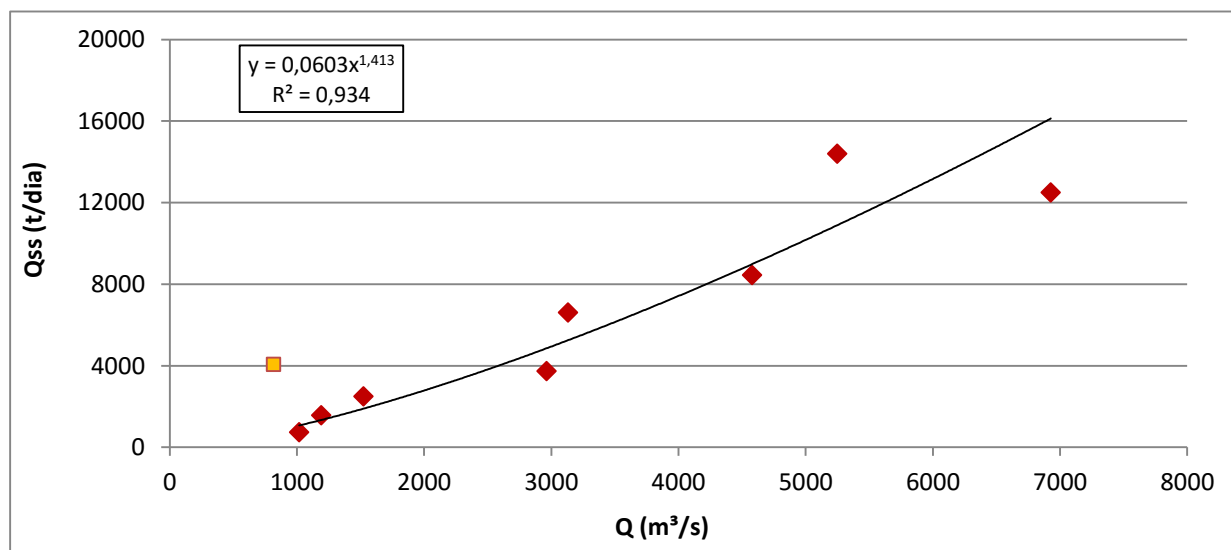


Figura 25. Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Coelho. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão. A descarga sólida referente a campanha de campo de novembro de 2015 (representada em cor amarela no gráfico) não foi considerada no ajuste final da curva de sedimento, devido ao alto desvio em relação as demais campanhas, que pode ser explicado pela alta concentração de sedimento, de 57,7 ppm, valor acima do que normalmente é observado na estação Coelho.

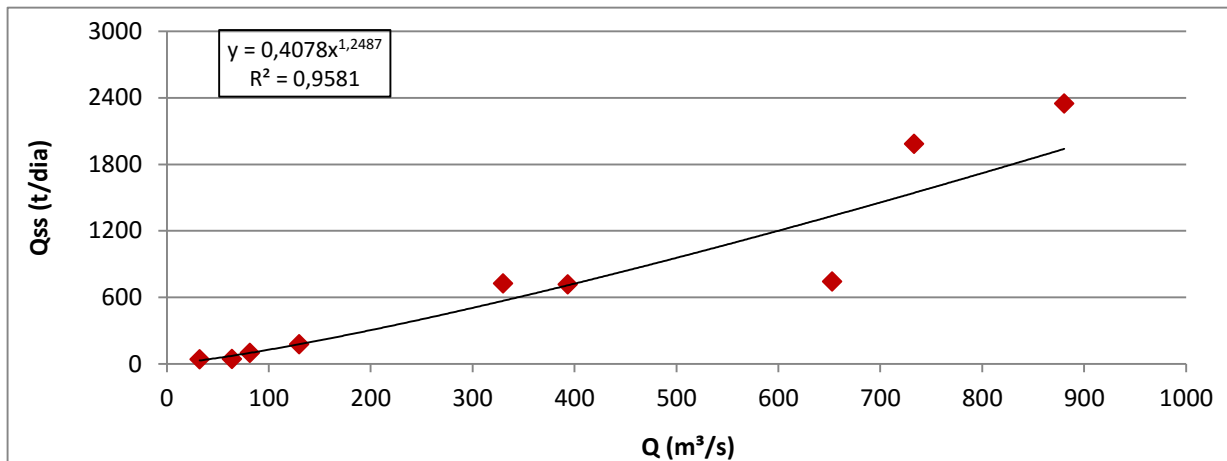


Figura 26. Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Apiacás. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.

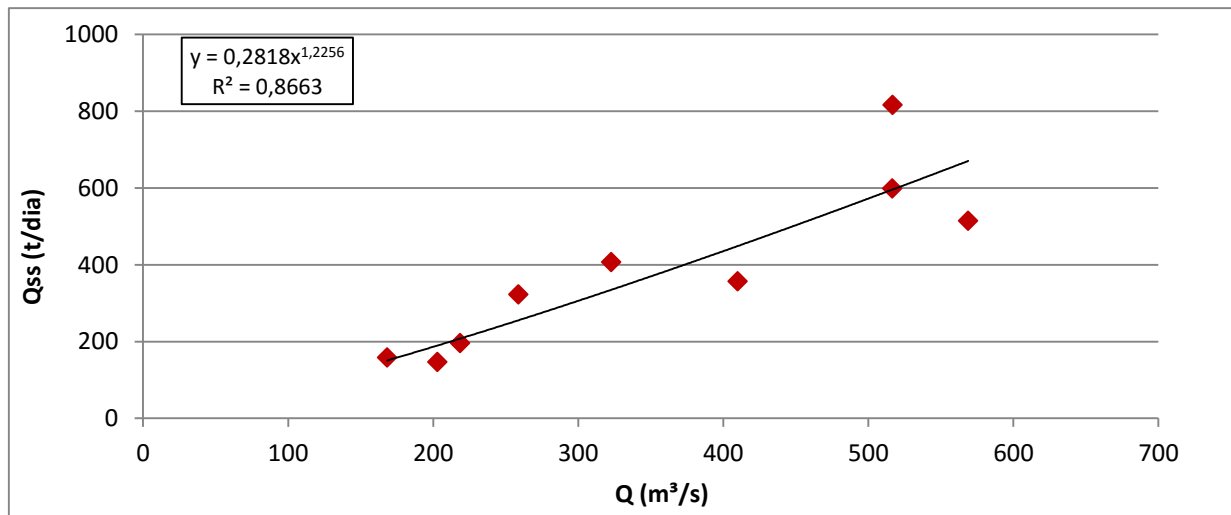


Figura 27. Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica São Benedito. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.

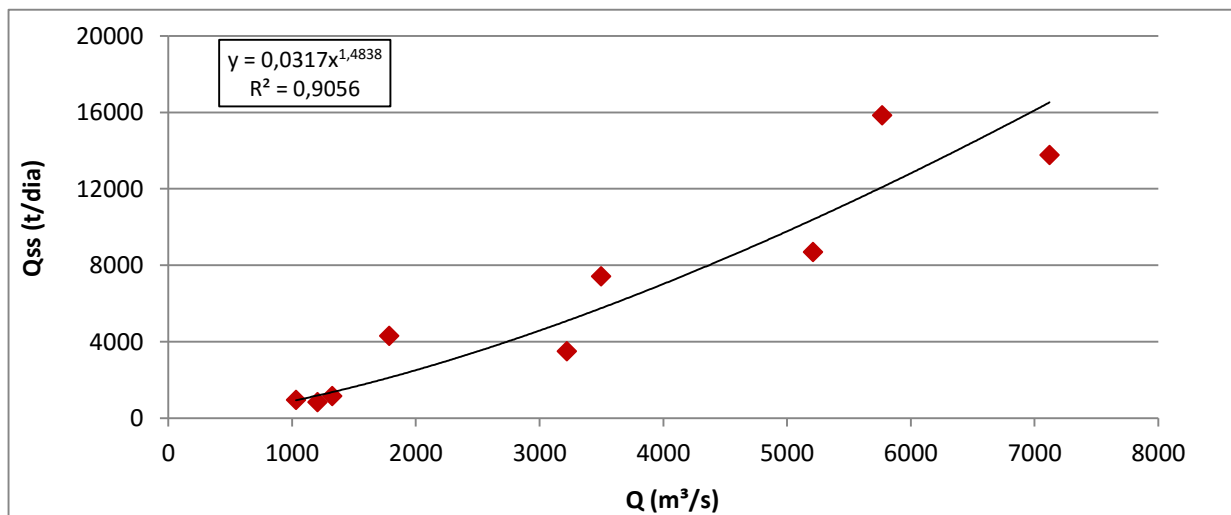


Figura 28. Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Santa Rosa. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.

4.4 Monitoramento das Praias Indígenas

Durante a campanha de campo de agosto de 2014 foram instaladas, nas principais praias presentes na área das terras indígenas, régua graduadas que permitem monitorar as variações topográficas e a intensidade de processos de sedimentação e erosão.

Foram selecionadas 3 das maiores praias da região para instalação das estacas graduadas (**Figuras 29 a 31**) sendo que nas praias P2 (21 L 493851 8990172) e P3 (21 L 490734 8999713) as estacas foram instaladas de acordo com o Plano Básico Ambiental (PBA), com espaçamento de 50 metros entre linhas e de distância de 30 metros entre estacas. Já na praia P1 (21 L 493559 8984807), que apresenta uma área menor, as estacas foram instaladas em um espaçamento de 30 metros entre linhas e 20 metros entre estacas.

As estacas graduadas possuem comprimento total de 3,5 metros, dos quais 1,5 metros ficam expostos. Todas as estacas possuem indicações de centímetros positivos e negativos, considerando “0” topográfico a superfície do solo no momento da instalação.



Figura 29. Instalação das estacas graduadas na praia P1 (21 L 493559 8984807) realizada no dia 18 de agosto de 2014. As setas em vermelho indicam as posições das estacas.



Figura 30. Instalação das estacas graduadas na praia P2 (21 L 493851 8990172) realizada no dia 19 de agosto de 2014. As setas em vermelho indicam as posições das estacas.



Figura 31. Instalação das estacas graduadas na praia P3 (21 L 490734 8999713) realizada no dia 19 de agosto de 2014.

As Figuras 32 a 34 apresentam os croquis das praias de monitoramento, com informação da variação do processo de sedimentação e/ou erosão ao longo do primeiro ano de monitoramento (de agosto de 2014 a agosto de 2015). Até o momento, verificou-se que há formação de bancos de areia, de acordo com a dinâmica fluvial natural do rio Teles Pires, porém, é necessário um período maior de monitoramento para avaliação da intensidade dos processos de sedimentação e/ou erosão.

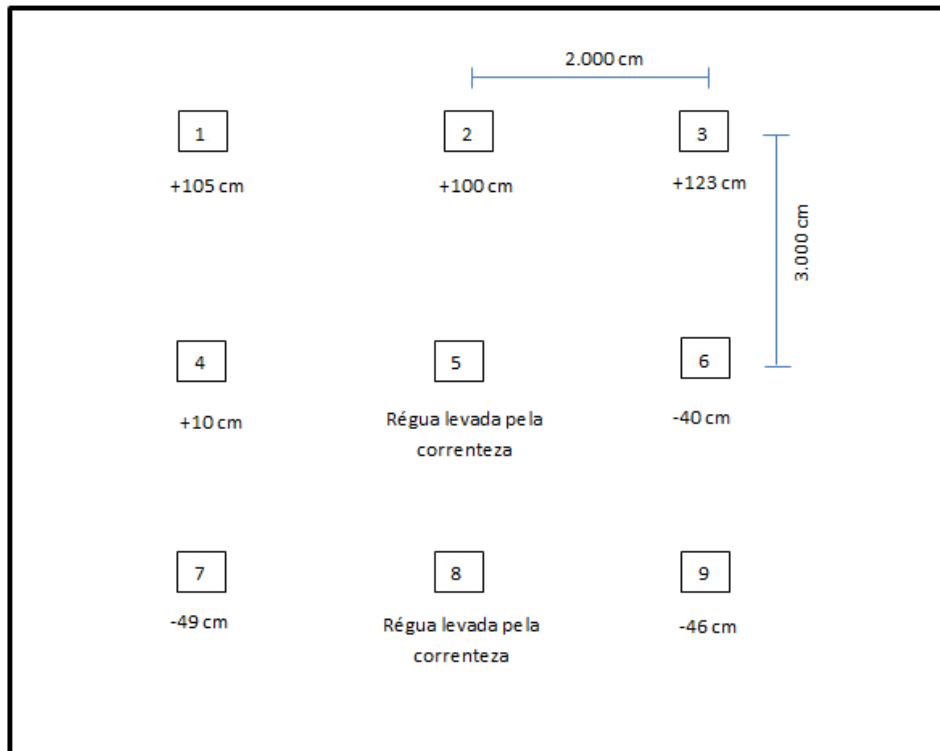


Figura 32. Croqui da praia indígena P1 (21 L 493559 8984807), considerando o primeiro ano de monitoramento (de agosto de 2014 a agosto de 2015).



Figura 33. Croqui da praia indígena P2 (21 L 493851 8990172), considerando o primeiro ano de monitoramento (de agosto de 2014 a agosto de 2015).

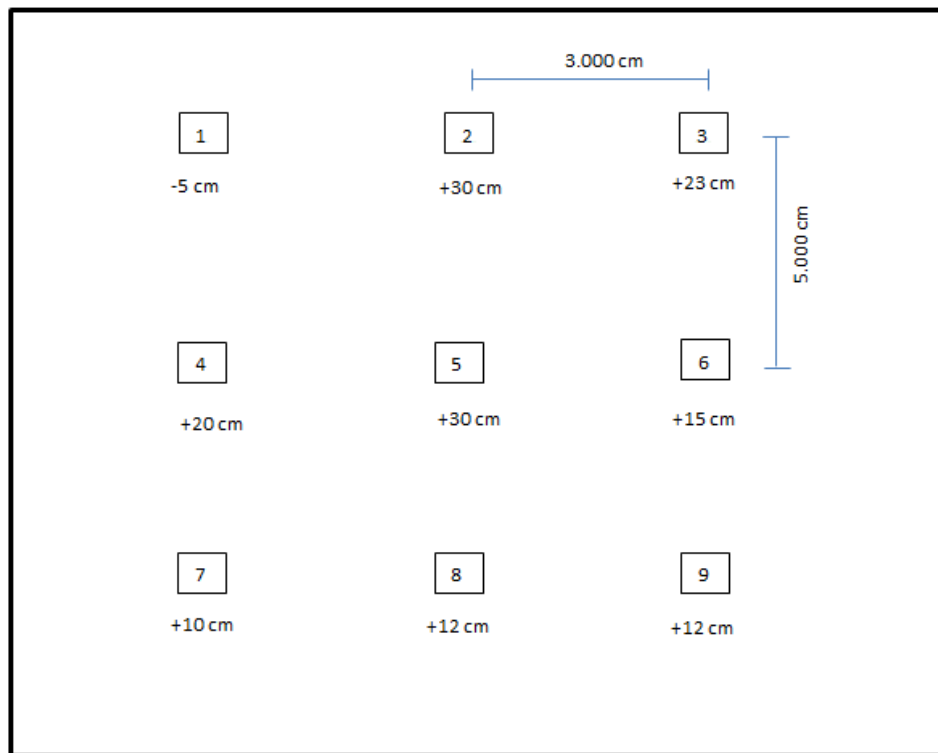


Figura 34. Croqui da praia indígena P3 (21 L 490734 8999713), considerando o primeiro ano de monitoramento (de agosto de 2014 a agosto de 2015).

A fim de analisar a composição granulométrica dos materiais componentes das praias em estudo, foram realizadas também coletas de superfície, sendo que os resultados das amostras coletadas durante as campanhas de agosto de 2014 e agosto de 2015 são apresentados nas **Tabelas 4 e 5**. A praia P1 apresentou para o primeiro ano de monitoramento maior porcentagem de areia média. A Praia P2 também apresentou maior concentração de areia média durante o período em análise (mais de 80% do material coletado). Já na praia P3, ocorre uma maior distribuição entre areia grossa, média e fina, porém, predomina a porcentagem de areia média e fina.

Tabela 4. Distribuição granulométrica dos materiais componentes das praias indígenas referentes ao mês de agosto de 2014.

	Praia 1 (21 L 493559 8984807)	Praia 2 (21 L 493851 8990172)	Praia 3 (21 L 490734 8999713)
D10 (mm)	0,175	0,213	0,154
D30 (mm)	0,280	0,315	0,221
D35 (mm)	0,301	0,336	0,238
D50 (mm)	0,364	0,398	0,395
D60 (mm)	0,407	0,439	0,548
D65 (mm)	0,428	0,460	0,683
D75 (mm)	0,470	0,512	0,953
D90 (mm)	0,811	0,888	1,704
Cascalho (%)	0,41	0,56	4,42
Areia Grossa (%)	4,79	5,09	18,84
Areia Média (%)	72,12	80,69	38,05
Areia Fina (%)	22,99	14,16	38,52
Silte + Argila (%)	0,10	0,06	0,17

Tabela 5. Distribuição granulométrica dos materiais componentes das praias indígenas referentes ao mês de agosto de 2015.

	Praia 1 (21 L 493559 8984807)	Praia 2 (21 L 493851 8990172)	Praia 3 (21 L 490734 8999713)
D10 (mm)	0,154	0,279	0,175
D30 (mm)	0,251	0,372	0,297
D35 (mm)	0,273	0,395	0,337
D50 (mm)	0,339	0,465	0,456
D60 (mm)	0,383	0,544	0,605
D65 (mm)	0,405	0,630	0,721
D75 (mm)	0,449	0,800	0,953
D90 (mm)	0,641	1,261	1,817
Cascalho (%)	0,06	0,69	7,11
Areia Grossa (%)	1,07	12,60	15,85
Areia Média (%)	69,12	82,88	52,89
Areia Fina (%)	29,43	3,79	21,14
Silte + Argila (%)	0,32	0,03	0,02

A **Figura 35** apresenta imagens mais atuais das réguas graduadas, referentes a campanha de campo de novembro de 2015, e durante a campanha de campo de fevereiro de 2016, quando as réguas encontravam-se submersas (**Figura 36**). Quando se relaciona o período de agosto de 2015 a novembro de 2015, também não foram observadas variações topográficas, tendo em vista que durante o período as estacas ficaram emersas.

Na campanha de campo de fevereiro de 2016 foi observado que o Consórcio CONSTRAN, empresa responsável pela construção da futura Usina Hidrelétrica de São Manoel, construiu recentemente um porto na Praia 1 (21 L 493559 8984807) (**Figura 36a**), o que inviabilizará a continuação do monitoramento do local a partir de estacas e coletas de amostras. Sugere-se então a escolha de uma nova praia para o monitoramento durante o próximo período de seca

do rio Teles Pires (agosto de 2016), em local distante do futuro eixo da barragem de São Manoel, afim de se manter um monitoramento contínuo dos processos de sedimentação e erosão.

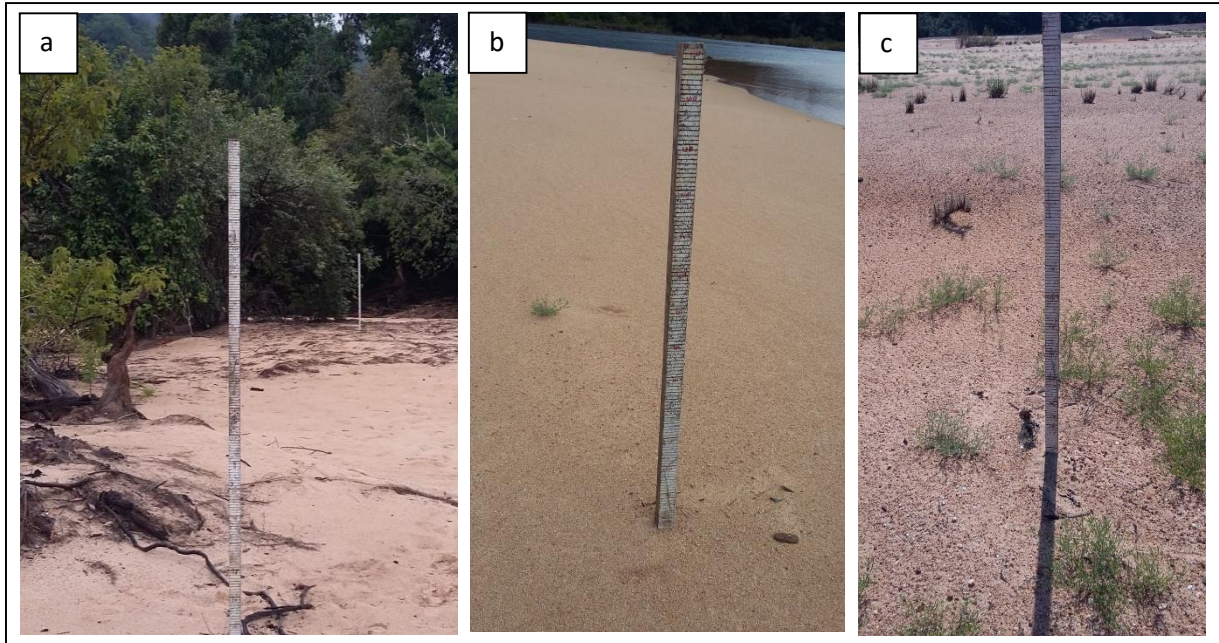


Figura 35. Vistorias das praias indígenas durante campanha de campo de novembro de 2015. (a) praia P1 (21 L 493559 8984807); (b) praia P2 (21 L 493851 8990172) e (c) praia P3 (21 L 490734 8999713).

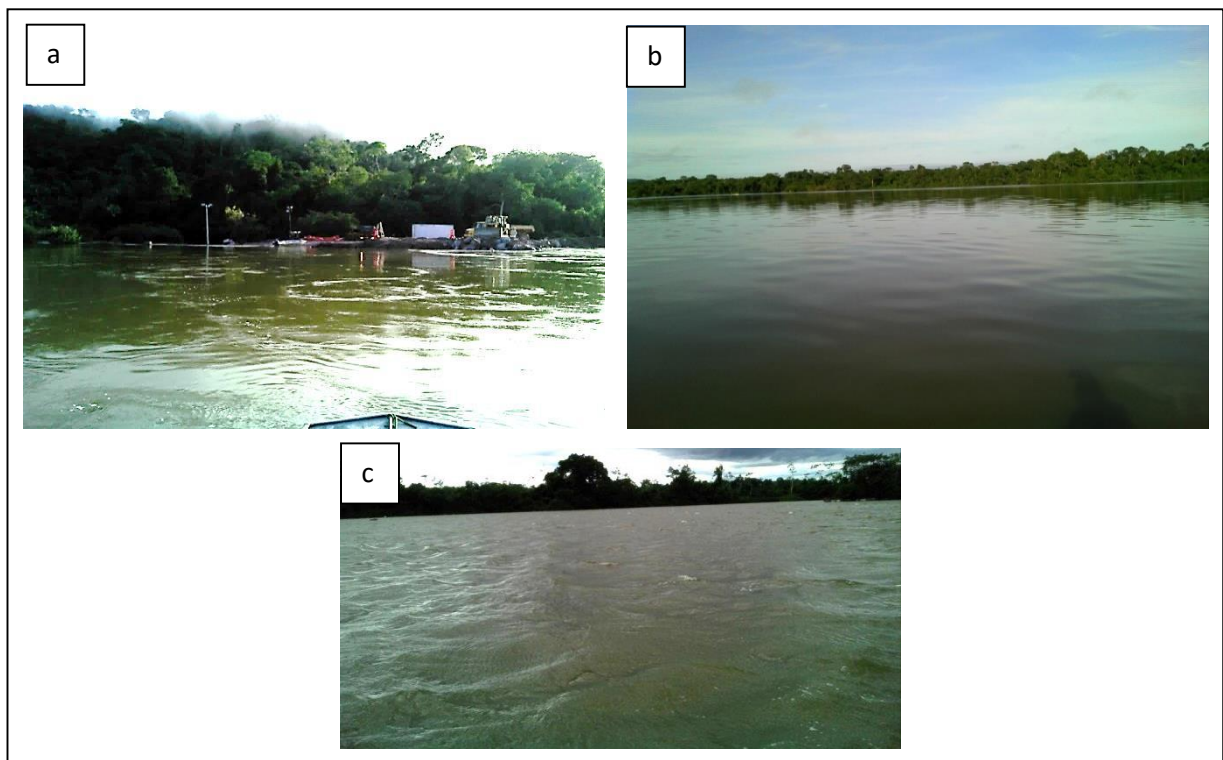


Figura 36. Vistorias das praias indígenas durante campanha de campo de fevereiro de 2016. (a) praia P1 (21 L 493559 8984807); (b) praia P2 (21 L 493851 8990172) e (c) praia P3 (21 L 490734 8999713).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento hidrossedimentológico nas proximidades das terras indígenas a jusante da barragem da hidrelétrica Teles Pires vem sendo desenvolvido pela empresa **VERACRUZ, Soluções Geofísicas e Geológicas**. Esse relatório descreveu as atividades realizadas no período entre agosto de 2013 e fevereiro de 2016, referente à primeira etapa do monitoramento hidrossedimentológico indígena.

Para o monitoramento do aporte de sedimentos e de vazão, foram instaladas as estações Apiacás, Coelho, São Benedito e Santa Rosa. Todas as quatro estações de monitoramento hidrossedimentológico possuem sensores para a coleta de dados de precipitação e nível, sendo que os dados registrados durante o período em análise são apresentados nos **ANEXOS 3 e 4**.

Nas estações foram realizadas, desde dezembro de 2013, as seções de medição de vazão e coleta de sedimentos de suspensão e leito, com frequência trimestral. Foram 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 foram apresentadas, junto as descargas líquidas, os resultados das descargas sólidas em suspensão e totais de todas as estações.

Quando se relaciona o primeiro ano do monitoramento, 2014, com o ano de 2015, pode-se observar uma maior descarga líquida nas estações durante o ano de 2014. As fortes chuvas na região durante o ano de 2014 produziram um aumento da vazão, sendo que durante o mês de março foi observada no rio Teles Pires uma vazão com período de recorrência de 50 anos, sendo considerado um período de cheia extraordinária. Já durante o ano de 2015, as descargas líquidas e, em geral, as descargas sólidas registradas na região foram menores. O enchimento do reservatório da UHE Teles Pires ocorreu em dezembro de 2014, porém, como 2014 foi um ano atípico, recomenda-se aguardar um período maior de monitoramento para avaliar as modificações na dinâmica hidrossedimentológica do rio Teles Pires no trecho situado a jusante da barragem, nas drenagens adjacentes às terras indígenas.

Foram determinadas também as curvas-chave de vazão das estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires, visando à transformação de uma série histórica de nível em uma série de vazão. Além disso, também foram apresentadas as curvas de sedimentos em suspensão das estações em análise.

Especificamente nas principais praias do trecho de interesse às comunidades indígenas, foram instaladas réguas graduadas que formam transectos de monitoramento, permitindo verificar as variações topográficas e a intensidade de processos de sedimentação e erosão, além das coletas em superfície, sendo que após as análises laboratoriais, foi possível determinar a composição granulométrica dos materiais componentes das praias em estudo.

Até o momento, verificou-se que há a formação de bancos de areia, de acordo com a dinâmica fluvial natural do rio Teles Pires, porém, é necessário um período maior de monitoramento para avaliação da intensidade dos processos de sedimentação e/ou erosão.

Na campanha de campo de fevereiro de 2016 foi observado que o Consórcio CONSTRAN, empresa responsável pela construção da futura Usina Hidrelétrica de São Manoel, construiu recentemente um porto na Praia 1, o que inviabilizará a continuação do monitoramento do local a partir de estacas e coletas de amostras. Sugere-se então a escolha de uma nova praia para o monitoramento durante o próximo período de seca do rio Teles Pires (agosto de 2016), em local distante do futuro eixo da barragem de São Manoel, afim de se manter um monitoramento contínuo dos processos de sedimentação e/ou erosão.

As atividades do monitoramento hidrossedimentológico estão de acordo com o prazo previsto de execução e atendem as condicionantes propostas na licença de Operação (LO N° 9 1272/2014, IBAMA) emitida pelo IBAMA para a UHE Teles Pires.

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.
- CHEVALIER, P. **Aquisição e processamento de dados, in. TUCCI C.E.M.,** Hidrologia ciência aplicação, 3º. ed. Revisada, ABRH-Edusp, Porto Alegre, 2004, p.485-525.
- 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.
- 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.
- 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.