

# CURVA-CHAVE SOB EFEITO DE HISTERESE: TRAÇADO E AJUSTE DE CURVA-CHAVE MÉDIA E EM LAÇO

Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>; Luiz H. Maldonado<sup>2</sup> & Saulo Aires de Souza<sup>3</sup>

**RESUMO** – Comumente nota-se a importância de estudos de caso com cunho prático, que mostrem os processos físicos e conceituais envolvidos no traçado e ajuste de curvas-chave sob diferentes condições de contorno, como sob o efeito de histerese. Sendo assim, este estudo objetivava-se mostrar e discutir o traçado e ajuste de curva-chave com medições de vazão em condição de histerese (pseudo univocidade), mostrando na prática a diferença de uma curva-chave média para escoamento não permanente e de curva-chave com um tramo para medições em condição de cheia e outro tramo para condição de vazante. A estação fluviométrica Itaquí (75900000), utilizada neste estudo, localiza-se no rio Uruguai (sub-bacia 75). Instalada em dezembro de 1939, suas coordenadas geodésicas são 29°07'03"S e 56°33'16"O, e o perfil transversal utilizado neste estudo data de 6.9.2018, altitude de 42,56m (zero da régua) e uma área de drenagem de aproximadamente 131.000km<sup>2</sup>. As curvas-chave aqui apresentadas, da estação fluviométrica Itaquí, servem para as cotas observadas de dezembro de 2007 a março de 2019. A vazão na maior cota observada, 1.452cm, pela curva média, foi de 21.537m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, já pela curva para o nível descendente foi de 19.245m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (-11%) e pela curva para o nível ascendente foi de 32.766m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (+52%).

**ABSTRACT** – The importance of practical case studies that show the physical and conceptual processes involved in the tracing and adjustment of rating curves under different contour conditions, such as under hysteresis, is commonly noted. Thus, this study aims to show and discuss the tracing and adjustment of rating curve with discharge measurements in hysteresis condition, showing in practice the difference of a mean rating curve for non-permanent flow and curve with a section for measurements in flood condition and another section for ebbing condition. The fluvial station Itaquí (75900000), used in this study, is located in the Uruguay river (sub-basin 75). Installed in December 1939, its geodesic coordinates are 29°07'03"S and 56°33'16"W, and the cross-sectional profile used in this study dates from 9.9.2018, altitude of 42.56m (zero of the rule) and a drainage area of approximately 131,000km<sup>2</sup>. The rating curves presented here, from the Itaquí fluviometric station, serve the observed water levels from December 2007 to March 2019. The flow in the highest observed elevation, 1,452cm, by the average curve, was 21,537m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. The curve for the downward level was 19.245m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (-11%) and the curve for the ascending level was 32,766m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (+ 52%).

**Palavras-Chave** – curva-chave não unívoca, escoamento não permanente, pseudo univocidade.

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de descargas líquidas de rios e/ou corpos d'água é realizado por intermédio do monitoramento do nível d'água, variável hidrológica de fácil obtenção e de baixo custo, relacionando-o com sua vazão correspondente. Esta relação entre nível d'água e vazão é chamada curva-chave. Contudo, a relação do nível d'água e da descarga líquida nem sempre é simples e direta, como ocorre no escoamento de regime permanente uniforme, situação em que a curva-chave é do tipo bi-unívoca, ou quando ocorre em escoamento de regime permanente não uniforme ou variado ou não permanente, situações que a curva-chave é do tipo não unívoca, *i.e.*, um valor de

1) CPRM/SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, no105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. [francisco.marcuzzo@cprm.gov.br](mailto:francisco.marcuzzo@cprm.gov.br).

2) Itaipu Binacional. Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos de Itaipu. Av. Tancredo Neves, n° 6731. Foz do Iguaçu/PR. CEP 85.856-970. Tel. (45) 3520-3864. [lhmaldo@itaipu.gov.br](mailto:lhmaldo@itaipu.gov.br).

3) ANA – Agência Nacional de Águas – Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – Setor Policial – Área 5, Quadra 3, Bloco B – Brasília/DF. CEP 70.610-200. Tel. (61) 2109-5346. [saulo.souza@ana.gov.br](mailto:saulo.souza@ana.gov.br).

nível d'água resultaria em mais de um valor de descarga líquida. Entretanto, na maioria dos casos, para não dizer em 100% dos casos, é comum que estações fluviométricas que possuem regime de escoamento que variam no tempo têm suas curvas-chave traçadas de forma bi-unívoca ou unívoca, *i.e.*, uma curva-chave média para a situação de cheia e depleção.

Gamaro *et al.* (2014) dissertam que os métodos para a determinação da velocidade e da área da seção transversal de fluxo de água em canais abertos, e conseqüentemente vazão, são normatizados pelo padrão internacional ISO 748:2007 da *International Standard Organization*. Equacionar esta relação entre dados hidrológicos e/ou dados físicos destas variáveis é para o hidrologista, entender e equacionar o fenômeno (MARCUSO, 2008; 2014; 2015; 2016; 2017).

Situações como alterações da geometria do canal afetam diretamente a determinação das curvas-chave. Maldonado *et al.* (2014) mostram que a validade da atual curva-chave depende dos desvios de vazão em função das novas medições de vazão. Caso não univocidades possam aparecer nesta curva, a primeira análise é a verificação de uma possível alteração da geometria do local. Nestas situações, deve-se realizar uma curva-chave correspondente para cada período que a geometria se manteve estável. Reitz e Dias (2014) citam que o traçado de curvas-chave em estações instáveis pode ser muito complexo, sobretudo quando os dados de vazão expõem distorções, pelos efeitos de remanso. Conforme mostrado por Maldonado (2009) e Maldonado e Gamaro (2013), quando há alguma interferência na vazão à jusante de seção de controle, como um sistema de bombeamento, a simples relação do nível d'água e vazão não é suficiente para a estimativa das vazões. Nestas situações, é necessário realizar medições de parte das velocidades do escoamento, comparando-as com sua velocidade média correspondente. Este método é chamado de velocidade indexada e/ou método das isotáquias, e pode ser aplicado com diversos tipos de medidores, como medidores acústicos e medidores eletromagnéticos. Maldonado e Wendland (2013) concluíram que, de modo geral, o medidor eletromagnético apresentou bons resultados, de baixo custo, principalmente em locais de remanso e em locais com velocidades inferiores a  $0,20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Para algumas estações, a histerese pode ocorrer apenas nos momentos de cheias. Maldonado e Gamaro (2013) identificaram histereses durante eventos extremos, em função dos resultados das medições de vazão realizadas em situações de descenso e ascensão do nível d'água. Para esta situação, foram aplicados coeficientes em cada vazão medida durante o efeito da histerese, para que estas vazões passassem para a condição de escoamento permanente, e assim pudessem ser utilizadas para a construção da curva-chave da estação. Apenas para este tipo de situação, é possível aplicar os métodos de Jones, Boyer e Wiggins.

Sendo assim, este estudo tem o objetivo de mostrar e discutir o traçado e ajuste de curva-chave com medições de vazão em condição de escoamento não permanente, *i.e.*, sob histerese (pseudo univocidade), mostrando e discutindo, na prática, a diferença de uma curva-chave média, para a condição de escoamento não permanente, e de uma curva-chave em laço, *i.e.*, com tramos traçados para medições em condição de cheia e outro para condição de vazante.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica e seus dados

A estação fluviométrica Itaqui (75900000), utilizada neste estudo, localiza-se no rio Uruguai (sub-bacia 75), na fronteira entre o estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, e a província de Corrientes, na Argentina (Figura 1), e está situada à montante do rio Ibicuí. Instalada em dezembro de 1939, suas coordenadas são  $29^{\circ}07'03''\text{S}$  e  $56^{\circ}33'16''\text{O}$ , sendo caracterizada como PFDQT (Pluviométrica, Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sólida, Qualidade da Água e Telemétrica) está na Rede de Referência da Rede Hidrometeorológica Nacional. O perfil transversal utilizado neste estudo data de 6.9.2018. A altitude da estação Itaqui é de 42,56m (correspondente ao zero da régua) e área de drenagem de aproximadamente  $131.000\text{km}^2$  (ANA, 2009), que, conforme Marcuzzo (2017), verifica-se que corresponde a 37,45% da área da bacia do rio Uruguai ( $349.844,1\text{km}^2$ ). A chuva média anual na sub-bacia 75 (Figura 1) varia de 1.492 a  $1.942\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  (PINTO *et al.* 2011). Os perfis transversais dos últimos quatro anos e mais dados do inventário da estação 75900000 podem ser observados na Figura 2 e 3.

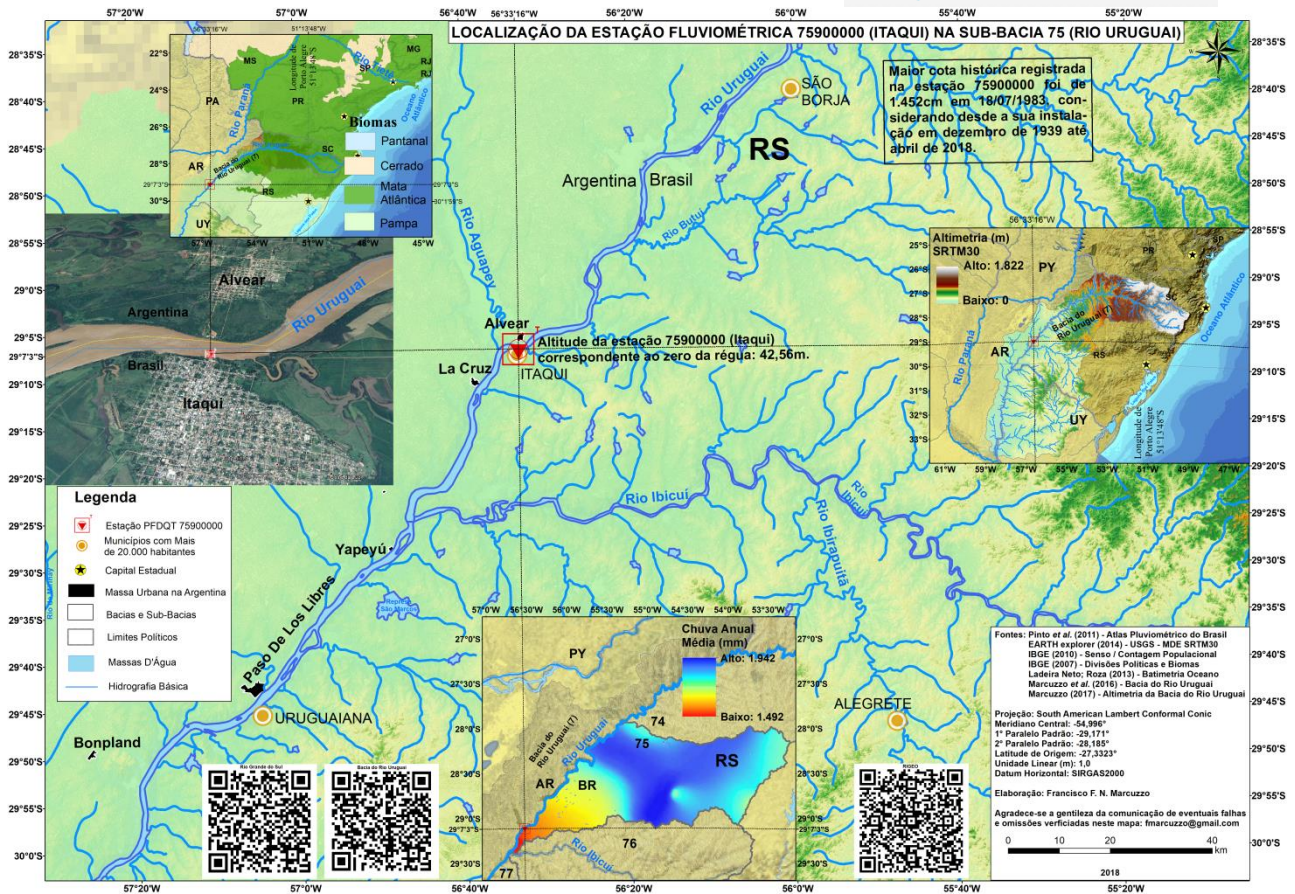


Figura 1 - Localização da estação Itaquí (75900000) na sub-bacia 75, pertencente à bacia do rio Uruguai.

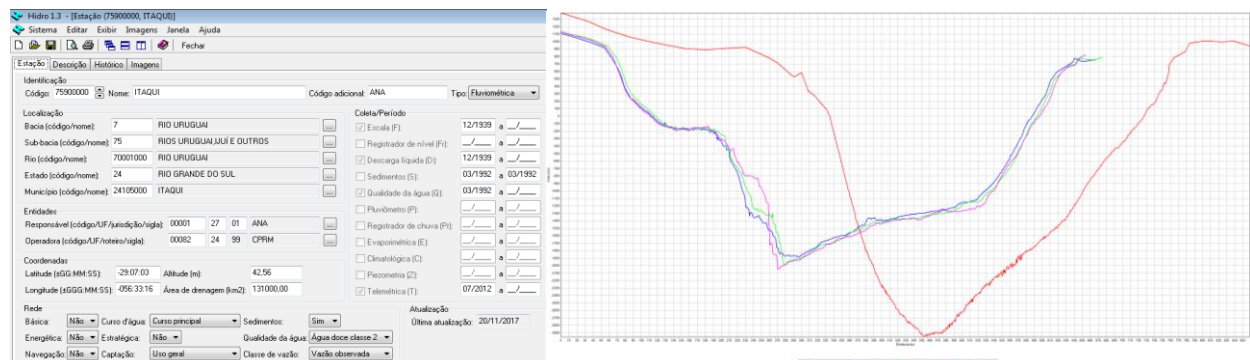


Figura 2 - Dados do inventário da estação 75900000, na sub-bacia 75, e os perfis transversais da seção de medição de 2015, 2016 e 2017 e da seção de régua de 2018.



Figura 3 - Fotos da seção de régua de 07/02/2019 e localização (GOOGLE EARTH, 2019) da estação 75900000.

O perfil transversal está na Figura 4. A maior cota histórica bruta observada/registrada foi de 1.452cm em 18.7.1983 e a menor foi de -33cm em 19.5.1997. Considerando de 12/2007 a 12/2018,

a maior cota com medição de vazão foi de 968cm (9.11.2008) e a menor foi de -6cm (30.4.2012). Considerando a maior cota com medição de vazão e a maior cota observada, nota-se que a extrapolação será 484cm, ou seja, levando-se em consideração que o intervalo de cotas com medição de vazão é de 974cm (de -6 a 968cm), a extrapolação corresponde a 49,7% do intervalo de cotas com medição de vazão. A Tabela 1 mostra as medições com o rio ascendente e descendente. Referente ao posicionamento das medições de vazão, o hidrotécnico de campo responsável, relatou que as medições feitas a partir de outubro de 2018 foram feitas na seção de réguas, e que anteriormente eram feitas numa seção de medição de 600 a 700m a jusante da seção de réguas. A medição nº 27 (15.11.2008) foi desconsiderada, pois está com a vazão possivelmente errada e/ou anotação da data e/ou, consecutivamente, a cota, considerando as vazões anteriores e posteriores.

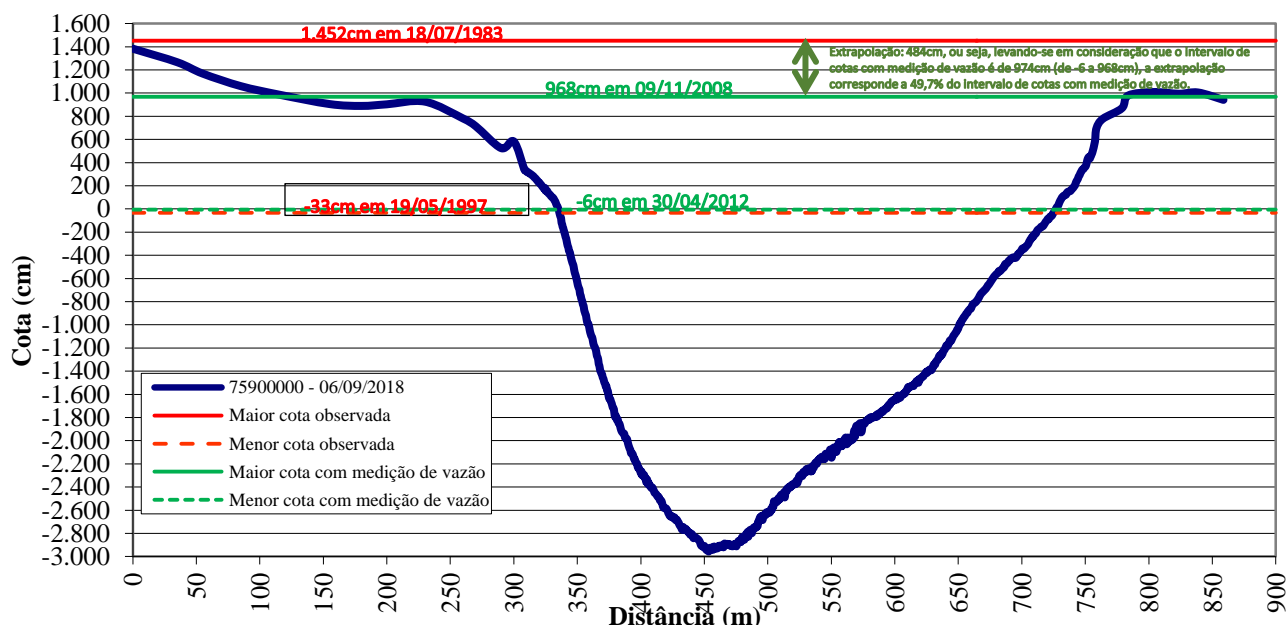


Figura 4 - Perfil transversal da seção de réguas de 6.9.2018 da estação fluviométrica Quaraí - código 75900000.

Tabela 1 - Medições da relação cota e vazão e a informação se foi medida com o rio cotas ascendente ou descendente.

Data da Medição	Cota (cm)	Vazão Medida (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Rio Ascendente ou Descendente?	Data da Medição	Cota (cm)	Vazão Medida (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Rio Ascendente ou Descendente?
07/12/2007	260	2.614	Ascendente	03/06/2013	219	1.643	Descendente
10/04/2008	20	578	Descendente	11/10/2013	299	2.877	Descendente
09/07/2008	365	3.119	Descendente	24/01/2014	238	2.372	Descendente
13/08/2008	260	1.780	Descendente	29/05/2014	615	6.751	Descendente
09/11/2008	968	11.635	Descendente	03/10/2014	890	15.445	Ascendente
10/11/2008	900	9.771	Descendente	12/02/2015	313	2.852	Descendente
10/11/2008	915	10.185	Descendente	21/05/2015	162	1.361	Descendente
11/11/2008	837	8.374	Descendente	30/09/2015	565	7.807	Ascendente
11/11/2008	858	8.742	Descendente	09/03/2016	320	2.926	Descendente
12/11/2008	794	7.398	Descendente	09/06/2016	238	1.903	Descendente
13/11/2008	720	6.309	Descendente	26/09/2016	239	2.258	Descendente
13/11/2008	690	6.097	Descendente	30/01/2017	288	2.203	Descendente
14/11/2008	625	5.785	Descendente	10/03/2017	343	3.004	Descendente
14/11/2008	651	5.881	Descendente	16/05/2017	688	7.096	Ascendente
15/11/2008	607	6.230	Desconsiderada	20/06/2017	940	8.590	Descendente
20/11/2008	432	4.064	Descendente	17/08/2017	516	5.331	Ascendente
20/11/2008	443	4.232	Descendente	24/10/2017	730	10.731	Ascendente
21/11/2008	380	3.472	Descendente	04/12/2017	278	2.545	Descendente
21/11/2008	400	3.662	Descendente	08/03/2018	128	1.246	Descendente
22/11/2008	349	3.157	Descendente	04/05/2018	130	868	Descendente
02/12/2008	253	2.396	Descendente	12/07/2018	232	1.570	Descendente
24/03/2010	218	2.210	Ascendente	06/09/2018	580	6.750	Ascendente
30/04/2012	-6	486	Descendente	29/10/2018	359	2.718	Ascendente
31/07/2012	182	2.336	Ascendente	07/12/2018	402	3.523	Descendente
26/10/2012	414	3.677	Ascendente	09/02/2019	239	1.905	Descendente
04/03/2013	215	1.835	Ascendente				

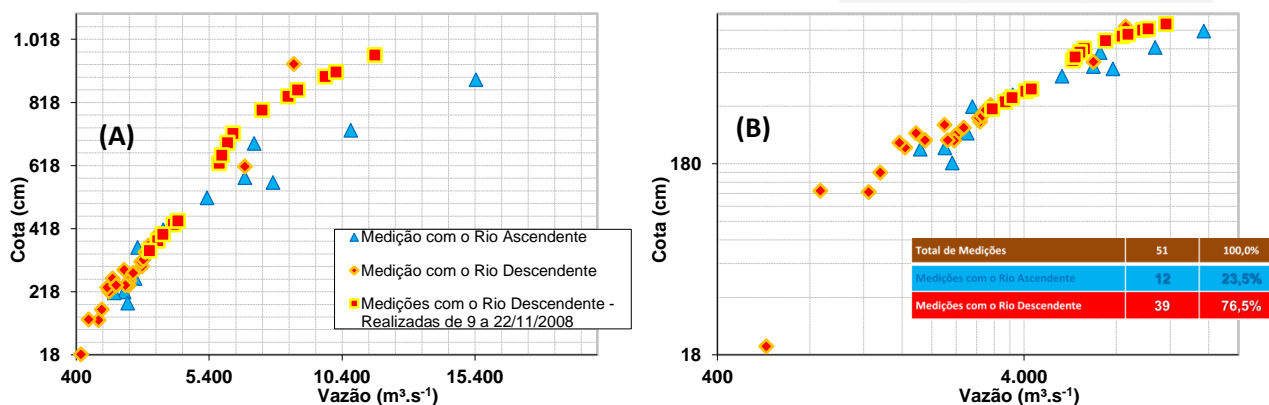


Figura 5 - Medições da relação cota e vazão e se foi medida com o rio com cotas ascendentes ou descendentes (75900000), com os eixos dos gráficos com números reais (A) e logaritimizados (B). De 07/12/2007 a 09/02/2019.

## 2.2. Resumo do método utilizado no ajuste da curva-chave

Os critérios mínimos qualitativos da equação potencial de curva-chave, como as restrições de  $h_0$  menor ou igual a menor cota observada da série histórica, entre outras, seguiram os critérios estabelecidos na Nota Técnica nº 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), além dos recomendados na publicação de Marcuzzo (2017). Estabeleceu-se também que a vazão calculada na união/junção/continuidade dos diferentes tramos deveria ser igual ou menor que 0,5%, de modo a se obter um seguimento único, caracterizando uma única curva-chave (mesmo sendo composta por vários tramos com equações com parâmetros diferentes). Um detalhamento teórico e prático sobre otimização de equações lançando mão de Programação Matemática Não-Linear (PMNL), cujos princípios foram utilizados neste estudo, pode ser observado em Marcuzzo (2008), Marcuzzo e Wendland (2010; 2014) e Ferreira (2012). Já um detalhamento matemático, com ênfase em hidrologia, de regressões pode ser obtido em Naghettini e Pinto (2007).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 51 vazões medidas, assim como os respectivos níveis d'água, foram analisados e foi verificado que dezesseis destes valores representam uma única condição hidrológica do rio Uruguai, período de 9.11.2008 a 22.11.2008, e período que o rio apresentou a condição descendente do nível d'água. Esta condição deve ser considerada nas análises, para que não possa haver conclusões tendenciosas. Além disso, foram realizadas seis medições de vazão com valores superiores a  $5.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  e para a condição de rio ascendente. Geralmente, esta condição de rio ascendente ocasiona riscos inerentes às equipes de campo, devido a possíveis turbulências, e erros na medição de vazão, como no caso de haver fundo móvel e no caso de aparecimento de bolhas em baixo do medidor acústico. Como exemplo, é possível identificar ruídos acústicos nas medições de 30.9.2015 e 3.10.2014 (Figura 6), possivelmente em função de borbulhamentos ocasionados pela intrusão do equipamento na água. Os ruídos acústicos são as regiões da Figura 6, nas quais os retornos dos sinais acústicos (SNR) resultaram em valores menores de 10dB (regiões em rosa). Nestas situações, para evitar tais borbulhamentos, o medidor acústico poderia ser instalado em uma posição mais interna da coluna d'água, o que evitaria estes pequenos valores de SNR e consequentemente evitaria valores de vazão com grandes incertezas.

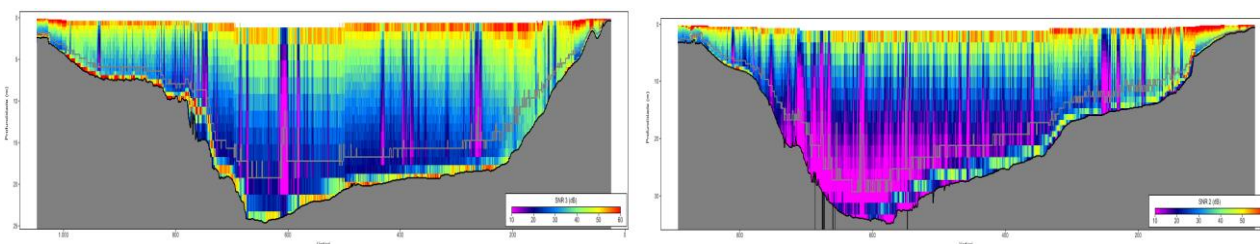


Figura 6 – Sinal acústico do medidor acústico de vazão para duas situações de cheias (30.9.2015 e 3.10.2014).

Além disso, é possível identificar que as medições de vazão não foram realizadas na mesma seção transversal. Para a avaliação da curva-chave este fator não é decisivo, visto que os volumes de água medidos não mudariam em função da mudança da seção. Entretanto, a análise da evolução da geometria da seção fica prejudicada, e assim, não é possível concluir que possíveis desvios das vazões medidas com a curva são resultantes da mudança da geometria do canal.

Considerando todas as medições de vazão e separando as vazões medidas na condição ascendente e descendente do nível d'água, é possível traçar curvas-chave para cada condição, Figura 7, criando um laço. Esta abertura de laço se inicia a partir da cota 479cm, *i.e.*, no fim do primeiro tramo (traçado para as cotas mais baixas, de -33 a 479cm).

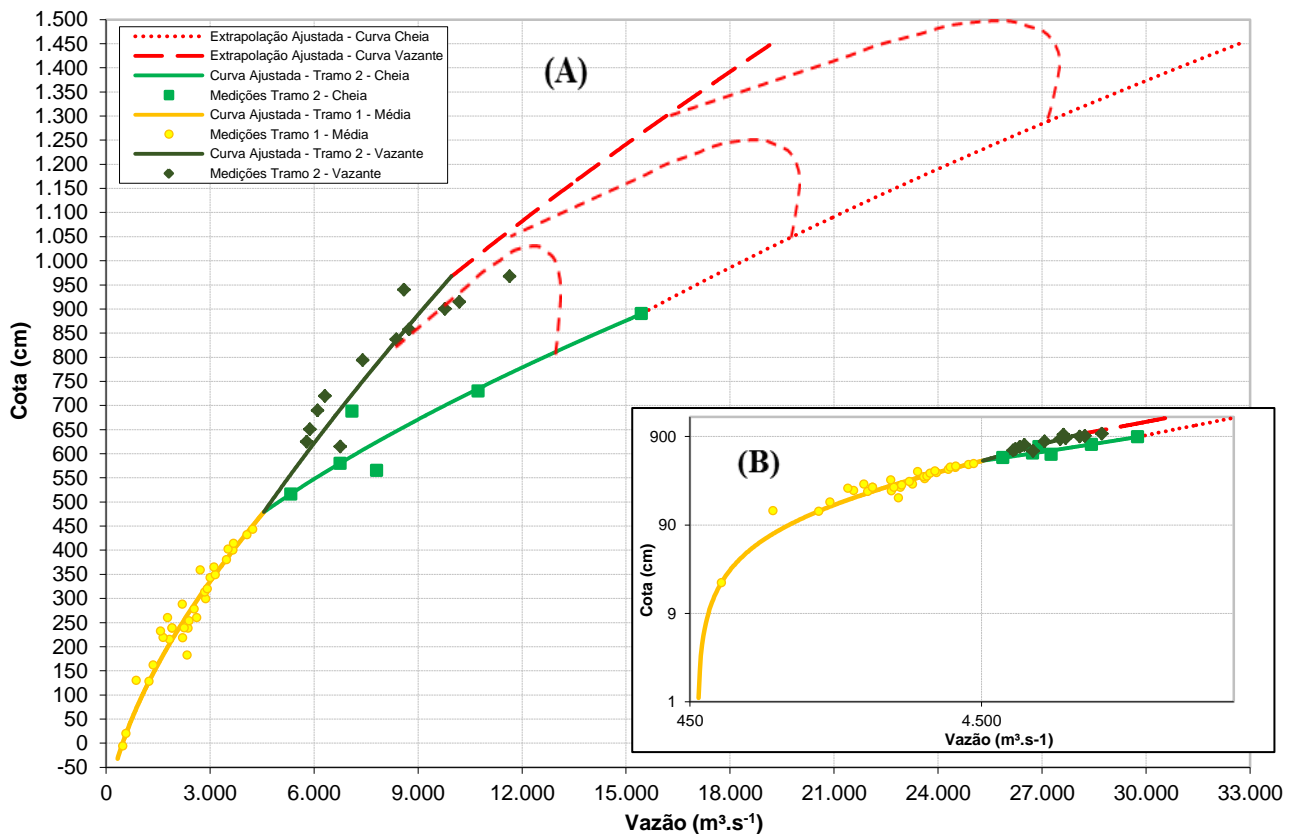


Figura 7 - Curva-chave em laço e extrapolações (estação 75900000), com os eixos dos gráficos com números reais (A) e logaritimizados (B). Período de 7.12.2007 a 9.2.2019.

A partir da curva-chave média obtida para o trecho superior a 479cm, nota-se que há uma tendência e proximidade com a curva-chave para a condição de rio descendente. Este resultado ocorreu devido ao maior número de medições realizadas durante o descenso do rio Uruguai, como no período de 11/2008, comparado ao número de medições realizadas durante o nível ascendente do rio Uruguai.

Os desvios de vazões obtidos para cotas superiores ao 479cm são significativos, *e.g.*, para a cota de 900cm, ocorreram desvios de 66% de vazões, pois resultaram em valores aproximados de  $9000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $15.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ . Em função destes grandes desvios, as correções das vazões medidas com os métodos de Jones, Boyer e Wiggins para a determinação de uma curva-chave média poderia ser aplicada, porém resultaria em grandes incertezas, possivelmente não conclusivas.

Observa-se na Tabela 2 que a velocidade média na maior cota observada (1.492cm) variou substancialmente entre a curva-chave média, com  $1,46\text{m}.\text{s}^{-1}$ , a curva-chave para vazante, com  $1,26\text{m}.\text{s}^{-1}$ , e a curva-chave para cheia, com  $2,55\text{m}.\text{s}^{-1}$ . Esta variação da velocidade dá indícios de haver outra condição hidráulica na seção, como um possível controle de jusante por um rio, como no caso o rio Ibicuí.

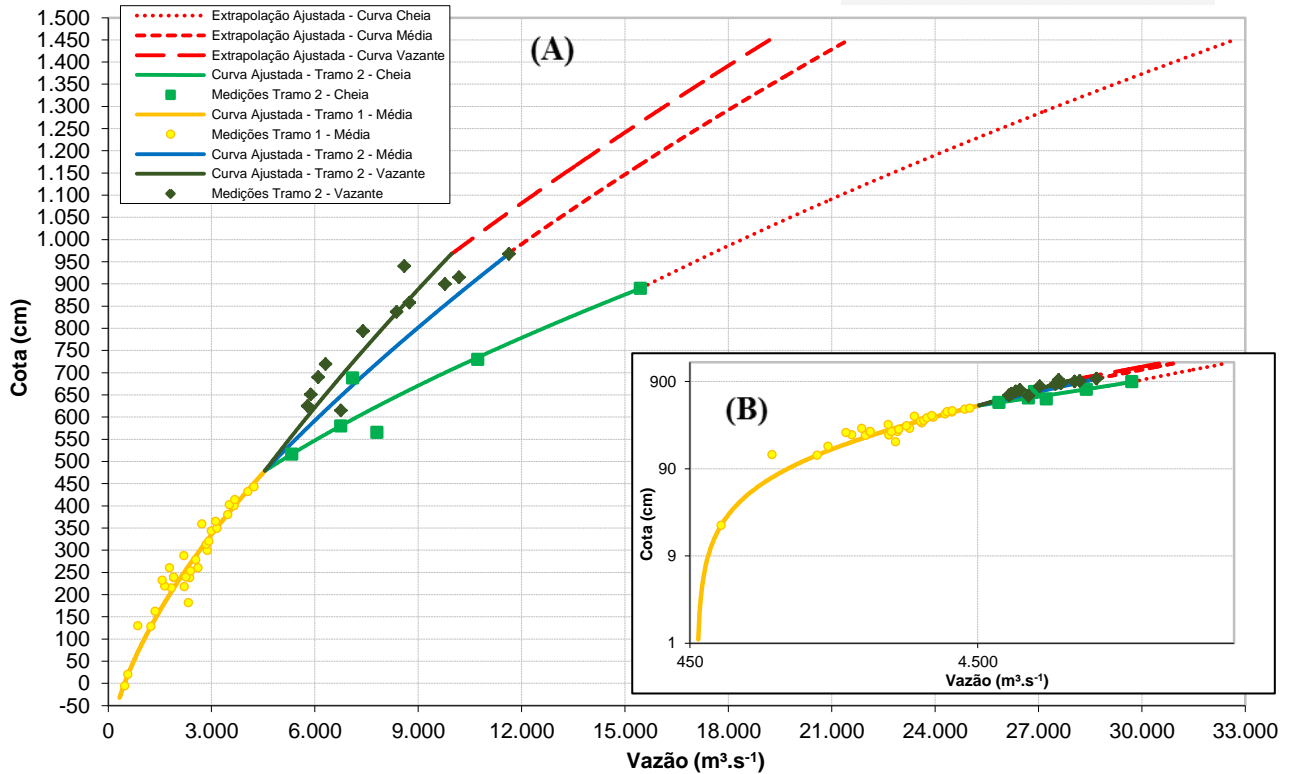


Figura 8 - Curva-chave em laço com a curva média e extrapolações (estação 75900000), com os eixos dos gráficos com números reais (A) e logaritimizados (B). Período de 7.12.2007 a 9.2.2019.

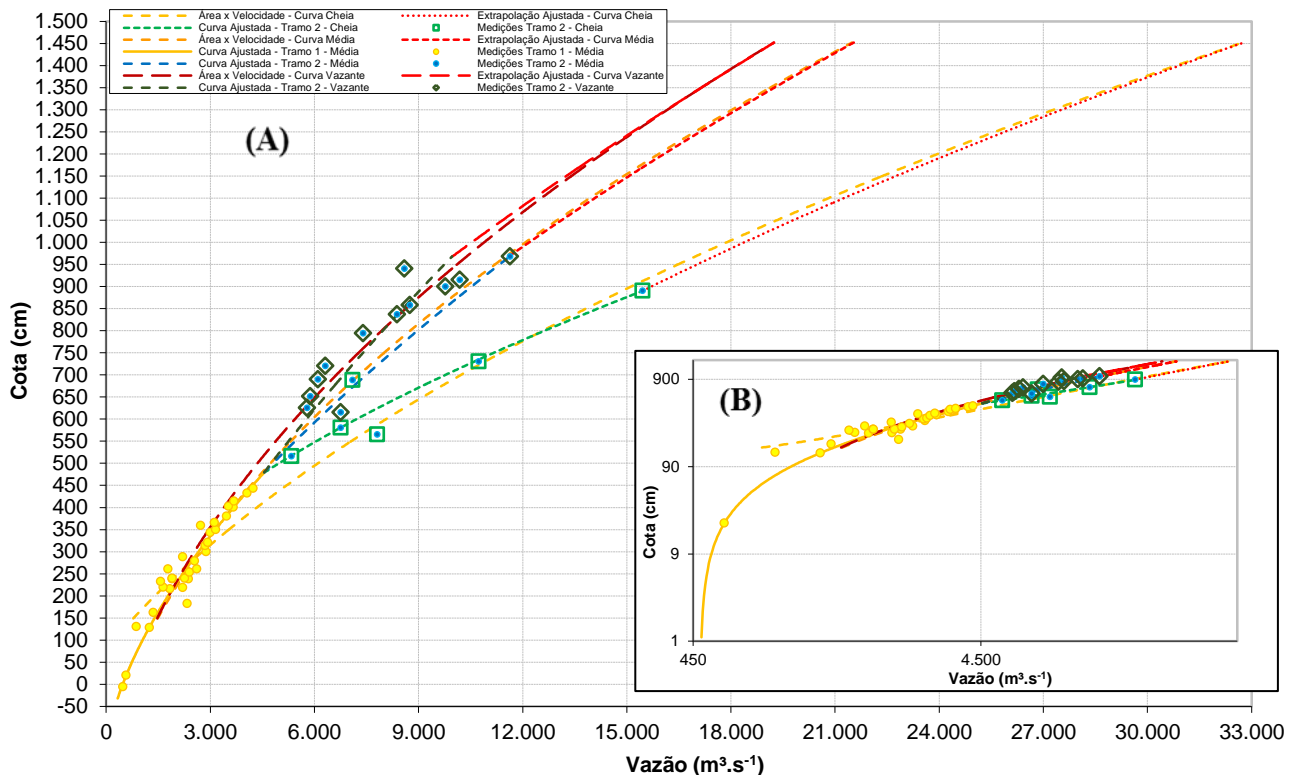


Figura 9 - Curva-chave em laço com a curva média e extrapolações (estação 75900000), além das tendências de área versus velocidade, com os eixos com números reais (A) e logaritimizados (B). Período de 7.12.2007 a 9.2.2019.

A medição de vazão com maior cota medida (968cm) resultou em uma velocidade média de  $0,938\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  em 9.11.2008 e a medição de vazão com menor cota medida (-6cm) foi sob a velocidade média de  $0,095\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  em 30.4.2012, que coincide com a menor velocidade média registrada na série histórica de medições de vazão (12/2007 a 2/2019), já a maior velocidade média registrada foi de  $1,507\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , na cota 890cm, foi em 3.10.2014.

Tabela 2 - Coeficientes das equações potenciais das curvas-chaves e seus respectivos parâmetros qualitativos.

Ajuste	$a$	$h_0$	$n$	Velocidade na Maior Cota Observada (m.s <sup>-1</sup> )	Vazão na Maior Cota Observada (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Média dos Desvios Absolutos (%)	> Desvio Absoluto (%)	< Desvio Absoluto (%)	Relação dos Desvios Positivos / Negativos (%)
<b>Curva-Chave Média</b>									
Tramo 1	216,2200	-1,62	1,640			8,78	30,50	0,12	47
Tramo 2	390,5985	-0,61	1,456			15,44	32,83	0,01	63
Extrapolação	176,9820	-1,72	1,720						
Curva-Chave Inteira				1,46	21.537,27	11,21	32,83	0,12	49
<b>Curva-Chave Para Rio Descendente</b>									
Tramo 1	216,2200	-1,62	1,640			8,78	30,50	0,12	47
Tramo 2	315,1289	-1,81	1,415			7,97	14,35	0,27	62
Extrapolação	525,9713	1,56	1,405						
Curva-Chave Inteira				1,26	19.244,64	8,55	30,5	0,12	51
<b>Curva-Chave Para Ascendente</b>									
Tramo 1	216,2200	-1,62	1,640			8,78	30,50	0,12	47
Tramo 2	491,6690	0,99	1,667			8,82	33,18	0,03	33
Extrapolação	223,5063	-1,83	1,785						
Curva-Chave Inteira				2,55	32.765,66	8,78	33,18	0,03	45

D.A.N.M.V.C.M.C. – Desvio Absoluto na Medição de Vazão na Maior Cota (%).

O material apresentado neste trabalho, e/ou o material utilizado em sua execução, pode ser baixado pelos endereços (“links”) na internet disponibilizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Material utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, para baixar da internet.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Apresentação deste artigo - Pôster	<a href="https://drive.google.com/file/d/1sqmcc1VfJZ0fBxgTAex0mTeyWLq9Th4/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1sqmcc1VfJZ0fBxgTAex0mTeyWLq9Th4/view?usp=sharing</a>
Apresentação deste artigo - Oral	<a href="https://drive.google.com/file/d/15dK_bnnB6914z1TBBNNOUdMGW5SL_ji/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/15dK_bnnB6914z1TBBNNOUdMGW5SL_ji/view?usp=sharing</a>
Planilha de ajuste da curva-chave da estação fluviométrica 75900000 – Gerada pelo SIADH	<a href="https://drive.google.com/file/d/1TfxOnCvK-PIJyhfWV3Jy6n1t_JnLnXI/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1TfxOnCvK-PIJyhfWV3Jy6n1t_JnLnXI/view?usp=sharing</a>
Figura 1 - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF	<a href="https://drive.google.com/file/d/1yNuJ1G1OaebQRpnqz0ns6OvPZ5tBQDIV/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1yNuJ1G1OaebQRpnqz0ns6OvPZ5tBQDIV/view?usp=sharing</a> <a href="https://drive.google.com/file/d/1ZtUwO3JwPC6g8sswB5PRaJnO5f_uQ72I/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1ZtUwO3JwPC6g8sswB5PRaJnO5f_uQ72I/view?usp=sharing</a>
Figura 1 - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PNG	<a href="https://drive.google.com/file/d/12cKMHvEvsNkFwLIHvcN6j5qJ025OrU1P/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/12cKMHvEvsNkFwLIHvcN6j5qJ025OrU1P/view?usp=sharing</a> <a href="https://drive.google.com/file/d/1msjk-Skb7PWunlA6HP16tF55bGPHY_MF/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1msjk-Skb7PWunlA6HP16tF55bGPHY_MF/view?usp=sharing</a>
Localização da Estação 75900000 – Google Earth	<a href="https://drive.google.com/file/d/1V2pUHMdZleBMtkrcRGlhyuxdDtXBZs2i/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1V2pUHMdZleBMtkrcRGlhyuxdDtXBZs2i/view?usp=sharing</a>
Mapas das bacias do Brasil – 100 a 2000dpi	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1R10P_M6itYvMzfTgS1kqTJ0VavATfGA0?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1R10P_M6itYvMzfTgS1kqTJ0VavATfGA0?usp=sharing</a>
Altimetria da Bacia do Rio Uruguai	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfVWxPQUZIOFR3NzQ/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfVWxPQUZIOFR3NzQ/view?usp=sharing</a>
Altimetria do Estado do RS	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfRFGFIS3VQTU9Pd2s/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfRFGFIS3VQTU9Pd2s/view?usp=sharing</a>

#### 4. CONCLUSÃO

A construção e análise de curvas-chave devem ser realizadas em função das vazões medidas e dos níveis d’água medidos. Antes da análise entre as variáveis hidrológicas, é importante realizar a consistência dos dados de campo, assim como é importante que as equipes de campo sejam treinadas para operar as diversas condições hidrológicas dos rios de forma confiável e segura.

Assim, a realização das medições em uma mesma seção de medição é de suma importância, para que seja possível verificar possíveis alterações das vazões em função das variações das geometrias. No caso da estação de Itaqui, não é possível identificar mudanças de geometria.

Além disso, na estação de Itaqui é possível identificar que há desvios de vazões medidas para cotas superiores a 479cm, principalmente por haver diferentes condições do rio (e.g., rio ascendente ou rio descendente), como no caso da cota de 900cm, situação que resultaram em desvios de 66% de vazões, com valores aproximados de 9000m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 15.000m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Como grande parte das medições de vazão da condição de rio descendente e cotas superiores a 479cm ocorreram em apenas um período hidrológico (nov. 2008), não é possível afirmar que o



laço criado na estação ocorre apenas em função das condições de cheia ou se há uma condição de jusante atuando nesta estação. No caso, o rio Ibicuí, que está situado à jusante de Itaqui, poderia estar represando o rio Uruguai, o que resultaria em uma família de laços.

Assim, é de suma importância que a equipe de hidrometria esteja preparada para realizar novas medições de vazão, em novas condições de cheias, principalmente para cotas superiores a 479cm. Neste sentido, é importante que a equipe de campo possa realizar mudanças da logística da campanha de campo, de forma a realizar mais medições na mesma estação, e para diferentes condições hidrológicas, principalmente se for possível realizar medições de vazão com rio ascendente e descendente. Desta forma, será possível identificar a real histerese que acontece no rio Uruguai, na estação de Itaqui.

## REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas na bacia hidrográfica do Rio Purus (sub-bacia 13). 2011. **Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA**. 30 de setembro de 2011.
- FERREIRA, P. A. V. **Otimização Não linear**. 2012. Disponível em: <<http://www.dt.fee.unicamp.br:80/~valente/ia543.html>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- GAMARO, P. E.; MALDONADO, L. H.; SANTOS, J. M. Comparativo entre medições de vazão com micromolinetete e flowtracker para a estação São Francisco Falso. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/579cd3a94951f7f86576318234b74346\\_3e706bdeb90ccc5bb34257e08bd60429.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/579cd3a94951f7f86576318234b74346_3e706bdeb90ccc5bb34257e08bd60429.pdf)>. Acesso em: 28 Jan. 2019.
- GOOGLE. **Google Earth Pro**, 7.3.2.5776 (64-bit) [S.l. : s.n.], Compilação de 05/03/2019 00:43:51 UTC. 2019. Localização da estação 75900000.
- MALDONADO, L. H.; GAMARO, P. E.; SANTOS, J. M.; SANTOS, F. A. M. Alteração de curva-chave devido a assoreamento: caso da Estação de Flórida, MS. In: XI ENES, 2014, **Anais...** João Pessoa. XI ENES, 2014.
- MALDONADO, L. H. Validação experimental de metodologias para quantificação contínua de vazão no Ribeirão da Onça. 2009. **Dissertação** (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27042010-154503/>>. Acesso: 29mar.2019.
- MALDONADO, L. H.; GAMARO, P. Métodos de correção de vazões em tramos superiores de curvas-chaves e para o caso de histerese. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1 a 8.
- MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. Aplicação de medidores de vazão não-convencionais em rios: eletromagnético e vertedor circular móvel. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-8.
- MARCUZZO, F. F. N. Algoritmos genéticos e programação matemática não linear na otimização de curva-chave. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21, 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15054>>. Acesso em: 29 mar. 2019.
- MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave traçada pelo MATLAB com diferentes tipos de equações suportadas pelo programa HIDRO In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 26.; encontro técnico AESABESP, 26., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AESABESP, 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15127>>. Acesso em: 29 mar. 2019.
- MARCUZZO, F. F. N. Modelagem Hidrológica Utilizando Regressão: Conceituação Matemática, Logaritmização e Avaliação. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1 a 10. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17447>>. Acesso em: 28 Jan. 2019.

- MARCUZZO, F. F. N. Sistema de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. **Tese de doutorado**. EESC/USP, São Carlos, 361 p. 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112008-091041/pt-br.php>>.
- MARCUZZO, F. F. N. Traçado de curva-chave unívoca utilizando a regressão simples e robusta do MATLAB. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2016, Aracajú. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2016. p. 1-9. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17188>>.
- MARCUZZO, F. F. N.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA D. B. Bacia hidrográfica internacional do rio Uruguai e consistência dos seus divisores de água na escala 1:3.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17127>>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492>>.
- MARCUZZO, F. F. N. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489>>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave com três tramos consecutivos ajustada com uma única função objetivo não linear. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18484>>. Acesso em: 03 abr. 2019.
- MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. The Optimization of irrigation networks using genetic algorithms. **Journal of Water Resource and Protection**, 2014, 6, 1124-1138. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.612105>>. Acesso em 12 fev. 2017.
- MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo de Perfis de Estações Fluviométricas: Transcrições de Campo, Ajuste de Escritório e Efeito nos Atributos Hidráulicos. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-10. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17448>>. Acesso em: 28 Jan. 2019.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1306-1313, Dec. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001200013>>. Acesso em: 04 Abr. 2019.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. Correlação e regressão. In: NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007b. cap. 9, p. 355-400. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. SIG - versão 2.0 – atualizada em 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso: 23mar 2019.
- REITZ, K.; DIAS, S. F. Calibragem de curva-chave de estação instável pelo método do desnível normal. Estudo de caso: Estação Bacaba, código 13886000, no Rio Tapauá, na bacia hidrográfica do Rio Amazonas. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1 a 8.
- SEFIONE, A. L. Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. **Dissertação de Mestrado**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2001. 96p.