

**Hidrologia da Bacia Amazônica**  
**Hydrologie du Bassin Amazonien**

IRD \ CNPq \ ANEEL \ UnB

## **16<sup>a</sup> Campanha de medições de vazão e amostragem de água no rio Amazonas**

Parte A : Manacapuru ⇒ Óbidos

Novembro de 1999



Foto 1 – O rio Amazonas na estiagem entre Parintins e Óbidos (24/11/99)

***Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas***  
Superintendente de Estudos e Informações Hidrológicas  
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL

**Eurides de Oliveira**  
Coordenador brasileiro do Programa HiBAm

**Jean Loup Guyot**  
Coordenador francês do Programa HiBAm

***Maurice Lourd***  
Representante IRD no Brasil

---

---

### **Edição do relatório**

Alain Laraque  
Frédéric Muller  
Marcos Rios

IRD Brasília  
IRD Brasília  
FUBRAS Brasília

**Publicação HiBAm**  
**Brasília**

**Novembro de 1999**

## **SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO

2. PARTICIPANTES

3. CRONOGRAMA

4. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.1. Medições de vazão

4.2. Amostragens de matéria em suspensão

4.3. Medições físico-químicas "in situ"

4.4. Filtração das amostras

5. RESULTADOS

5.1. Medições de Vazão

5.2. Amostragem de água e matéria em suspensão

5.3. Medições "in situ" com a sonda CTD

6. CONCLUSÃO

7. ANEXOS

Anexo 1 : Abreviaturas usadas no texto

Anexo 2 : Localização das estações de medição de vazão

Anexo 3 : Gráficos de medições de vazão com ADCP

### [Lista das figuras](#)

Figura 1 : Mapa de localização dos pontos de medição e amostragem

Figura 2 : Descarga líquida diária (do 01 de Janeiro até o 31 de Dezembro)

Figura 3 : Valores das medições de vazão com ADCP nas curvas-chave das estações

### [Lista das tabelas](#)

Tabela 1 : Resultados das medições de descarga líquida

Tabela 2 : Resultados das medições físico-químicas "in situ", e de "MES"

### [Lista das fotos](#)

Foto 1 : O rio Amazonas na estiagem entre Parintins e Óbidos (24/11/99)

Foto 2 : Instalação da sonda CTD com o amostrador CALLEDE1

Foto 3 : Recuperação dos dados da CTD depois de uma coleta

## 1. INTRODUÇÃO

A décima sexta campanha de medição de vazão e amostragem de água e sedimentos do programa HiBAm (ANEEL/UnB/CNPq/IRD) foi realizada no curso principal do Rio Amazonas.

Os objetivos da parte A dessa campanha foram :

1. Medir vazões nas estações fluviométricas da rede da ANEEL, tanto no curso principal de rio Amazonas quanto na confluência de seus principais tributários,
2. Amostrar água e matéria em suspensão nos mesmos locais.
3. Calibrar a nova sonda CTD com os principais tipos d'água da bacia Amazonica (águas "negras" : R. Negro, águas "brancas" : R. Solimões e Madeira, águas "claras" : R. Trombetas).
4. Avaliar os fluxos sedimentários do Rio Amazonas e de seus principais tributários entre Manaus e Óbidos para entender os fenomenos de interligações com a varzéa do Lago grande de Curuai na época da vazante. A proposito, a parte A dessa campanha estava acoplada com a parte B de estudo geoquímico e sedimentário daquela várzea.

A campanha mobilizou 4 técnicos durante 5 dias, alem das 5 pessoas da tripulação e foi financiada pelo IRD. Uma pessoa participou da campanha como convidado da diretoria da ANEEL, sendo um engenheiro da Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI.

Este levantamento de campo, permitiu realizar em 8 transects de estudo, 30 medições de descarga líquida, 52 amostragens de águas, dentro de 10 perfis verticais com uma média de cinco pontos de coleta por vertical. Para cada amostra foram determinados quatro parâmetros "in situ", o que totaliza 208 medições de qualidade da água no campo (figura 1, tabelas 1 e 2).

Durante seis dias, foram percorridos cerca de 2 000 km de via fluvial.

O anexo 1 apresenta o significado das abreviações utilizadas no texto e o anexo 5 mostra a tabela recapitulativa das campanhas HiBAm.

## 2. PARTICIPANTES

### Equipe Técnico-Científica

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| ➤ IRD Brasília    | Alain Laraque   |
| ➤ IRD Brasília    | Frédéric Muller |
| ➤ FUBRAS Brasília | Marcos Rios     |

### Convidado

- |                |                           |
|----------------|---------------------------|
| ➤ EFEI Itajubá | Benedito Cláudio da Silva |
|----------------|---------------------------|

Dia	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>
Alain	+	+	+	+	+	+	+
Marcos	+	+	+	+	+	+	+
Frédéric	+	+	+	+	+	+	+
Benedito	+	+	+	+	+	+	+
total	4	4	4	4	4	4	4

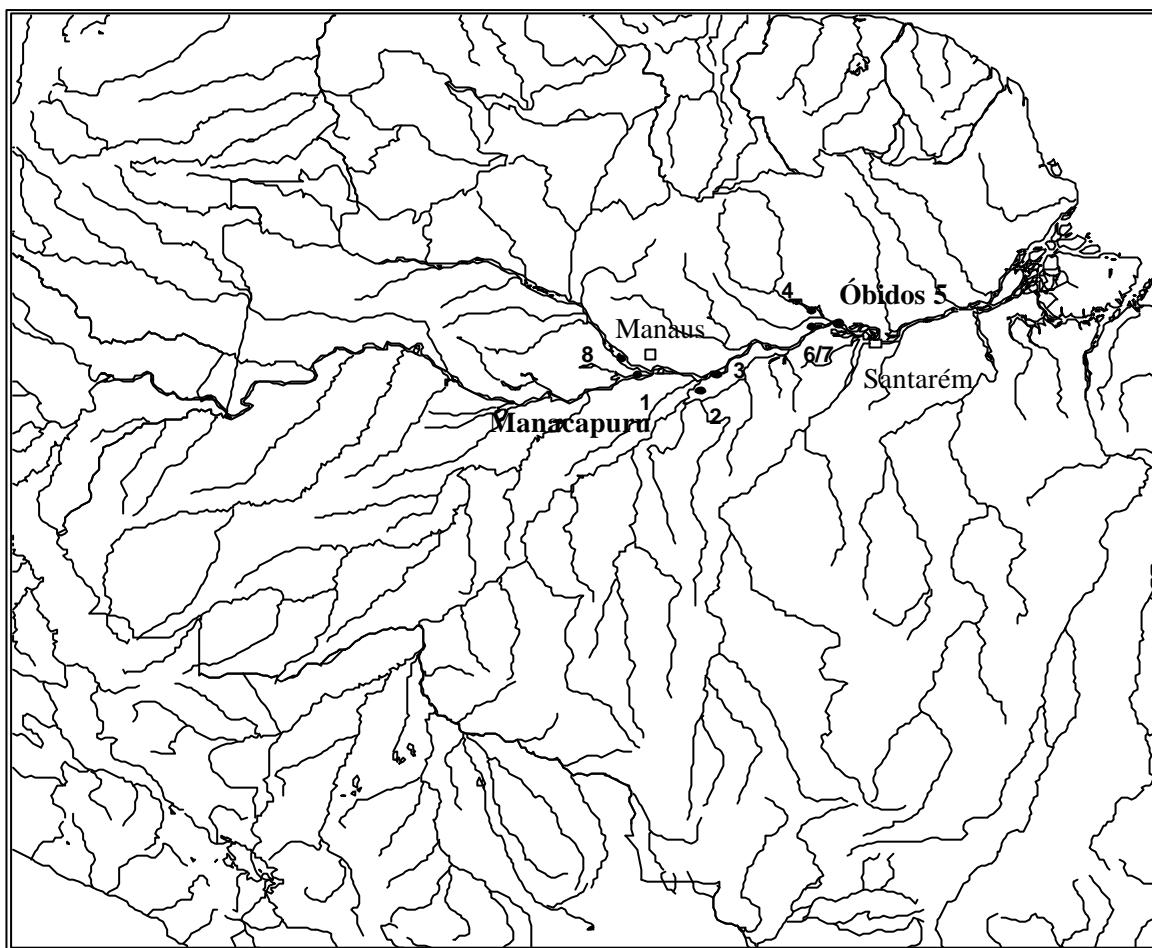


Figura 1 : Mapa de localização dos pontos de medição e amostragem (●)

<i>N. 01</i>	:	<i>Rio Solimões</i>
<i>N. 02</i>	:	<i>Rio Madeira</i>
<i>N. 03 - 05 - 06</i>	:	<i>Rio Amazonas</i>
<i>N. 04</i>	:	<i>Rio Trombetas</i>
<i>N. 07</i>	:	<i>furo oeste da várzea "Lagoa grande de Curuá"</i>
<i>N. 08</i>	:	<i>Rio Negro</i>

### 3. CRONOGRAMA

**20/11/99**

-  Demonstração do uso do ADCP para os congressistas do Simposio MANAUS'99 com medição de vazão no Rio Solimões em Manacapuru.
- Uso da CTD em uma vertical e amostragem.
- Realização das filtrações e preparação das amostras.

**22/11/99**

-  Medição de vazão e amostragem no Rio Madeira na foz.
- Uso da CTD em três verticais.
- Realização das filtrações e preparação das amostras.

**21/11/99**

-  Medição de vazão no Rio Amazonas em Itacoatiara.

**23/11/99**

-  Medição de vazão e amostragem no Rio Trombetas em Oriximiná e uso da CTD em uma vertical.
- Medição de vazão e amostragem no Rio Trombetas a montante ilha Jacitara e uso da CTD em uma vertical.
- Medição de vazão no Rio Nhamundá.
- Realização das filtrações e preparação das amostras.
- Chegada em Óbidos.

**24/11/99**

-  Medição de vazão e amostragem do Rio Amazonas em Óbidos.
- Uso da CTD em três verticais.
- Realização das filtrações e preparação das amostras.
- Amostragem do canal oeste do complexo da várzea do Lago Grande de Curuá e amostragem do rio Amazonas na mesma área.

**25/11/99**

-  Retorno do barco CAP DÁRIO até Manaus.

**26/11/99**

-  Medição de vazão e amostragem do Rio Negro a montante de Manaus e uso da CTD em uma vertical.
  - Realização das filtrações e preparação das amostras.
  - Despacho do material da campanha em Manaus.
  -  Retorno de Marcos, Alain, Frédéric para Brasília e Benedito para São Paulo.
- Encerramento da campanha.

## 4. METODOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização da 16<sup>a</sup> Campanha HiBAm, de medições de vazões e coleta de amostras de água e sedimentos na Bacia do rio Amazonas, foi alugado, em Manaus, um barco de madeira de estilo tradicional, o “CAP. DÁRIO”.

A localização exata (margens direita e esquerda) das seções de medição de vazão, bem como dos pontos de amostragem (latitude, longitude), foi verificada com geoposicionamento por satélite ou **GPS** (GARMIN 12 XL) e plotada nos mapas planimétricos do RADAMBRASIL na escala 1/250 000 (Anexo 3).

### 4.1. Medições de vazão

A vazão foi medida com um correntômetro acústico de efeito Doppler (ADCP/RDI) com freqüência de 300 KHz. Este equipamento, **ADCP**, que permite a medição rápida da vazão de rios, com alta precisão, pouca mão de obra e em tempo bastante curto, foi adquirido pelo programa HiBAm em 1994.

### 4.2. Amostragem de matéria em suspensão

As amostragens para sedimentos em suspensão foram feitas com um equipamento de amostragem pontual, especialmente desenvolvido para as campanhas do programa na Amazônia, batizado de “**CALLEDE I**”. O referido **amostrador** apresenta um formato semelhante ao de um submarino com uma garrafa de PVC de 10 litros presa à sua parte inferior. A garrafa possui duas aberturas nas extremidades ligadas a um gatilho para desarme. O desarme do gatilho é feito com o lançamento de um peso (mensageiro). Quando o mensageiro toca o gatilho, a garrafa se fecha, guardando no seu interior a água coletada a profundidade onde o amostrador se encontrar posicionado.

Geralmente as verticais de amostragem são localizadas a 25%, 50% e 75% do comprimento da seção de medição de vazão.

### 4.3. Medições físico-químicas “in situ”

A temperatura e a condutividade da água foram medidas com um condutivímetro WTW LF 318, o pH com um pH-metro WTW pH 320, a turbidez com um turbidímetro HORIBA U-10.

Na hora da amostragem com o amostrador CALLEDE1, foi usada uma **sonda CTD "Seabird SBE19"** (fotos 2 e 3), para medir continuamente a condutividade elétrica, a temperatura, a turbidez em função da profundidade em cada vertical estudada.

### 4.4. Filtrações das amostras

Depois de passarem por uma peneira de porosidade de 50 µm para isolar as areias e o sedimento grosso, todas as amostras d’água, foram filtradas no mesmo dia da coleta, por diferentes métodos. Em seguida, as aliqüotas foram conservadas dentro de um freezer.

Para determinação da **matéria em suspensão (MES)** foi utilizada uma rampa de filtração frontal com 6 unidades (Millipore), ligada a uma bomba de ar, com filtros de nitrato/acetato de celulose de  $0.45 \mu\text{m}$  de porosidade. Em geral deve-se filtrar um litro de água, mas quando a água está bem carregada em MES a filtração é bem lenta, neste caso foram filtrados três quartos ou meio litro de água.

Para as amostras destinadas a análises de **elementos dissolvidos maiores**, foram utilizadas unidades de filtração em PVC, com filtros de porosidade de  $0.22 \mu\text{m}$ .



Foto 2 · Instalação da sonda CTD com o amostrador CALLEDE1

Foto 3 : Recuperação dos dados da CTD depois de uma coleta



## 5. RESULTADOS

### 5.1. Medições de vazão

O período da campanha Amazonas'99, (Novembro) corresponde ao minimo das águas dos rios da bacia Amazonica. (foto 1 e figura 2).

Os resultados das medições de vazão realizadas nas estações, utilizando-se do correntômetro acústico de efeito Doppler (ADCP), com freqüência de 300 KHz encontram-se resumidos na tabela 1, e os gráficos do software TRANSECT (RDI) encontram-se no anexo 3.

A metodologia utilizada prevê que numa mesma seção com várias medições, tome-se a média aritmética entre elas como o valor definitivo. O desvio padrão observado entre essas medições variou de 1,08% até 5,72%, em função das características das seções.

A medição é considerada boa ( $dQ < 5\%$ ) quando a velocidade média na seção é maior que 0,4 m/s e quando a parte da vazão realmente medida com o ADCP supera 50% da vazão total. Durante esta campanha, as medições de vazão apresentam um desvio médio de  $dQ < 2,75\%$  (cf. tab. 1).

Tabela 1 : Resultados das medições de descarga líquida

código amostra	rio	estação	código ANEEL	data 1999	cota (cm)	largura (m)	vazão (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	num. Med.	dQ (%)
N1	Solimões	Manacapuru	14100000	20-nov	753	3170	51000	4	1.08
N2	Madeira	na foz	/	21-nov		1130	8300	4	1.77
N3	Amazonas	Itacoatiara	16030000	22-nov		1630	78960	4	1.15
N4a	Trombetas	Oriximiná	16900000	23-nov	100	600	1950	4	2.86
N4b	Trombetas	Montante Ilha Jacitara	/	23-nov		1500	1225	4	4.37
N4c	Nhamunda	na Foz	/	23-nov		210	765	4	3.25
N5	Amazonas	Óbidos	17050000	24-nov	98	2345	85500	4	1.81
N8	Negro	Caixa d' água	/	26-nov		2900	14300	2	5.72

*Total : 8 seções ; 30 perfis; média dQ = 2,75 %*

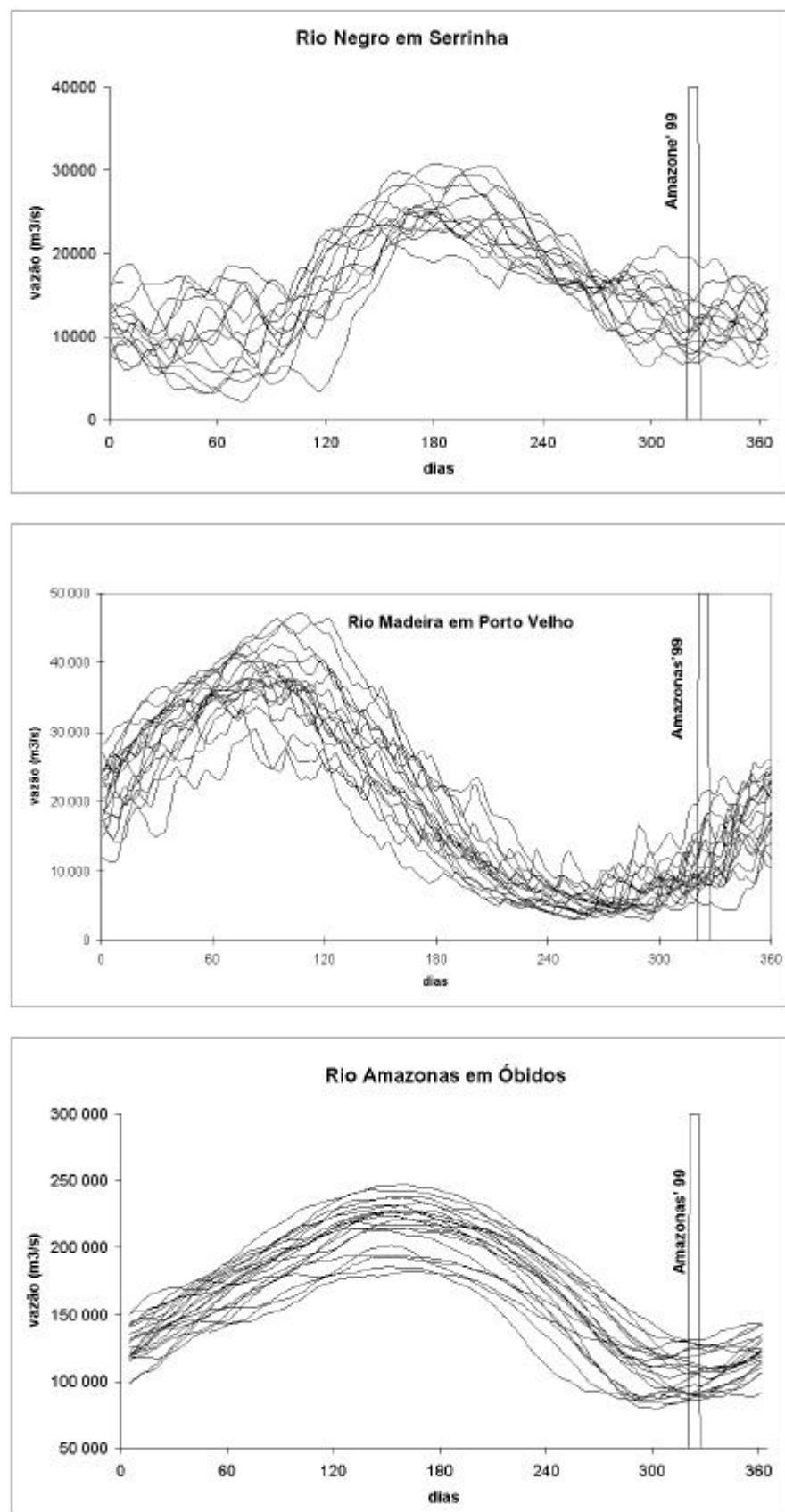
Em função das características das seções de medições, diferentes configuração do ADCP são usadas. Para profundidades de menos de 15 metros como no caso do rio Nhamunda, fui usado a configuração FURO.CFG (com células de 100 cm) e para profundidades de mais de 15 metros, foi usada HIBAM.CFG com células de 200 cm.

Para cada seção de medição de vazão, o anexo 3 apresenta 3 gráficos que correspondem respectivamente a :

- 1) o deslocamento do barco (traço vermelho) com os vetores de velocidades na primeira camada de células (traços azuis),
- 2) a repartição espacial das velocidades na seção,
- 3) a repartição espacial do sinal intensidade (em Beam) na seção, forma indireta de avaliar a repartição espacial das concentrações de sedimentos em suspensão.

Nos gráficos 2 e 3, as margens esquerda e direita do rio encontram-se representadas, respectivamente à esquerda e direita quando se olha para o gráfico.

Figura 2 : Descarga líquida diária (do 01 de Janeiro até o 31 de Dezembro)



**5.1.1. Rio Solimões em Manacapuru : 20/11/99 – 51 000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

⇒ Boa seção de medição.

**5.1.2. Rio Madeira na Foz : 21/11/99 – 8 310 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

⇒ Boa seção de medição.

**5.1.3. Rio Amazonas em Itacoatiara : 22/11/99 – 78 960 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

⇒ Boa seção de medição.

**5.1.4a. Rio Trombetas em Oriximiná : 23/11/99 – 1 950 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.****5.1.4b. Rio Trombetas a montante ilha Jacitara : 23/11/99 – 1225 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.****5.1.4c. Rio Nhamundá na foz : 23/11/99 – 765 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

Preciso estudar juntos esses 3 perfis para entender melhor os fenômenos hidrológicos dessa zona :

⇒ Em frente de Oriximiná na margem direita do rio Trombetas (Cf. fig. N.4a), encontra-se uma água barrenta chegando do Nhamundá (Cf. fig. N.4c - anexo 2), afluente com pouca largura (210 metros), mas com velocidades bem maiores que as do rio Trombetas a montante da confluência (respectivamente 50 cm.s<sup>-1</sup> é de menos de 20 cm.s<sup>-1</sup> para vazões respectivas de 755 e 1125 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - Cf. fig. N.4b e N.4c do Anexo 3).

Essa chegada aparece na dissimetria lateral do perfil de velocidade (N.4a) com menores valores na parte direita do gráfico (corresponde a margem esquerda do rio) em comparação com os perfis a montante da confluência (N.4b). Na repartição das MES observa-se o mesmo : a água barrenta do Nhamundá (N.4c) altera a repartição espacial dos perfis do Trombetas, (comparar os perfis a jusante e a montante da confluência nas figuras N.4a e N.4b - anexo 3).

A diferença de cerca de 40 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> entre as vazões do rio Trombetas em Oriximiná e a soma das vazões do Nhamundá e do Trombetas a montante daquela confluência resulta da imprecisão do tipo de ADCP usado (com uma freqüência de 300 KHz), que não é bem apropriado para medições de rios pouco profundos.

**5.1.5. Rio Amazonas em Óbidos : 24/11/99 – 85 500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

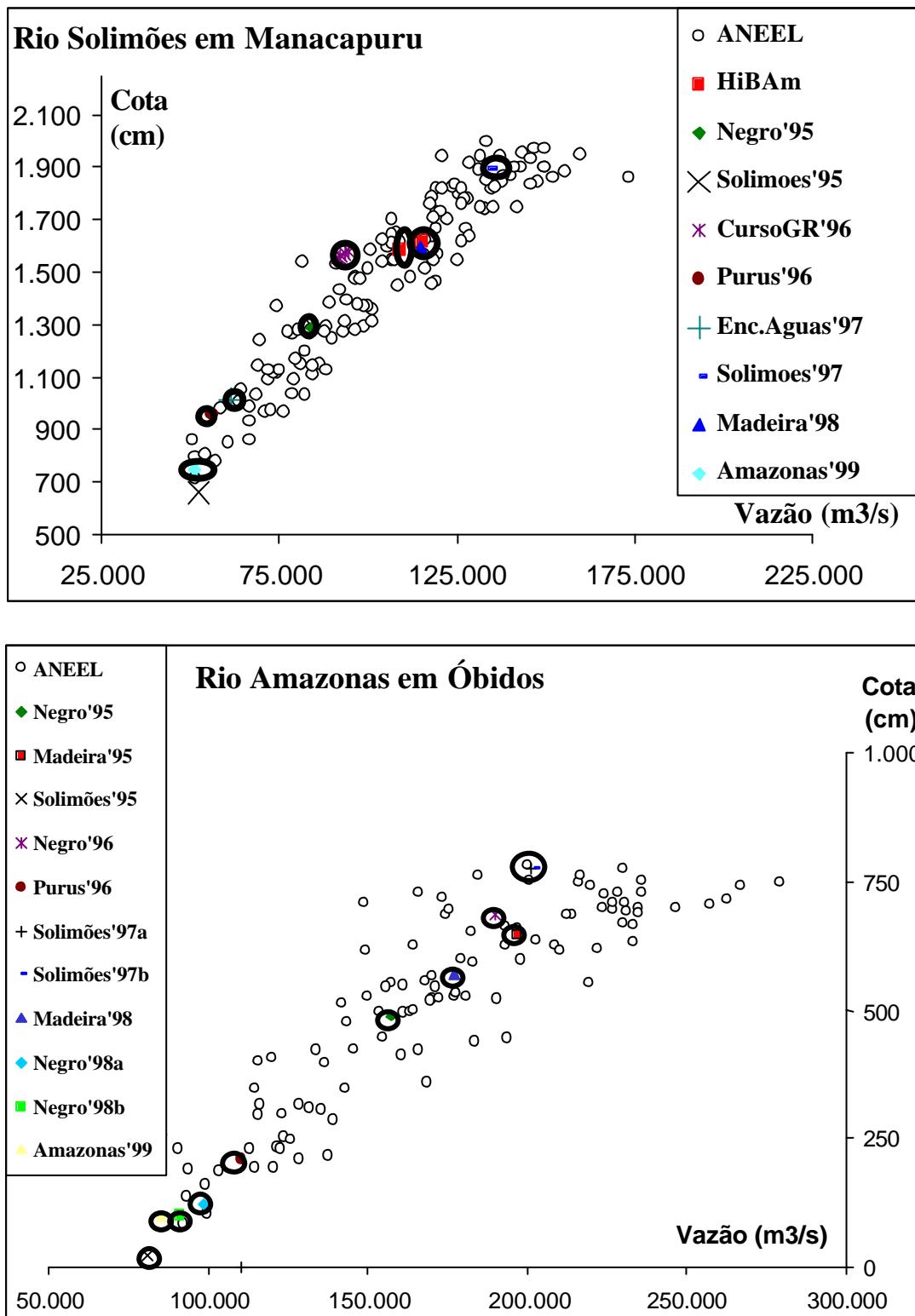
⇒ Boa seção de medição.

⇒ O resultado da medição de vazão com ADCP permitiu colocar um novo ponto na parte inferior da curva-chave (cf. fig.3).

**5.1.6. Rio Negro em Caixa d'água : 26/11/99 – 14 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.**

⇒ Boa seção de medição com velocidades fracas devido a influencia do barramento hidráulico do rio Solimões.

Figura 3 : Valores das medições de vazão com ADCP nas curvaschave das estações



## 5.2. Amostragem de águas e matéria em suspensão

Durante a campanha 'Amazonas'99', 8 amostras foram recolhidas para análises físico-químicas da água e 6 perfis foram realizados para o estudo da repartição espacial dos sedimentos (Tabela 2). As vazões foram medidas com ADCP.

**Tabela 2** : Resultados das medições físico-químicas, e de MES  
(só apresentadas unicamente as medições de superfície no centro da seção)

código amostra	rio	estação	data 1999	vazão m3/s	temp. °C	CE uS/cm	turb. NTU	pH	MES <sup>(1)</sup> mg/l	CTD perfil.hex
N1	Solimões	Manacapuru	20-nov	51000	29.9	99.4	108	7.07	(2)	Mana1
N2	Madeira	na foz	21-nov	8300	30.4	95.7	73	7.23	(2)	Made1,2,3
N4a	Trombetas	Oriximiná	23-nov	1950	30.7	19.6	45	6.01	(2)	Tromb1
N4b	Trombetas	Montante Ilha Jacitara	23-nov	1225	29.6	15.5	7	6.16	(2)	Tromb2,3
N5	Amazonas	Óbidos	24-nov	85500	30	61.6	65	6.77	(2)	Obid1,2,3
N6	furo oeste várzea		24-nov		29.7	26.5	200	6.00	(2)	
N7	Amazonas	Frente N6	24-nov		30.2	60.9	57	6.77	(2)	
N8	Negro	Caixa d'água	26-nov	14 300	30	7.5	15	5	(2)	Negro

(1) = filtração com filtros de 0,22 µm de porosidade

(2) = na espera dos resultados de laboratorio

Os valores das MES apresentadas na tabela 2, correspondem as partículas de tamanho compreendido entre 0,45 e 50 µm das amostras recolhidas com o amostrador CALLEDE I, a um metro da superfície de cada vertical estudada nos referidos transects. As filtrações a 50 µm, a 0,45 e a 0,22 µm foram feitas no barco enquanto que a secagem em uma estufa a 105°C, e a pesagem com uma balança de precisão (Sartorius) foram realizadas a partir dos filtros no laboratório da ANEEL, depois da campanha, para determinação das concentrações de matéria em suspensão (MES).

Os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, condutividade, pH, turbidez) foram medidos 'in loco', e todas as amostras foram filtradas no próprio barco. As concentrações de matéria em suspensão (MES) foram determinadas no laboratório da ANEEL em Brasília, depois da campanha, a partir dos filtros.

## 5.3. Medições "in situ" com a sonda CTD

Inclusive foram feitos diferentes testes com a sonda CTD no Rio Amazonas em Óbidos, para avaliar a precisão do material em diferentes condições de uso. Uma calibração da nova sonda CTD adquirida no âmbito do programa HiBAm, foi realizada com os três principais tipos d'água da bacia Amazônica. Com ela e a partir das relações (MES-turbidez), o objetivo futuro é permitir conhecer fluxos sedimentários sem passar pelas operações pesadas e demoradas de amostragem e filtração.

## 8. CONCLUSÃO GERAL

Cumprindo um dos objetivos das campanhas do projeto HiBAm, os dados "Amazonas'99" permitirão :

- completar as curvas-chaves das estações da rede do ANEEL (Figuras 3) na época da vazante,
- calibrar a nova sonda CTD com os principais tipos d'água da bacia Amazônica (águas "negras" : R. Negro, águas "brancas" : R. Solimões e Madeira, águas "claras" : R. Trombetas),
- avaliar o estado do Rio Amazonas e de seus principais tributários nesta área para entender os fenômenos de interligações com a várzea do Lago grande de Curuai na época da vazante.
- também foi dado um treinamento a um estudante da UFEI nos métodos de medição de vazão com ADCP, de amostragem d'água em seções de rios e coleta de dados "in situ" com sonda CTD.

Durante esta campanha, foram realizadas 30 medições de vazão com ADCP em 8 transects dos quais 4 são estações fluviométricas.

Oito amostras d'água para determinação dos elementos maiores foram coletadas. 10 perfis de estudo da matéria em suspensão totalizando 52 amostras de MES foram realizados com coletas em diferentes profundidades sobre três verticais a 25%, 50% e 75% de distância da margem esquerda de cada seção. Para cada vertical foram realizadas quatro determinações de parâmetros físico-químicos *in situ*.

**ANEXO 1 : ABREVIATURAS USADAS NO TEXTO**

ADCP	= Acoustic Doppler Current Profiler
ANEEL	= Agência Nacional de Energia Elétrica
CE = Cond.	= Condutividade Elétrica
CTD	= Sonda de medição em continu da condutividade eletrica, temperatura, turbidez e profundidade
CNPq	= Conselho Nacional de Pesquisa Científica
CPRM	= Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
EFEI	= Escola Federal de Engenharia de Itajuba
FUBRAS	= Fundação Franco Brasileira
GPS	= Geoposicionamento Por Satélite
HiBAm	= Hidrologia da Bacia Amazônica
MES	= Matéria Em Suspensão
IRD	= Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento
Temp.	= Temperatura
Turb.	= Turbidez
UnB	= Universidade de Brasília

## Anexo 2

**Localização das estações**

**de medição de vazão**

**e dos pontos de amostragem**

*(classificação por ordem cronológica)*

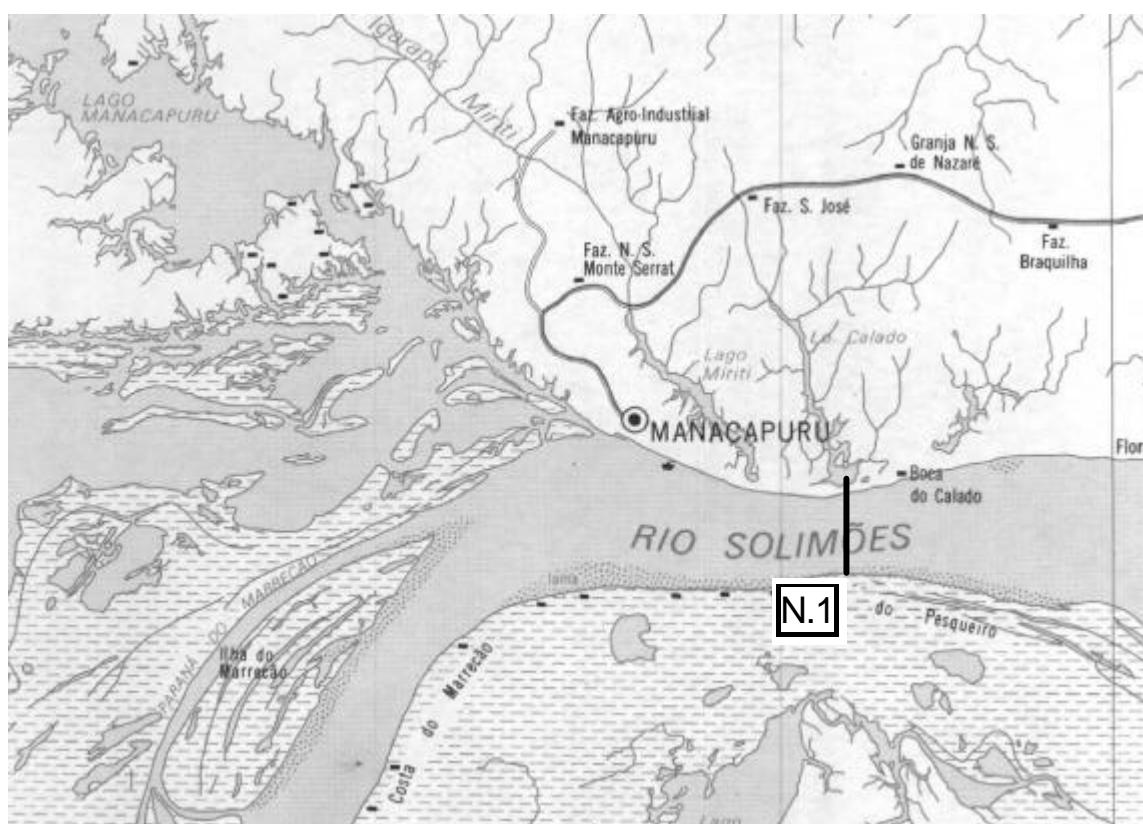
# **Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos**

**N.1 - Rio Solimões em Manacapuru (Amazonas) : 20/11/99**

Código ANEEL : 14 100 000

Margem esquerda	Lat. : S 03°18'48"	Long. : W 60°33'14"
Margem direita	Lat. : S 03°20'26"	Long. : W 60°33'07"

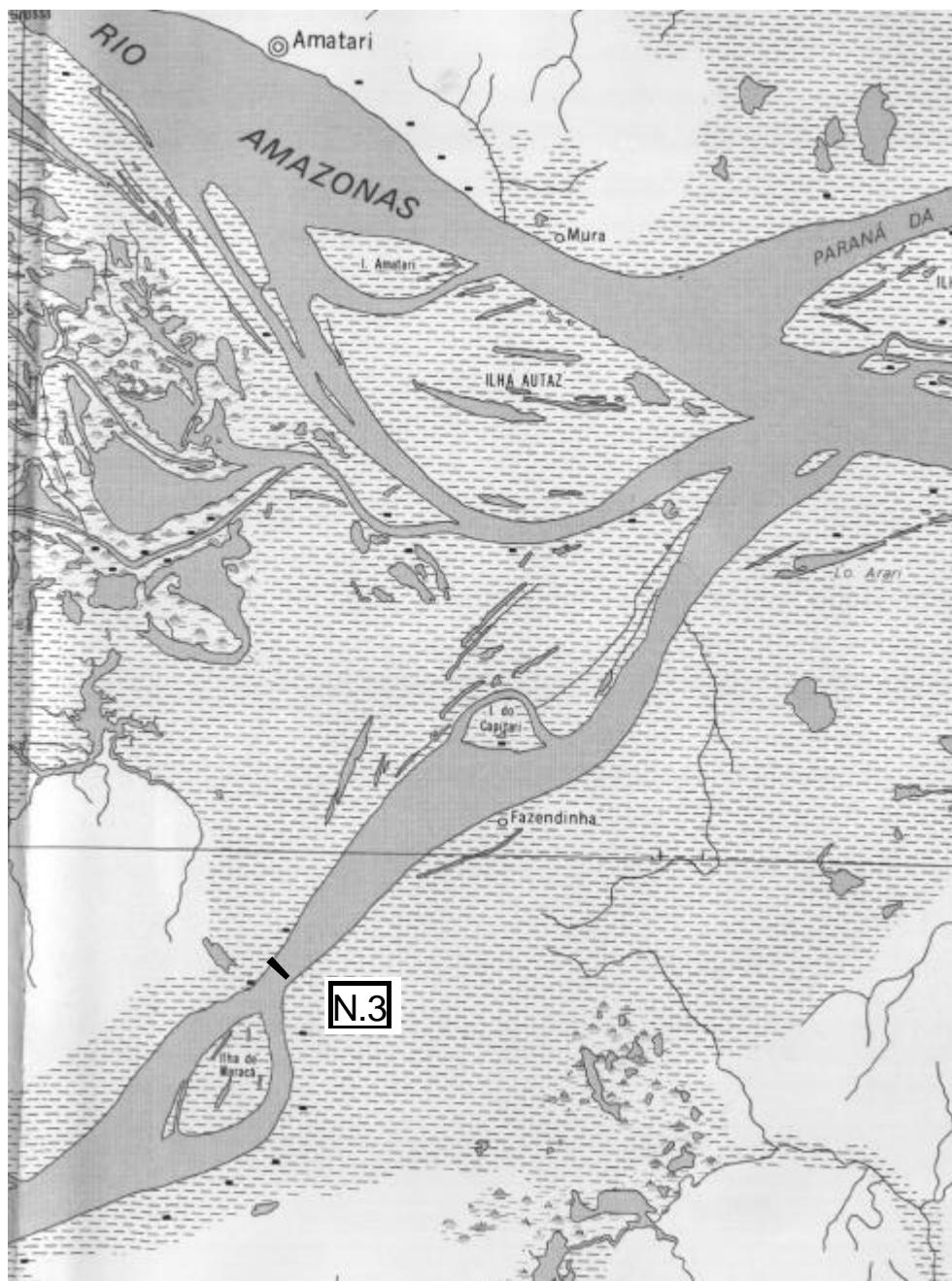
Perfil de amostragem 900; 1724 e 2427 m da margem esquerda



# Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos

N.2 - Rio Madeira na Foz (Amazonas) : 21/11/99

Margem esquerda	: Lat. : S 03°32,30'	Long. : W 58°55,03'
Margem direita	: Lat. : S 03°32,54'	Long. : W 58°54,36'
Perfis de amostragem	: Lat. : S 03°32,38'	Long. : W 58°54,52'
Perfis de amostragem	: Lat. : S 03°32,51'	Long. : W 58°54,43'
Perfis de amostragem	: Lat. : S 03°32,41'	Long. : W 58°54,54'

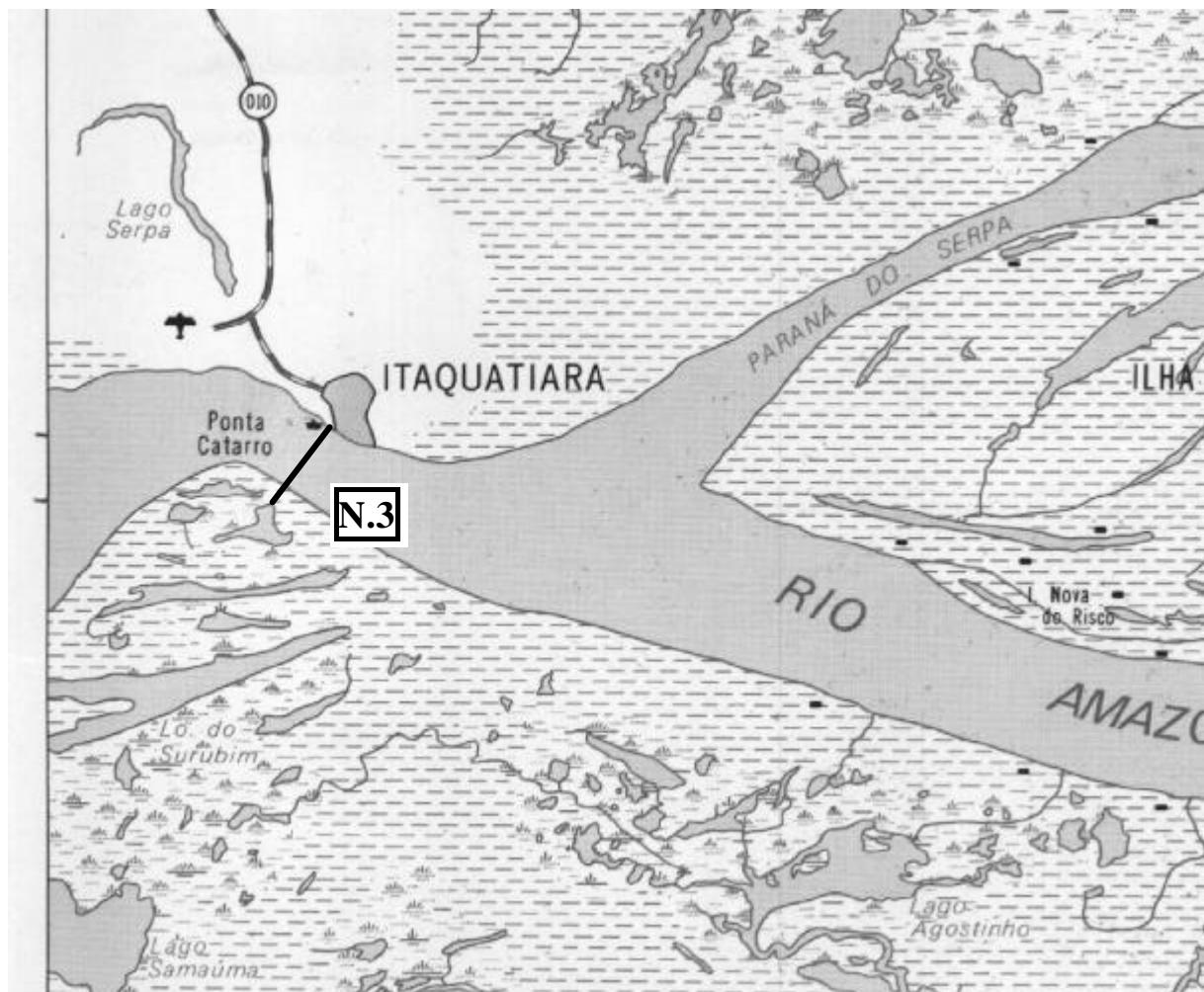


# Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos

N.3 - Rio Amazonas em Itacoatiara (Amazonas) : 22/11/99

Código ANEEL : 16 030 000

Margem esquerda : Lat. : S 03°09,02 ' Long. : W 58°26,41'  
Margem direita : Lat. : S 03°09,48' Long. : W 58°27,01'



# Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos

## N.4a - Rio Trombetas em Oriximiná (Pará) : 23/11/99

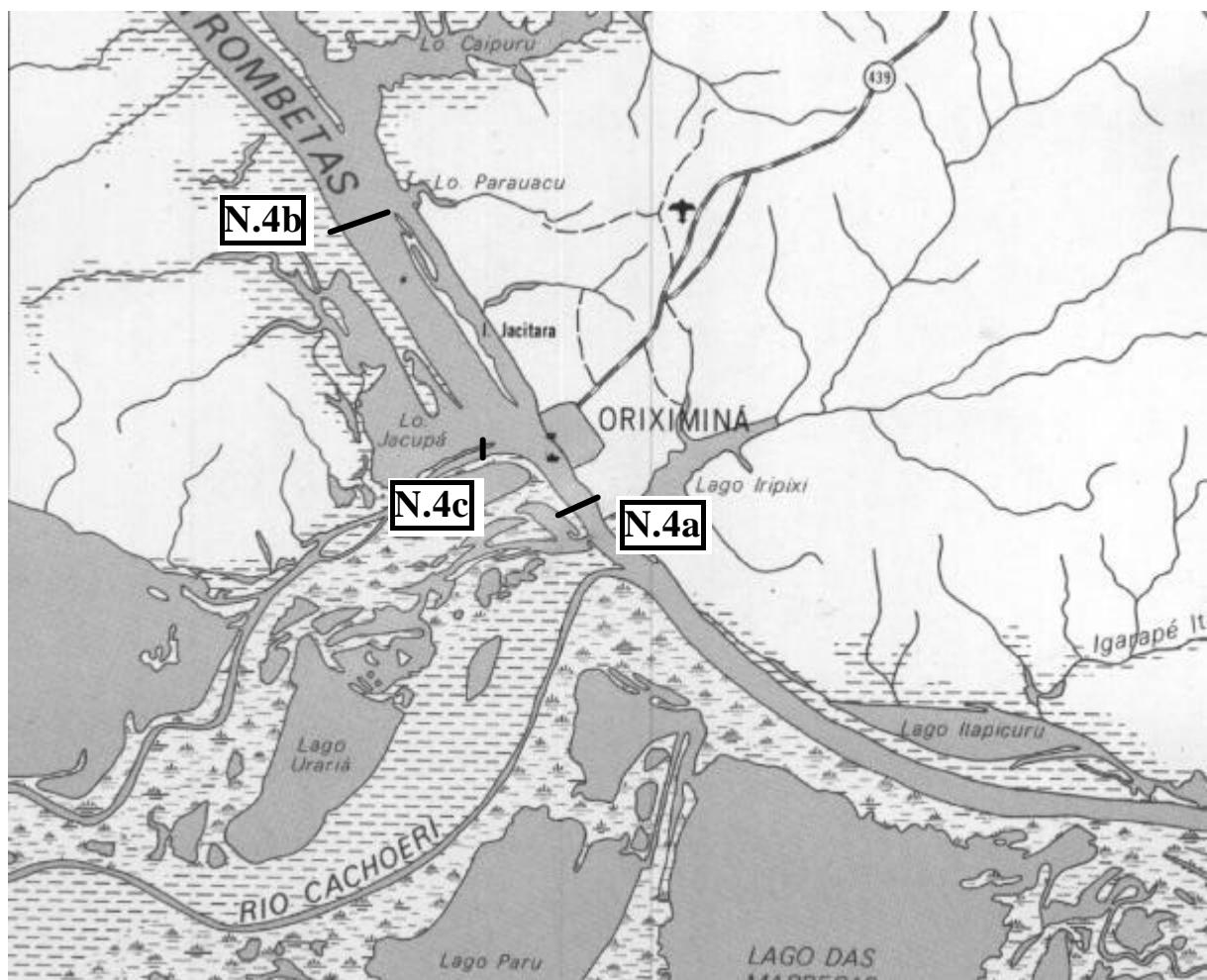
Código ANEEL	: 16 900 000	
Margem esquerda	: Lat. : S 01°46,41'	Long. : W 55°51,52'
Margem direita	: Lat. : S 01°46,49'	Long. : W 55°52,09'
Perfil de amostragem	: Lat. : S 01°46,45'	Long. : W 55°52,01'

## N.4b - Rio Trombetas a montante ilha Jacitara (Pará) : 23/11/99

Margem esquerda	: Lat. : S 01°42,47'	Long. : W 55°54,29'
Margem direita	: Lat. : S 01°43,02'	Long. : W 55°55,04'
Perfil de amostragem	: Lat. : S 01°42,58'	Long. : W 55°54,46'

## N.4c - Rio Nhamunda na foz (Pará) : 23/11/99

Margem esquerda	: Lat. : S 1°46,18'	Long. : W 55°52,56'
Margem direita	: Lat. : S 1°46,22'	Long. : W 55°52,58'



# Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos

N.5 - Rio Amazonas em Óbidos (Pará) : 24/11/99

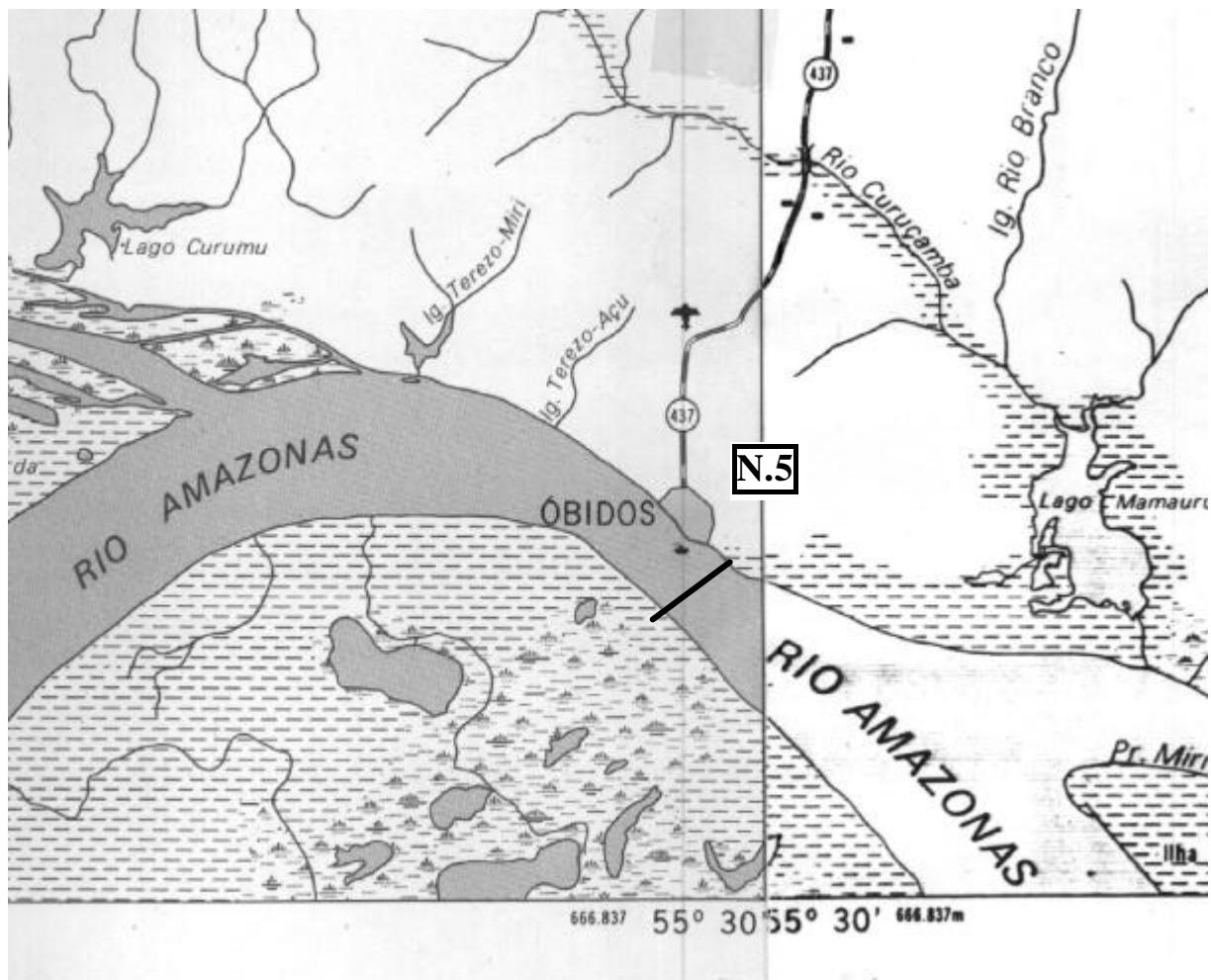
Código ANEEL : 17 050 001

Margem esquerda : Lat. : S 01°55,49'  
Margem direita : Lat. : S 01°56,46'

Long. : W 55°29,45'  
Long. : W 55°30,40'

Perfis de amostragem : Lat. : S 01°56,16'  
Perfis de amostragem : Lat. : S 01°56,22'  
Perfis de amostragem : Lat. : S 01°56,39'

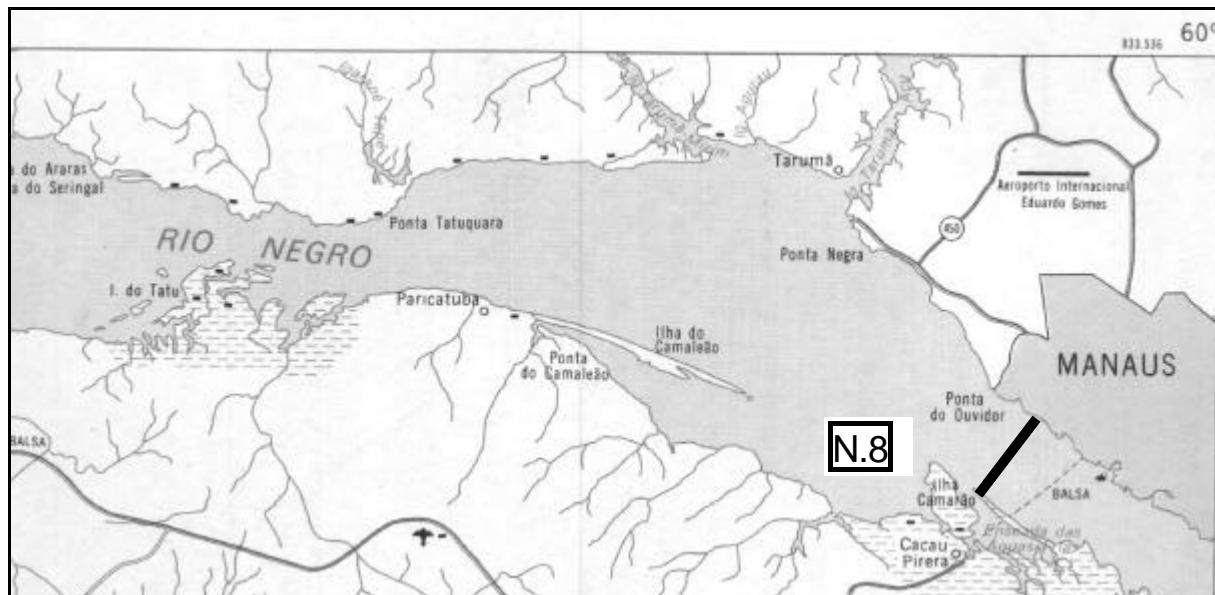
Long. : W 55°29,52'  
Long. : W 55°30,15'  
Long. : W 55°30,32'



# Medição de vazão Amostragem d'água e de sedimentos

N.8 - Rio Negro em Caixa d'água (Amazonas) : 26/11/99

Margem esquerda	Lat. : S 03°06,55'	Long. : W 60°03,39'
Margem direita	Lat. : S 03°07,56'	Long. : W 60°04,54'
Perfil de amostragem	Lat. : S 03°07,23'	Long. : W 60°04,29'



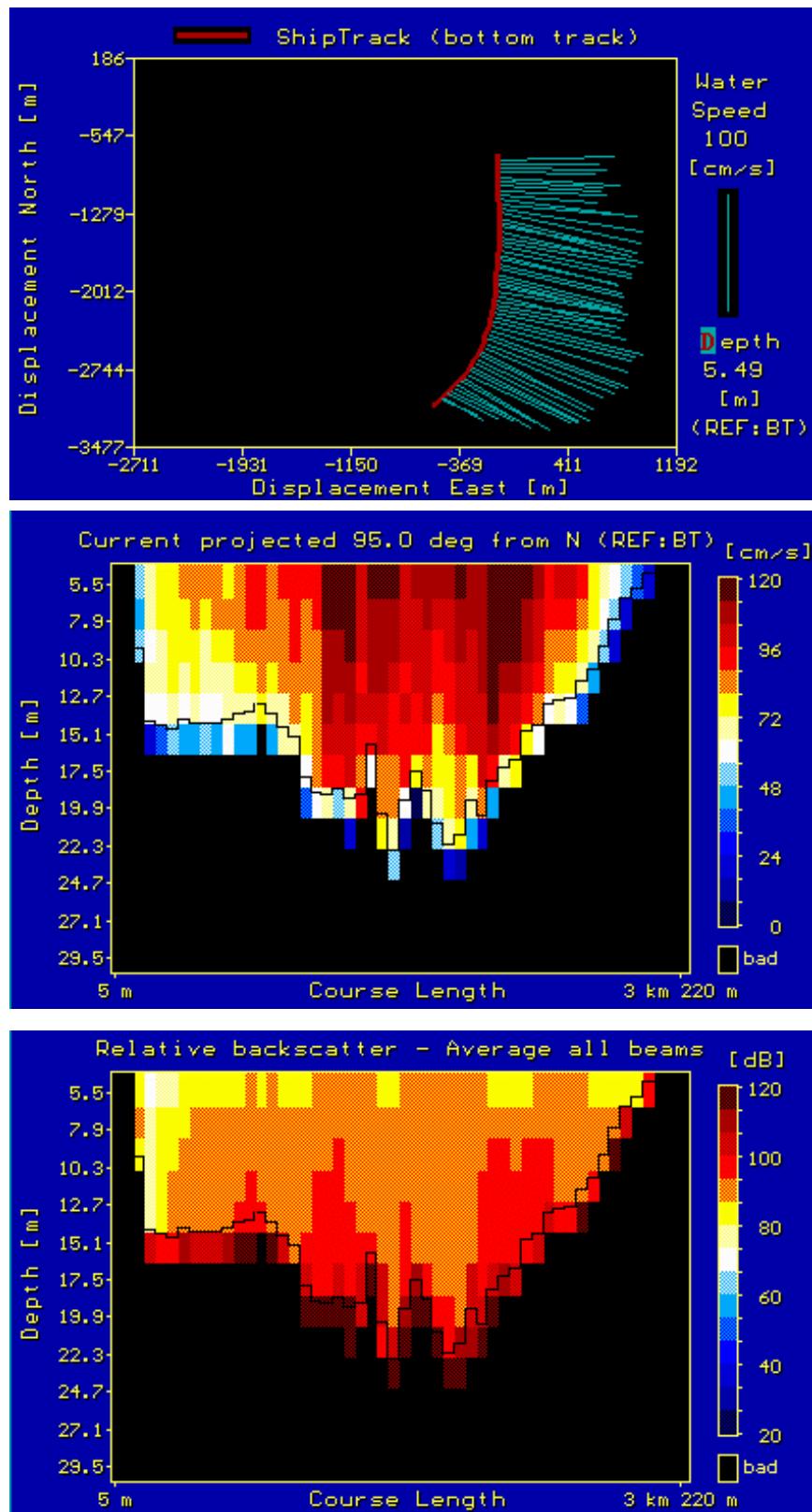
## Anexo 3

### **Gráficos de medições de vazão com ADCP**

*(classificação por ordem cronológica)*

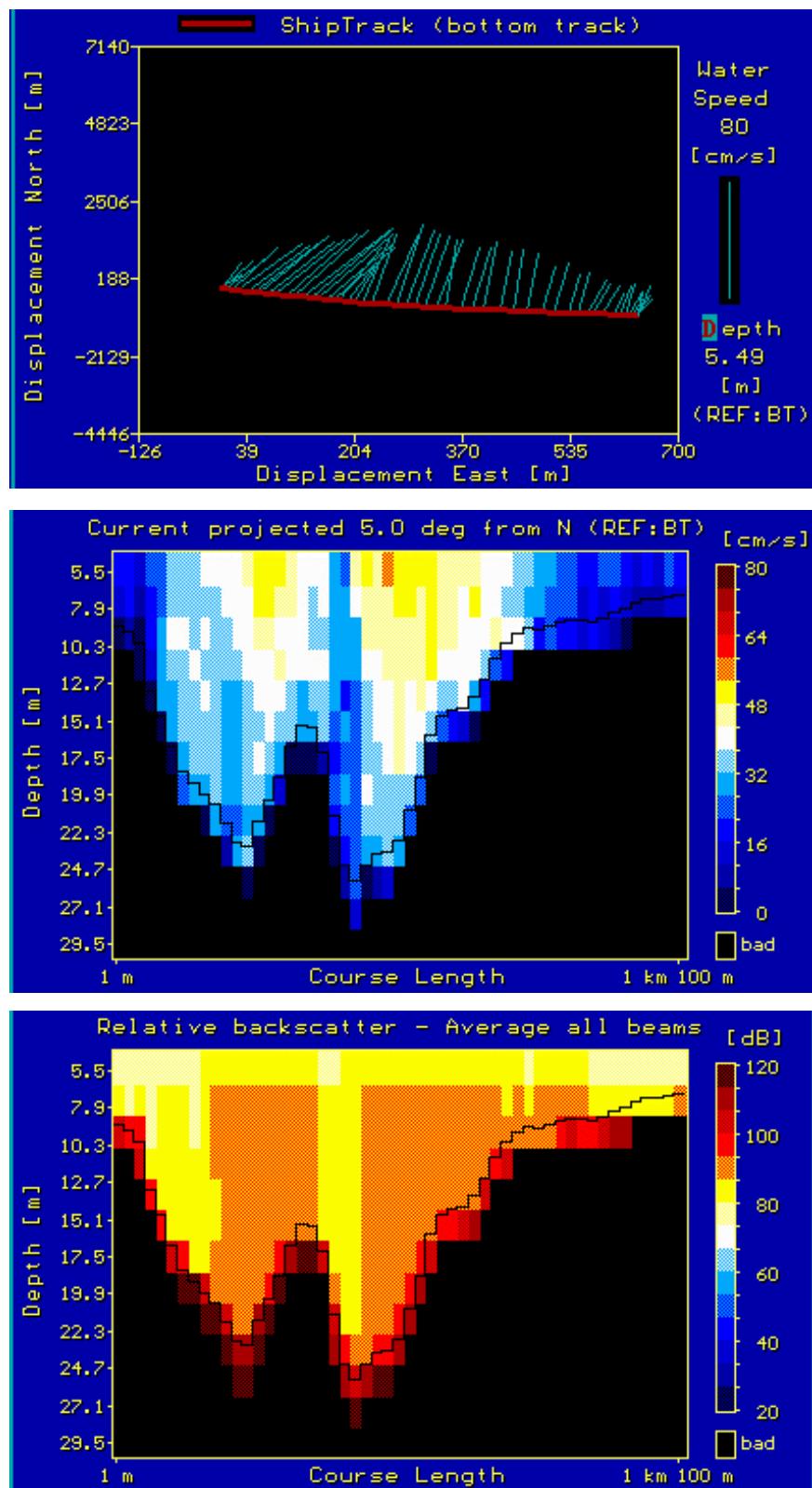
### N.1 - Rio Solimões em Manacapuru (AM)

[20/11/99 - 51 000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - transect MANA001R]



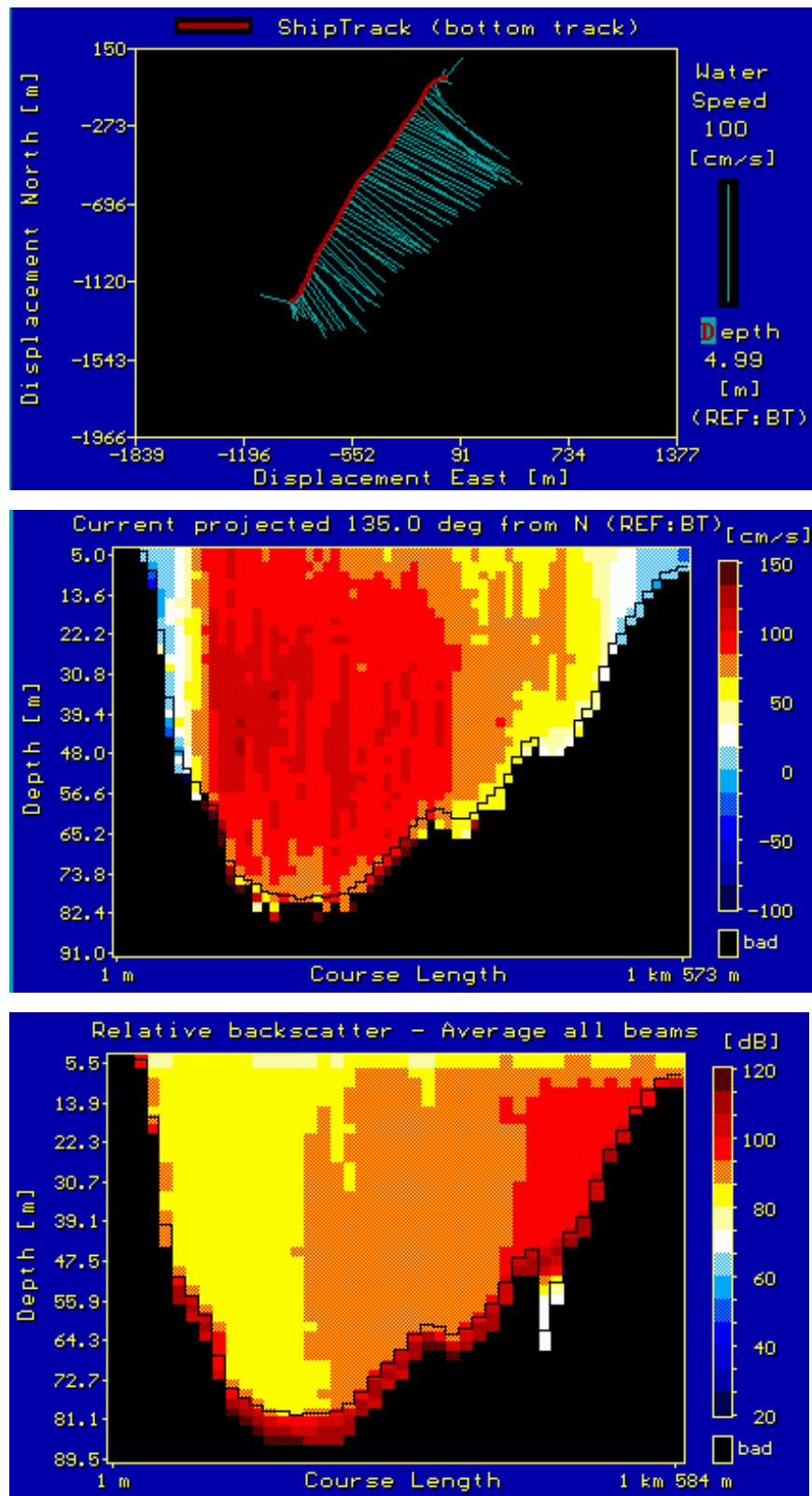
## N. 2 - Rio Madeira na foz (AM)

[21/11/99 - 8 310 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - transect MADE002R]



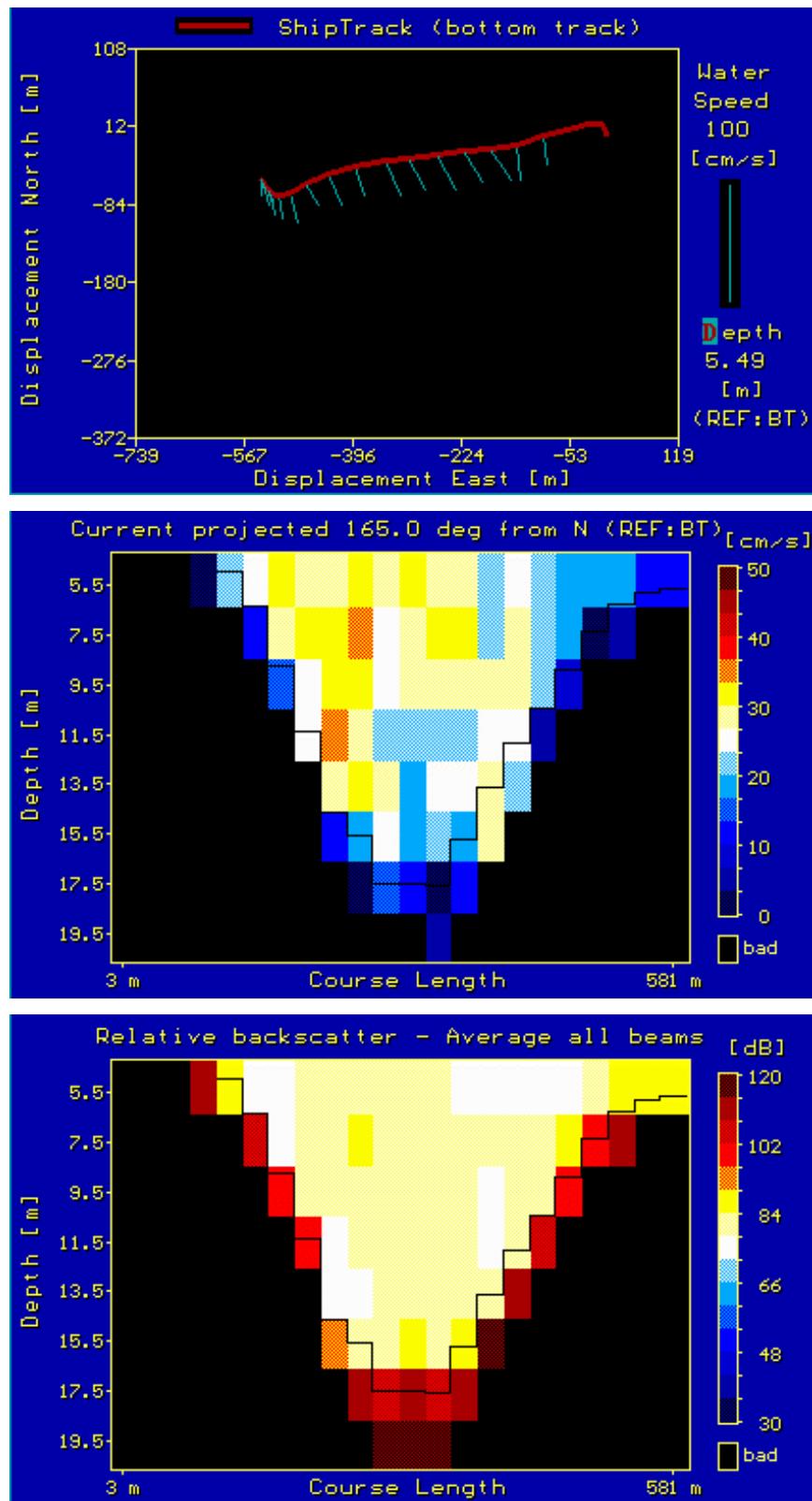
### N.3 - Rio Amazonas em Itacoatiara (AM)

[21/11/99 -  $78\ 960\ m^3.s^{-1}$  - transect ITAC002R]



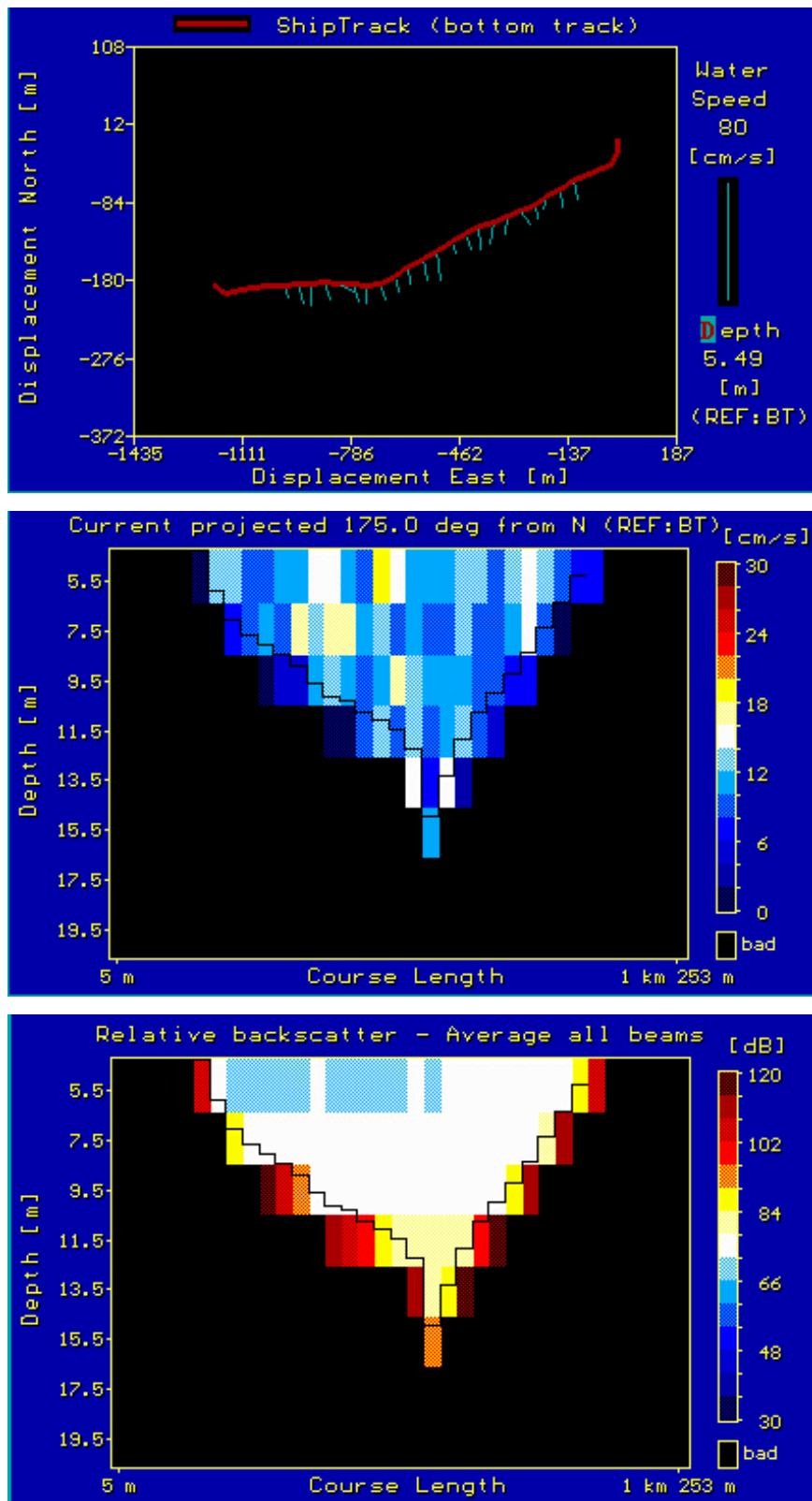
### N. 4a - Rio Trombetas em Oriximiná (PA)

[23/11/99 -  $1\ 950\ m^3.s^{-1}$  - transect TROMB001R]



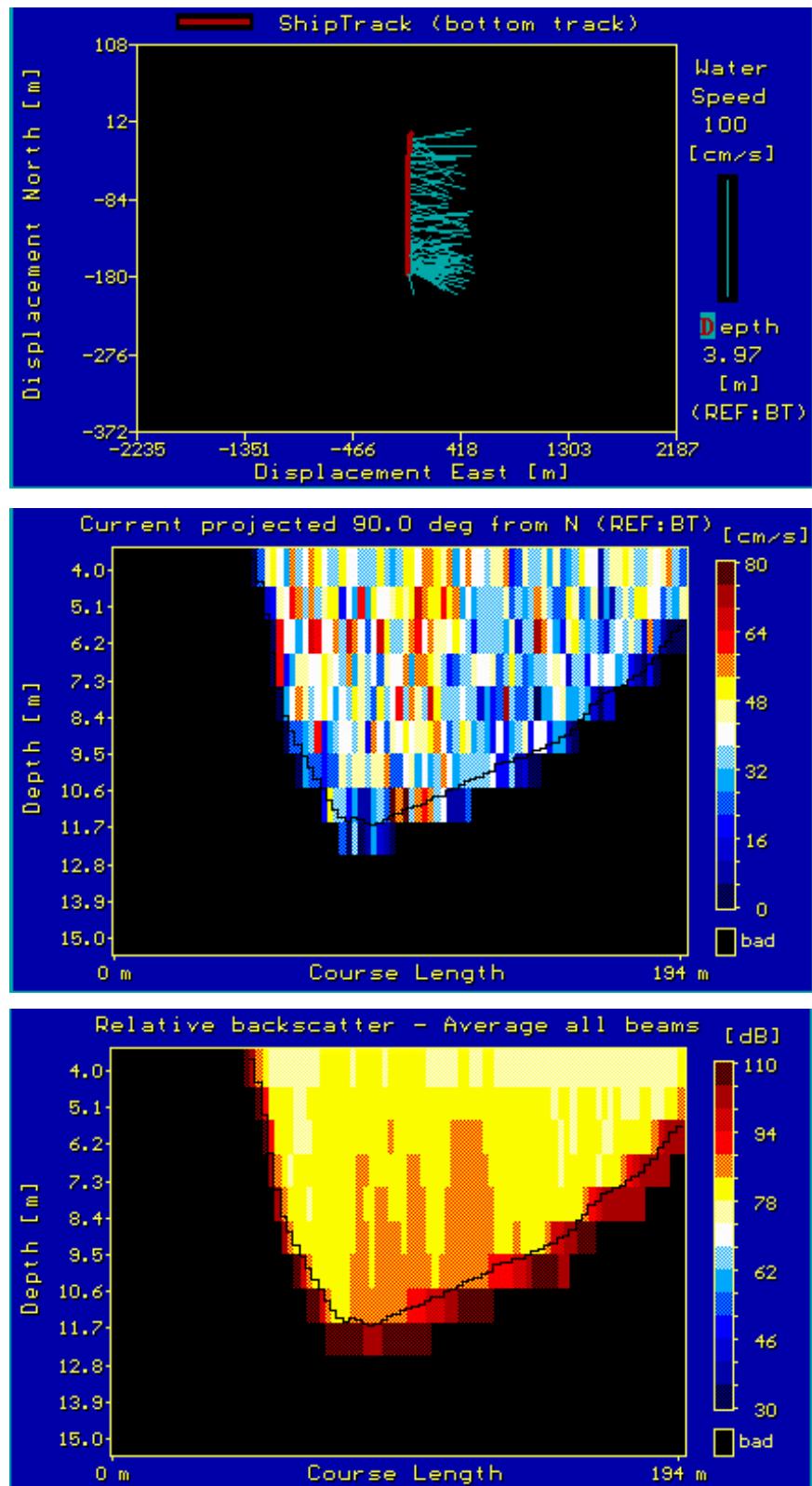
### N. 4b - Rio Trombetas a montante Ilha Jacitara (PA)

[23/11/99 - 1 225 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - transect TMON001R]



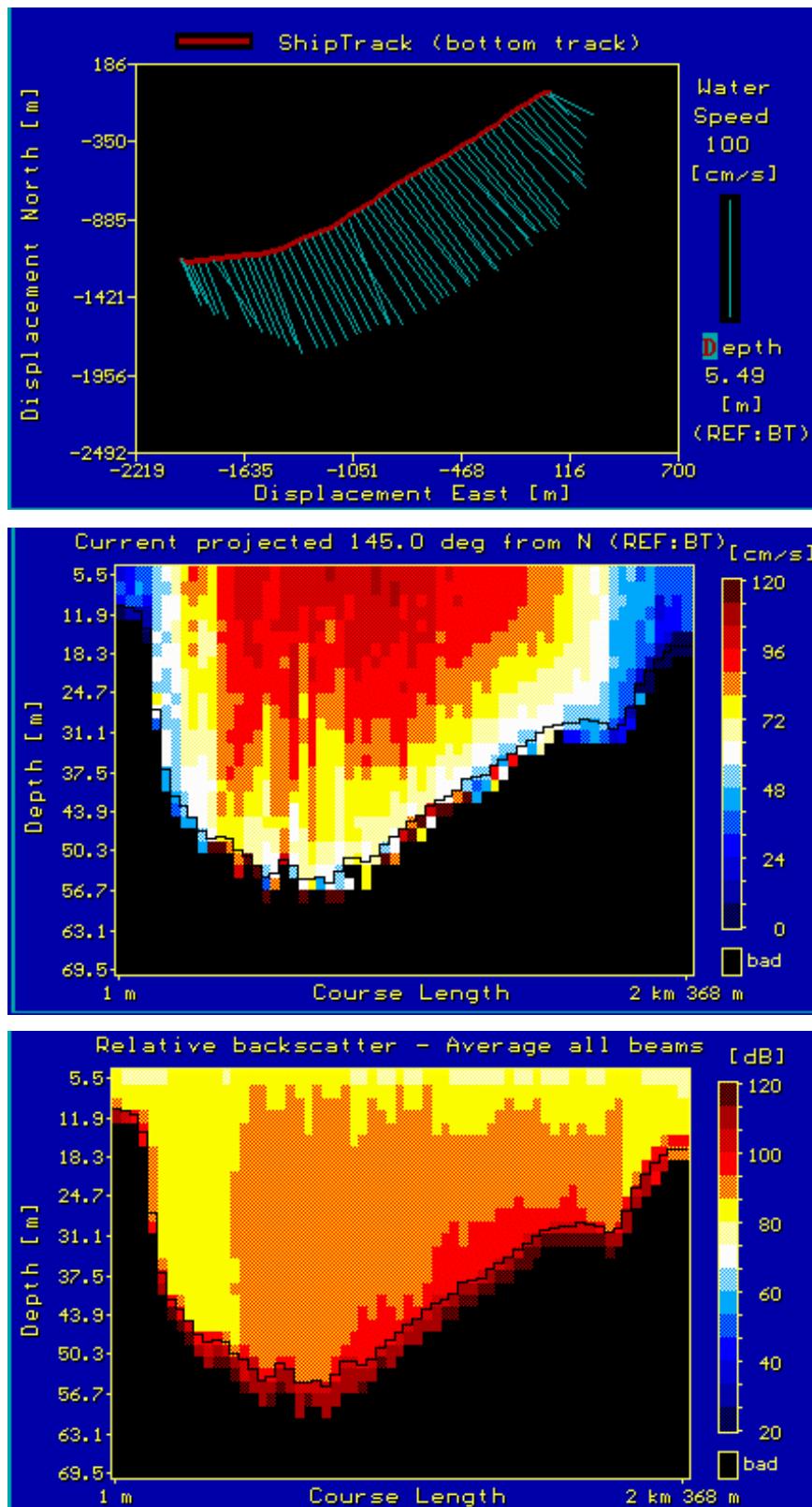
### N. 4c - Rio Nhamunda na foz (PA)

[23/11/99 -  $765 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  - transect NHAM001R]



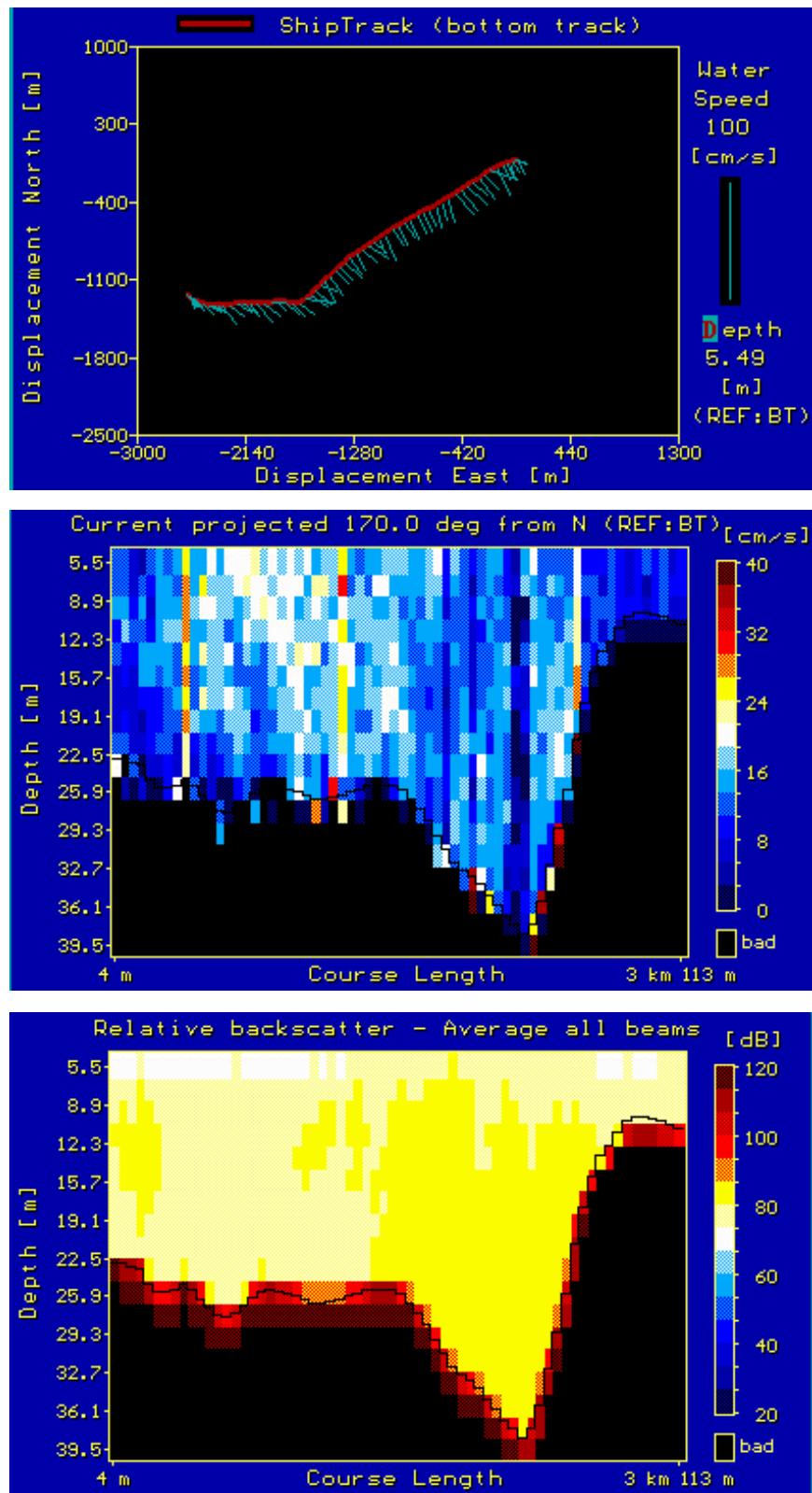
## N.5 - Rio Amazonas em Óbidos (PA)

[24/11/99 - 85 500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - transect OBID001R]



## N. 8 - Rio Negro em Caixa d'agua (AM)

[26/11/99 - 14 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - transect NEGR001R]



## Campagne n°3 sur la Varzéa d'Obidos

### 21-24/11/1999

#### **A. Rappel des objectifs généraux :**

Le lit majeur (zones d'inondation latérales par rapport au lit mineur qui est l'axe principal d'écoulement) joue un rôle important tant dans la dynamique hydraulique, sédimentaire et géochimique du Fleuve Amazone, que dans le développement des écosystèmes « zones humides ».

Le but de l'étude d'une varzéa de taille significative à l'échelle du Fleuve est :

1. de caractériser et si possible quantifier les flux d'eau, de matières en suspension et de matières dissoutes entrant dans et sortant de la varzéa,
2. d'étudier les processus sous-tendant ces transformations :
  - évaporation, infiltration, apports du bassin, circulations, échanges fleuve-varzéa pour l'hydrologie ;
  - dépôts, transformations, remises en suspension et exportation pour la sédimentologie,
  - fixations, échanges eau - fond, activité biotique pour la géochimie
3. de confronter la dynamique actuelle de la varzéa d'une part avec les mesures effectuées sur le Fleuve (évolution de la géochimie des eaux d'amont en aval) et d'autre part avec les connaissances sédimentologiques (datation des dépôts sédimentaires et quantification de leur rythme).

La varzéa du Lago Grande a été choisie pour sa taille, significative à l'échelle du Bassin et du cours aval de l'Amazone (il s'agit de la zone intérieure d'une courbe de 120 km du Fleuve), pour sa diversité morphologique (série de lacs interconnectés, sous-systèmes en eau blanche en permanence, sous-systèmes en eaux noires en permanence ou sur une partie de l'année, ...), en raison de travaux qui y ont déjà été réalisés (datation de carottes de sédiments, existence d'une échelle d'une station limnimétrique et pluviométrique depuis 1982) et enfin pour des arissons pratiques (accès aisément à partir de Santarem et Obidos, possibilité de couplage du suivi avec des campagnes de mesure à Obidos et sur l'Amazone aval)

Une discussion est actuellement en cours au sein du Programme pour sélectionner une varzéa moins complexe, i.e. plus petite et homogène, où l'on pourrait caractériser de façon aussi « exhaustive » que possible le milieu environnant de façon à étudier en détail les processus.

#### **B. Rappel des campagnes précédentes**

Deux campagnes ont été menées sur la Varzéa du Lago Grande de Curuai en mars 99 et juillet 99.

La campagne de mars 1999 avait pour objectifs :

- le repérage de la varzéa,
- la réalisation de mesures (Profondeur, température, pH, conductivité) en une vingtaine de points représentatifs
- l'analyse de ses entrées et sorties et si possible des mesures de débits,
- la mise en place d'un dispositif de mesure des niveaux et d'échantillonnage décadaire de la qualité des eaux, par un réseau d'observateurs.

La seconde campagne réalisée en juillet 1999, en période de hautes eaux, avait pour objectifs :

- la quantification des débits d'entrée et sortie,
- la réalisation de mesures (Profondeur, température, pH, conductivité et turbidité) en une vingtaine de points représentatifs
- le recueil des données sur les niveaux et des échantillons d'eau,
- le paiement des observateurs

#### **Etat des connaissances**

La varzéa a une surface totale en eau de XXX km<sup>2</sup>. Cette surface change avec le niveau de l'eau mais demeure relativement constante du fait d'une topographie de style « cylindrique » des plans d'eau

La variation de niveau au cours d'une saison est de l'ordre de 3 à 5m selon l'année.

### C. Campagne de Novembre 1999

Cette campagne de mesures a été réalisée du 21 au 24/11/1999. Y ont participé :

Patrick Seyler	IRD Brasilia
Pascal Kosuth	IRD Brasilia
Patricia Turcq	
Laurence Bourgoin Maurice	
Marc Benedetti	
Thierry Allard	
Gutemberg Menezes da Silva	ANEEL - CPRM Brasilia
Pedro XXX	CPRM Rio de Janeiro

#### C.1. Situation de la varzéa

Lors de la campagne de mesure effectuée en basses eaux du 21 au 24/11/1999 le niveau du Fleuve à l'échelle d'Obidos était de XXX m et le niveau à l'échelle de Curuai était Curuai de 422 cm

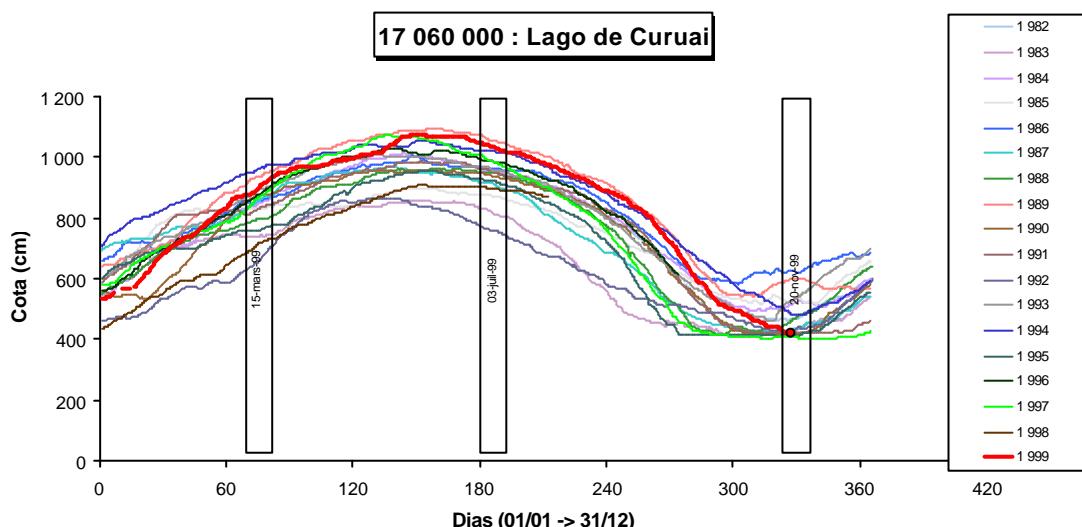


Figure 1 : Courbes de niveau d'eau à l'échelle de Curuai de 1982 à 1999. Les 3 campagnes de mesure de 1999 sont indiquées ainsi que le niveau de l'eau au 24/11/1999

On se trouve donc dans la configuration d'un niveau très bas après une crue très forte. Deux conséquences directes ont été d'une part la difficulté de circuler au sein de la Varzéa et d'autre part l'influence de l'effet de la marée à l'embouchure aval du Lago Grande de Curuai.

La varzéa était en phase de vidange comme l'indique à la fois son niveau décroissant et le sens des écoulements observé (vidange par l'embouchure aval du Lago Grande et vidange également par l'Igarapé do Salé). Seules ces deux communications avec le Fleuve étaient encore en eau, les autres étant à sec.

La circulation en canot coque alu (nécessitant un tirant d'eau de 0.50m) n'a été possible que sur la partie est de la Varzéa. Des points hauts (tirant d'eau à 0.35m) ont été rencontrés

**C.2. Mesure de débit sortant du Lago Grande de Curuai par sa sortie aval les 23 et 24/11/1999**  
**Pascal Kosuth 01/12/99**

**Rappel des objectifs :**

L'étude de la dynamique hydrologique, sédimentologique et géochimique de la varzéa du Lago Grande de Curuai, situé au sud d'Obidos, implique la quantification des flux d'eau, de matières en suspension et de matières dissoutes entrant et sortant de la varzéa, ainsi que l'étude des divers processus ayant lieu au sein de la varzéa.

Les mesures réalisées les 23 et 24 novembre 1999 à la sortie aval du Lago Grande de Curuai avaient pour objectif de quantifier le flux d'eau de façon à le mettre en relation avec les niveaux à Curuai et Obidos et à établir, à terme une loi de remplissage et vidange de la varzéa.

Seules deux communications de la Varzéa avec le Fleuve étaient en eau à ces dates : L'igarapé do Salé à l'amont qui s'écoulait dans le sens Varzéa vers Fleuve (vidange de la varzéa), et la Foz do Lago Grande de Curuai qui s'écoulait dans le sens global Varzéa vers Fleuve (vidange de la varzéa) mais avec des périodes d'inversion du sens de l'écoulement dues à l'effet de la marée

Une des difficultés rencontrées en basses eaux pour quantifier les flux provient en effet de l'influence de la marée océanique qui génère des fluctuations du niveau dans le Fleuve (20 cm à cette date correspondant à la pleine lune). Une mesure instantanée du débit ne peut donner des résultats fiables puisqu'à certains moments le débit est positif (sortant du Lago Grande) et à d'autres négatif (entrant dans le Lago Grande). Les mesures de débit doivent donc prendre en compte cette variation sur 12h30.

Des mesures de niveau et de débits (avec l'ADCP 1200 KHz de la CPRM) ont été effectuées sur les deux bras de sortie du Lago Grande de Curuai les 23 et 24/11/99. Un premier travail de mesure a été effectué le 23/11/99 entre 11h00 et 14h00 locales. Puis un second travail a été réalisé le 24/11/99 entre 10h00 et 15h00 locales, englobant la phase marée haute et la phase marée basse, et en conséquence les débits extrêmes. Deux échelles de lecture des niveaux (une sur le bras sud et une sur le bras nord) ont été temporairement mises en place.

Les tableaux 1 et 2 récapitulent respectivement les résultats des mesures de niveau et de débits

La Figure 1 présente ces mêmes mesures de niveau et débit sous forme graphique.

**Débits et niveau mesurés à la sortie du Lago Grande de Curuai 23 et 24/11/99**

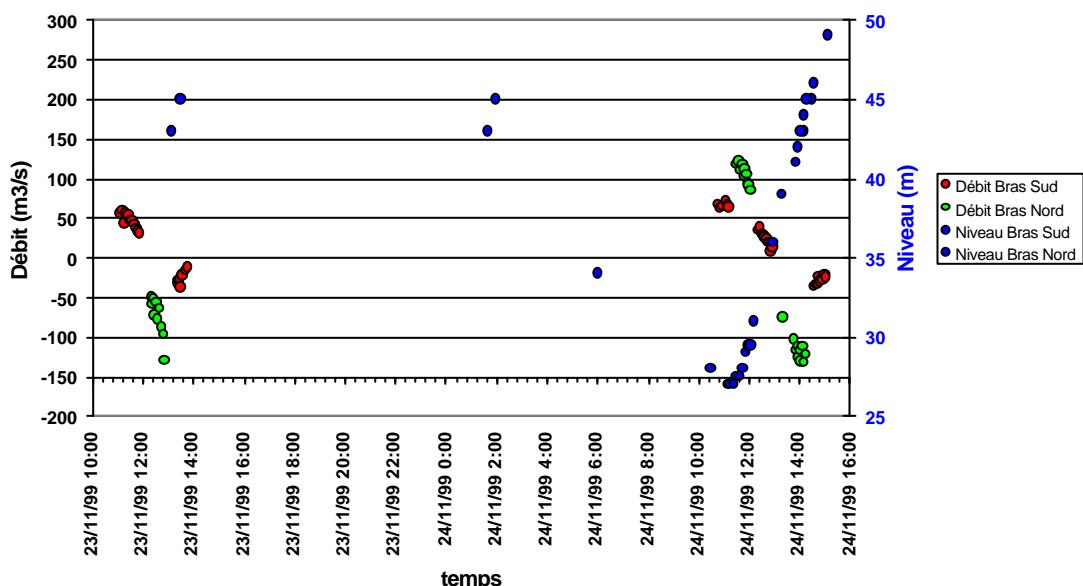


Figure 1 : résultats des mesures de niveau et débits réalisées à la sortie du Lago Grande de Curuai les 23 et 24/11/99

La Figure 2 présente les courbes de niveau et débit interpolées à partir des mesures.

Débits et niveau à la sortie du Lago Grande de Curuai 23 et 24/11/99

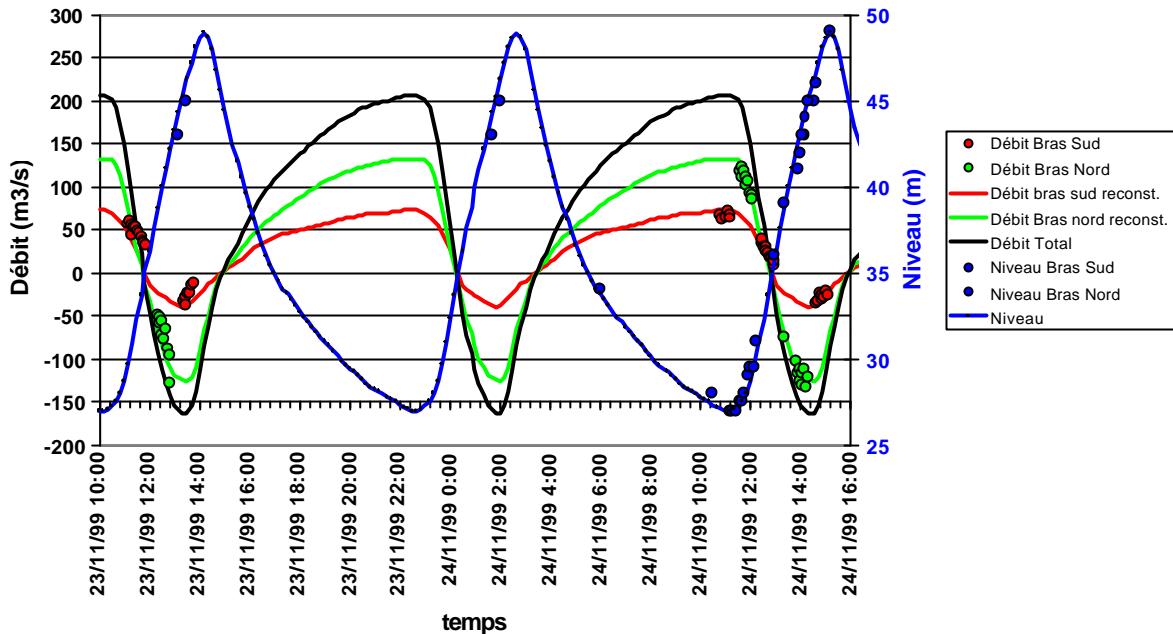


Figure 2 : Courbes de niveaux et débits interpolés à partir des mesures de terrain les 23 et 24/11/99 en sortie du Lago Grande de Curuai.

- L'interpolation des niveaux est assez fiable grâce à la mesure effectuée en phase de descente des eaux le 24/11/99 à 6h00.
- En revanche les extrapolations de débit ne bénéficiaient pas d'une telle mesure et souffrent donc d'une légère incertitude sur la dynamique des débits en phase de marée descendante. Nous avons par ailleurs fait l'hypothèse que les débits s'annulaient simultanément sur les deux bras

Comme on peut le constater sur la Figure 2 l'amplitude de la marée dans le Fleuve à la sortie du Lago Grande est supérieure à 20 cm (on était en phase de pleine lune avec une amplitude de marée à l'océan, soit 855 km à l'aval, de l'ordre de 4m). Les chroniques de débit sur les deux bras semblent synchrones au vu des mesures.

**Le débit moyen total à la Foz do Lago Grande est un débit de vidange de 81 m<sup>3</sup>/s réparti entre 40% sur le bras sud et 60% sur le bras nord.** Cette valeur de débit moyen est assortie d'une incertitude de l'ordre de 20% en raison de l'absence de mesure de débit au cours de la phase de décroissance du niveau.

Le débit total est négatif (entrant du Fleuve vers la Varzéa) pendant 3h10 par cycle de marée. Cela représente un volume entrant depuis le Fleuve de 1,2 million de m<sup>3</sup> pour chaque cycle de marée.

Ainsi pendant un cycle de marée, partant de la marée basse, la varzéa commence par recevoir 1,2 million de m<sup>3</sup> du Fleuve pendant 3h10, puis elle se vidange pendant 9h20 d'abord de ces 1,2 millions de m<sup>3</sup> « du fleuve » puis de 3,65 millions de m<sup>3</sup> d'eau « de la varzéa ».

Globalement la varzéa se vidange par la foz do Lago Grande de Curuai de 7 millions de m<sup>3</sup> par jour.

#### Cohérence entre mesures de débit et dynamique du niveau de la Varzéa

Si l'on considère une surface totale de l'ordre de 1500 km<sup>2</sup> cela correspond à une baisse quotidienne de niveau de l'ordre de 5mm par jour. Le calcul doit être affiné pour prendre en compte les pluies, l'évaporation et les apports des rivières du bassin.

Date et heure	Niveau (cm)
23/11/99 13:10	43
23/11/99 13:30	45
24/11/99 6:00	34
24/11/99 10:30	28
24/11/99 11:10	27
24/11/99 11:15	27
24/11/99 12:13	31
24/11/99 12:58	36
24/11/99 14:35	46
24/11/99 15:08	49

Tableau 1 : Mesures de niveau à la sortie du Lago Grande de Curuai les 23 et 24/11/1999

*Rapport de Campagne Varzéa du Lago Grande de Curuai / Novembre 1999*  
*Rapp\_Varzéa\_1199.doc 02/12/99*

Heure début	Heure fin	Heure moyenne	Trajet Bateau	Nom fichier ADCP	Débit Bras Sud (m3/s)	Débit Bras Nord (m3/s)
23/11/99 11:06	23/11/99 11:10	23/11/99 11:08	MD-ME	FOZC1	56.7	
23/11/99 11:12	23/11/99 11:15	23/11/99 11:13	ME-MD	FOZC2	59.4	
23/11/99 11:15	23/11/99 11:18	23/11/99 11:16	MD-ME	FOZC3	43.3	
23/11/99 11:18	23/11/99 11:21	23/11/99 11:19	ME-MD	FOZC4	55.7	
23/11/99 11:22	23/11/99 11:25	23/11/99 11:23	MD-ME	FOZC5	52.1	
23/11/99 11:27	23/11/99 11:29	23/11/99 11:28	ME-MD	FOZC6	53.6	
23/11/99 11:30	23/11/99 11:33	23/11/99 11:31	MD-ME	FOZC7	47.9	
23/11/99 11:34	23/11/99 11:37	23/11/99 11:35	ME-MD	FOZC8	45.5	
23/11/99 11:40	23/11/99 11:43	23/11/99 11:41	MD-ME	FOZC9	42.2	
23/11/99 11:44	23/11/99 11:46	23/11/99 11:45	ME-MD	FOZC10	37	
23/11/99 11:47	23/11/99 11:49	23/11/99 11:48	MD-ME	FOZC11	33.7	
23/11/99 11:52	23/11/99 11:54	23/11/99 11:53	ME-MD	FOZC12	31.7	
23/11/99 12:20	23/11/99 12:22	23/11/99 12:21	ME-MD	FOZN1		-50
23/11/99 12:23	23/11/99 12:25	23/11/99 12:24	MD-ME	FOZN2		-58.8
23/11/99 12:26	23/11/99 12:28	23/11/99 12:27	ME-MD	FOZN3		-51.3
23/11/99 12:29	23/11/99 12:31	23/11/99 12:30	MD-ME	FOZN4		-72.5
23/11/99 12:32	23/11/99 12:34	23/11/99 12:33	ME-MD	FOZN5		-55.9
23/11/99 12:34	23/11/99 12:37	23/11/99 12:35	MD-ME	FOZN6		-77.2
23/11/99 12:38	23/11/99 12:41	23/11/99 12:39	ME-MD	FOZN7		-64.4
23/11/99 12:43	23/11/99 12:46	23/11/99 12:44	MD-ME	FOZN8		-87.5
23/11/99 12:47	23/11/99 12:50	23/11/99 12:48	ME-MD	FOZN9		-96.8
23/11/99 12:51	23/11/99 12:53	23/11/99 12:52	MD-ME	FOZN10		-129.2
		23/11/99 13:10				
23/11/99 13:22	23/11/99 13:24	23/11/99 13:23	MD-ME	FOZC13		-32.3
23/11/99 13:25	23/11/99 13:27	23/11/99 13:26	ME-MD	FOZC14		-28.7
23/11/99 13:27	23/11/99 13:29	23/11/99 13:28	MD-ME	FOZC15		-27.8
23/11/99 13:29	23/11/99 13:31	23/11/99 13:30	ME-MD	FOZC16		-37.3
23/11/99 13:32	23/11/99 13:34	23/11/99 13:33	MD-ME	FOZC17		-22.6
23/11/99 13:34	23/11/99 13:37	23/11/99 13:35	ME-MD	FOZC18		-22.7
23/11/99 13:41	23/11/99 13:44	23/11/99 13:42	MD-ME	FOZC19		-15.4
23/11/99 13:45	23/11/99 13:47	23/11/99 13:46	ME-MD	FOZC20		-11.4
24/11/99 10:45	24/11/99 10:48	24/11/99 10:46	ME-MD	FOZC22		67
24/11/99 10:50	24/11/99 10:52	24/11/99 10:51	MD-ME	FOZC23		62.9
24/11/99 10:58	24/11/99 11:01	24/11/99 10:59	ME-MD	FOZC24		64.5
24/11/99 11:04	24/11/99 11:07	24/11/99 11:05	MD-ME	FOZC25		71.5
24/11/99 11:08	24/11/99 11:10	24/11/99 11:09	ME-MD	FOZC26		67.8
24/11/99 11:11	24/11/99 11:13	24/11/99 11:12	MD-ME	FOZC27		63.5
24/11/99 11:31	24/11/99 11:35	24/11/99 11:33	MD-ME	FOZN11		117.7
24/11/99 11:36	24/11/99 11:39	24/11/99 11:37	ME-MD	FOZN12		121.9
24/11/99 11:40	24/11/99 11:43	24/11/99 11:41	MD-ME	FOZN13		110.8
24/11/99 11:44	24/11/99 11:46	24/11/99 11:45	ME-MD	FOZN14		118
24/11/99 11:47	24/11/99 11:49	24/11/99 11:48	MD-ME	FOZN15		102.5
24/11/99 11:50	24/11/99 11:52	24/11/99 11:51	ME-MD	FOZN16		112.1
24/11/99 11:53	24/11/99 11:56	24/11/99 11:54	MD-ME	FOZN17		105.5
24/11/99 11:57	24/11/99 12:00	24/11/99 11:58	ME-MD	FOZN18		93.5
24/11/99 12:00	24/11/99 12:03	24/11/99 12:01	MD-ME	FOZN19		91.2
24/11/99 12:04	24/11/99 12:06	24/11/99 12:05	ME-MD	FOZN20		85.2
24/11/99 12:24	24/11/99 12:26	24/11/99 12:25	MD-ME	FOZC28		34.3
24/11/99 12:27	24/11/99 12:29	24/11/99 12:28	ME-MD	FOZC29		37.8
24/11/99 12:30	24/11/99 12:33	24/11/99 12:31	MD-ME	FOZC30		29.3
24/11/99 12:34	24/11/99 12:37	24/11/99 12:35	ME-MD	FOZC31		28.5
24/11/99 12:38	24/11/99 12:40	24/11/99 12:39	MD-ME	FOZC32		26
24/11/99 12:41	24/11/99 12:44	24/11/99 12:42	ME-MD	FOZC33		23.3
24/11/99 12:45	24/11/99 12:47	24/11/99 12:46	MD-ME	FOZC34		19.2
24/11/99 12:48	24/11/99 12:50	24/11/99 12:49	ME-MD	FOZC35		18.9
24/11/99 12:52	24/11/99 12:55	24/11/99 12:53	MD-ME	FOZC36		8.2
24/11/99 12:56	24/11/99 12:58	24/11/99 12:57	ME-MD	FOZC37		13.5
24/11/99 13:20	24/11/99 13:23	24/11/99 13:21	MD-ME	FOZN21		-74.8
24/11/99 13:46	24/11/99 13:49	24/11/99 13:47	ME-MD	FOZN22		-102.7
24/11/99 13:51	24/11/99 13:54	24/11/99 13:52	MD-ME	FOZN23		-117.2
24/11/99 13:55	24/11/99 13:57	24/11/99 13:56	ME-MD	FOZN24		-111.9
24/11/99 13:57	24/11/99 14:00	24/11/99 13:58	MD-ME	FOZN25		-124.8
24/11/99 14:01	24/11/99 14:03	24/11/99 14:02	ME-MD	FOZN26		-116.5
24/11/99 14:03	24/11/99 14:05	24/11/99 14:04	MD-ME	FOZN27		-130
24/11/99 14:07	24/11/99 14:09	24/11/99 14:08	ME-MD	FOZN28		-111.4
24/11/99 14:10	24/11/99 14:13	24/11/99 14:11	MD-ME	FOZN29		-132.1
24/11/99 14:14	24/11/99 14:17	24/11/99 14:15	ME-MD	FOZN30		-121.1

Tableau 2 : Mesures de débits réalisées sur les bras nord et sud en sortie du Lago Grande de Curuai les 23 et 24/11/99 (ADCP 1200 KHz)