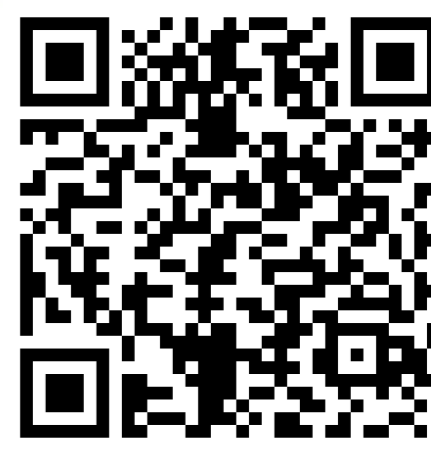


# CURVA-CHAVE COM TRÊS TRAMOS CONSECUTIVOS AJUSTADA COM UMA ÚNICA FUNÇÃO OBJETIVO NÃO LINEAR



Francisco F. N. Marcuzzo  
 CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil – Porto Alegre/RS

## Introdução

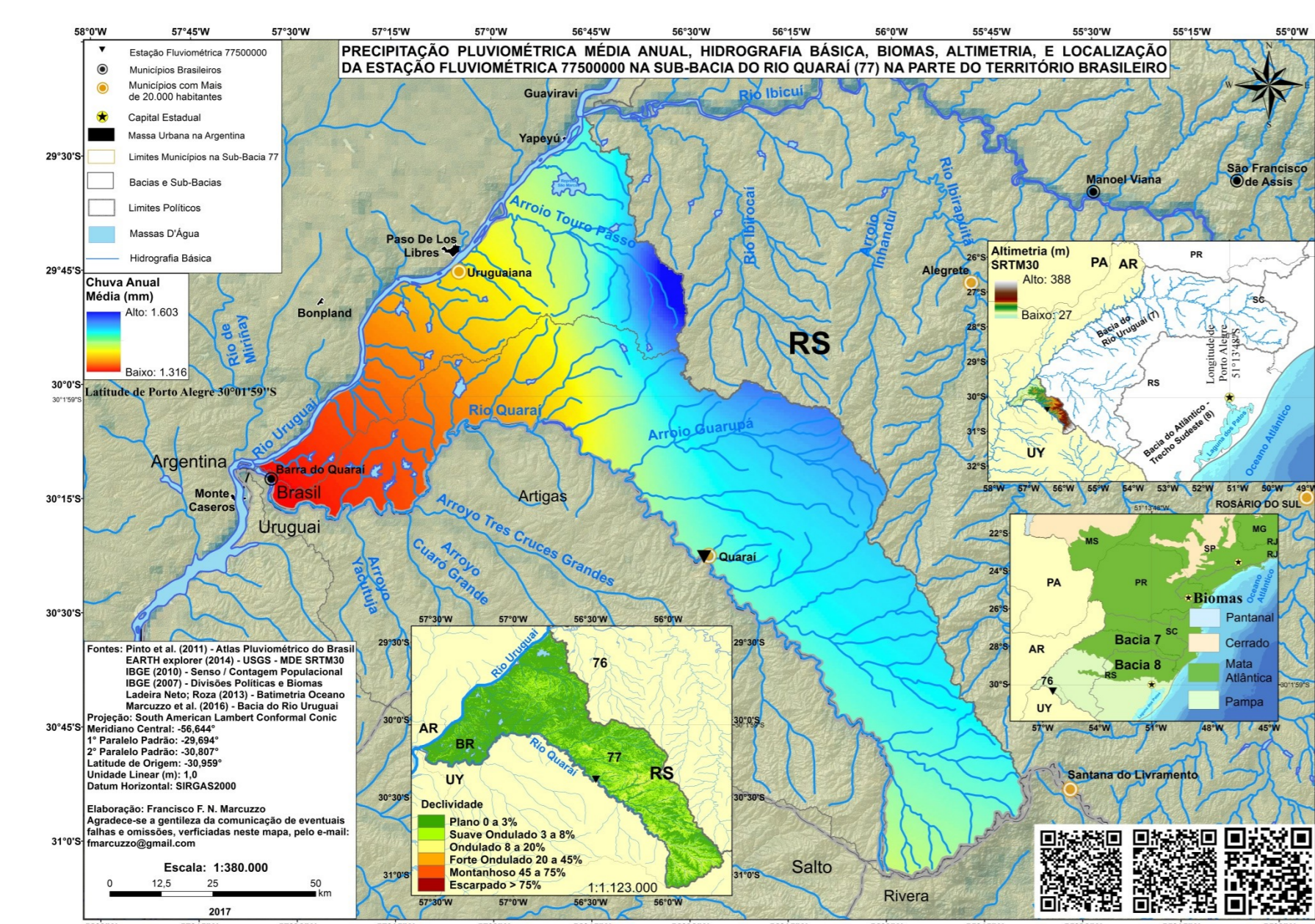
A curva da relação nível do corpo d'água e descarga líquida possui essencial importância para se converter dados de altura de nível d'água de rios em vazão calculada, o que estimula hidrólogos a manterem constante o estudo em diferentes métodos visando melhorar e facilitar o trabalho.

## Objetivo

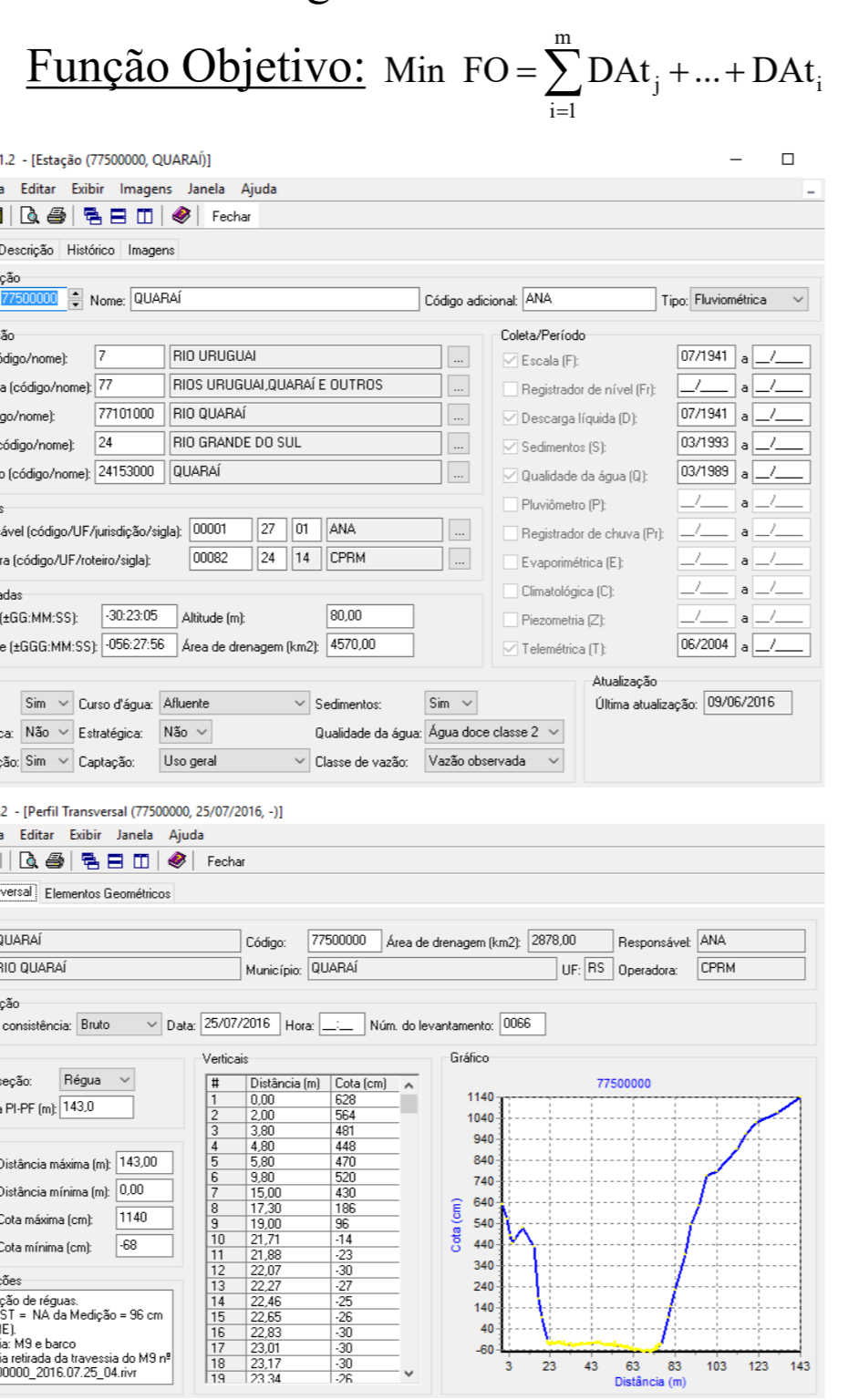
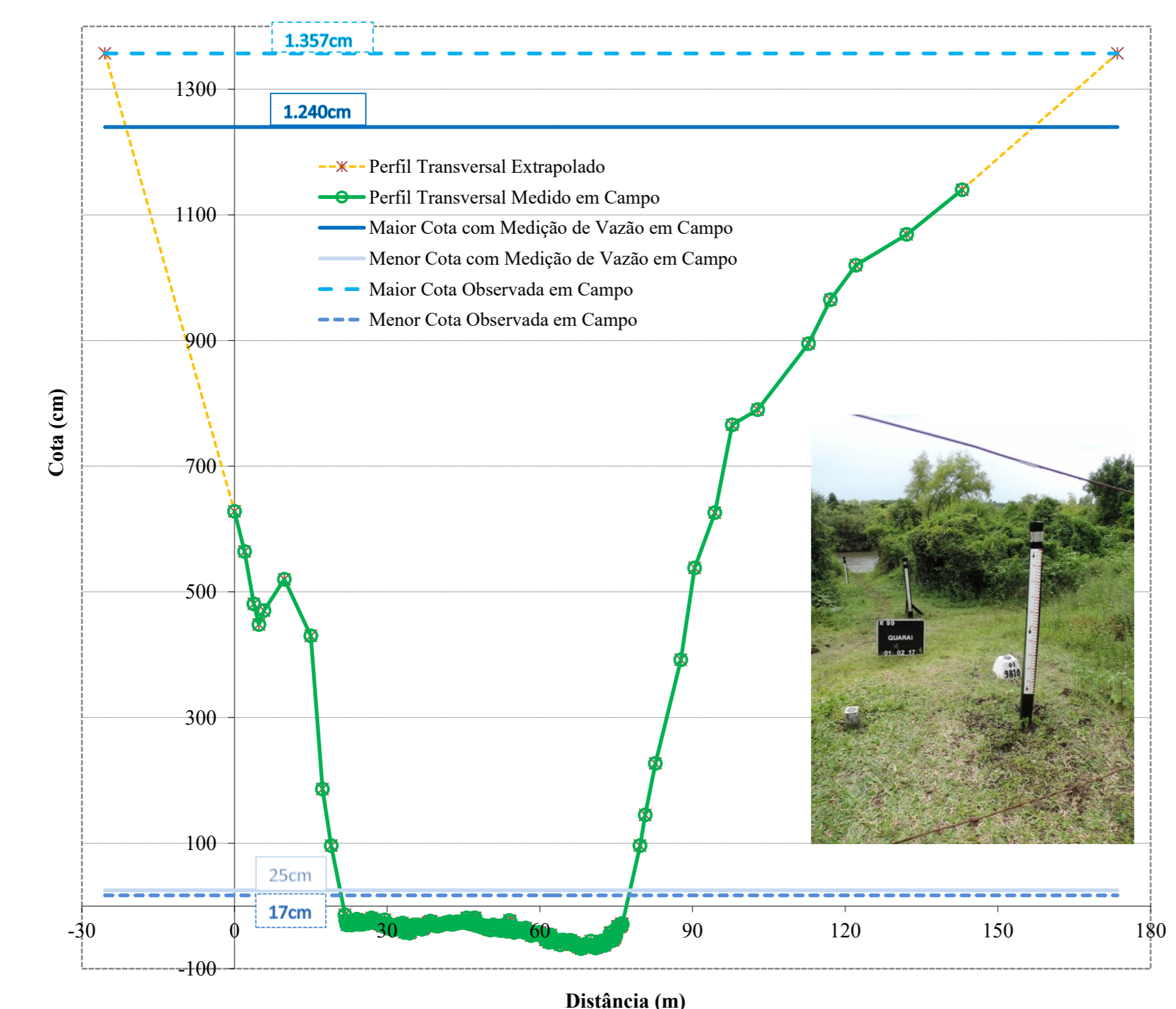
O objetivo deste trabalho foi apresentar um método prático de utilização da ferramenta *solver*, disponível em planilhas de gerenciamento de dados, no ajuste da equação potencial de uma mesma curva-chave subdividida em três tramos (três equações unidas por duas relações cota e vazão).

## Material e Métodos

A estação fluviométrica com medição de descarga líquida (FD) utilizada neste estudo (Quarai – 77500000) esta localizada no município de Quarai/RS na bacia do Rio Uruguai (Figura 1), que em sua parte brasileira, é denominada bacia 7 (ANA, 2009). A bacia do Rio Uruguai (número 7) faz parte da região hidrográfica de número 11, chamada Região Hidrográfica do Uruguai. Os principais rios da sub-bacia 77 são: Uruguai, Quarai, Arroyo Cuaró Grande, Arroyo Tres Cruces Grandes e Arroio Guarupá.



A precipitação pluviométrica média anual na sub-bacia 77 varia de 1.316 a 1.603mm.ano<sup>-1</sup>, segundo os dados apresentados no Atlas Pluviométrico do Brasil, da CPRM/SGB, e interpretados para este estudo. 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 n° 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas.



Data	Número da medição	Cota (m)	Vazão (m³.s⁻¹)	Área alagada (m²)	Largura (m)	Velocidade média (m.s⁻¹)	Profundidade (m)	Vazão calculada	Erro absoluto	Tramo Inferior - Soma	Tramo Intermediário - Soma	Tramo Superior - Soma	Soma Devios Total
26/01/2012	44	27	0,178	3,08	21,5	0,13	0,08	0,2	18,4%	24,12	24,12	24,12	94%
25/02/2010	59	32	1,28	14,2	41,5	0,93	0,53	Excluído	0,2	24,12	24,12	24,12	94%
06/12/2007	60	56	3,712	10,2855	29,8	0,362	0,34	3,4	8,7%	24,12	24,12	24,12	94%
06/12/2007	61	56	4,141	10,68	29,8	0,388	0,36	3,4	8,1%	24,12	24,12	24,12	94%
03/03/2011	50	57	4,32	10,3	29,1	0,418	0,35	3,6	10,1%	24,12	24,12	24,12	94%
31/01/2014	71	38	4,1	9,91	29,1	0,418	0,342	3,9	5,2%	24,12	24,12	24,12	94%
21/03/2015	74	38	3,958	9,781	29,1	0,418	0,342	3,9	5,2%	24,12	24,12	24,12	94%
20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36	4,4	12,8%	24,12	24,12	24,12	94%
19/08/2009	55	61	2,85	10,4	30	0,275	0,35	4,4	12,8%	24,12	24,12	24,12	94%
31/03/2010	37	61	6,61	13,3	30	0,496	0,44	Excluído	0,2	24,12	24,12	24,12	94%
25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38	5,1	21,4%	24,12	24,12	24,12	94%
01/02/2011	89	69	6,664	16,699	62,099	0,992	1,06	6,7	25,3%	24,12	24,12	24,12	94%
09/10/2008	53	71	8,22	14	30,4	0,383	0,48	7,3	30,3%	24,12	24,12	24,12	94%
19/10/2013	70	80	9	14,99	36,6	0,5	0,69	10,1	42,3%	24,12	24,12	24,12	94%
19/03/2011	61	84	11,8	19,3	31,5	0,613	11,2	23,9	89,9%	24,12	24,12	24,12	94%
23/10/2014	72	86	11	21,3	41,6	0,532	1,17	12,2	50,7%	24,12	24,12	24,12	94%
23/07/2016	78	96	16,685	27,563	62,113	0,213	1,28	14,0	3,29%	24,12	24,12	24,12	94%
10/06/2013	69	99	17,068	18,8	62,27	1,31	1,12	17,2	9,2%	24,12	24,12	24,12	94%
23/04/2012	65	100	17,4	22,2	62,2	0,212	1,33	17,6	7,2%	24,12	24,12	24,12	94%
19/11/2016	79	114	21,741	17,84	61,47	0,273	1,37	21,9	9,0%	24,12	24,12	24,12	94%
19/10/2011	63	123	26,7	96,7	61,8	0,716	1,56	28,1	4,9%	24,12	24,12	24,12	94%
26/06/2008	57	124	22,6	102	62,3	0,22	1,64	30,2	12,6%	24,12	24,12	24,12	94%
10/08/2015	75	167	51,586	122,819	63,819	0,423	1,91	54,4	5,1%	24,12	24,12	24,12	94%
26/10/2015	76	181	69,823	131,891	64,993	0,462	2,05	64,1	5,1%	24,12	24,12	24,12	94%
23/08/2007	69	236	99,9	154	64,7	0,647	2,38	91,3	9,4%	24,12	24,12	24,12	94%
31/10/2007	48	234	197	165	69	0,65	2,36	96,1	9,1%	24,12	24,12	24,12	94%
12/03/2013	68	231	94,794	175,4	66,47	0,547	2,61	104,2	8,9%	24,12	24,12	24,12	94%
31/03/2007	46	242	118	189	70	0,659	2,57	118,0	9,4%	24,12	24,12	24,12	94%
31/03/2007	47	245	119	189	70	0,66	2,57	116,8	1,9%	24,12	24,12	24,12	94%
04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	160,5	3,2%	24,12	24,12	24,12	94%
04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	160,3	3,3%	24,12	24,12	24,12	94%
11/10/2014	73	486	385,903	339,465	87,445	1,137	3,88	404,7	4,6%	24,12	24,12	24,12	94%
11/04/2016	77	632	667,585	712,761	182,99	0,937	3,99	641,8	4,9%	24,12	24,12	24,12	94%
21/07/2019	38	838	1012	1272	282	0,851	4,85	1103,2	4,8%	24,12	24,12	24,12	94%
25/11/2009	56	1176	2320	2379	614	0,9	4,2	2312,7	0,3%	24,12	24,12	24,12	94%
19/10/2012	67	1240	2253,966	2415,8	653,5	1,112	5,71	2294,1	0,8%	24,12	24,12	24,12	94%

## Resultados e Discussão

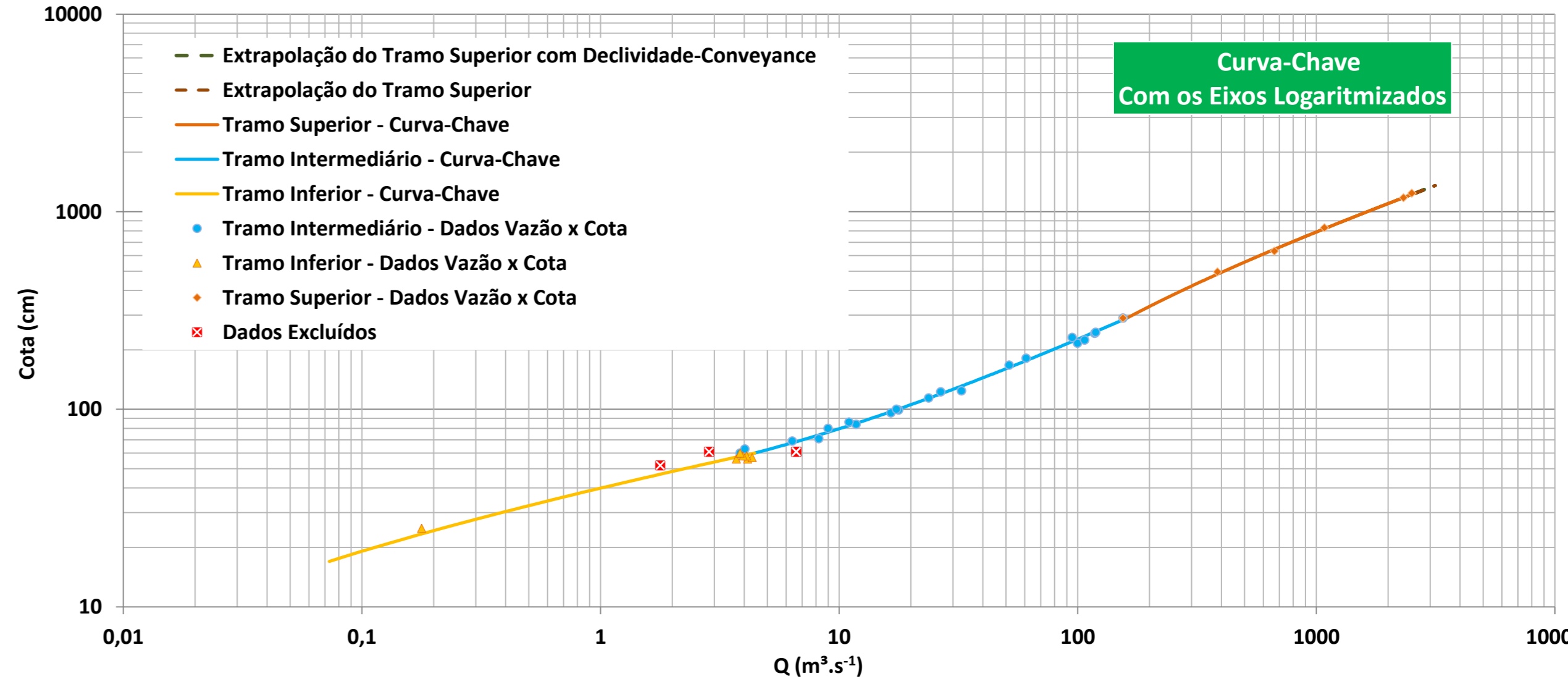
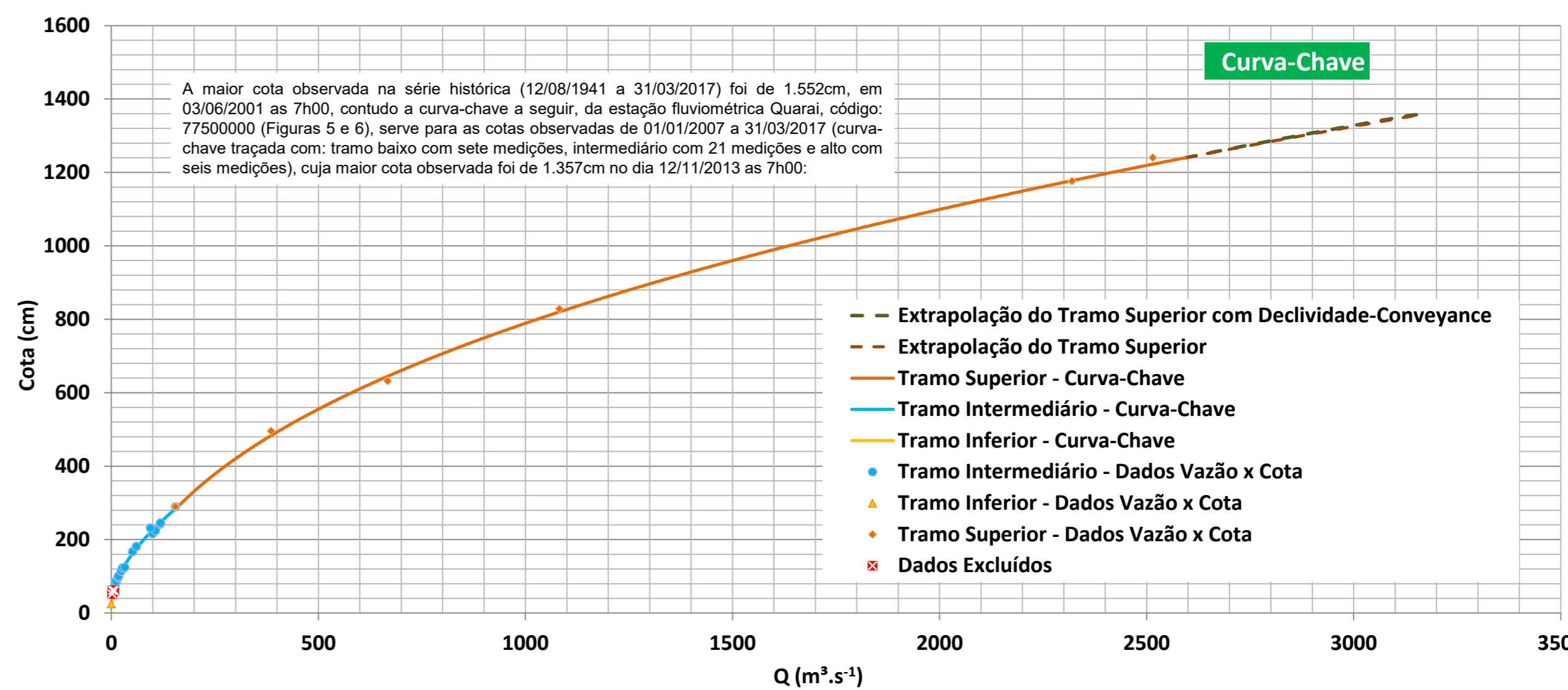
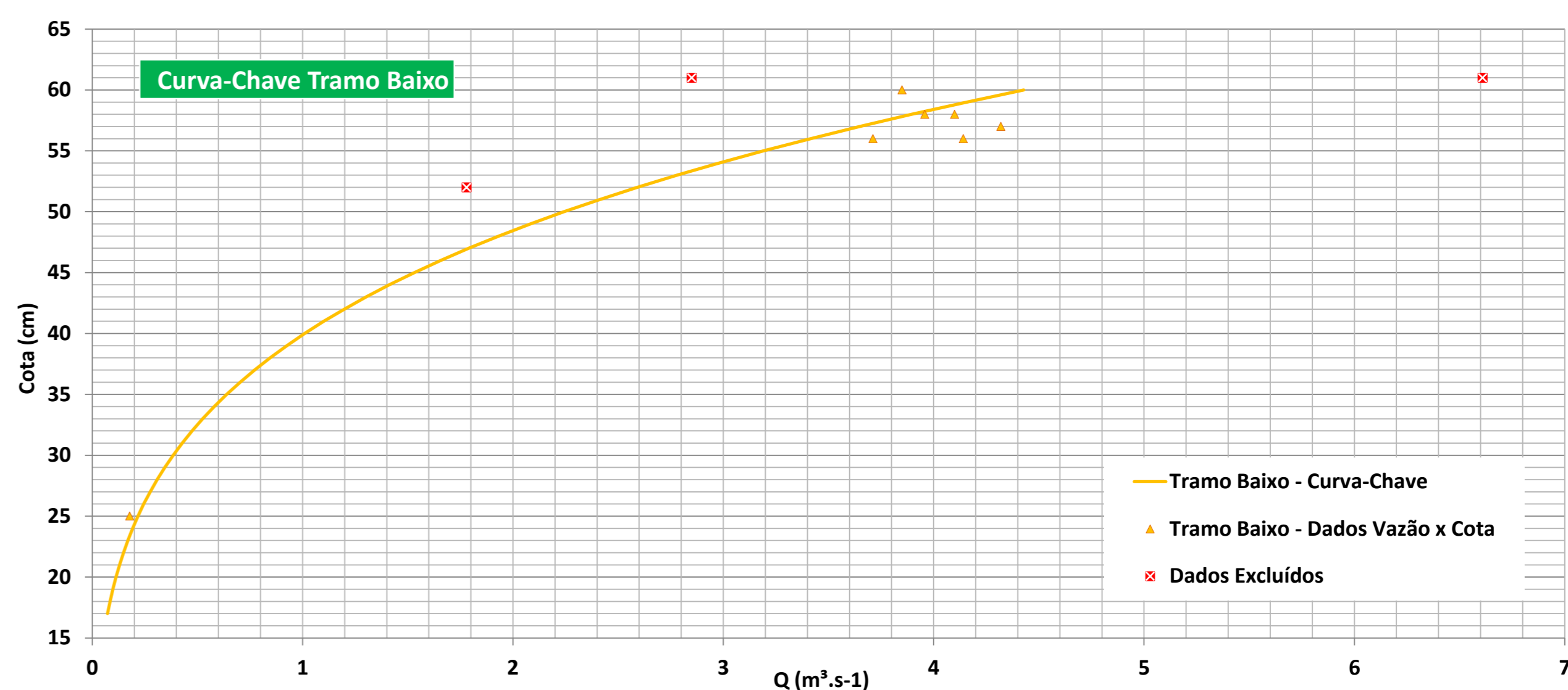
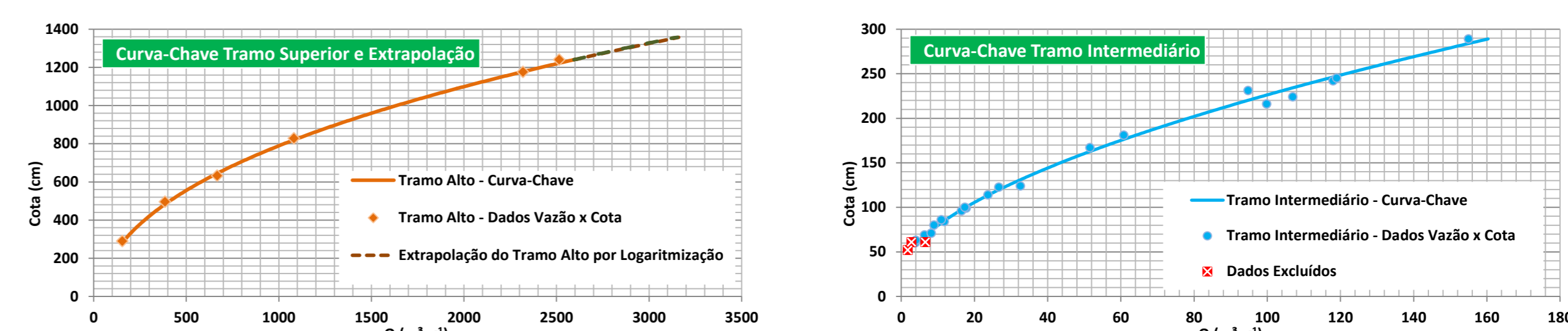
Nas Figuras a seguir verifica-se que, inicialmente ao total, foram 37 dados de vazões medidas em campo consideradas no ajuste da curva-chave, contudo, devido ao resultado de elevados desvios entre vazão de campo e calculada, optou-se por excluir do ajuste três dados de vazões, nas datas de 19/08/2009, 31/03/2010 e 25/10/2010. A curva-chave a seguir, da estação fluviométrica Quarai, código: 77500000 (Figuras), serve para as cotas observadas de 01/01/2007 a 31/03/2017 (curva-chave traçada com: tramo baixo com sete medições, intermediário com 21 medições e alto com seis medições):

Tramo baixo:  $Q = 18,936312(H + -0,13)4,6170$  para o intervalo de cotas de 17 a 60cm.

Tramo intermediário:  $Q = 30,748035(H + 0,28)1,7190$  para o intervalo de cotas de 60,1 a 289cm.

Tramo alto:  $Q = 3,874440(H + -1,64)2,4625$  para o intervalo de cotas de 289,1 a 1.240cm.

Extrapolação:  $Q = 3,865557(H + -1,59)2,4671$  para o intervalo de cotas de 1.241,1 a 1.357cm.



## Considerações Finais

Na minimização do somatório dos erros absolutos do modelo das três equações potencial de regressão, que representa apenas uma curva-chave, se obteve um melhor desempenho nos cálculos de vazão em relação ao conjunto de dados fluviométricos medidos em campo.

A equação potencial gerada, utilizando o método dos mínimos quadrados, é uma técnica útil e simples para o ajuste de curvas-chave subdividida em várias equações, devendo-se atentar para a questão da continuidade exata na junção das diferentes equações. Deve-se avaliar as equações produzidas observando sempre o somatório dos desvios de cada equação separadamente, em conjunto e os desvios unitários, de modo que os mesmos nunca ultrapassem o valor pré-estabelecido (neste estudo foi 22%).

## Endereços Eletrônicos Para Baixar Material

[Pôster Apresentado](#)
[Sub-Bacias do Brasil](#)
[Mapas Deste Estudo](#)
[Mapas do Rio Grande do Sul](#)
[Atlas Pluviométrico](#)
[Repatório da CPRM / SGB](#)
[Hidrologia da CPRM / SGB](#)

**Material**  
 Este artigo em PDF  
 Referência bibliográfica deste artigo segundo a ABNT/NBR 6023 de 2002  
 Apresentação deste artigo - Pôster  
 Apresentação deste artigo - Oral  
 Planilha de ajuste da curva-chave da estação fluviométrica 77500000  
 Mapas das bacias do Brasil – 100 a 2000dpi  
 Mapa da bacia do Rio Uruguai em PDF – 300dpi  
 Figura - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 100dpi  
 Figura - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 500dpi  
 Localização da Estação 77500000 – Shape (zipado)  
 Localização da Estação 77500000 – Google Earth  
 Altimetria da Bacia do Rio Uruguai  
 Altimetria do Estado do RS  
 Dados Utilizados (Atlas Pluviométrico do Brasil da CPRM / SGB)