

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **MEDIÇÕES DE VAZÕES EM CURSOS D'ÁGUA SOB EFEITO DE MARÉS – ILHA DO MARANHÃO**

*Alice Silva de Castilho<sup>1</sup>; Eber José de Andrea Pinto<sup>2</sup>; João Hipólito Paiva de Brito Salgueiro<sup>3</sup>;  
Eronilton Morais Cavalcanti<sup>4</sup>; Fábio Araújo da Costa<sup>5</sup>; Eduardo da Silveira Wilson<sup>6</sup>*

**RESUMO** – Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de medições de vazões realizadas em cursos d'água sob o efeito de marés na Ilha do Maranhão, ou Ilha de São Luis, em novembro e dezembro de 2016, janeiro e fevereiro de 2017, buscando registrar o comportamento das vazões ao longo da variação da maré, que é de aproximadamente 4,6 metros em 6 horas na Ilha do Maranhão. As medições de vazões foram analisadas com os dados do marégrafo do Terminal Ponta da Madeira e mostram que há uma variação cíclica das vazões, tendo os seus valores iguais a zero no ápice das marés alta e baixa, quando o sentido das vazões é invertido. A amplitude das vazões medidas variou em cada estação, ficando compreendida entre -400 a 450m<sup>3</sup>/s. Já a área de drenagem dos cursos d'água monitorados variou de 15 a 104 km<sup>2</sup>.

**ABSTRACT**– This paper has the objective to present the results of flow measurements in creeks on tide influence area, in the Island of Maranhão or Island of São Luis in November and December 2016, in January and February of 2017, recording the variation of flow rates along the variation of the tide, which is approximately 4,6 meters in 6 hours in Island of Maranhão. The flow measurements were analyzed with the data from the marshal of the Ponta da Madeira Terminal and show that there is a cyclical variation of the flows having their values equal to zero at the top of the high and low tides when the flow direction is reversed. The amplitude of the measured flows varied in each station, being comprised between -400 to 450m<sup>3</sup> / s. The drainage area of the monitored creeks ranged from 15 to 104 km<sup>2</sup>.

**Palavras-Chave** – marés, Ilha do Maranhão, medições de vazões

---

1) CPRM. Avenida Brasil 1731, Funcionários, BH, MG, 30.140.002. 31-3878-0366. Alice.castilho@cprm.gov.br

2) CPRM. Avenida Brasil 1731, Funcionários, BH, MG, 30.140.002. eber.andrade@cprm.gov.br

3) CPRM. Avenida Sul 2291, Afogados, Recife-PE, CEP 5077-011. 81 3316-1447. joao.salgueiro@cprm.gov.br

4) eronilton.cavalcanti@cprm.gov.br

5) CPRM. Avenida Sul 2291, Afogados, Recife-PE, CEP 5077-011. 81 3316-1447. fabio.costa@cprm.gov.br

6) Eduardo.wilson@cprm.gov.br

## INTRODUÇÃO

A Ilha de São Luís, ou Ilha do Maranhão, está localizada no norte do estado do Maranhão no Brasil, tem aproximadamente 1.000km<sup>2</sup>. Na ilha estão localizados 4 municípios: São Luís, capital do estado; Raposa; São José do Ribamar e Paço Lumiar, os quais somam uma população de aproximadamente 1.400.000 hab.

A Ilha possui vários cursos d'água que drenam para o oceano Atlântico e para as baías de São Marcos e São José. No Norte drenam direto para o oceano Atlântico; no Oeste, na direção da foz do rio Mearim e no Leste na direção da foz do rio Itapecuru, vide Figura 1.

Grande parte dos cursos d'água da Ilha de São Luís sofre a influência das marés, sendo que esta região da costa brasileira registram-se marés de grande amplitude. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados das medições de vazões dos cursos d'água da ilha de São Luís sob forte influência das marés. A maré de São Luís é do tipo semidiurna, com duas preamares e duas baixamars por dia lunar, espaçadas de aproximadamente 6 horas, com amplitude da maré média de 4,6m, podendo atingir 8m (Sá,2014).

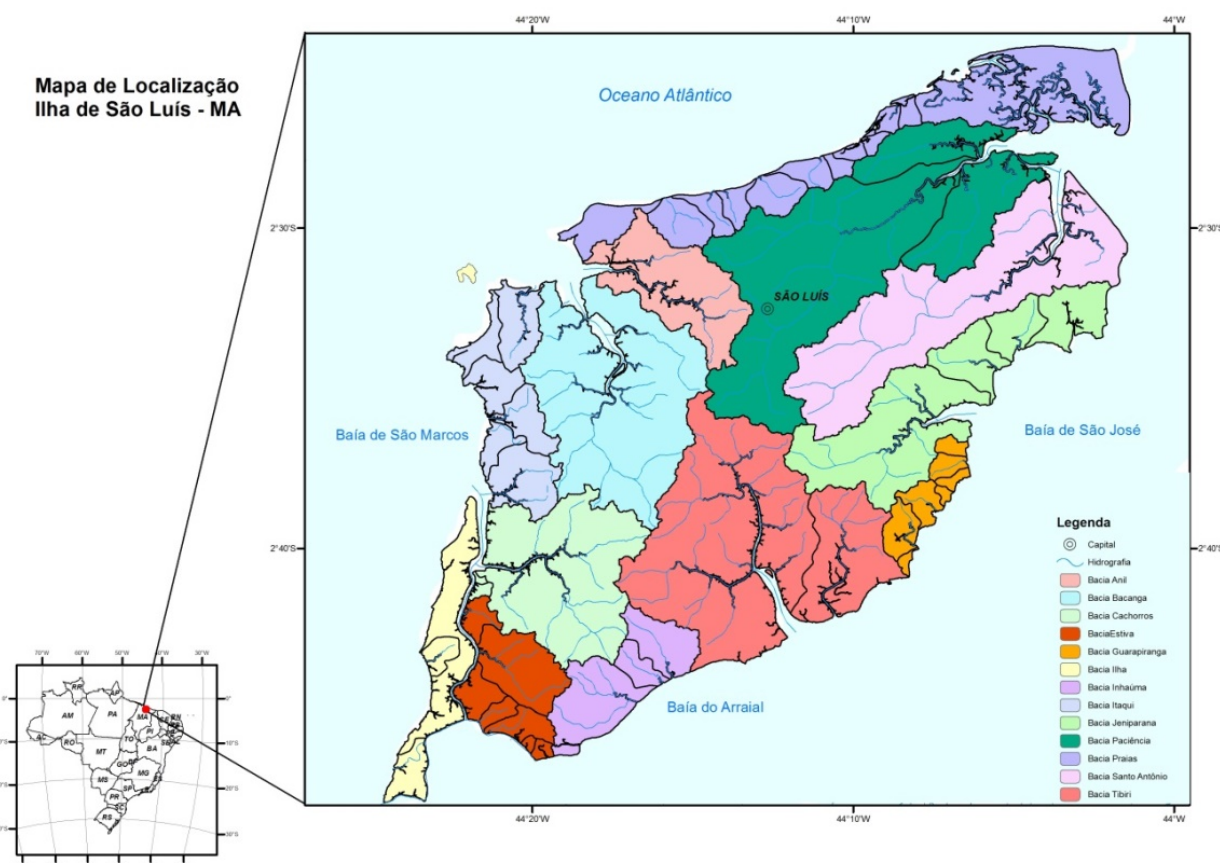


Figura 1 – Bacias Hidrográficas localizadas na Ilha do Maranhão - Fonte: (ANA/CPRM, 2019)

## METODOLOGIA

As estimativas de vazões naturais procedentes da Ilha de São Luís foram efetuadas a partir de campanhas de medições concomitantes de vazões e dos níveis de maré. Os dados de maré são os do

marégrafo da Marinha para a estação maregráfica: Terminal da Ponta da Madeira, código 30149, com coordenadas 02°33.9'S e 044°22.7'W.

Foram empreendidas 3 campanhas de medições: novembro/dezembro de 2016; janeiro de 2017 e fevereiro de 2017. Nas medições foram utilizados equipamentos de medição de vazão acústicos: M9 e S5. Foram definidos vários pontos para a realização de medição de vazões, porém, neste artigo serão descritos os resultados dos pontos com maior influência da maré. Em cada estação foi construída uma Referência de Nível para se obter a cota durante a medição. Entretanto, as variações de vazão são muito rápidas e as medições foram realizadas de forma contínua, impossibilitando a obtenção da cota para cada medição, sendo obtida somente no início dos trabalhos.

A princípio, as vazões seriam medidas durante as marés baixas, próximas a baixa-mar no estofa da vazante, buscando se quantificar qual seria a vazão natural do curso d'água. Todavia, foi observado que as vazões medidas eram tão grandes e as variações tão rápidas que a vazão natural seria equivalente ao erro aceitável dos equipamentos acústicos das medições realizadas. Assim, optou-se pela aplicação da metodologia apresentada por Marone (2007) que prevê o estabelecimento de uma curva chave vazão-maré, que correlaciona a vazão medida e a taxa das variações da maré ao longo do tempo, obtidas por meio de registro de marégrafos.

Na campanha de novembro/dezembro de 2016 a orientação dada às equipes foi de fazer as medições em horário próximo ao horário da baixa-mar (estofa da vazante), já nas campanhas de janeiro e fevereiro de 2017, a orientação foi a de fazer as medições ao longo de um ciclo de 6h, buscando medir a enchente e a vazante.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram levantadas características morfométricas de algumas das bacias da Ilha do São Luís, as quais encontram-se apresentadas na Tabela 1. Já as fotos 1 a 6, Tabela 2, Figura 2 e Tabela 3 apresentam informações das seções selecionadas para realização das medições de vazões.

Tabela 1 – Características morfométricas, índices de forma e tempos de concentração da bacia									
Bacias	Área km <sup>2</sup>	Perímetro Km	L Km	$\sum L_i$ km	D <sub>d</sub>	k <sub>c</sub>	S m/m	t <sub>c</sub> h	t <sub>c</sub> min
Anil	37,14	90	5,36	2,51	3,46	37,14	0,008	1,55	93
Bacanga	96,37	121,7	8,61	2,39	5,6	96,37	0,0041	2,89	173,4
Cachorros	67,59	96,56	6,88	2,41	4,91	67,59	0,006	2,1	126
Jeniparana	46,94	74,78	8,01	99,81	2,93	46,94	0,0052	2,49	149,4
Paciência	105,36	98,59	21,34	237,17	2,47	105,36	0,0019	7,81	468,6
Tibiri	106,18	147,46	7,29	236,34	7,28	106,18	0,0057	2,24	134,4
Tijipa	30,26	65,9	6,91	62,58	2,19	30,26	0,0032	2,68	160,8
Santo Antônio	97,08	134,13	15,15	231,92	3,2	97,08	0,0025	5,4	324

L – Comprimento do talvegue; D<sub>d</sub> – densidade de drenagem, K<sub>c</sub> – coeficiente de compacidade, S – declividade da bacia, t<sub>c</sub> – tempo de concentração,

**Tabela 2 – Características dos pontos de medição de vazão na Ilha do Maranhão**

Seção	Bacia	AD (km <sup>2</sup> )	Lat (S)	Long (W)	Data das medições
SM2	Anil	17	-2,5363	-44,2626	21/11/16, 03/12/16, 06/12/16, 18/01/17, 14/02/17
SM3	Paciência	104	-2,4705	-44,1191	28/11/16, 07/12/16, 19/01/17, 27/01/17, 07/02/17
SM4	Sto Antônio	67	-2,5188	-44,0651	18/11, 01/12/16; 17/01, 25/01, 28/01, 09/02, 17/02/17
SM5	Jeniparana	25,2	-2,6073	-44,1432	19/11/16, 26/11/16, 21/01/17, 01/02/17, 13/02/17
SM6	Tijipa	15,3	-2,6710	-44,1757	29/11/16, 02/12/16, 09/12/16, 24/01/17, 08/02/17
SM7	Tibiri	38,7	-2,6359	-44,2188	05/12/16, 20/01/17, 02/02/17, 10/02/17
SM9	Cachorros	21,1	-2,6668	-44,2844	30/11/16, 08/12/16, 23/01/17, 31/01/17, 15/02/17

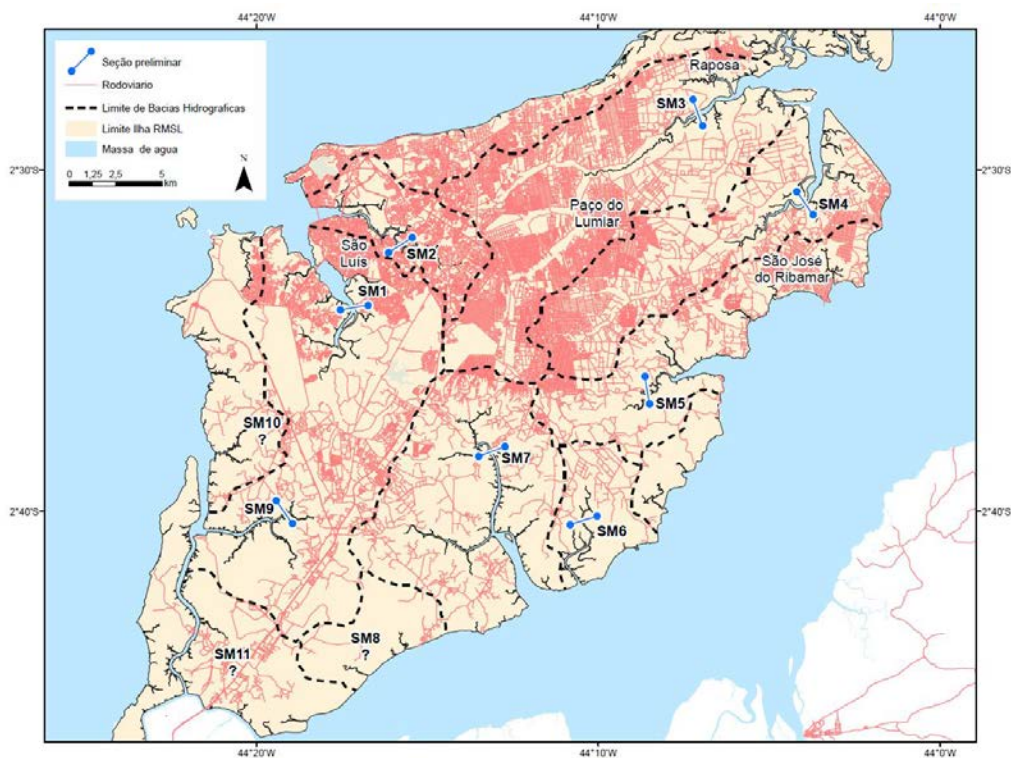


Figura 2 – Localização dos pontos de monitoramento



Foto 1 - SM2 - Anil



Foto 2 - SM3 - Paciência



Foto 3 - SM4 – Santo Antonio



Foto 4 - SM5 - Jeniparana



Foto 5 - SM6 - Tijipa



Foto 6 - SM7- Tibiri

**Tabela 3 – Síntese das medições realizadas nos cursos d'água sob efeito de marés na Ilha do Maranhão**

Seção	Data	Hora in	Hora fim	Qmáx (m³/s)	Qmín (m³/s)	N de medições	Maré Alta*	Maré Baixa*	Chuva (mm)	Maré
SM2	21/11/2016	08:41	08:48	-5,99	-7,15	4	06:00	00:00	0	S
SM2	03/12/2016	15:01	16:39	0,752	0,225	22	15:00	09:00	0,5	S
SM2	06/12/2016	06:01	06:42	0,543	-0,734	14	05:00	11:00	0	S
SM2	18/01/2017	06:44	10:20	-0,833	-30,3	46	05:00	11:00	5,2	S
SM2	14/02/2017	10:54	17:32	85,3	-1,187	61	15:30	09:30	50,6	S
SM3	28/11/2016	11:57	13:26	12	-3,81	16	12:30	06:30	0	Q
SM3	07/12/2016	17:13	19:05	32,4	-4,83	15	18:30	12:30	0	Q
SM3	19/01/2017	07:47	11:57	31,3	-110	38	11:30	05:30	130,6	Q
SM3	27/01/2017	06:20	14:04	281	-142	161	13:00	07:00	0	S
SM3	07/02/2017	09:21	16:27	48,8	-159	86	10:00	17:00	4,6	Q
SM4	18/11/2016	16:10	16:50	18,7	-32,4	6	16:00	10:00	0	S
SM4	01/12/2016	13:41	14:35	29,2	-17,6	9	14:00	08:00	0	S
SM4	17/01/2017	15:49	17:10	46,5	13,4	16	16:30	10:30	0,8	S
SM4	25/01/2017	12:29	18:05	114	-184	84	17:30	11:30	17,8	Q
SM4	28/01/2017	08:04	14:17	452	-9,92	103	13:30	07:30	19,5	S
SM4	09/02/2017	12:53	18:32	94,7	-1,767	57	18:00	12:00	4	Q
SM4	17/02/2017	14:41	17:11	95,5	53,9	36	17:00	11:00	43,6	S
SM5	19/11/2016	14:59	17:51	9,49	0,272	25	17:30	10:30	0	S
SM5	26/11/2016	11:04	12:13	1,92	-0,693	14	11:00	05:00	0	Q
SM5	21/01/2017	07:59	13:46	2,8	-28	78	13:30	07:30	2	Q
SM5	01/02/2017	11:28	14:58	98,5	7,08	38	16:00	10:00	40,3	S
SM5	13/02/2017	10:10	16:56	129	0,435	128	15:00	09:00	2	S
SM6	29/11/2016	09:55	16:55	28,9	-46,1	53	13:00	07:00	0	S
SM6	02/12/2016	10:06	14:15	57,9	1,59	19	14:30	08:30	0	S

**Tabela 3 – Síntese das medições realizadas nos cursos d'água sob efeito de marés na Ilha do Maranhão**

Seção	Data	Hora in	Hora fim	Qmáx (m³/s)	Qmín (m³/s)	N de medições	Maré Alta*	Maré Baixa*	Chuva (mm)	Maré
SM6	09/12/2016	07:45	09:04	2,45	-1,05	24	14:30	08:30	0	Q
SM6	24/01/2017	06:32	14:59	37,7	-40,2	126	10:30	04:30	3,4	Q
SM6	08/02/2017	06:29	15:49	82,3	-69,7	262	11:00	05:00	0	Q
SM7	05/12/2016	16:28	17:10	7,56	-12,6	6	16:30	10:30	9,8	S
SM7	20/01/2017	08:28	12:58	7,09	-111	90	12:30	06:30	10	Q
<b>SM7</b>	<b>02/02/2017</b>	<b>11:26</b>	<b>17:40</b>	<b>436</b>	<b>-26,7</b>	<b>67</b>	<b>17:00</b>	<b>11:00</b>	<b>4</b>	<b>S</b>
<i>SM7</i>	<i>10/02/2017</i>	<i>15:00</i>	<i>19:27</i>	<i>-105</i>	<i>-411</i>	<i>49</i>	<i>19:00</i>	<i>13:00</i>	<i>10,8</i>	<i>S</i>
<b>SM7</b>	<b>16/02/2017</b>	<b>10:53</b>	<b>17:02</b>	<b>324</b>	<b>0,913</b>	<b>59</b>	<b>16:30</b>	<b>10:30</b>	<b>0</b>	<b>S</b>
SM9	30/11/2016	13:06	14:00	23,6	2,56	21	13:30	07:30	0	S
SM9	08/12/2016	06:40	07:49	3,3	-0,601	13	13:00	07:00	0	Q
SM9	23/01/2017	10:51	16:23	-0,933	-28	52	15:30	09:30	0,4	Q
<b>SM9</b>	<b>31/01/2017</b>	<b>09:42</b>	<b>12:17</b>	<b>178</b>	<b>67,4</b>	<b>69</b>	<b>15:30</b>	<b>09:30</b>	<b>2</b>	<b>S</b>
<i>SM9</i>	<i>15/02/2017</i>	<i>09:55</i>	<i>16:35</i>	<i>137</i>	<i>-43,4</i>	<i>69</i>	<i>16:00</i>	<i>10:00</i>	<i>2,4</i>	<i>S</i>

\*Horário aproximado segundo dados do marégrafo; S – sizígia; Q – quadratura; Em negrito – maiores valores de vazão medidos na vazante da maré de sizígia; Em itálico – maiores valores de vazão medidos na enchente

A Figura 3 apresenta vazões medidas e dados de marégrafo no rio Paciência em SM3. É possível observar as vazões próximas a zero, nos horários da baixa-mar (estofa de vazante) e preamar (estofa de enchente). Este comportamento também foi verificado nos outros pontos de medição, evidenciando que há a inversão do fluxo do escoamento nos momentos em que se atinge a preamar e baixa-mar.

Na Tabela 3 é possível verificar que os maiores valores de vazão, foram medidos na vazante da maré de sizígia, quando a lua é nova ou cheia e a amplitude das marés é maior. Entretanto, com os dados medidos, não foi encontrada nenhuma relação entre as máximas vazões medidas de enchente com a ocorrência da maré de sizígia.

Outra análise feita foi a de construir, através de junção, os hidrogramas medidos para um ciclo de marés de 12 horas em dias diferentes para vazões negativas (sentido do oceano para interior da ilha - enchente) com as vazões positivas (sentido do interior da ilha para o oceano - vazante), para as seções, sendo que a Figura 4 apresenta o hidrograma da seção SM3. Verificou-se que todos os hidrogramas tem forma semelhante: para a enchente o hidrograma tem forma mais achatada, diferentemente da vazante em que é registrado um pico, seguido por um patamar de vazões intermediárias. A maré alta represa as vazões nos cursos d'água, durante a enchente, quando a maré começa a baixar, na vazante, há uma liberação rápida de parte de volume represado. Importante ressaltar que não foi possível escolher hidrogramas de dias diferentes com a mesma fase lunar. Se estivesse sido possível, poderiam ser agrupados hidrogramas de marés de sizígia, quando a amplitude da maré é maior, e de marés de quadratura, quando a amplitude de maré é menor.

Apesar das medições terem sido realizadas em dias diferentes, foi calculado o volume referente às vazões positivas (vazante) e subtraído do volume das vazões negativas (enchente) dos hidrogramas construídos. Esta diferença dividida pelo tempo resulta na vazão, se positiva, resultante

do interior da ilha para o oceano, ou seja, na vazante. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 4. Esta vazão foi comparada ao excedente médio anual do balanço hídrico climatológico, de 1199 mm, de 38,3L/s km<sup>2</sup>, elaborado com os dados da estação climatológica de São Luís do INMET (Embrapa,2016).

**Tabela 4 – Resultados das estimativas de vazões dos cursos d’água da Ilha do Maranhão**

Seção	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Chuva (mm) dia da medição – São Luis - INMET	
		Hidrograma negativo	Hidrograma positivo
SM2	0,58	5,2	50,6
SM3	2,52	4,6	0,0
SM4	17,0	17,8	17,8
SM5	8,1	2,0	2,0
SM7	16,2	9,8	10,8
SM9	12,3	0,0	2,4

Outra análise feita foi a utilizada por Marone (2007), buscando estabelecimento da curva chave através da plotagem vazão x delta da maré, nas estações. Vide Figuras 5 a 9.

Verificou-se que a subida do hidrograma (vazante) tem as seguintes tendências: uma subida rápida com forte inclinação positiva da reta vazão x delta da maré, seguida por uma subida suave com uma reta de inclinação negativa, que precede a vazão máxima da vazante. A descida do hidrograma (enchente) é representada pelas tendências: uma reta com inclinação forte positiva seguida por uma reta com inclinação negativa suave, que precede a vazão máxima da enchente, ou seja, mínima do hidrograma.

Este comportamento em laço identificado nas medições de São Luís foi diferente do verificado por Marone (2007) na baía de Paranaguá, onde foi identificada somente uma reta com inclinação positiva para medições realizadas ao longo de 9h entre as marés altas (preamar) na enchente e na vazante. Vide Figuras 8 e 9. Porém, Marone (2007) cita que é possível estabelecer duas curvas vazão x delta maré: uma para enchente e outra para vazante.

## CONCLUSÕES

Não foi possível estabelecer a vazão dos cursos d’água da Ilha do Maranhão realizando medições de vazão na maré baixa (estofo da vazante), pois a inversão do fluxo do escoamento ocorre de uma forma muito rápida. Em função disto, foram feitas estimativas de vazões, bastante imprecisas, com a junção de hidrogramas de vazante e enchente em dias diferentes.

A inversão do fluxo das vazões entrando na ilha (negativas - enchente) e saindo da ilha (positivas - vazante) se dá na baixa-mar e na preamar. Com o estabelecimento dos hidrogramas para todo o ciclo da maré de 12h, através da junção dos hidrogramas medidos em 2 dias diferentes de 6h para vazões positivas (vazante) e negativas (enchente), verificou-se que no hidrograma para vazões negativas (enchente), a subida e a descida são graduais e o hidrograma mais achatado. Já para

vazões positivas (vazante), verificou-se que há um pico com subida brusca, já a descida é brusca até um determinado patamar de vazões intermediárias, a partir daí a variação se torna gradual. Na enchente há inversão do fluxo e represamento da água nos cursos d'água, já na vazante há a inversão do fluxo e uma liberação rápida de parte do volume represado, daí o pico de vazão.

Com os hidrogramas estabelecidos, foi feita uma estimativa da vazão obtida pelo cálculo do volume do hidrograma dividido pelo tempo. Verificou-se que as vazões obtidas são da ordem de grandeza do excedente anual obtido pelo balanço hídrico climatológico. Foram registradas chuvas na estação pluviométrica de São Luís, em alguns dias que antecederam as medições de vazão, que podem ser a causa do aumento das vazões dos cursos d'água, verificado nos hidrogramas medidos, como também o fato dos hidrogramas terem sido medidos em marés de sizígia e de quadratura.

Não foi verificada uma relação única entre as vazões medidas e a taxa de variação das marés ao longo do tempo, conforme verificado por Marone (2007) em medições realizadas na baía de Paranaguá para enchente e vazante.

A medição dos hidrogramas de entrada e saída pode ser utilizada como uma forma de se estimar as contribuições das bacias insulares. Mas o método é trabalhoso, caro e as medições teriam que ser realizadas num ciclo de 12 horas, observando se a maré é de sizígia ou de quadratura. A alternativa é a instalação de equipamentos automáticos de medição de nível, para determinação do perfil da linha d'água; e de velocidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, R.F. & Alfredini, P. Modelação Hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 15 nº2 abr/jun/2010. Porto Alegre.

ANA/CPRM, (2019). Estudos Hidrogeológicos na Região Metropolitana de São Luís-MA. Brasília – em fase de finalização.

<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/>, acesso em 2016.

Marone E. et al. Medições de Corrente e Curva Chave Vazão-Maré na Baía de Paranaguá, PR. Boletim Paranaguense de Geociências, n 60-61, p 55-64, 2007. UFPR

Miguens, Autineu P. Navegação Ciência e Arte. Volume I - Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. Capítulo 10 – Marés e Correntes de Marés, Correntes Oceânicas. DHN Marinha do Brasil, 1996.

Sá, Joyse de Mesquita Lindoso de. Avaliação do Monitoramento de Águas Costeiras na baía de São Marcos em São Luis, Maranhão. Dissertação de Mestrado. UFMA. São Luis, 2014.



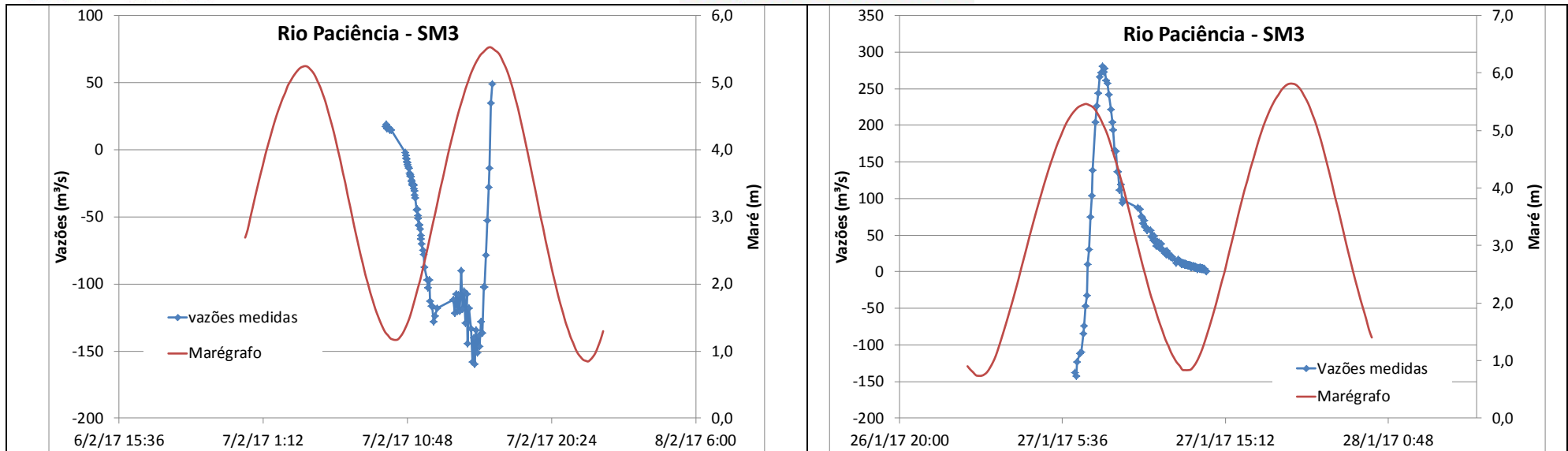


Figura 3 – Vazões medidas e dados de marégrafo no rio Paciência em SM3

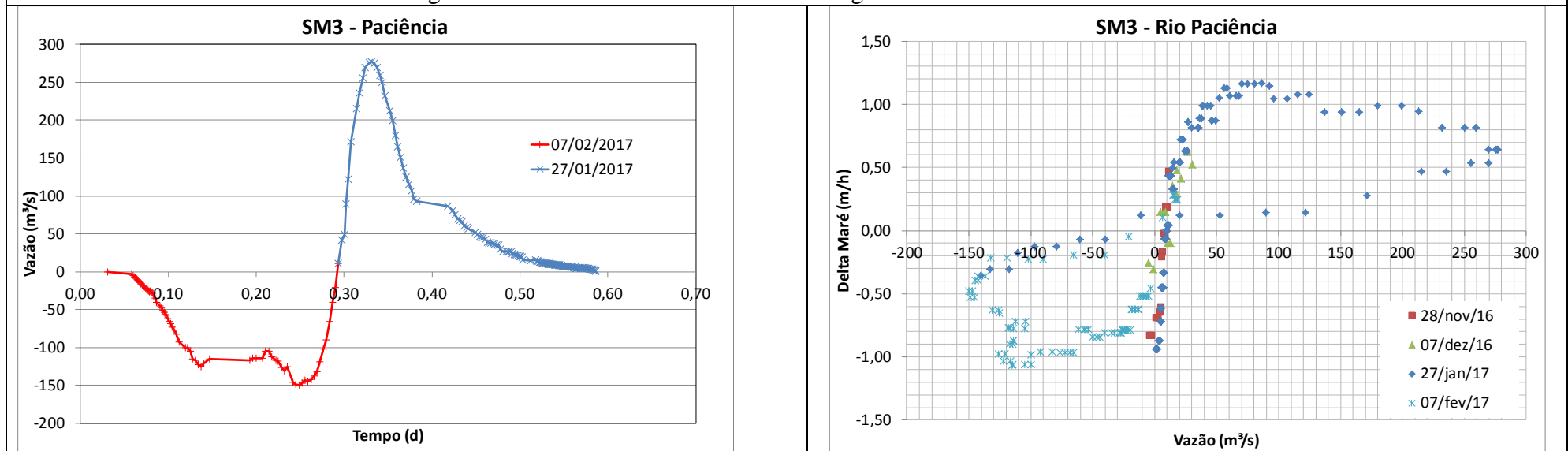


Figura 4 – Hidrograma do rio Paciência em SM3

Figura 5 – Vazão x Delta da maré do rio Paciência em SM3

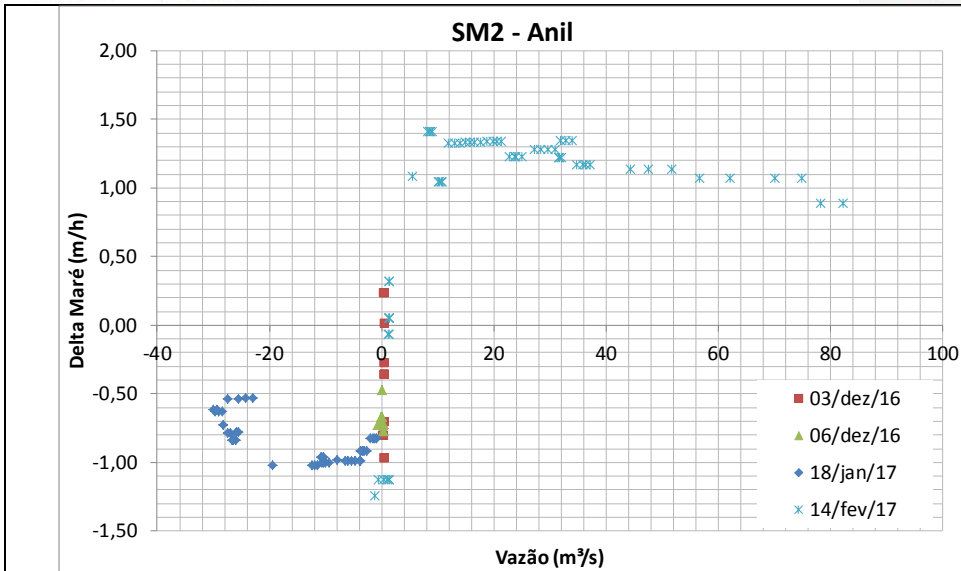


Figura 6 – Vazão x Delta da maré do rio Anil em SM2

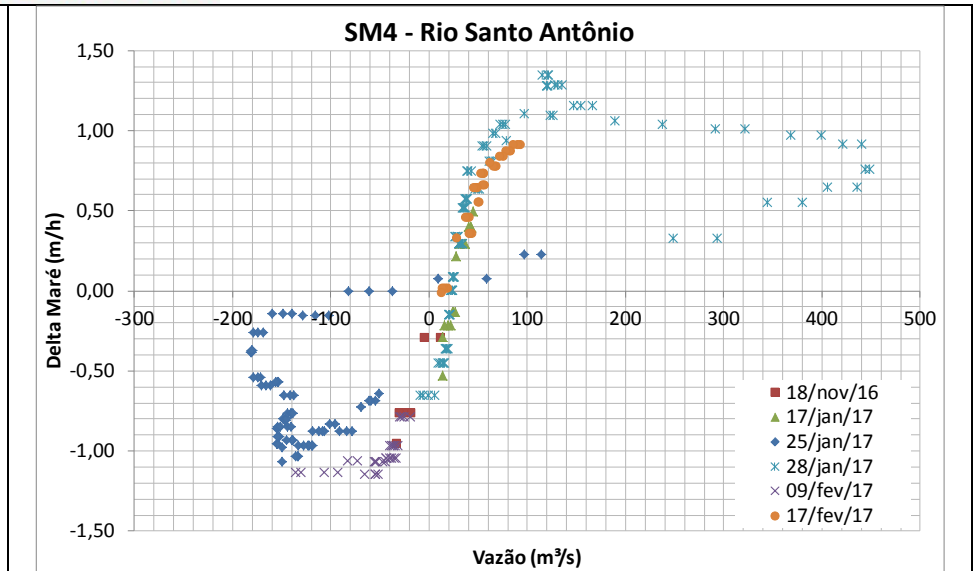


Figura 7 – Vazão x Delta da maré do rio Santo Antônio em SM4

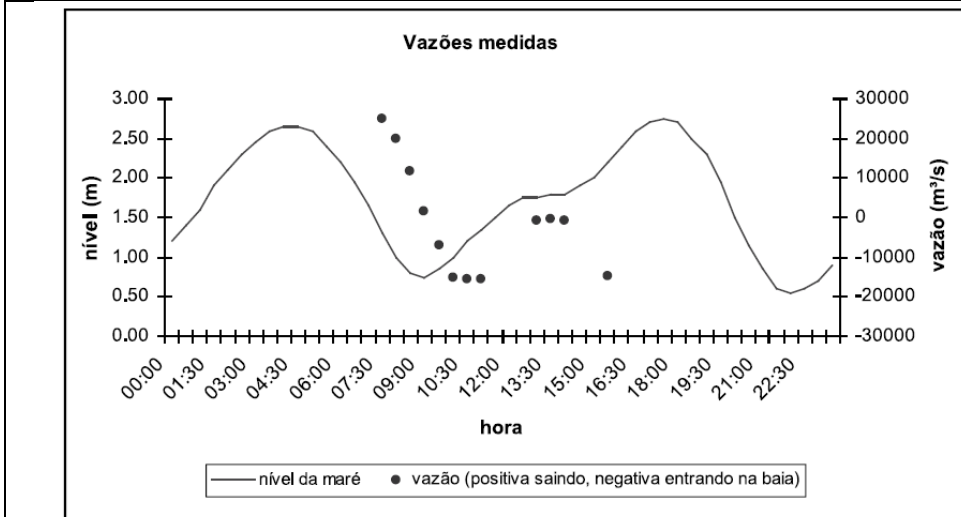


Figura 8 – Hidrograma na baía de Paranaguá – Marone (2017)

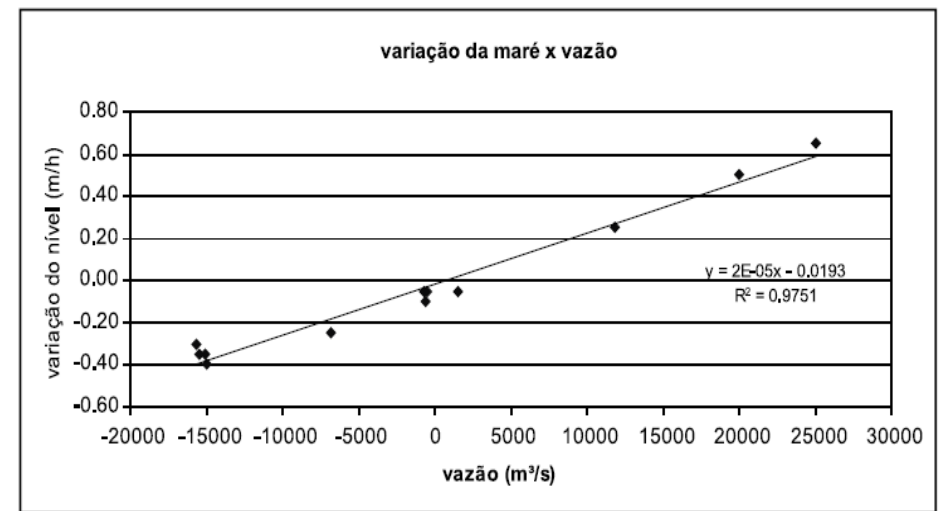


Figura 9 – Vazão x Delta da maré baía de Paranaguá – Marone (2017)