

## CONTROLE DE QUALIDADE PARA MEDIÇÕES DE VAZÕES COM ADCP: estudo de casos

*Paulo E. Gamaro<sup>1</sup> & Luiz H. Maldonado<sup>2</sup>*

**RESUMO** - No Brasil ainda não existe oficialmente procedimentos para operação de ADCPs, tanto para a medição quanto para sua análise, apesar de relatórios da Itaipu e da Comissão de Hidrometria da ABRH. Como é uma tecnologia nova, admite-se uma necessidade de atualização, conforme se verificam os problemas. A Itaipu Binacional utiliza critérios de qualidade para verificar as vazões das medições. De início prevê-se que o controle é necessário, mas seria suficiente? Além disso, os dados informados pelos fabricantes não indicam exatamente como proceder para certos problemas. Assim, este trabalho visa mostrar casos de medições de vazão que poderiam ser classificadas como boas medições e que apresentam problemas internos de funcionamento do equipamento e que passam despercebidos. Foram comparadas as direções das velocidades do escoamento em GBE e as medições de vazão em R4, rio Paraná. Os resultados das medições de vazão indicaram interferências variáveis, para a direção do fluxo e para as correlações de cada feixe acústico (“Beam”), sendo não ambientais. Os documentos referentes aos procedimentos, controles de qualidade e fabricantes não informam as causas desses problemas, que poderiam passar despercebidos, aparentando ser uma boa medição.

**ABSTRACT** - In Brazil there is still no official procedures for operation of ADCPs, both for measurement and analysis, despite of the reports of Itaipu and the Commission of the ABRH Hydrometers. The fact that it is a new technology, it becomes necessary to update the problems found. Itaipu Binacional utilizes some quality criteria to check the flow measurements. Initially it is expected the control to be necessary, but would it be enough? Furthermore, data reported by manufacturers do not indicate exactly how to proceed with some specific problems. This study aims to show cases of flow measurements that could result in satisfactory values, although they have internal problems of the equipment operation passing unnoticed. The velocities directions in GBE were compared to the flow measurements in R4, Paraná river. The results of flow measurements indicated the interferences to flow directions and to correlations of beams. The document procedures, quality control and manufacturers do not report the causes of these problems, that could be unnoticed, appearing to be a good measurement.

**Palavras-Chave:** ADCP, vazão, problemas.

---

<sup>1</sup> Engenheiro da Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Foz do Iguaçu-PR, 55 45 3520 6429, pemg@itaipu.gov.br;  
<sup>2</sup> Engenheiro da Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Foz do Iguaçu-PR, lhmaldo@itaipu.gov.br.

## INTRODUÇÃO

Com a tecnologia *Doppler* para medição de vazão, novos horizontes estão sendo explorados na Hidrometria e maiores cuidados são necessários para realizar as medições de vazão. Atualmente existem diversos critérios de qualidade, como em Gamaro (2005), Kevin et. al. (2005) que buscam um controle de qualidade das medições. No entanto, como saber se estes critérios são suficientes?

Apesar do controle, as medições de vazão podem sofrer interferências externas e internas do equipamento e que o fabricante não as explica e nem cita seus motivos e soluções. Deste modo, algumas medições de vazão realizadas pela equipe de Hidrologia de Campo da Itaipu Binacional são discutidas e analisadas, para uma maior compreensão e conhecimento das medições de vazão.

## METODOLOGIA

Os controles de qualidade adotados para o trabalho baseiam-se em alguns critérios, como:

- Porcentagem de verticais problemáticas (“*Bad ensemble*”) deve ser menor que 10% do total da medição (travessia);
- Porcentagem de células problemáticas (“*Bad Bins*”) deve ser menor que 25% do total da medição (travessia);
- Velocidade do barco deve ser menor que a velocidade da água;
- Vazão medida (“*measured Q*”) deve ser maior que 50% da vazão total;
- *Pitch&Roll* (inclinações proa/popa e bombordo/estibordo) deve ser menor que 10°.

Este trabalho apresenta uma análise de casos, a partir de medições de vazão realizadas nas estações de Guaíra e R4, localizadas no rio Paraná.

O primeiro caso refere-se às medições de vazão com o ADCP<sup>3</sup> WorkHorse Rio Grande de 600 kHz realizadas em Guaíra Braço Esquerdo (GBE), Rio Paraná, Figura 1 (a), no dia 22/12/2008. Para este caso, foram comparados os resultados de duas travessias iniciadas em margens opostas e medições para uma data anterior (14/01/2008) e posterior (20/01/2009) da data 22/12/2008.

O segundo caso, refere-se às medições nas datas 12 e 17/03/2009, na estação de R4, Figura 1 (b), a jusante da Usina de Itaipu Binacional, onde há a possibilidade de comparar as descargas líquidas medidas pelo ADCP com as vazões turbinadas pela Itaipu, cujas variações de vazão são de no máximo 4%, Gamaro e Lima (2007).

---

<sup>3</sup> Fabricante: Teledyne RDInstruments

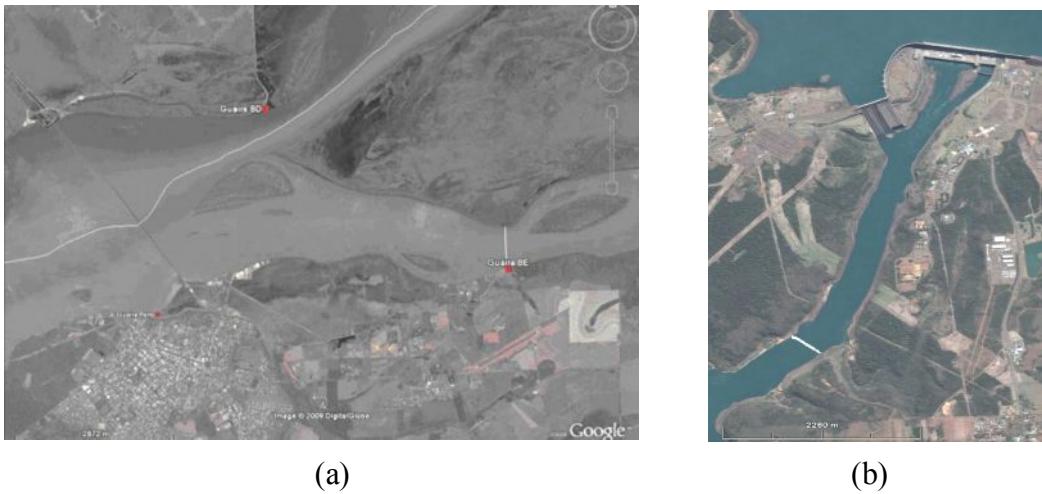


Figura 1 – (a) Localização da Estação Guaíra Braço Esquerdo (GBE); (b) Localização da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional e da Estação R4

Para a estação de R4, foram realizadas 14 travessias com o ADCP 600 kHz, no dia 12/03/2009 e foram comparadas com as vazões turbinadas da Itaipu Binacional. Dentre as travessias, foram escolhidas uma travessia que apresentou problemas, R4008, e uma travessia que não apresentou problemas, R4006. Para os testes, as travessias foram realizadas sequencialmente, sem qualquer alteração no ambiente.

Posteriormente, para o dia 17/03/2008, foram realizadas novas medições de vazão com o ADCP, rotacionando-o em relação ao barco. De modo padrão, o ADCP é instalado no barco com os “Beams” 3 e 4 dispostos paralelos à embarcação, Figura 2, sendo o “Beam” 3 direcionado para a proa e o “Beam” 4 direcionado para a popa.

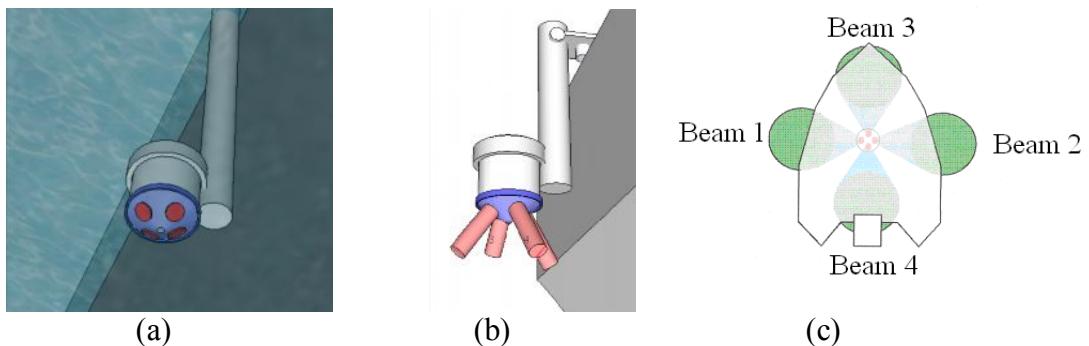


Figura 2 – Posição do ADCP e dos “Beams” (Feixes acústicos).  
(c) Fonte: Modificado de Simpson, 2001

## RESULTADOS

### Medições de vazão em GBE

Para o dia 22/12/2008, a primeira travessia, iniciada na margem direita, resultou na vazão de  $991 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , Figura 3, com 4% de “*bad ensemble*”, nenhum “*bad bin*”, vazão medida de 72% da vazão total, e não apresenta descontinuidades no perfil de velocidades. A travessia iniciada na margem oposta (esquerda), Figura 4, resultou na vazão de  $1091 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , 10% maior que a vazão da primeira travessia. As travessias passam nos critérios de qualidade se fossem analisadas individualmente, mas a análise em conjunto das travessias invalida a medição.

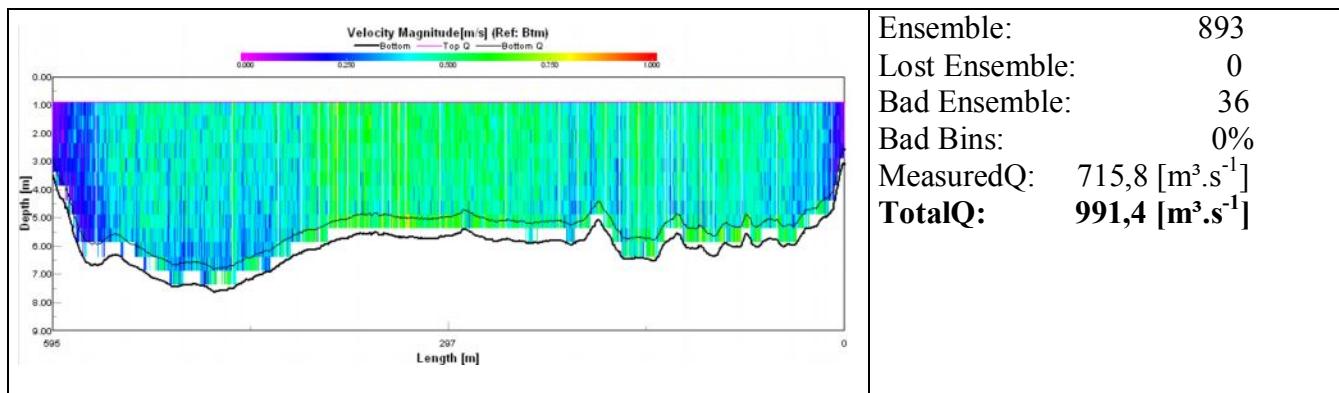


Figura 3 - Travessia 1, iniciando na margem direita para esquerda

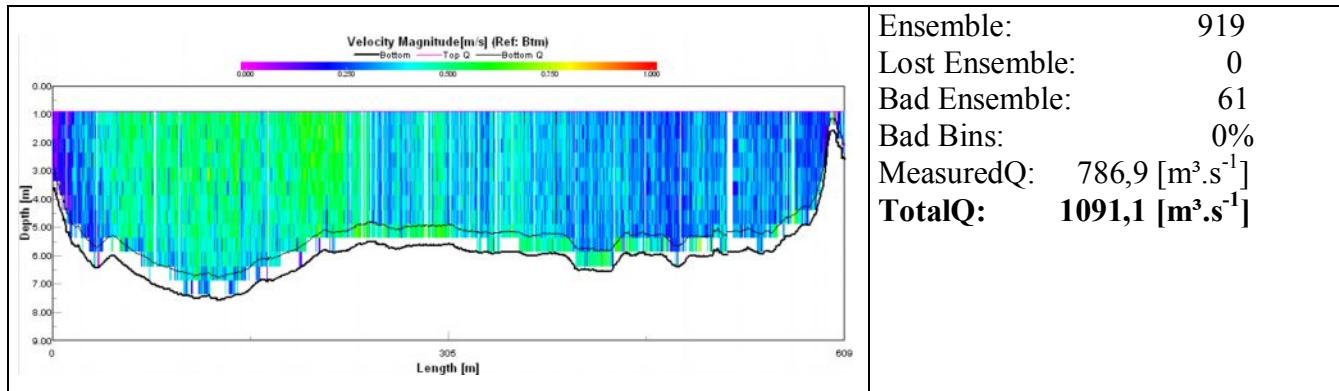


Figura 4 - Travessia 2, iniciando na margem esquerda para direita

A princípio, o erro devido a não calibragem da bússola interna do ADCP causa interferência na medição de vazão. Se entre duas travessias iniciadas em margens opostas, a direção do escoamento for maior que  $10^\circ$ , é provável que a medição esteja prejudicada.

Para as travessias 1 e 2, as direções do fluxo obtidas foram de  $240^\circ$  e  $310^\circ$ , respectivamente, Tabela 1. A variação da direção do fluxo indica um exemplo da interferência na bússola interna do

ADCP por materiais ferrosos, mas para um desvio de 9% da vazão, existe outro problema que interferiu na medição de vazão realizada pelo ADCP.

Tabela 1 - Resultado das travessias em GBE

Travessias	Margem Inicial	Vazão Total	Vazão Medida	Área	Largura	Veloc. Barco	Direção Média do Barco	Veloc. do fluxo	Direção do fluxo
		[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m.s <sup>-1</sup> ]	[°]	[m.s <sup>-1</sup> ]	[°]
1	Direita	991	716	3531	597	0,744	193,8	0,408	240
2	Esquerda	1091	787	3562	600	0,739	10,1	0,349	310

Na data de 20/01/2009 novas medições de vazão com o ADCP foram realizadas no GBE e a direção das velocidades resultou em 250°, em média, para a primeira travessia e 300°, em média, para a travessia iniciada na margem oposta. Para as travessias em GBE no dia 14/01/2008, a direção das velocidades foi de 260°, em média, para as duas travessias iniciadas em margens opostas. Além disso, notam-se diferenças maiores dos desvios padrão para as direções para a data de 20/1/2009, que para o dia 14/1/2008, Figura 4.

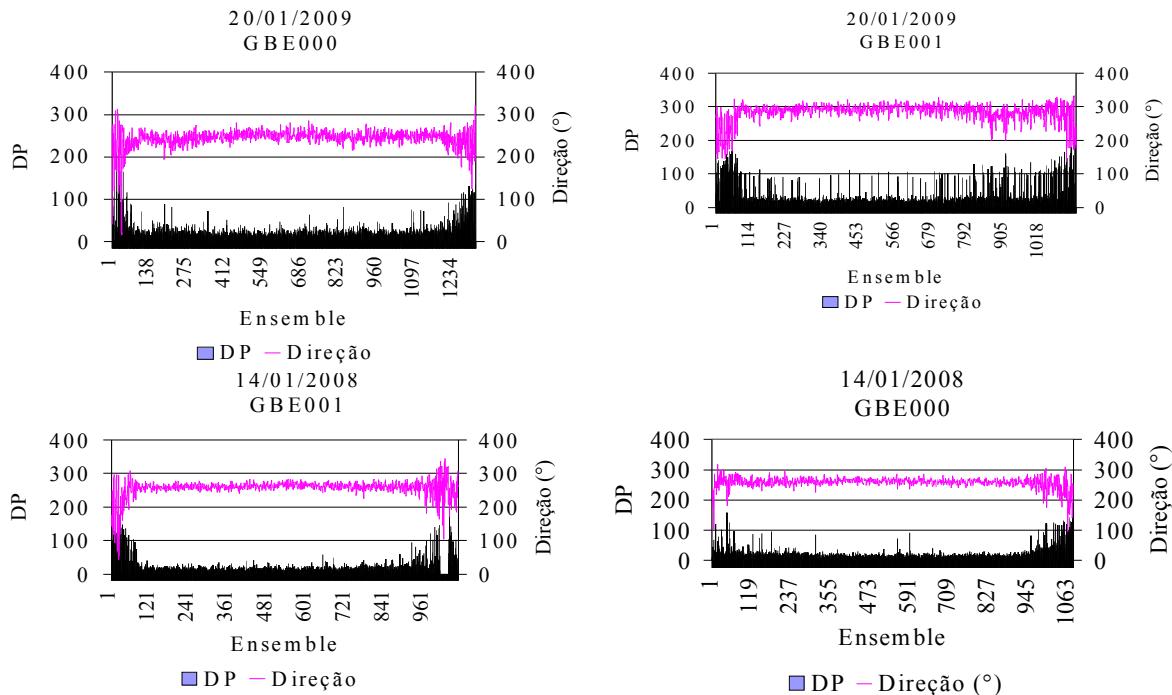


Figura 4 - Valores das direções de velocidade do escoamento e seu desvio padrão, por vertical (ensemble), para as datas 14/1/2008, não ocorre o problema, e para a data 20/1/2009, equipamento problemático

## Medições de vazão em R4

Para o dia 12/03/2009, foram realizadas 14 travessias com o ADCP em R4, Tabela 2.

Tabela 2 – Dados das medições de vazão em R4 com o ADCP e da vazão turbinada pela Itaipu Binacional, para o dia 12/3/2009

Horário	Vazão Turbinada [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Travessia	Horário Início	Horário Final	Vazão Total [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Margem Inicial	Vazão Medida [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Área [m <sup>2</sup> ]	Direção do Barco	Vel. Esc. [m.s <sup>-1</sup> ]	Direção Esc. [°]
10:30	12560	R4000r,000	10:42:50	10:51:45	4.272	Esquerda	3581	4542	321	1,035	247
11:00	12476	R4001r,000	10:52:28	11:01:57	5.604	Direita	4628	5026	160	1,103	247
		R4002r,000	11:03:09	11:10:32	7.917	Esquerda	6593	5693	326	1,388	249
11:15	12653	R4003r,000	11:10:42	11:18:37	6.894	Direita	5724	5232	150	1,378	247
		R4004r,000	11:18:49	11:25:54	9.764	Esquerda	8159	6513	328	1,607	247
11:30	12573	R4005r,000	11:26:00	11:33:05	12.203	Direita	10166	7127	150	1,759	245
		R4006r,000	11:33:12	11:42:05	12.623	Esquerda	10517	7147	326	1,942	245
11:45	12413	R4007r,000	11:42:13	11:49:51	12.313	Direita	10272	7000	148	1,766	246
		R4008r,000	11:49:57	11:57:11	9.467	Esquerda	7868	6246	328	1,590	245
12:00	12333	R4009r,000	11:57:17	12:03:52	8.019	Direita	6676	5795	151	1,424	245
		R4010r,000	12:04:00	12:11:29	9.474	Esquerda	7887	6250	326	1,633	246
12:15	12427	R4011r,000	12:11:33	12:19:20	8.940	Direita	7424	6096	149	1,594	246
		R4012r,000	12:51:03	12:57:48	2.326	Esquerda	2021	2278	339	1,117	248
13:00	12427	R4013r,000	12:57:54	13:04:36	5.681	Direita	4727	4880	145	1,206	247
Média					9.210		7767	5991		2	
Desvio Padrão					2.962		2538	1160		0,254	
Media/DP					0,32		0,33	0,19		0,17	

Segundo a Tabela 2, os valores das vazões turbinadas, para este período, variaram de 12333 a 12653 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e as vazões medidas com ADCP variaram de 2326 a 12623 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, com uma média de 9210 m<sup>3</sup>/s e desvio padrão de 2962 m<sup>3</sup>/s. A variação dos resultados das medições com ADCP indica a permanência da interferência que estava indicada nas medições em GBE. Dentre as travessias, Tabela 2, há travessias com vazões próximas da turbinada, como travessias que estão problemáticas.

Para a travessia **R40008**, a vazão total foi de 9467 m<sup>3</sup>/s, a vazão medida foi de 83% da vazão total, obteve-se menos que 2% de “Bad Ensemble” e 1% de “Bad Bins”. A travessia não apresenta problema, passando nos critérios de qualidade, mas representa uma vazão 23% menor que a vazão turbinada, invalidando-a.

Analizando as correlações para cada “Beam”, nota-se que as correlações dos “Beams” 3 e 4 são inferiores que as correlações dos “Beams” 1 e 2, Figura 5.

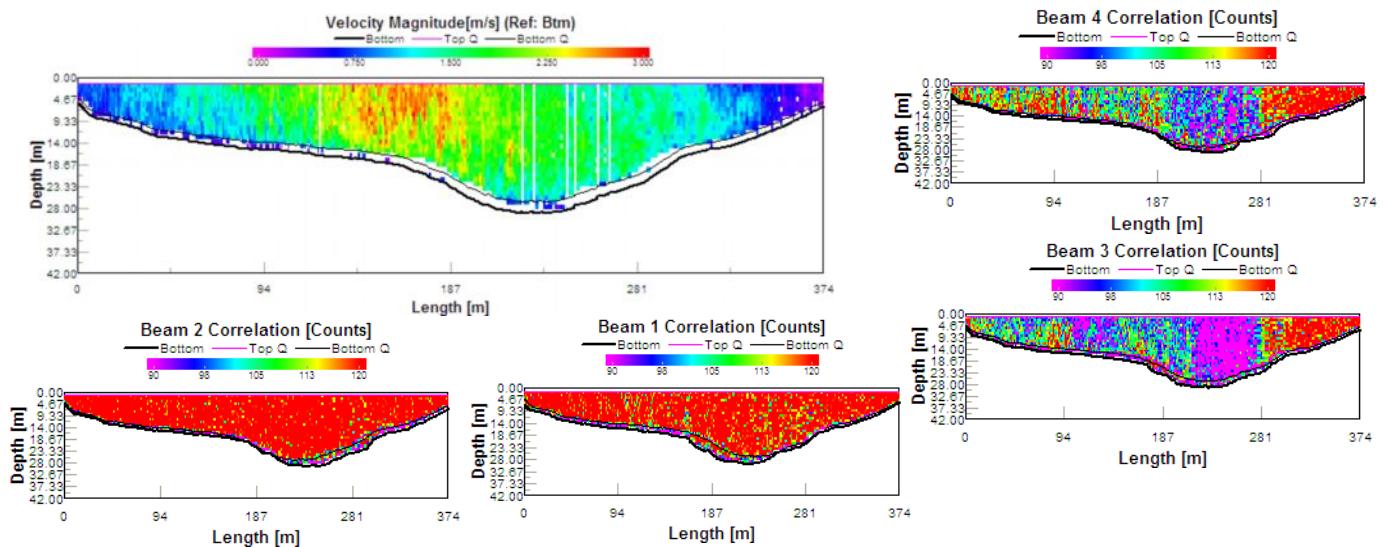


Figura 5 – Velocidades da seção e correlações para cada feixe (*beam*), para a travessia R4008, realizada no dia 12/3/2009

Para a travessia R40006, a vazão total foi de  $12623 \text{ m}^3/\text{s}$ , a vazão medida foi 83% da vazão total, não obteve-se “*Bad Ensembles*” e apenas 1% de “*Bad Bins*”. A vazão da travessia foi 1% maior que a vazão turbinada pela Itaipu Binacional, validando a travessia. Ao verificarmos as correlações para cada feixe, “*Beam*”, Figura 6, nota-se que a correlação não se alterou de modo significativo entre os “*Beams*”, ao contrário do caso anterior.

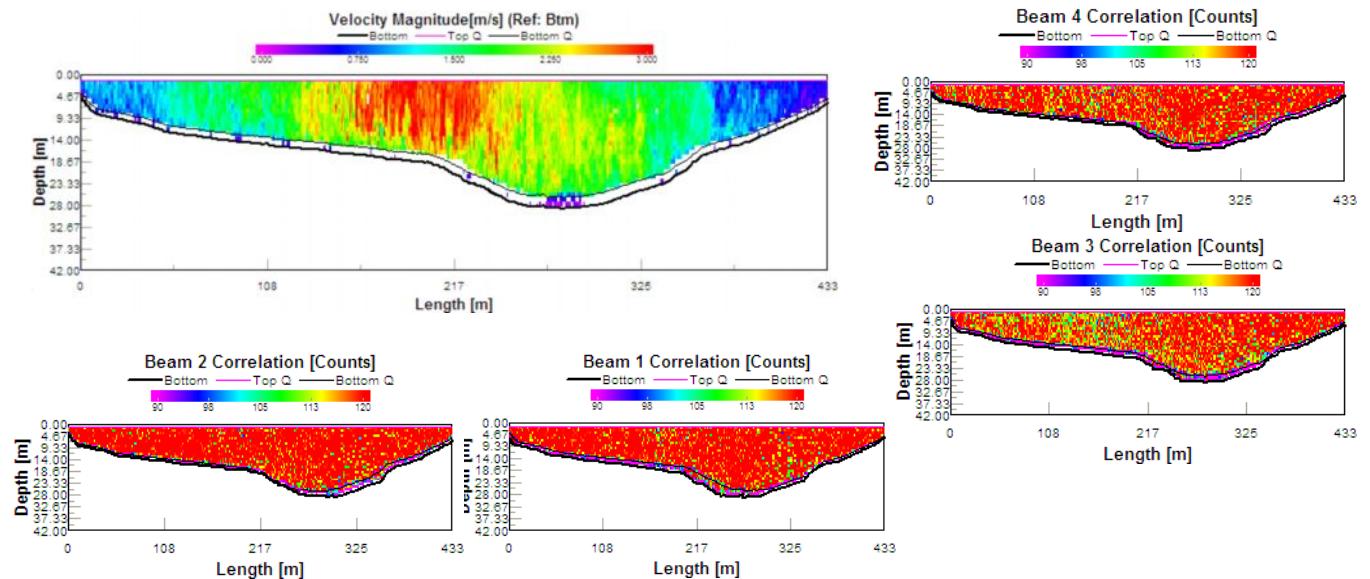


Figura 6 – Velocidades da seção e correlações para cada feixe (*beam*), para a travessia R4006, realizada no dia 12/3/2009

Considerando os dados das medições em R4, no dia 12/3/2009, notam-se discrepâncias de resultados entre as travessias, Tabela 2, conforme explanados nos exemplos das travessias R40006 e R40008, na qual houve problemas de correlação em 2 “Beams” (3 e 4). Deste modo, um procedimento para verificar se o problema das correlações provém do feixe acústico ou de fatores ambientais, rotaciona-se o ADCP em 90°, mudando do “Beam” 3 para o 1, o feixe acústico que é direcionado para a proa do barco, Figura 2.

Direcionando o “Beam” 1 para a proa do barco, resultou uma medição com 19% de “Bad Ensembles”, localizados na área com maior profundidade da seção transversal, 1% de “Bad Bins” e 84% de vazão medida em relação à total, Figura 8. Os “Bad Ensembles” prejudicaram a medição e os “Beams” 1 e 2 obtiveram correlações inferiores aos “Beams” 3 e 4.

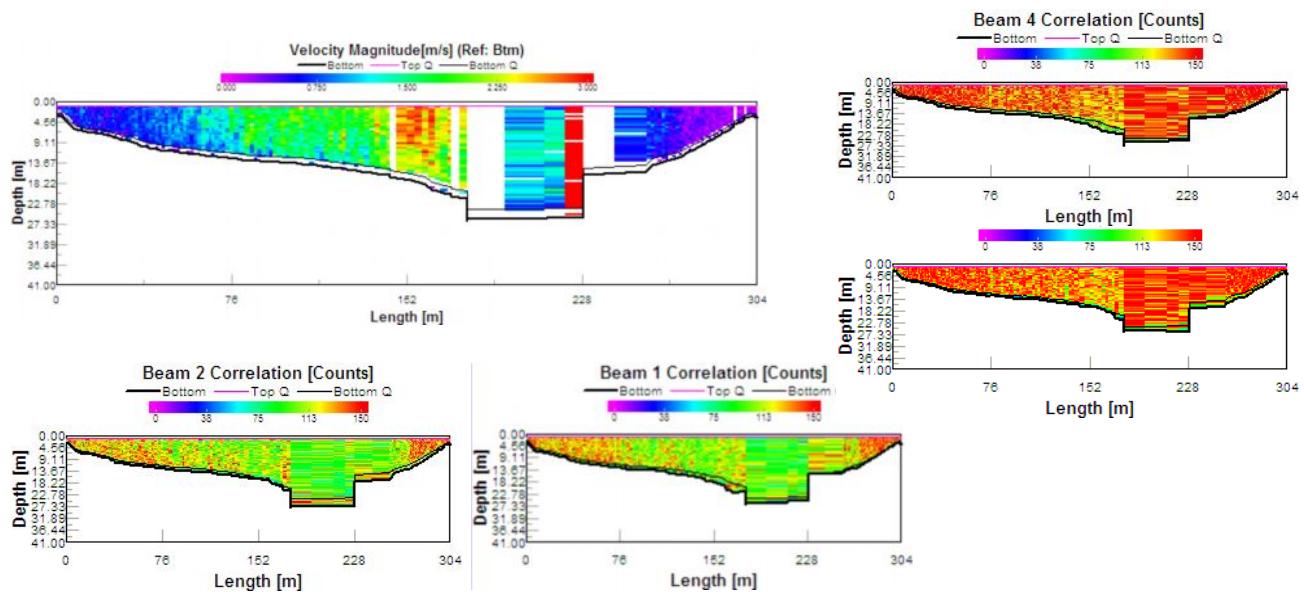


Figura 8 – Velocidades da seção e correlações para cada feixe (“Beam”), da medição de vazão realizada no dia 17/3/2009, “Beam” 1 direcionado à proa

Rotacionando o equipamento para posição original, “Beam” 3 direcionado para proa, as correlações para os “Beams” 3 e 4 foram inferiores que as correlações dos “Beams” 1 e 2, Figura 9.

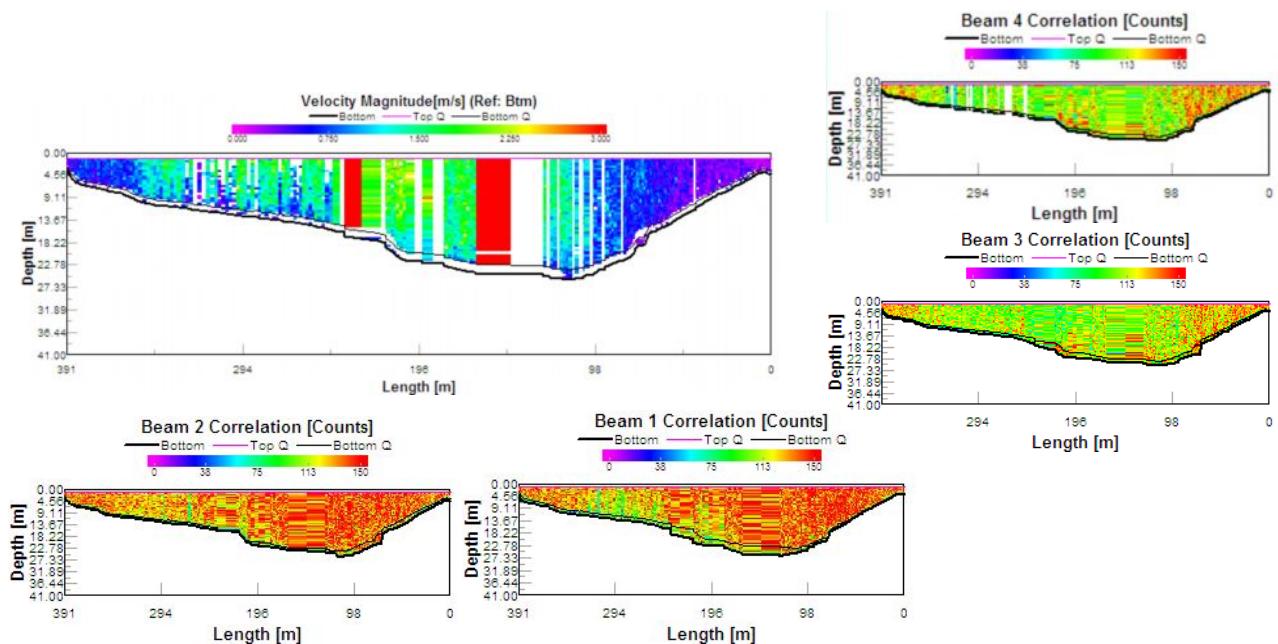


Figura 9 - Velocidades da seção e correlações para cada feixe (“Beam”), da medição de vazão realizada no dia 17/3/2009, “Beam” 3 direcionado à proa

Com a mudança de correlações para os “Beams” conclui-se que os feixes não estão com problemas físicos e que provavelmente agentes ambientais estão prejudicando as medições.

Considerando que nenhum aparato novo foi utilizado nas medições de vazão, em relação às medições realizadas anteriormente, as estações são monitoradas constantemente sem nenhum caso problemático, a causa dos problemas não pode ser ambiental.

Entrou-se em contato com o fabricante e alguns testes foram requisitados, como a rotação do ADCP, mas nenhum resultado concreto foi obtido.

Não obtendo respostas para o problema, a placa interna do equipamento foi trocada e todos os problemas identificados acima desapareceram, concluindo que o problema estava no processamento interno do equipamento e que não há controles de qualidade para este tipo de situação.

## CONCLUSÃO

Os resultados das medições de vazão indicaram interferências variáveis, para a direção do fluxo e para as correlações de cada feixe acústico (“Beam”). O primeiro problema notado foi a variação de 9% da vazão e 60° de diferença nas direções das velocidades do escoamento entre as travessias, em GBE, fatores que, mesmo se não tivesse calibrado a bússola, não são explicáveis. Além disso, foi verificado que os “Beams” direcionados para proa e popa sofrem interferências nas correlações, em R4. Com a

rotação do ADCP, verificou que o problema não é do feixe acústico e com a troca da placa interna do equipamento, provou que não foi interferência ambiental. Deste modo, os procedimentos, controles de qualidade e fabricantes não informam as causas do problema, o que pode passar despercebido e enganar o operador.

## REFERÊNCIAS

- Gamaro, P.E.M. (2005) “Procedimentos para avaliar uma medição de vazão acústica Doppler – uma proposta”;
- Gamaro, P.E.M., Lima, K.A., (2007) “Avaliação do uso de um medidor de vazão acústico doppler para verificar a vazão turbinada da usina de Itaipu: vazões maiores que 22.000m<sup>3</sup>/s, Simpósio da ABRH;
- Kevin, A. O., Morlock, S. E., Caldwell, W. S. (2005) “Quality-Assurance Plan for Discharge Measurements Using Acoustic Doppler Current Profilers”, Scientific Investigations Report 2005-5183, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey;
- Simpson, M. R. (2001) “Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler”, USGS, Open-File Report 01-1, Sacramento, California.