



XII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM RIOS COM GRANDE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

*Francisco de Assis dos Reis Barbosa¹; Franco Turco Buffon²; Giancarlo Bonotto³; Joana
Angélica Cavalcanti Pinheiro⁴ & Herculyes Pessoa e Castro⁵*

ABSTRACT - Streamflow information is of paramount importance for a multitude of applications. Yet, the estimation of this parameter on rivers with high concentration of suspended sediments, such as the Madeira River, can be a challenging assignment. The Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) has proven to be beneficial to streamgaging on such conditions; however, its accuracy can fluctuate significantly. Therefore, this work aims to evaluate the performance of the ADCP at measuring the streamflow of such rivers when used in combination with other tools. Therefore, an ADCP was combined with a single-beam echo sounder, a DGPS/RTK and a PDL radio in order to measure the flowrate of the Madeira River at different conditions. From the streamflow outcomes and velocity profiles, it was found that these tools seem to perform better when used together, as the measurements were more robust and the results more accurate and reliable.

Palavras-Chave – rio Madeira, RTK, ADCP.

¹ Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: francisco.reis@cprm.gov.br.

² Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: franco.buffon@cprm.gov.br.

³ Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: giancarlo.bonotto@cprm.gov.br.

⁴ Engenheira Hidróloga do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: joana.pinheiro@cprm.gov.br.

⁵ Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: herculys.castro@cprm.gov.br.

1 - INTRODUÇÃO

O rio Madeira, dentre os afluentes amazônicos, é o maior tributário, contribuindo com aproximadamente 15% da descarga líquida total do rio Amazonas (Martinelli et al., 1989). Também é o rio com maior carga de transporte de sedimentos do mundo e está em permanente processo de agradiação e erosão fluvial, o que reflete em constantes mudanças de grande magnitude na geometria do canal e na formação de ilhas. Além disso, este rio possui uma grande oscilação sazonal de níveis e vazões, intensificando os processos de sua dinâmica fluvial.

Durante a estação chuvosa da região amazônica, época caracterizada pelos altos índices pluviométricos, as bacias hidrográficas recebem volumes consideráveis de água, traduzindo-se em vazões elevadas, muito superiores àquelas verificadas na estação seca, provocando aumento da velocidade do fluxo hídrico e gerando maior turbulência das águas. Como consequência, a ação erosiva fluvial se processa de forma mais intensa, atingindo os taludes fluviais dos rios, notadamente os de maior porte, causando desbarrancamento e desmoronamentos, originando as conhecidas “terras caídas”. (Adamy, 2013).

O estudo apresentado visa contribuir para o aprimoramento de técnicas de medição de descarga líquida em rios que apresentam grande concentração de descarga sólida em suspensão, de modo a garantir a informação com maior qualidade. A seguir, será apresentada resumidamente, a descrição da área de estudo e informações das características do rio Madeira. No item seguinte, serão abordados: a metodologia para a determinação da medição de descarga líquida, análise dos resultados e considerações finais.

2 - ÁREA DE ESTUDO

O distrito de Abunã (Figura 1), pertencente ao município de Porto Velho/RO, fica localizado na margem direita do rio Madeira. A estação fluviométrica de Abunã, identificada pela Figura 2, é oficialmente o primeiro ponto de monitoramento dentro do Brasil (pertencente à Rede Hidrometeorológica Nacional - Código da ANA 15320002) após a confluência dos rios Beni (Bolívia) e Mamoré. Essa é uma estação estratégica para o país, do ponto de vista de se conhecer o balanço hídrico, através do volume de água que entra, bem como a descarga de sedimentos em suspensão oriunda dos países vizinhos.



Figura 1. Localização da área de estudo (Imagem do Google Earth).



Figura 2. Foto ilustrativa da estação fluviométrica de Abunã (Réguas linnétricas e seção de medição de descarga líquida) com destaque para a cota máxima já atingida na localidade.

3 - METODOLOGIA APLICADA NA MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA

3.1 - Equipamentos utilizados

Para aquisição dos dados, utilizaram-se equipamentos para medição de vazão, o ADCP Rio Grande 600 kHz (Figura 3-a); para leitura batimétrica, o Ecobatímetro ODOM ECHOTRAC CV-100 (Figura 3-b); e equipamentos de localização georreferenciada, sendo eles um DGPS GeoTech GTR-G² (Figura 3-c), um GPS de navegação Garmin MAP 62s (Figura 3-d) e, ainda, o rádio PDL Pacific Crest para transmissão de dados (Figura 3-e).

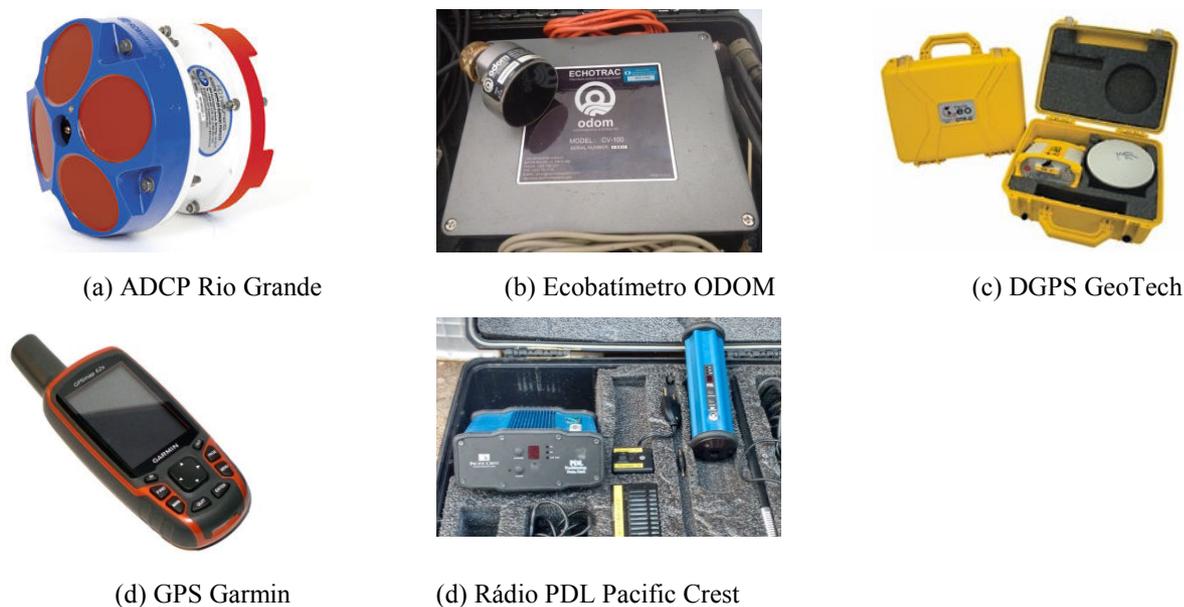


Figura 3. Equipamentos utilizados para a realização da batimetria e medição de vazão.

O ADCP, em inglês “Acoustic Doppler Current Profiler”, é um medidor acústico, que possui quatro feixes diagonais que realizam o perfilamento das velocidades da água e determinação do fundo, obtidas por pulsos de ultrassom que são refletidos pelas partículas sólidas em suspensão e pela superfície sólida do fundo. Já o ecobatímetro emite um único feixe sonoro e mede a velocidade com que este retorna ao equipamento. Através da velocidade com que o som se propaga na água é calculada a profundidade daquele ponto com o retorno de apenas um valor de profundidade para um dado intervalo de tempo.

O DGPS foi utilizado como GPS RTK, garantindo uma maior precisão de localização geográfica e altimétrica, sendo o GPS Base instalado na margem direita, próxima à seção de medição em local elevado e sem obstáculos para a transmissão do sinal do rádio. O local de instalação teve seu posicionamento geográfico e altimétrico gerado através do Posicionamento por

Ponto Preciso (PPP), no site do IBGE, após 3 horas de coleta de dados com GPS, com precisão planimétrica de 0,01 mm e altimétrica de 0,02 m.

O envio dos dados para o GPS Móvel foi através de Rádio TPLINK com alcance aproximado de 15 km. O GPS Móvel foi instalado na mesma linha do ecobatímetro em suporte próprio, onde a altura da antena e a distância da antena ao nível da água foram levadas em consideração.

Para integrar o funcionamento do ADCP, ecobatímetro e do GPS/RTK foi utilizado o software WinRiver II que é amplamente utilizado para medição de vazão e para levantamentos batimétricos, fornecendo dados de posição e profundidade, bem como, permitindo a exportação dos dados para o formato “.txt”.

4 - RESULTADOS OBTIDOS NOS LEVANTAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

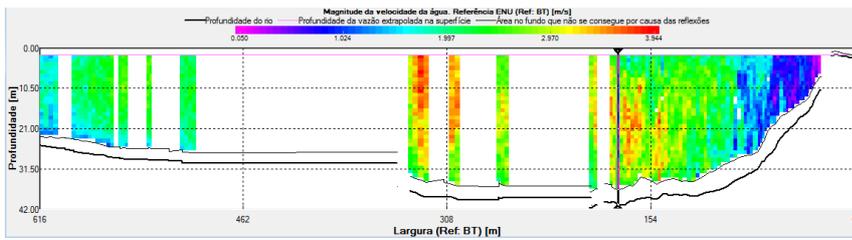
4.1 - Análise da Medição de Descarga Líquida (Vazão)

Foram consideradas para esse estudo três medições realizadas em cotas altas (período de cheia do rio), situação mais desfavorável para realização deste tipo de atividade. As Tabelas 1, 2 e 3 representam os resultados comparativos da medição de vazão, considerando os três sistemas de referência *Bottom Tracking* (BT), informações de GGA e VTG, estes dois últimos protocolos de comunicação entre os aparelhos eletrônicos. A partir dessas informações é possível obter a posição, direção e velocidade para cálculo de vazão (Engelman et al., 2015).

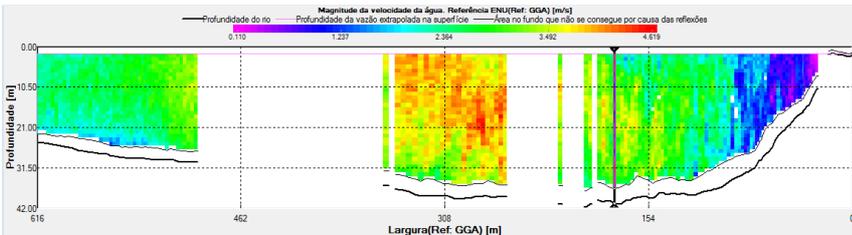
Para o cálculo do Erro Relativo (%) foi considerado como vazão de referência o valor obtido pelo sistema *Bottom Tracking*. A Tabela 1 mostra os valores de vazão separados por faixa, ou seja, o que foi medido pelo equipamento (Q_{medida}) e o que foi estimado (demais itens). Cabe ressaltar que esta medição foi realizada em condições adversas na época da cheia histórica do rio Madeira, o ano de 2014. Em alguns pontos, observados na Figura 4, os valores de velocidades chegaram a atingir valores da ordem de 4,5m/s. Nota-se, ainda na Figura 4, um grande espaço em branco, onde não foi possível obter leitura. O erro relativo para a vazão total entre os valores apresentados pelo BT x GGA foi de 22%.

Tabela 1. Comparação dos resultados para a medição realizada no dia 20/03/2014 (ADCP + DGPS).

Referência	Cota (cm)	Qfundo	Qmedida	Qsuperfície	QMesqu	QMdir	Qtotal
BT	2521	3543	36317	2460	1305	945	44569
GGA		4506	44383	3055	1472	952	54370
VTG		4497	44291	3038	1389	926	54142
Err (BT x GGA) - %		27	22	24	13	1	22
Err (BT x VTG) - %		27	22	24	6	-2	21



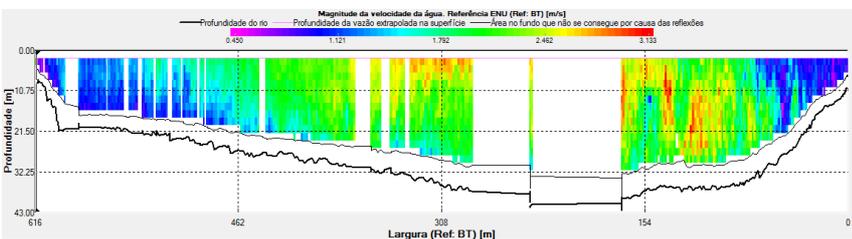
(a) Perfil de velocidade com referência do Bottom Tracking.



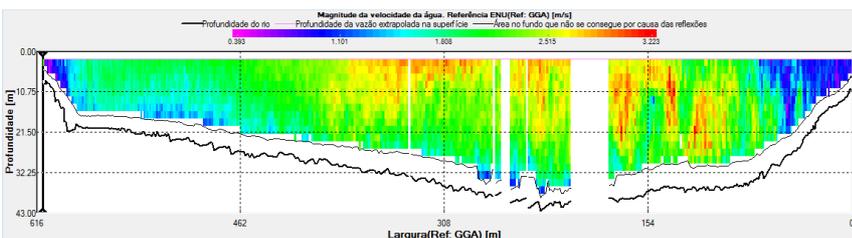
(b) Perfil de velocidade com referência do GGA.

Figura 4. Medição de vazão realizada no dia 20/03/2014 - Integração do ADCP + DGPS.

Para a medição realizada no dia 05/02/2015, representada pela Figura 5, foi acoplado ao equipamento ADCP, além de um DGPS, o Ecobatímetro, para que este pudesse ler o fundo do leito nos locais onde o medidor acústico não conseguia. As condições do rio estavam normais, para este período do ano, com valores de velocidade a ordem de 3,0m/s. Nota-se, que nesta situação o sistema BT conseguiu ler um trecho maior da seção, pois houve a composição das medidas de profundidade com o Ecobatímetro. A Tabela 2 apresenta os resultados comparativos entre os sistemas de referência. Neste caso, o Erro relativo foi de apenas 8%. A Figura 5c, representa o trajeto da embarcação, onde percebe-se em um dado momento a separação das linhas vermelha (BT) e azul (GGA) e verde (VTG). Essa separação é o que caracteriza a presença de fundo móvel no rio.

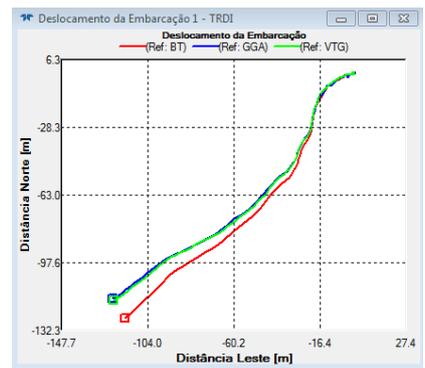


(a) Perfil de velocidade com referência do Bottom Tracking.

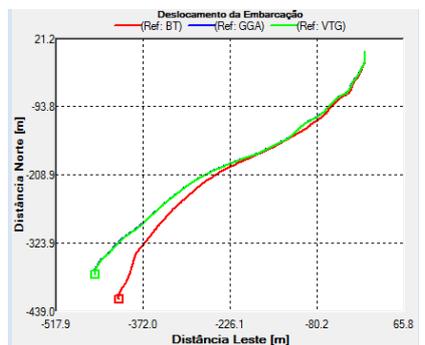


(b) Perfil de velocidade com referência do GGA.

Figura 5. Medição de vazão realizada no dia 05/02/2015 - Integração do ADCP + Ecobatímetro + DGPS.



(c) Deslocamento da embarcação – Comparação dos diferentes sistemas de referência (BT, GGA e VTG).

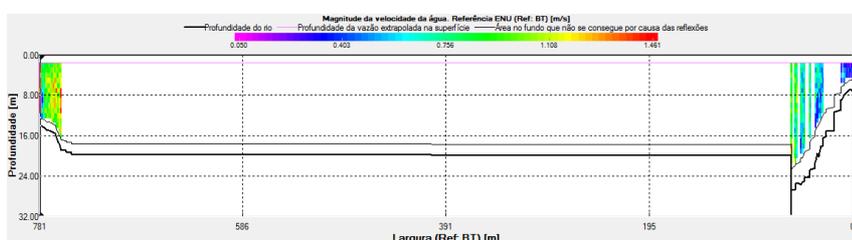


(c) Deslocamento da embarcação – Comparação dos diferentes sistemas de referência (BT, GGA e VTG).

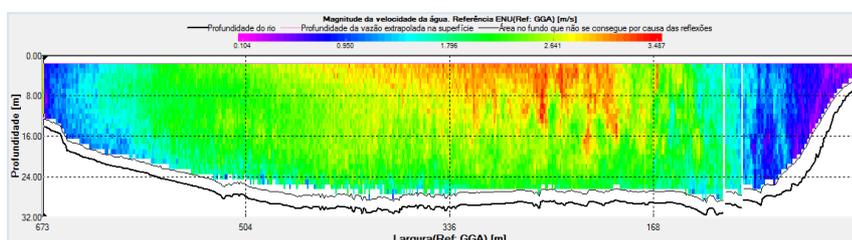
Tabela 2. Comparação dos resultados para a medição realizada no dia 05/02/2015 (ADCP + Eco + DGPS).

Referência	Cota (cm)	Qfundo	Qmedida	Qsuperfície	QMesqu	QMdir	Qtotal
BT	2139	4951	25062	2267	98	46	32424
GGA		4888	27632	2460	99	46	35124
VTG		4894	27644	2462	99	47	35146
Err (BT x GGA) - %		-1	10	9	1	0	8
Err (BT x VTG) - %		-1	10	9	1	1	8

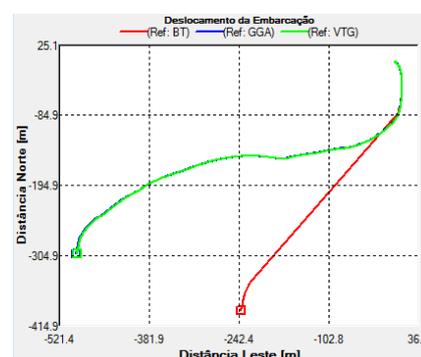
Para a medição realizada no dia 03/03/2016, desta vez foram utilizados o ADCP e o par de DGPS, utilizando o RTK. O GPS Base foi instalado na margem direita, próxima à seção de medição em local elevado e sem obstáculos para a transmissão do sinal do rádio. Nesta medição dois pontos devem ser registrados. O primeiro refere-se ao resultado apresentado quando utilizado a referência do BT. Nota-se que o equipamento só conseguiu registrar pontos da medição nas margens do rio (Figura 6a). Apesar da velocidade alta no momento da medição, cerca de 3,5m/s, apenas isso não justificaria o péssimo resultado apresentado. Outro ponto que se deve destacar é a alteração do perfil da seção transversal. Observa-se uma escavação no lado esquerdo do canal (Figura 6b), quando comparado com os perfis das seções obtidas nas campanhas de 2014 ou 2015. Essa alteração sugere uma grande movimentação do leito do rio, aumentando a carga de sedimentos em suspensão o que pode ter condicionado dificuldade na leitura do equipamento. Ou seja, nas condições apresentadas, caso a equipe de hidrometria estivesse apenas com o medidor acústico, essa medição seria perdida.



(a) Perfil de velocidade com referência do Bottom Tracking.



(b) Perfil de velocidade com referência do GGA.



(c) Deslocamento da embarcação – Comparação dos diferentes sistemas de referência (BT, GGA e VTG).

Figura 6. Medição de vazão realizada no dia 03/03/2016 - Integração do ADCP + RTK.

Considerando estes parâmetros analisados acima, observam-se na Tabela 3 valores altos no Erro Relativo. O Err (BT x GGA) para a vazão medida foi de 132%. O mesmo ocorreu para a vazão total com erro de 117%.

Tabela 3. Comparação dos resultados para a medição realizada no dia 03/03/2016 (ADCP + RTK).

Referência	Cota (cm)	Qfundo	Qmedida	Qsuperfície	QMesqu	QDir	Qtotal
BT	1944	1551	11244	1212	129	4	14139
GGA		2541	26075	1894	128	5	30644
VTG		2534	26020	1890	123	5	30572
Err (BT x GGA) - %		64	132	56	0	41	117
Err (BT x VTG) - %		63	131	56	-4	43	116

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou uma análise das medições de descarga líquida realizadas no rio Madeira, utilizando o medidor acústico ADCP, e outros equipamentos integrados, com o objetivo de comparar os diferentes métodos de referência como o *Bottom Tracking* (BT), GGA e VTG. Os resultados demonstraram que grande concentração de sedimentos e ocorrência de fundo móvel, notadamente conhecida na região, interfere diretamente no resultado da medição, principalmente quando se utiliza à referência do próprio aparelho (BT). Quando utilizado o ADCP integrado ao ecobatímetro observou-se uma melhora considerável, apesar de ocorrerem ainda falhas na medição, como observado na Figura 5. Na última análise apresentada, observou-se que outros fatores podem ter dificultado a leitura do equipamento. Ou seja, nas condições apresentadas, caso a equipe de hidrometria estivesse apenas com o medidor acústico, essa medição seria perdida. A integração de equipamentos de precisão (DGPS) garante não apenas o resultado do volume de descarga líquida mais próxima do real, assim como precisão na localização do trabalho. Ressalta-se, porém, que apesar dos bons resultados apresentados, deve-se levar em consideração também os fatores que comprometem a qualidade do sinal de GPS.

6 - BIBLIOGRAFIA

ADAMY, A (2013). Avaliação do processo erosivo fluvial em vila Calama, Rio Madeira. Porto Velho: CPRM, 2013. 29p. il., color.

GOOGLE EARTH 4.0. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

MARTINELLI, L.A.; DEVOL, A.H.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY J.E.; RIBEIRO, M.N.G. (1989). Descarga de sólidos dissolvidos totais do Rio Amazonas e seus principais tributários. *Geochim. Brasil.* 3(2): 141-148.

ENGELMAN, A.J.; MALDANADO, L.H.; GAMARO, P. E. M.; (2015). Exatidão da vazão entre os sistemas de referência do perfilador acústico doppler. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Brasília/DF. p. 08. 2015.