

# CURVA-CHAVE NO CHUÍ: OPÇÕES DE TRAÇADO E AJUSTE CONSIDERANDO A ESTABILIDADE DA VAZÃO EM COTAS ALTAS

Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>

**Palavras-Chave** – Relação Cota-Descarga, Manning, Rede Hidrometeorológica Nacional.

## 1. INTRODUÇÃO

O convertimento de cotas observadas e/ou registradas por sensor de nível d'água de cursos d'água em descarga líquida, em determinados eventos, pode ser um procedimento abstruso que conglobera múltiplas ocorrências de adjacência, como na passagem de assoreamento e erosão.

Entende-se que o principal método usado para determinar a vazão em riachos e rios é medir a variação de cotas e então calcular a vazão usando uma curva-chave, da relação cota versus descarga líquida medida, gerada empiricamente. Esta abordagem básica sobre curva-chave foi desenvolvida no início da década de 1890 para medir o Rio Grande em Embudo, Novo México, nos Estados Unidos da América. As medidas de velocidade são feitas usando medidores de corrente (RANTZ, 1982a), ou mais recentemente, usando perfiladores de corrente Doppler acústicos (SIMPSON, 2001). A descarga é a soma dos produtos das áreas de subseção e suas respectivas velocidades médias estimadas (RANTZ, 1982a). Em seu trabalho que apresentam o Sistema Para Análise de Dados Hidrológicos (SiADH), Lopes *et al.* (2013), citam que todos os dados hidrometeorológicos observados (monitorados) necessitam de tratamentos e processamentos básicos para que os mesmos possam ser utilizados com confiabilidade. As improbabilidades envolvidas nos dados medidos de precipitação, evaporação, nível de rio (cotas), descargas líquidas e sólidas, parâmetros de qualidade de água, etc., muito raramente, podem ser desprezadas sem passarem, pelo menos, por análises preliminares. Adicionalmente, dependendo da finalidade dos estudos que estejam sendo desenvolvidos com a utilização desses dados, mais análises e processamentos tornam-se necessários para diminuir, minimizar ou eliminar os possíveis erros existentes nas séries de dados coletados, aumentando a confiabilidade desses estudos e diminuindo os impactos negativos que as incertezas produziriam nos seus resultados. Os autores também citam que as ferramentas computacionais que auxiliem a padronizar, sistematizar e facilitar as análises de dados hidrológicos é bastante útil e devem ser prioritariamente utilizadas. O adequado desenho e ajuste de curvas-chave sob instabilidade, seja por histerese (MARCUSO *et al.*, 2019), dragagem, erosão e/ou assoreamento, ou até mesmo questões que envolvam sedimento (MENEZES e MARCUSO, 2019 e MENEZES *et al.*, 2021) necessita de um bom entendimento das ferramentas computacionais e o entendimento dos limites físicos da equação potencial da relação cota versus descarga líquida. Bartels *et al.* (2010) verificaram a importância de se analisar bem a validade de uma curva-chave antes de utilizá-la e que pode ser necessário estabelecer mais de uma curva-chave para o intervalo de cotas observado ao longo da série. Equacionar esta relação cartesiana entre dados hidrológicos e/ou dados físicos e/ou geomorfológicos, que os gráficos de dispersão destas variáveis fornecem é de suma importância para o hidrólogo compreender o fenômeno. Os métodos para a determinação da velocidade e da área da seção transversal de fluxo de água em canais abertos, e consequentemente vazão, segundo Gamero *et al.* (2014), são normatizados pelo padrão internacional ISO 748:2007. Múltiplos erros, mais localizados ou não, na concepção de curva-chave podem ser atribuídos a diversos fatores, como os relatados por Melati e Marcuzzo (2014), que verificaram a frequência de falhas de transcrição de dados fluviométricos, e como em alguns casos podem influenciar as características hidráulicas da seção transversal de um rio, acarretando erros no cálculo de vazão. Maldonado (2009) expõe que quando a

<sup>1</sup>) Pesquisador em Geociências, Eng. Hidrólogo, CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, nº105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90840-030, Tel.:(51)3406-7300, francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

jusante de seção de controle há alguma interferência na vazão, como um sistema de bombeamento, pode-se aplicar o método das isotáquias. Segundo Sefione (2001) a curva-chave é a ferramenta criada para determinação dos valores do nível d'água (cota) numa dada seção de um curso d'água. Essa informação é necessária para se obter mínimas e máximas, como o desenvolvido por Sefione *et al.* (2001), que são, não raro, o ponto chave de muitos estudos hidrológicos.

O objetivo deste estudo foi traçar e ajustar duas opções de curva-chave para uma estação que sofre com instabilidade nas medições de vazão em cotas intermediárias e baixas, sob efeito de assoreamento, erosão e, possivelmente, influência do nível do mar a jusante, de modo a se analisar e discutir a heurística em opções de quando considerar a estabilidade da vazão em cotas altas para o traçado e ajuste de curva-chave do tipo “vassoura” e seu efeito nos coeficientes dos tramos inferiores.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

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

A estação fluviométrica com medição de descarga líquida e qualidade de água (FDQ) utilizada neste estudo (Arroio Chuí – código: 88020000; Latitude: -33°41'23" Longitude: -53°26'21"; Altitude: 0,23m) está localizada no município de Chuí/RS, bem na fronteira com o Uruguai, no conhecido popularmente Arroio Chuí, cuja sub-bacia é numerada como 88, sub-bacia da Lagoa Mirim (Figuras 1 e 2). O mapa de localização (Figura 1) pode ser obtido, em melhores resoluções, em: <https://drive.google.com/drive/folders/1eQLIwTKTSV-2aLTP2kXqYCqtkzg6TDPC?usp=sharing>. A bacia do Arroio Chuí faz parte da região hidrográfica de número 12, chamada Região Hidrográfica do Atlântico Sul, e da Bacia Hidrográfica do Atlântico – Trecho Sudeste, que recebe o número 8. A estação está com o zero da régua na altitude de 0,23m, possui uma área de drenagem de aproximadamente 390km<sup>2</sup>. A precipitação pluviométrica média anual na sub-bacia da Lagoa Mirim, em sua parte brasileira, varia de 1.202 a 1.814mm.ano<sup>-1</sup>, segundo os dados publicados por Pinto *et al.* (2011) e utilizados neste estudo (Figura 1). Fotos do local da estação estão na Figura 3.

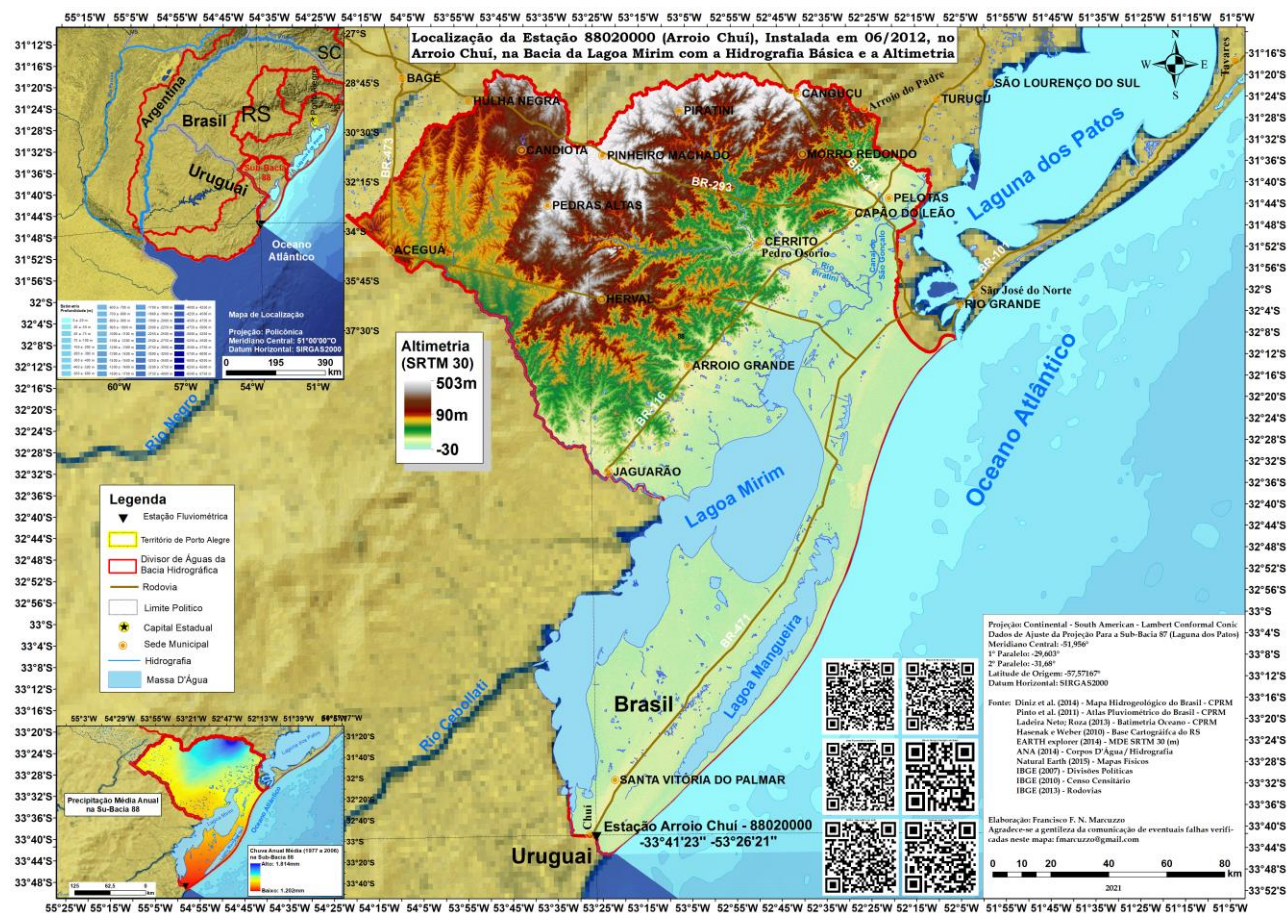


Figura 1 – Localização da estação 88020000 (Arroio Chuí) na sub-bacia 88, extremo Sul do Brasil.



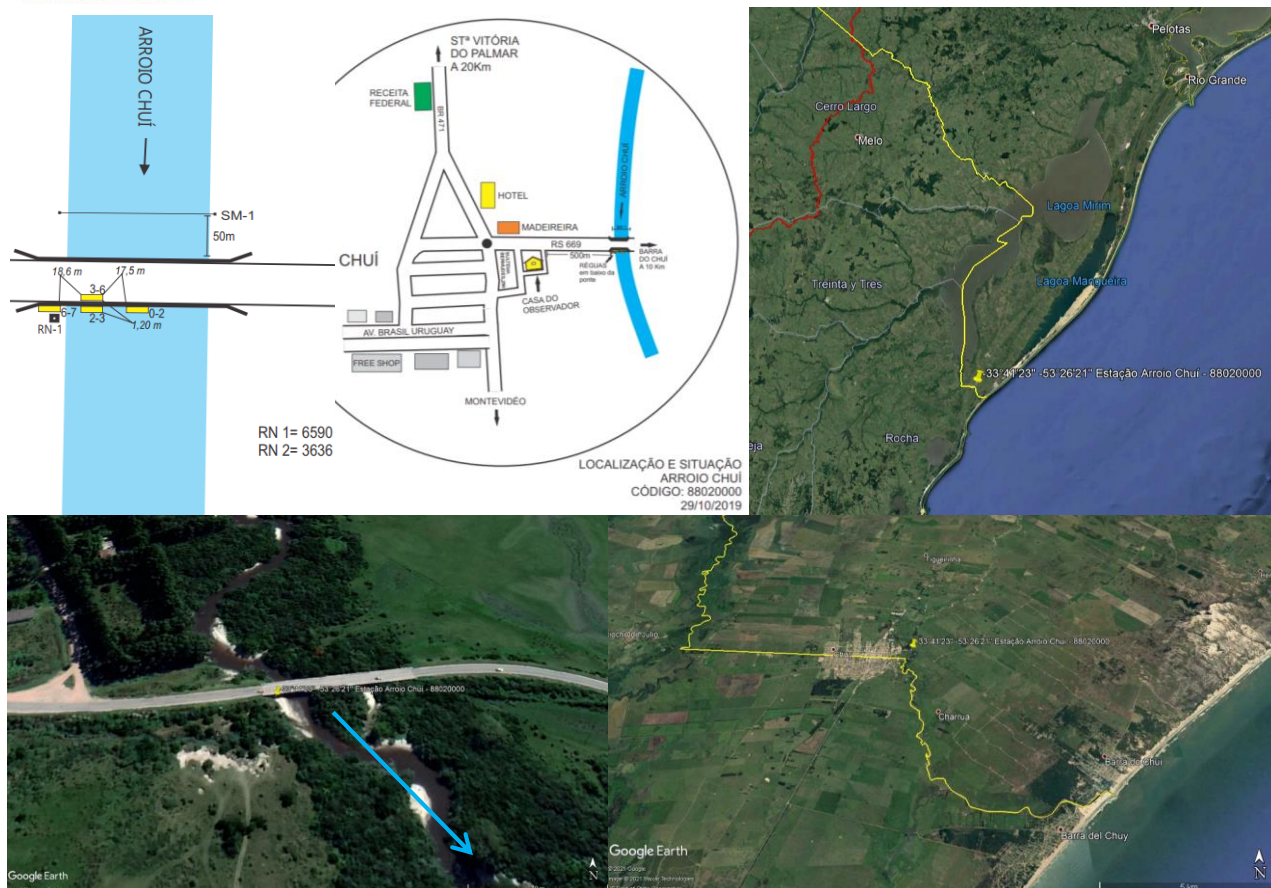


Figura 2 – Croqui de localização e imagens de satélite (GOOGLE EARTH, 2021) da localização da estação 88020000.



Figura 3 – Fotos do Arroio Chuí e da seção de réguas da estação fluviométrica 88020000 no extremo Sul do Brasil.



A Figura 4 mostra a delimitação da bacia do Arroio Chuí a montante da estação 8802000. Área de drenagem da estação 8802000 é de 390km<sup>2</sup> segundo o inventário da ANA de 21/06/2021. Os perfis transversais de 2014 a 2019 estão na Figura 5. Neste link pode-se obter diagramas unifilares da sub-bacia 88: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18953>.

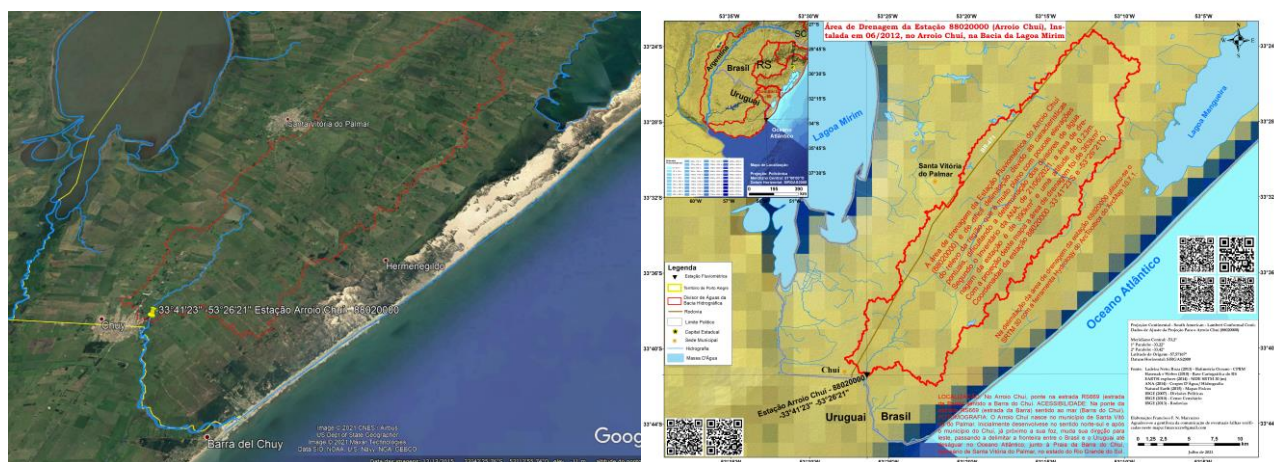


Figura 4 – Área de drenagem da bacia do Arroio Chuí a partir da localização da estação fluviométrica 88020000.

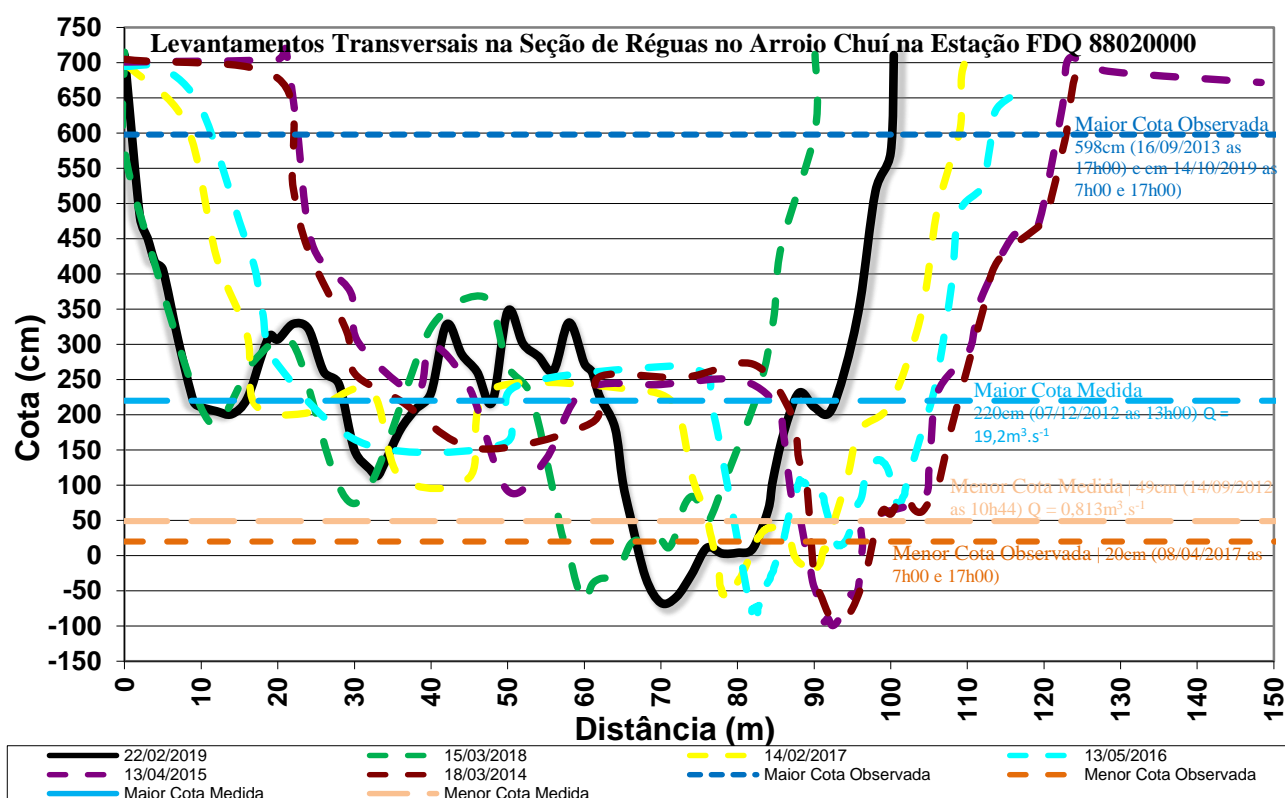


Figura 5 – Perfis transversais da seção de régua de 2014 a 2019 no Arroio Chuí na estação 88020000.

A estação fluviométrica com medição de descarga líquida e qualidade de água (FDQ) no Arroio Chuí, código 8802000, no extremo Sul do Brasil, foi instalada com nível d'água na cota 0,57 m, com sete lances de régua e com duas RRNN: RN1 = 6590 mm e RN2 = 3636 mm. Desde sua instalação, em 14/06/2012, a medição de descarga líquida do Arroio Chuí, na estação 88020000, é com o FlowTracker e com o Perfilador Acústico Doppler (ADP) M9. Leito da seção do Arroio Chuí nas proximidades da estação 8802000 é muito arenoso com mudanças notórias na seção. Sobre a estação 88020000, é verificado constantemente, pelas equipes de campo do SGB/CPRM, durante as medições de vazões, grande oscilação de cotas (nível do rio sobe e desce e vice e versa, com grande frequência).

## 2.2. Equação potencial da curva-chave, ajuste otimizado e o programa SIADH utilizado

Na hidrometria a expressão matemática mais usual para se representar a relação entre o nível do curso d'água e a descarga líquida é a equação potencial:

$$Q_{calculada} = a(h - h_0)^n \quad (1)$$

em que,  $h$ , em metros, é a cota para a descarga  $Q_{calculada}$ , em  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $h_0$ , em metros, é a cota para a descarga  $Q_0$ ;  $a$  é a constante que, se não alterada os outros elementos da equação (1), quanto maior for o seu valor, maior será a vazão calculada para todo o intervalo de cotas e que, quanto menor for o seu valor, menor será a vazão calculada para todo o intervalo de cotas.

Perscrutamento 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). Um detalhamento de regressões matemática para hidrologia é observado em Naghettini e Pinto (2007). Visando montar a estrutura necessária para um correto traçado e ajuste da curva-chave aqui estudada, optou-se por lançar mão do processo 448 do Sistema Para Análise de Dados Hidrológicos (SiADH) da Agência Nacional de Águas (ANA), melhor descrito na publicação de Lopes *et al.* (2013). Entretanto, como se pretende mostrar nos resultados, especificamente para este tipo de curva-chave, “vassoura”, fez-se diversas modificações na planilha (Quadro 1) gerada pelo SIADH para melhor controle qualitativo e otimizado do seu traçado e ajuste.

Quadro 1 – Disponibilização do material produzido e/ou utilizado direta ou indiretamente como apoio neste estudo.

<b>Material</b>	<b>Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet</b>
Figura 1 - Mapa Localização da Estação, Altimetria, Precipitação, etc.	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1r4W3n2P8ruFeg5h9K9jBehruQzOVDj7p?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1r4W3n2P8ruFeg5h9K9jBehruQzOVDj7p?usp=sharing</a> <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1w-HLkOCXrECAae6oi_Jb1IvqN9NqVpm?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1w-HLkOCXrECAae6oi_Jb1IvqN9NqVpm?usp=sharing</a>
Figura 4 - Área de drenagem da bacia do Arroio Chuí a partir da localização da estação fluviométrica 88020000.	<a href="https://drive.google.com/file/d/1dUgAfcidYQy6Jmm7wul4TrBVqCGT6d6bP/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1dUgAfcidYQy6Jmm7wul4TrBVqCGT6d6bP/view?usp=sharing</a> <a href="https://drive.google.com/file/d/1HJyjSeGjoGtgr7-HfWin6ggJ0bXdpaoK/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1HJyjSeGjoGtgr7-HfWin6ggJ0bXdpaoK/view?usp=sharing</a>
Google Earth - Localização da Estação 88020000	<a href="https://drive.google.com/file/d/15tf1IP2VL_eYON0VzHktcUoWQTMURXPL/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/15tf1IP2VL_eYON0VzHktcUoWQTMURXPL/view?usp=sharing</a>
Google Earth - Área de Drenagem Estação 88020000 SRTM30	<a href="https://drive.google.com/file/d/1Zo5W0FKKU6W8Y0HNcUg59Rb7HWTxJupk/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1Zo5W0FKKU6W8Y0HNcUg59Rb7HWTxJupk/view?usp=sharing</a>
Planilha de Traçado e Ajuste da Curva-Chave 1 - SiADH	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1HO9LE9liHnwH_kz_8SKBSE2hCPaDm5J?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1HO9LE9liHnwH_kz_8SKBSE2hCPaDm5J?usp=sharing</a>
Análises 449 e 450 do SiADH da Curva-Chave 1	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1swpp7GjLaVPN0U6P5DMtSNuUm8tS-9r0?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1swpp7GjLaVPN0U6P5DMtSNuUm8tS-9r0?usp=sharing</a>
Planilha de Traçado e Ajuste da Curva-Chave 2 - SiADH	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1nCBxksfw3f5mzwx_LQNqb8fve5Y1GX?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1nCBxksfw3f5mzwx_LQNqb8fve5Y1GX?usp=sharing</a>
Análises 449 e 450 do SiADH da Curva-Chave 2	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1S3zFt7GqidNbn_Z3Y4fPIZdwSQAterrj?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1S3zFt7GqidNbn_Z3Y4fPIZdwSQAterrj?usp=sharing</a>
Mapas das Bacias e Sub-Bacias do Brasil – 100 a 2000dpi	<a href="http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492">http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492</a>
Diagramas Unifilares da Sub-Bacia 88 (Lagoa Mirim)	<a href="http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18953">http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18953</a>
Mapas de Sub-Bacias e Altimetria do Rio Grande do Sul	<a href="http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19906">http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19906</a>
Trabalhos Sobre Curva-Chave Publicados no SGB/CPRM	<a href="http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/simple-search?query=curva-chave">http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/simple-search?query=curva-chave</a> <a href="https://drive.google.com/file/d/1AGKk25aX6SidvZ1XxtlzZ65FUEL35Jt/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1AGKk25aX6SidvZ1XxtlzZ65FUEL35Jt/view?usp=sharing</a>

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extrapolação, da maior cota com medição de vazão (220cm em 07/12/2012) até a maior cota observada (598cm em 16/09/2013) foi utilizando o método Declividade-Conveyance utilizando o Levantamento de Seção Transversal (LST) de 22/02/2019 (Figura 5) para o cálculo dos parâmetros hidráulicos da seção transversal. Verifica-se uma extrapolação de 378cm da maior cota com medição de vazão (220cm) para a maior cota observada (598cm), o que representa um intervalo de cotas maior que o do intervalo que possui medição de vazão, de 49cm a 220cm, totalizando um total de 171cm de intervalo de cotas que se tem algum conhecimento de descarga líquida medida em campo. Os Levantamentos de Seção Transversal (LST) ultrapassam a maior cota observada (Figura 5) o que gera menos incerteza na extrapolação utilizando os parâmetros hidráulicos da seção. A Tabela 1 e Figura 6 mostram os intervalos de cotas, períodos de validades e coeficientes dos diferentes tramos da curva-chave “vassoura”, sob efeito de erosão e assoreamento, com a consideração da estabilidade de vazão a partir da cota 140cm. Já a Tabela 2 e a Figura 7, consideram a estabilidade de vazão a partir da cota 169cm. O traçado de curvas-chave em estações instáveis, segundo Reitz e Dias (2014), pode ser bastante complexo, especialmente quando os dados de vazão exibem distorções, pelos efeitos de

remanso. Já Lemos *et al.* (2013) citam que a análise de consistência de dados fluviométricos deve envolver, principalmente, a análise de cotas, análise de medições de descarga líquida, análise e traçado de curvas-chave e suas extrapolações e a análise de vazões entre estações (análise regional). Os autores também citam que no traçado e análise de curvas-chave deve ser considerada, principalmente, a uniformidade de pontos nos gráficos de desvios versus cota e de desvios versus tempo. As duas opções de curva-chave, uma com estabilidade considerada a partir da cota 140cm e a outra a partir de 169cm, foram traçadas com 30 medições de descarga líquida, obtidas de 14/06/2012 a 29/10/2019. Devido a pandemia do COVID-19, não foi possível ainda retornar com os trabalhos normais de medição de vazão em campo para esta estação FDQ, portanto, até o mês de maio de 2021, a última medição de vazão é de 29/10/2019. A maior vazão estimada pela curva-chave da estação 8802000, considerando a estabilidade a partir da cota 140cm e na cota 169cm, já que a extrapolação foi igual para as duas, foi nas datas de 16/09/2013 e em 14/10/2019, quando o observador de campo anotou a cota de 598cm, o que gerou a estimativa de vazão de  $360\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ . Já a vazão mínima foi no dia 08/04/2017, as 7h00 e 17h00, quando o observador de campo anotou a cota de 20cm, o que gerou uma vazão estimada de menos de  $19\text{litros}.\text{s}^{-1}$  considerando a estabilidade a partir da cota 140cm, já considerando a estabilidade a partir da cota 169cm, gerou uma vazão menor que  $1\text{litro}.\text{s}^{-1}$ .

Segundo Lopes *et al.* (2013) ferramentas computacionais que auxiliem a padronizar, sistematizar e facilitar as análises de dados hidrológicos são bastante úteis e devem ser prioritariamente utilizadas. Neste estudo utilizou-se a rotina 448 do SiADH, apresentado por Lopes *et al.* (2013), o que facilitou a “montagem” inicial dos dados para o traçado e ajuste, contudo houve a necessidade de se executar na planilha gerada, pelo 448 do SiADH, uma série de adaptações para se conseguir traçar e ajustar esta curva-chave em formato “vassoura”.

Tabela 1 – Análise dos desvios dos diferentes tramos da curva-chave da Figura 6 (“cabo” a partir de 140cm), com os intervalos de cotas, períodos de validades e coeficientes da curva-chave “vassoura” (sob efeito de erosão e assoreamento).

Nº do Tramo	Equação - Coeficientes			Intervalo de Cotas (cm)		Validade	Desvio Absoluto Médio (%)	Número de Medições com Desvios Positivos		Número de Medições com Desvios Negativos						
	a	h0	n	Min.	Max.			(abs.)	(%)	(abs.)	(%)					
1	3,6309	0,09	2,955	10	140	01/06/2012 - 31/07/2012	22	2	34	4	66					
2	3,6309	0,09	2,955	52	140	01/10/2013 - 31/01/2015										
3	4,0703	-0,03	1,938	10	140	01/05/2019 - 31/12/2021	7	1	50	1	50					
4	<b>4,1024</b>	<b>-0,03</b>	<b>1,916</b>	<b>140</b>	<b>221</b>	<b>01/06/2012 - 31/12/2021</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	<b>3</b>	<b>60</b>					
5	5,0295	0,11	1,887	40	140	01/08/2012 - 30/09/2013	10	12	5	13	50	44	5	16	50	56
6	5,0295	0,11	1,887	70	140	01/02/2015 - 31/12/2018										
7	7,0983	0,04	3,225	20	70	01/02/2015 - 31/12/2018	8	2	50	2	50					
8	8,1405	0,4	5,626	40	140	01/01/2019 - 30/04/2019	16	1	50	1	50					
9	<b>35,607</b>	<b>1,53</b>	<b>1,597</b>	<b>221</b>	<b>598</b>	<b>01/06/2012 - 31/12/2021</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>					

Tabela 2 – Análise dos desvios dos diferentes tramos da curva-chave da Figura 7 (“cabo” a partir de 169cm), com os intervalos de cotas, períodos de validades e coeficientes da curva-chave “vassoura” (sob efeito de erosão e assoreamento).

Nº do Tramo	Equação - Coeficientes			Intervalo de Cotas (cm)		Validade	Desvio Absoluto Médio (%)	Número de Medições com Desvios Positivos		Número de Medições com Desvios Negativos						
	a	h0	n	Min.	Max.			(abs.)	(%)	(abs.)	(%)					
1	4,0537	-0,03	1,938	10	169	01/05/2019 - 31/12/2021	7	1	50	1	50					
2	<b>4,1024</b>	<b>-0,03</b>	<b>1,916</b>	<b>169</b>	<b>221</b>	<b>01/06/2012 - 31/12/2021</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>50</b>	<b>2</b>	<b>50</b>					
3	4,8915	0,11	1,887	70	169	01/02/2015 - 31/12/2018	10	4	50	4	50					
4	5,2989	0,14	1,787	40	169	01/08/2012 - 30/09/2013	6	1	34	2	66					
5	5,3268	0,39	2,965	40	169	01/01/2019 - 30/04/2019	7	1	50	1	50					
6	5,3269	0,39	2,965	54	169	15/01/2014 - 31/05/2014	2	9	0	13	0	44	1	16	100	56
7	5,9545	0,3	2,024	45	169	01/06/2012 - 31/07/2012										
8	5,9546	0,3	2,024	52	169	01/06/2014 - 31/01/2015	21	2	67	1	33					
9	6,0594	0,3	1,971	52	169	01/10/2013 - 14/01/2014	1	0	0	1	100					
10	8,5275	0,19	2,304	20	70	01/02/2015 - 31/12/2018	8	2	50	2	50					
11	<b>35,607</b>	<b>1,53</b>	<b>1,597</b>	<b>221</b>	<b>598</b>	<b>01/06/2012 - 31/12/2021</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>					



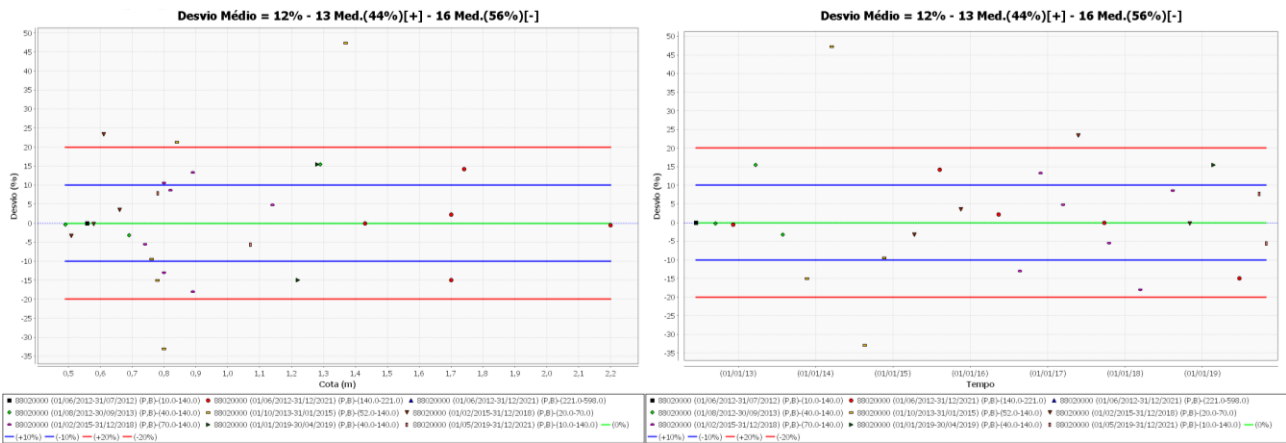
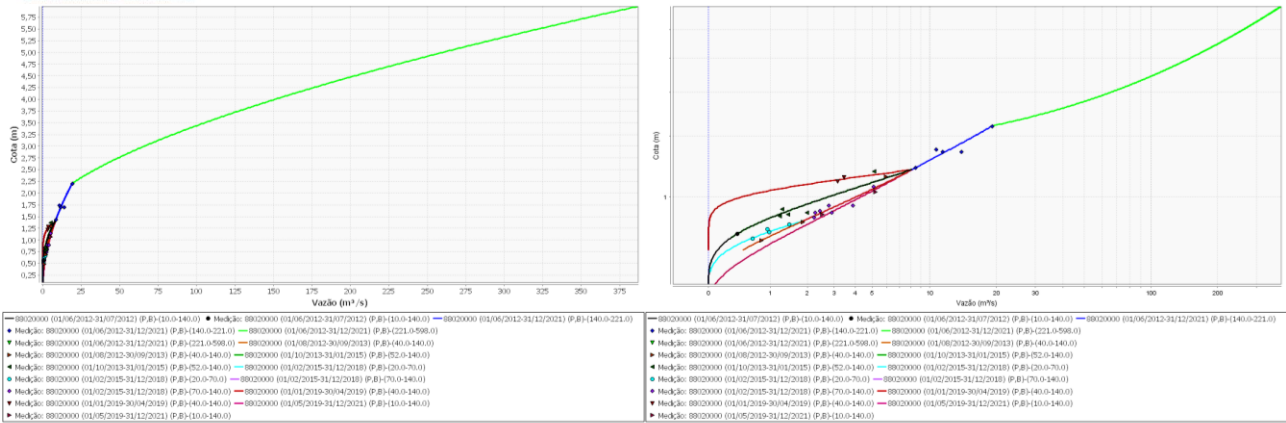


Figura 6 – Curva-chave da 88020000 (Tabela 1). Estabilidade da descarga líquida estimada a partir da cota 140cm.

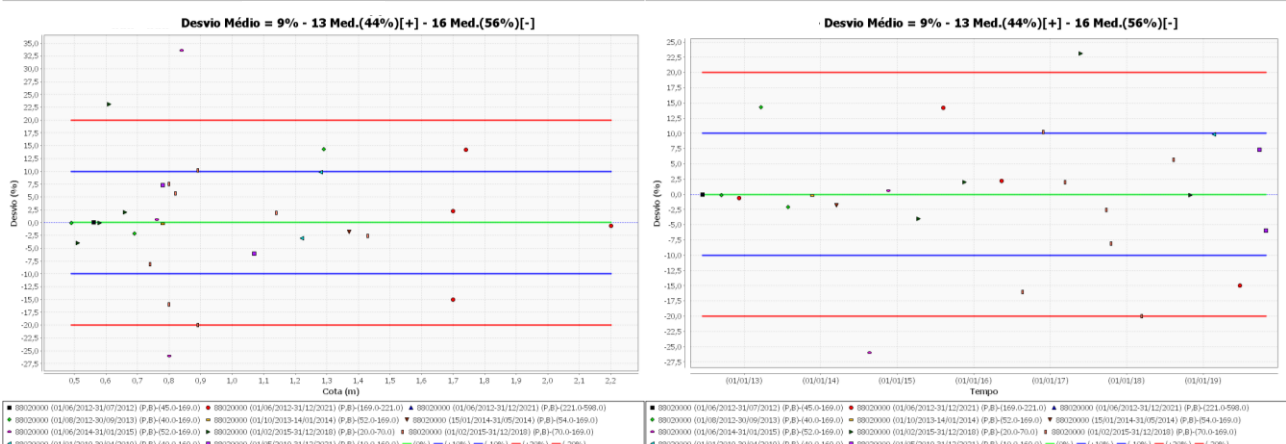
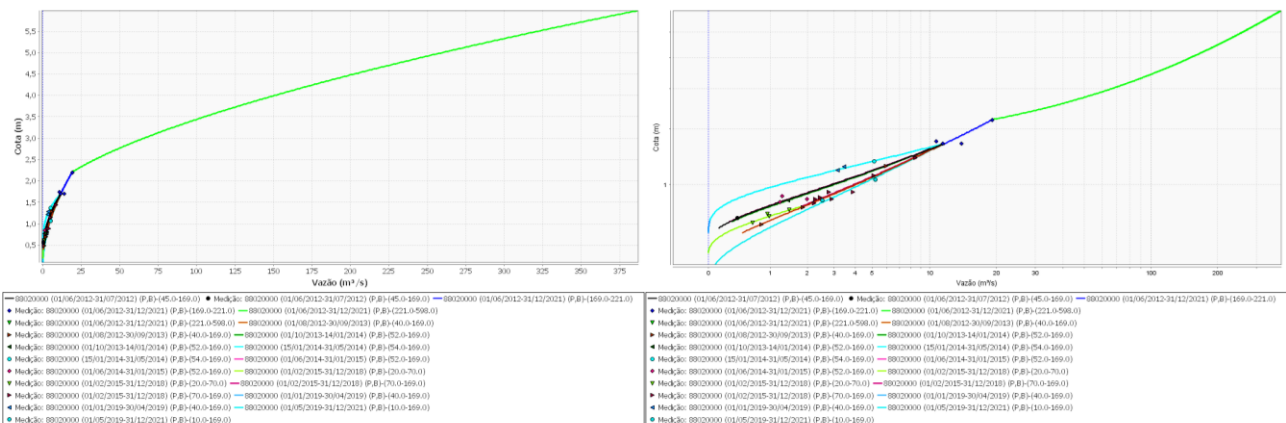


Figura 7 – Curva-chave da 88020000 (Tabela 2). Estabilidade da descarga líquida estimada a partir da cota 169cm.

A curva de calibragem da relação cota versus descarga líquida do tipo “vassoura” traçada e ajustada neste estudo é considerada de alta instabilidade, com feixes de tramos para as cotas mais baixas. A instabilidade desta curva-chave é devido a seção ou controle instável, ou seja, a existência de uma superfície de calibragem para cotas mais baixas que, comumente, sofrem o processo de assoreamento e/ou erosão. No caso deste trabalho há, também, a possível interferência do nível da maré, já que o exutório do Arroio Chuí, que é direto no Oceano Atlântico, não está longe da localização da estação fluviométrica. Não é possível também descartar interferência no nível e na vazão do Arroio Chuí provocadas por captações para irrigação, seja a montante ou a jusante.

#### 4. CONCLUSÃO

Conclui-se que, na concepção de curva-chave do tipo “vassoura”, a decisão do hidrólogo de que cota começará a estabilidade da vazão, é de primordial importância qualitativa para as vazões a serem estimadas pela equação, principalmente considerando que a cota escolhida influenciará nos coeficientes das equações dos tramos que compõem a parte baixa da curva-chave.

Conclui-se também e reforça-se portanto, com os resultados obtidos, a importância de se seguir os critérios básicos que devem nortear e serem utilizados no traçado e ajuste de equações que descrevam o comportamento da relação do nível dos cursos d’água e a sua respectiva descarga líquida, que são: I) Quantidade de medições de descarga líquida acima e abaixo de cada curva-chave, tanto em valores absolutos como em percentuais estarem em distribuição considerada razoável pelo hidrólogo responsável; II) Distribuição uniforme dos desvios das medições de descarga líquida versus cota/nível do curso d’água em gráfico, o que serve como indicador de igual ou diferente distribuição dos dados nos dois lados da curva-chave; III) Diagnóstico visual das curvas-chave traçadas e ajustadas, tanto em escala aritmética normal quanto em escala bi logarítmica, averiguando suas compatibilidades entre si; IV) Distribuição constante e/ou uniforme dos desvios nos gráficos plotados com a medições de descarga líquida versus tempo, o que se presta como indicador que a equação da curva-chave concebe adequadamente a relação do nível do curso d’água e a descarga líquida para todo o período estabelecido para sua validade; Desvio absoluto médio percentual, considerado razoável pelo hidrólogo responsável, conforme a situação específica, entre as descargas líquidas medidas em campo e as estimadas pela equação da curva-chave.

#### 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.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário das estações fluviométricas**. 2. ed. DF, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/I>>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- ANA. **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados fluviométricos**. Brasília: ANA. 2011. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/Diretrizes\\_Analises\\_Recomendadas\\_Consistencia\\_de\\_Dados\\_Fluviometricos.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/Diretrizes_Analises_Recomendadas_Consistencia_de_Dados_Fluviometricos.pdf)>. Acesso: 23 ago. 2021.
- BARTELS, G. K.; BESKOW, S.; AQUINO, L. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C. Avaliação dos dados de vazão gerados pela curva-chave no Arroio Pelotas (Ponte Cordeiro de Farias). In: XIX Congresso de Iniciação Científica, 2010, Pelotas. **Anais...** 2010. Disponível em: <[http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CIC-UFPel-2010\\_01028.pdf](http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CIC-UFPel-2010_01028.pdf)>. Acesso: 28 Jan. 2021.
- FINCK, J. S.; GUIMARÃES, G. M.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; MARCUZZO, F. F. N. Diagrama unifilar de dados hidrológicos em bacia hidrográfica: proposta de modelo e passo a passo de como fazer consistindo os dados. In: Simpósio Brasileiro de Recursos



Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18491>>. Acesso em: 10 Jan. 2021.

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, 2013. 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. 2021.

GOOGLE. **Google Earth**, 7.1.8.3036. [S.l. : s.n.], Compilação de 17/01/2017. 2017. Localização da estação 8715000. Disponível: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso: 30mar2017.

GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 03, n. 3. p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18953>>.

INDIA. **How to establish stage discharge rating curve**. Training module # SWDP – 29. New Delhi: Hydrology Project, 1999. Disponível em: <<http://www.mahahp.gov.in/pdfFiles/resource/modules/29HOWTOESTABLISHSTAGEDISCHARGERATINGCURVE.pdf>>. Acesso: 15 mar. 2021.

LEMO, G. M.; LOPES, W. T. A.; SILVA, L. R. S.; DE PISCOYA, R. de C. C. C.; DA SILVA, M. C. A.; REITZ, K. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações localizadas na sub-bacia 12 (rios Solimões, Juruá e Japurá). In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1 a 8. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20131119\\_PAP013828\\_05.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20131119_PAP013828_05.pdf)>. Acesso: 29 jun. 2020.

LIONG, S. Y.; SIVAPAGASAM, C. Flood stage forecasting using support vector machine. **J. Am. Water Resour. Assoc.** 38(1), p. 173 - 186. 2002. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.2002.tb01544.x>>. Acesso em: 13 Jul. 2021.

LOPES, W. T. A.; LEMOS, G. M.; SARMENTO SILVA, L. R.; DA SILVA, M. C. A. M.; DE PISCOYA, R. de C. C.; GOMES, A. de O.; DOS SANTOS, A. G. Sistema para análise de dados hidrológicos - SiADH. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1 - 8. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20131118\\_PAP013844.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20131118_PAP013844.pdf)>. Acesso em: 28 Jan. 2021.

MAIER, H. R.; DANDY, G. C. The use of ann for the prediction of water quality parameters. **Water Resour. Res.** 32(4), p. 1013 - 1022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02944165>>. Acesso em: 13 Jul. 2021. 1996.

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.2021.

MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave com três tramos consecutivos ajustada com uma única função objetivo não linear. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2017. p. 1 a 8. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18484>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

MARCUZZO, F. F. N. Sistema de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. 2008. **Tese (Doutorado em Engenharia)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/304>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; MALDONADO, L. H.; SOUZA, S. A. de. Curva-chave sob efeito de histerese: traçado e ajuste de curva-chave média e em laço. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21532>>. Acesso em 30 abr. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. Otimização de rede de irrigação de microaspersão usando algoritmos genéticos sob diferentes declividades e tarifação de água e energia elétrica. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.18, n.1, p.50-62, Viçosa, MG. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/602>>. Acesso em 30 abr. 2021.

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. 2021.

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. 2021.

MENEZES, D. de.; MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave de sedimentos com tramos separados por vazão e tempo: elementos do traçado e ajuste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais [...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21583>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

MENEZES, D. de.; MARCUZZO, F. F. N.; PEDROLLO, M. C. R. Estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.43, e17, p. 1-31, 2021. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22167>>. Acesso: 30 abr. 2021.

RANTZ, S. E. **Measurement and Computation of Streamflow**. volume 1, Measurement of Stage and Discharge, U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap., 2175. 1982a. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/wsp2175.pdf>>. Acesso em: 13 Jul. 2021.

RANTZ, S.E. **Measurement and computation of streamflow**. volume 2, computation of discharge. [S.l.]: U.S. Government Printing Office, 1982b. (Water supply paper series, 2175). Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/>>. Acesso em: 23 ago. 2020.

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 - 8. Disponível em: <[http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013\\_PAP012662.pdf](http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP012662.pdf)>. Acesso em: 13 Jul. 2021.

SEFIONE, A. L. Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. **Dissertação de Mestrado**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2001. 96p. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3258>>. Acesso em: 13 Jul. 2021.

SEFIONE, A. L.; MEDEIROS, J. D.; DORNELLES, A. M.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia de pseudo-extrapolação para avaliação de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 1-13.

SIMPSON, M. **Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler**. U. S. Geological Survey. Open File Rep., 01-01, 123 pp. 2001. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr0101/text.pdf>>. Acesso em: 13 Jul. 2021.