

CPRM

Serviço Geológico do Brasil

ALGORITMOS GENÉTICOS E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA NÃO LINEAR NA OTIMIZAÇÃO DE CURVA-CHAVE

Francisco Marcuzzo
francisco.marcuzzo@cprm.gov.br





Fonte:
CPRM/BH

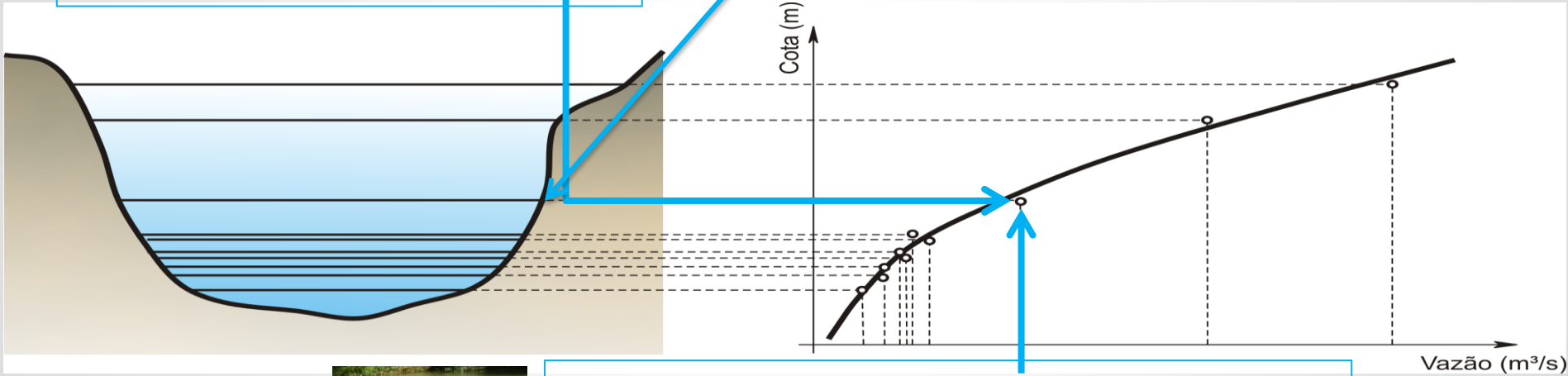
Leitura do observador as 7h e 17h



Fonte: CPRM/BH

Traçado da Curva-Chave

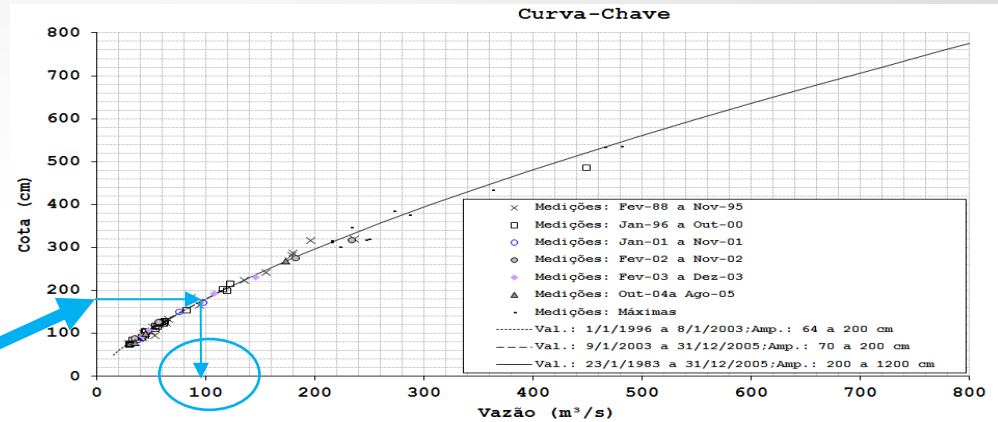
Nível do Curso D'Água
(Leitura na Régua)



Vazão Medida
(Efeito Doppler, Molinete, Etc.)

Transformação Cota-Vazão

Observação do Nível do
Curso D'Água



- **Leitura de cotas as 07 e as 17 horas diariamente.**
- **No escritório a cota é convertida em vazão utilizando a curva chave.**

Hidro 1.2 - [Banco de Dados - Bd8_HIDRO_SUREG_PA]

Sistema Editar Exibir Registros Janela Ajuda

Curva de Descarga

Código: Sub-subcia: Consultar

100 listados (máximo de 100)

Estação	Nível de consistência	Validade início	Validade fim	Cota máxima (cm)	Cota mínima (cm)	Tipo de curva	Número da curva	Tipo de equação
75186000	Consistido	03/06/2002	31/12/2010	200	40	Tabela	01/01	
85735000	Consistido	01/06/2002	31/12/2010	790	90	Tabela	01/1	
70100000	Consistido	21/04/1976	31/12/2010	530	10	Tabela	01/1	
70200000	Consistido	01/01/1985	29/09/1996	840	30	Tabela	01/1	
70200000	Consistido	30/09/1996	31/12/2010	870	30	Tabela	02/1	
70300000	Consistido	01/01/1982	10/02/1996	840	40	Tabela	01/1	
70300000	Consistido	11/02/1998	31/12/2010	680	20	Tabela	02/1	
70500000	Consistido	01/01/1979	31/12/2010	790	60	Tabela	01/1	
71200000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1200	70	Tabela	02/1	
71200000	Consistido	01/01/1985	31/12/1995	1200	79	Equação	01/1	Potência
71250000	Consistido	01/01/1996	27/08/1997	870	40	Tabela	02/1	
71250000	Consistido	28/06/1997	31/12/2010	870	40	Tabela	03/1	
71250000	Consistido	01/01/1985	31/12/1995	748	1	Equação	01/1	Potência
71300000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1330	30	Tabela	01/1	
71350001	Consistido	01/01/1996	12/04/2002	1000	80	Tabela	03/1	
71350001	Consistido	13/04/2002	31/12/2010	1000	80	Tabela	04/1	
71383000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1000	50	Tabela	01/1	
71498000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1040	130	Tabela	01/1	
71550000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	620	90	Tabela	01/1	
72430000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1345	66	Equação	01/1	Potência
72530000	Consistido	21/06/1997	31/12/2010	1300	30	Tabela	02/1	
72680000	Consistido	12/07/1996	31/12/2010	1200	20	Tabela	02/1	
72715000	Consistido	14/12/2003	31/12/2010	450	80	Tabela	01/04	
72810000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	570	56	Equação	01/1	Potência
72849000	Consistido	13/12/1985	31/12/2010	90	30	Tabela	02/1	
72849000	Consistido	13/12/1985	31/12/2010	930	90	Tabela	02/1	
72870000	Consistido	12/02/1996	31/12/2010	220	60	Tabela	02/1	
72870000	Consistido	12/02/1996	31/12/2010	700	220	Tabela	02/1	
73330000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	350	20	Tabela	01/1	
73330000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	800	350	Tabela	01/1	
73350000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1100	40	Tabela	01/1	
73480000	Consistido	30/04/1994	31/07/2008	1100	130	Tabela	02/1	
73550000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	2100	1050	Tabela	01/1	
73550000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1050	80	Tabela	01/1	
73600000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	800	30	Tabela	01/1	
73600000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	900	80	Tabela	01/1	
73693000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	960	10	Tabela	01/1	
73693000	Consistido	03/04/2000	31/12/2008	300	50	Tabela	01/1	
73765000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	670	60	Tabela	01/1	
73765000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	60	59	Tabela	01/1	Potência
73770000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1110	20	Equação	01/1	
73780000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	830	10	Tabela	01/1	
73820000	Consistido	17/07/1994	31/12/2010	750	100	Tabela	02/1	
73900000	Consistido	17/12/2000	31/12/2010	870	40	Tabela	02/1	
73960000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	860	90	Tabela	01/1	
74100000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1350	50	Tabela	01/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	17	13	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	810	40	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	20	17	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	40	20	Tabela	02/1	
74270000	Consistido	17/04/1998	31/12/2010	1500	50	Tabela	02/1	
74295000	Consistido	21/05/1997	31/12/2010	630	40	Tabela	02/1	
74300000	Consistido	24/05/2000	31/12/2010	60	50	Tabela	01/1	
74300000	Consistido	24/05/2000	31/12/2010	980	60	Tabela	01/1	
74320000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	-10	-13	Tabela	01/1	
74320000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	840	-10	Tabela	01/1	

Restrições:

Curva de Descarga | **Tabulação**

Estação

Nome: PORTO FAE NOVO Código: 73770000 Área de drenagem (km2): 5880,00 Responsável: ANA

Rio: RIO CHAPECÓ Município: CORONEL FREITAS UF: SC Operadora: CPRM

Identificação

Nível de consistência: Consistido Validade início: 01/01/1985 Cota mínima (cm): 20 Tipo de curva: Equação

Validade fim: 31/12/2010 Cota máxima (cm): 1110 Número da curva: 01/ Passo da cota (cm):

Equação

Tipo de equação: Potência

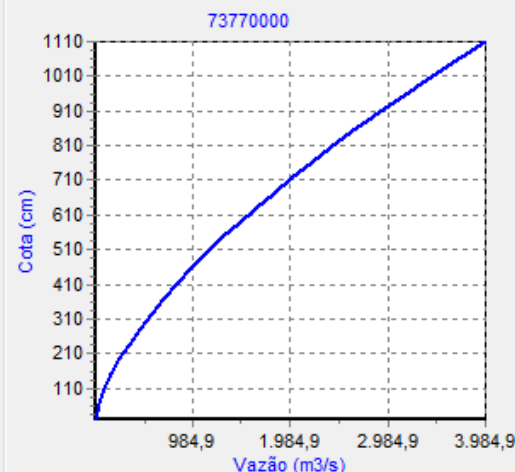
a: 99,220000 a0:
 h0 (m): 0,15 a1:
 n: 1,543 a2:
 a3:

Tabela Cota X Vazão

#	Cota (cm)	Vazão (m3/s)
1	-	
2	-	
3	-	
4	-	
5	-	
6	-	
7	-	
8	-	
9	-	
10	-	
11	-	
12	-	
13	-	
14	-	
15	-	
16	-	

Inserir Remover

Gráfico



Qual a melhor?

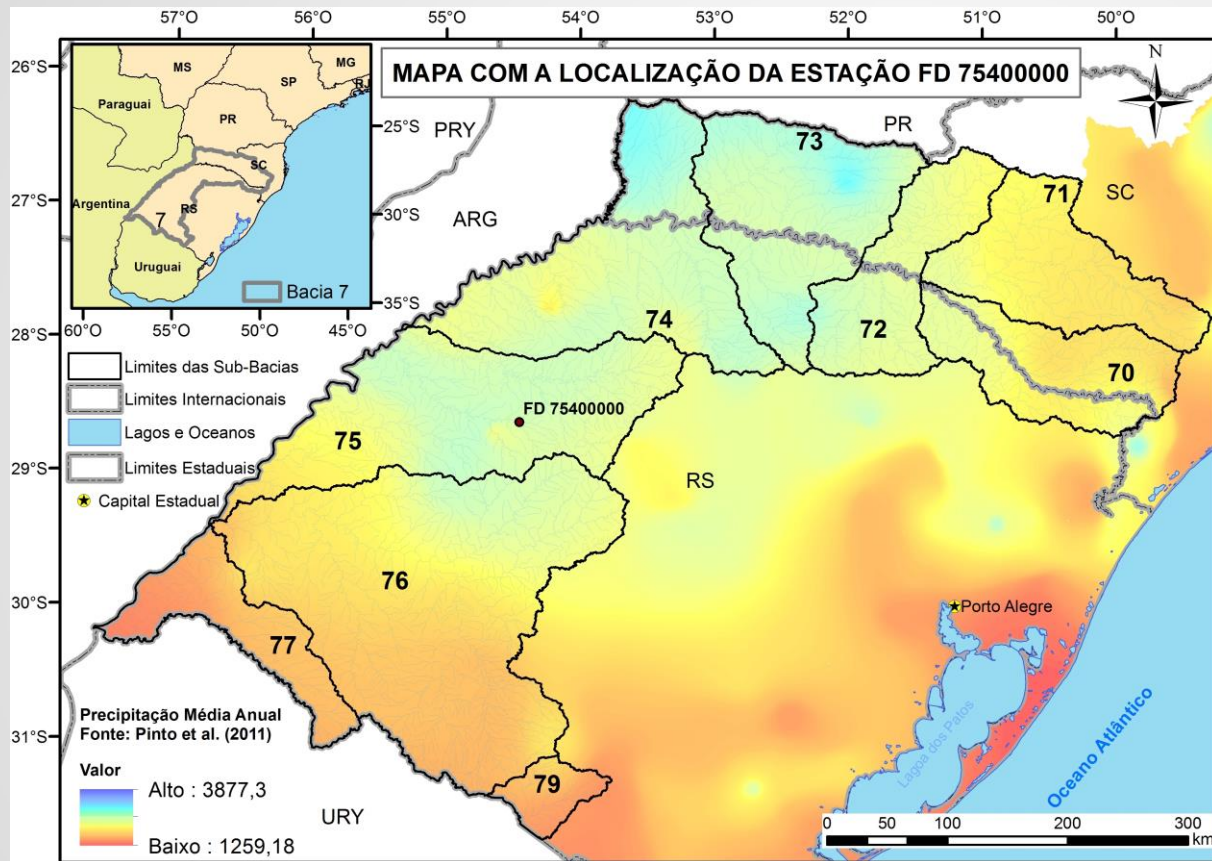
- Potência: $Q(H) = a(H - h_0)^n$
- Linear: $Q(H) = a_0 + a_1H$
- Parabólica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$
- Cúbica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$

Objetivo do estudo:

O objetivo deste trabalho foi analisar a utilização de ferramentas de otimização, disponíveis em planilhas de gerenciamento de dados, na melhoria dos coeficientes da equação da curva-chave visando à obtenção de melhores fatores de avaliação qualitativa do ajuste da curva.



Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica



Média de precipitação anual na sub-bacia 75:

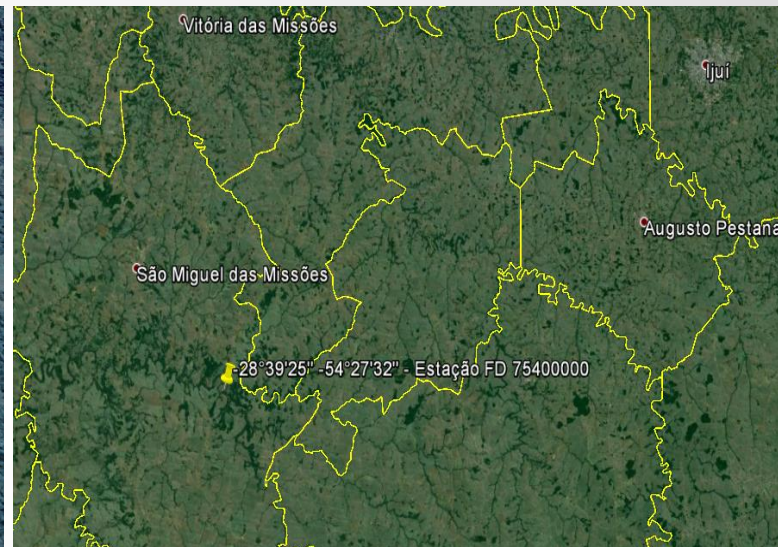
A precipitação pluviométrica média anual nas sub-bacias da bacia do Rio Uruguai varia de 1.455,4mm.ano⁻¹ na sub-bacia 77 até 1.964,2mm.ano⁻¹ na sub-bacia 73.

Média na sub-bacia 75 de 152mm.mês⁻¹.

Caracterização da estação fluviométrica FD 7540000



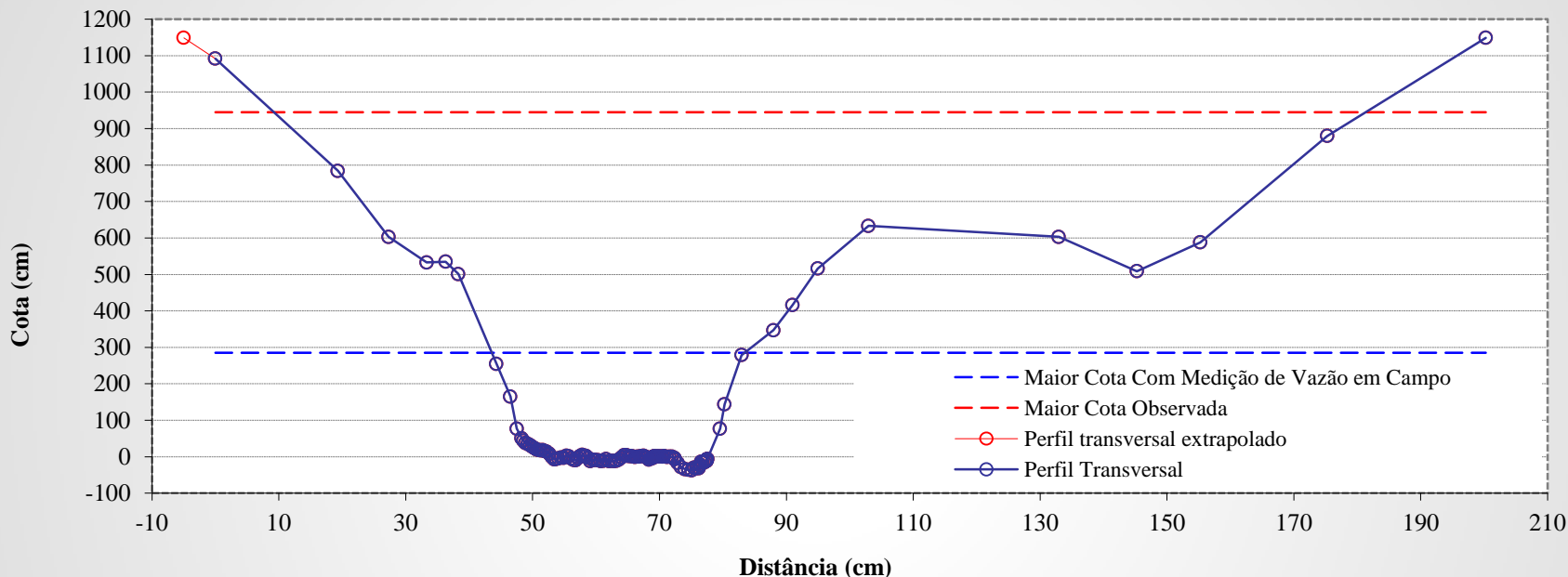
Caracterização da estação fluviométrica FD 7540000



Visualização da localização da estação 75400000 no Rio Piratinim (imagem do GOOGLE EARTH de 2013).
Altitude de aproximadamente 200 metros e uma área de drenagem de 936km².

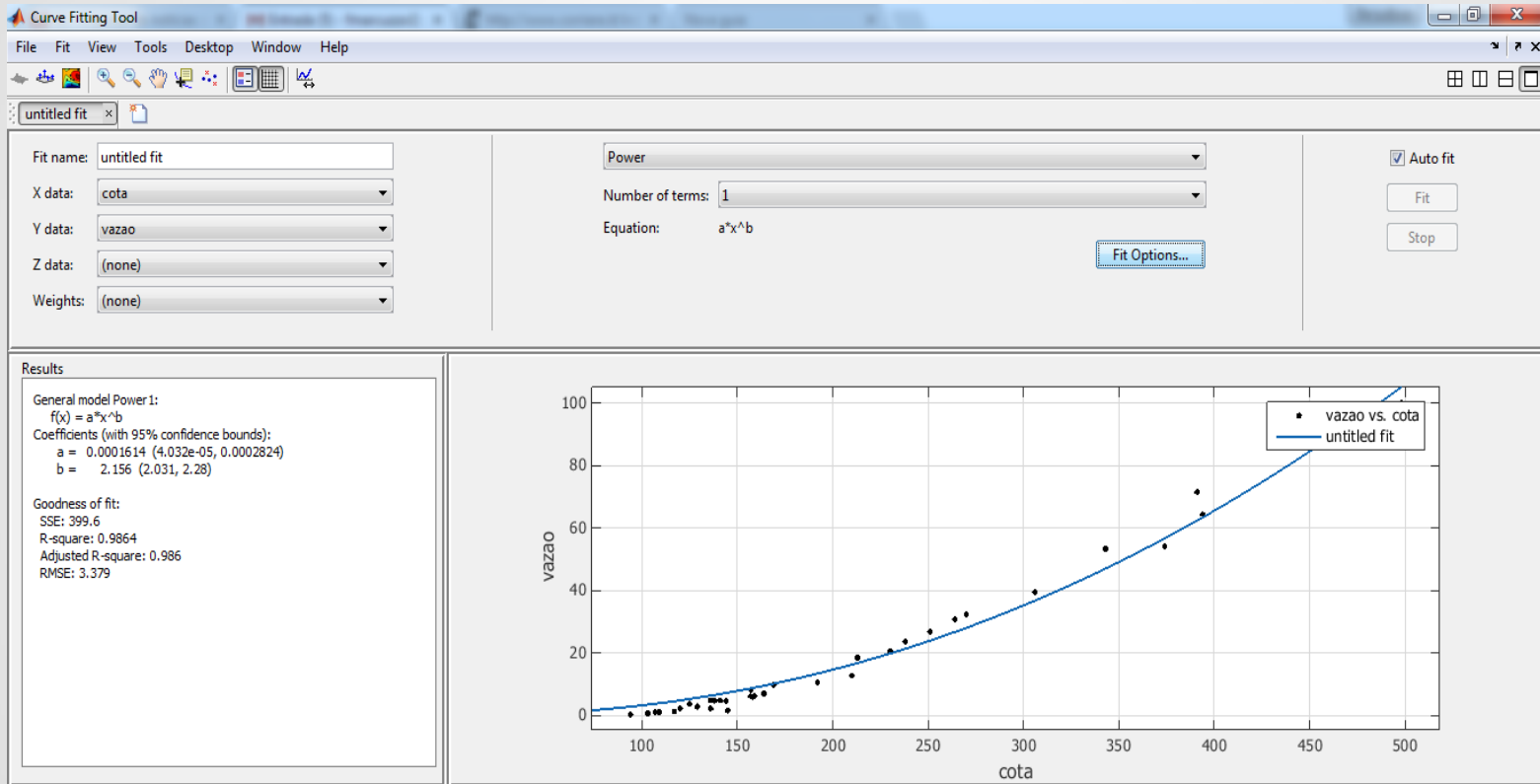
Caracterização da estação fluviométrica FD 7540000

Ponto inicial (PI) e ponto final (PF) de 200,26m, cota mínima de -37cm e cota máxima de 1.149cm.

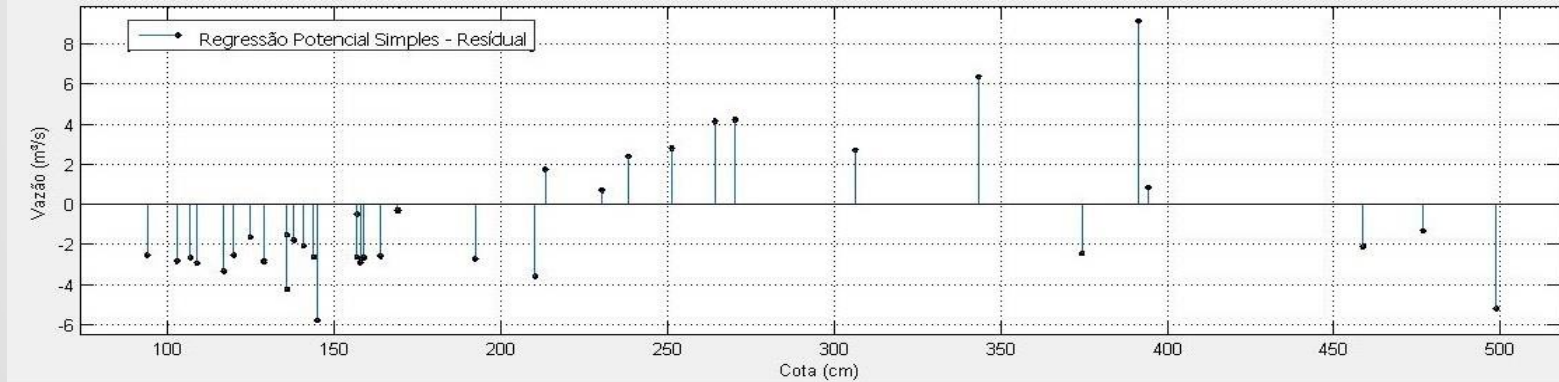
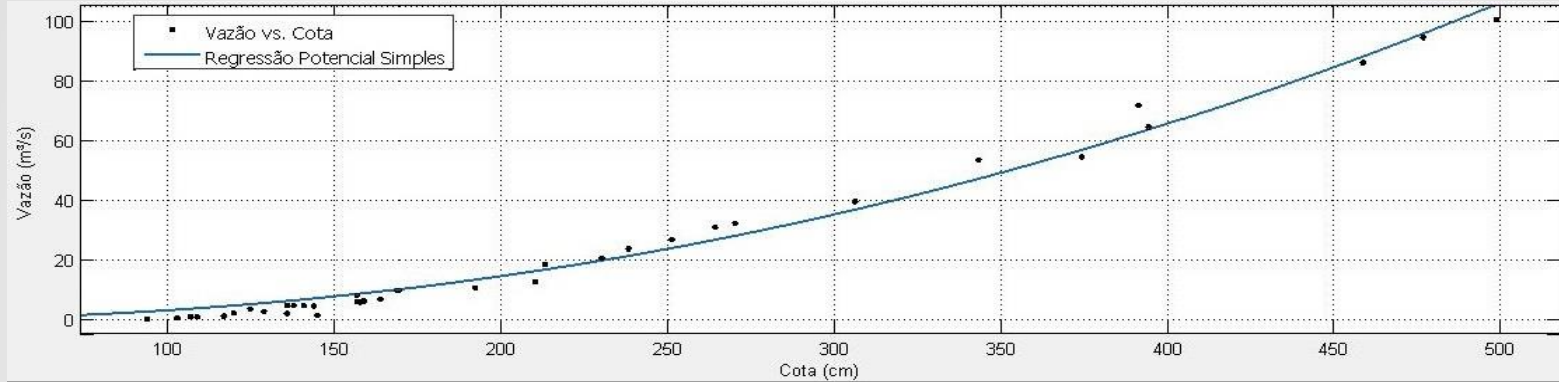


Maior, média e menor cota (01/11/1941 a 31/10/2014) foram (cm): 945 (em 02/05/1973), 90 e 0 (de 24/05/1949 a 01/06/1949). A maior, a média e a menor cota observada na série histórica (01/01/2008 a 31/10/2014) da curva-chave confeccionada e ajustada foram respectivamente (cm): 830 (em 19/01/2010), 95 e 39 (de 4 a 5/04/2012 e de 10 a 12/05/2012). A maior cota com medição de vazão, foi de 285cm, medida em 14/12/2012.

MatLab e a Regressão - Resultados



MatLab e a Regressão - Resultados



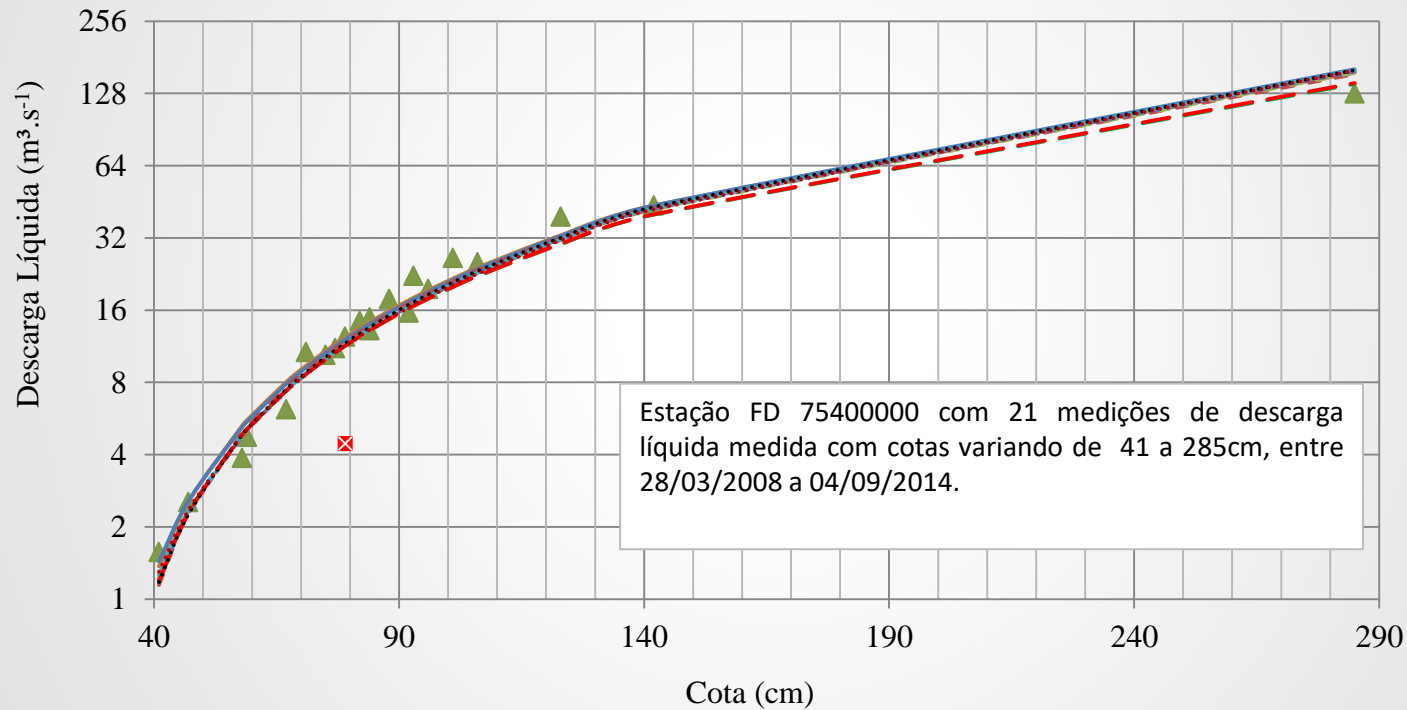
Resultados

Coefficientes das equações potenciais das curvas-chaves com o ajuste otimizado por PMNL e AG e seus respectivos parâmetros qualitativos.

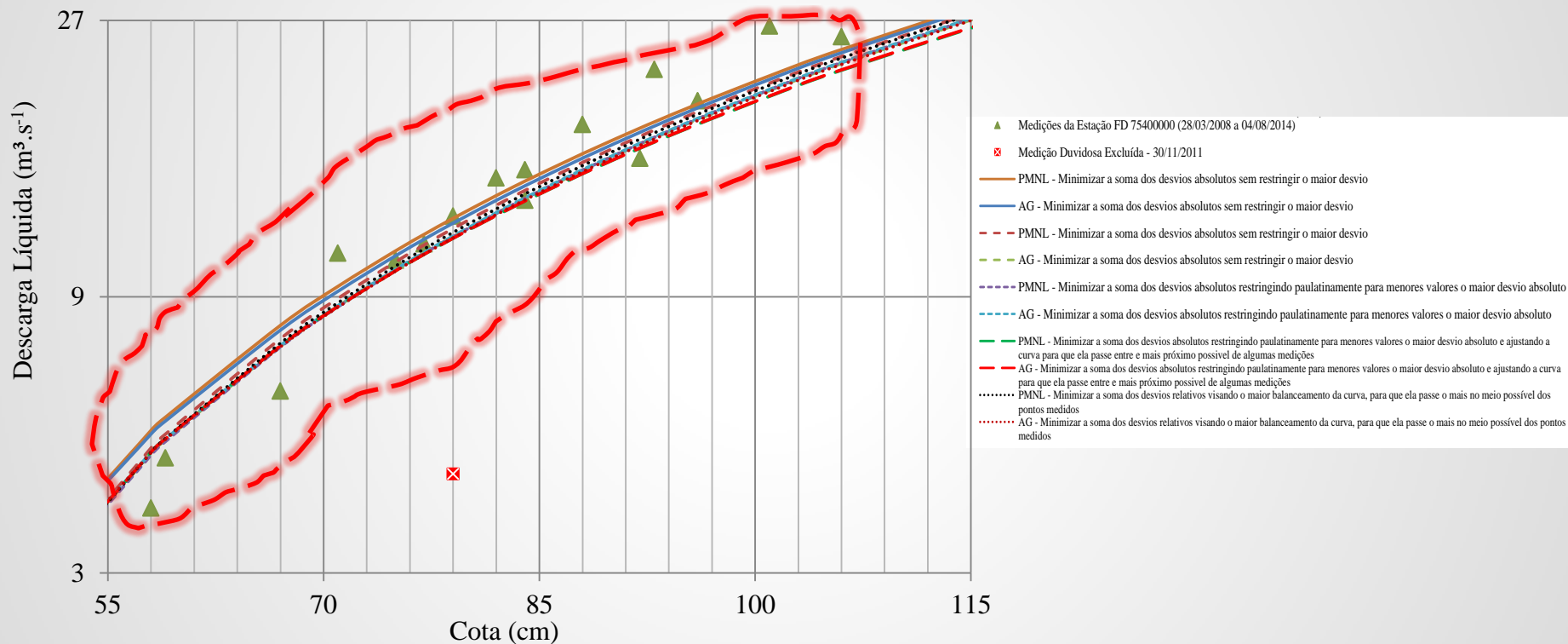
Ajuste	a	h_0	n	r^2 (Qcalc / Cota)	r (Qcalc / Cota)	Σ Desvios (%)	Σ Desvios Absolutos (%)	> Desvio Abs. (%)	< Desvio Abs. (%)	D.A.N. M.V.C. M.C. ¹ (%)
Objetivo 1: Minimizar a soma dos desvios absolutos sem restringir o maior desvio										
PMNL	35,9	0,29	1,564	0,963	0,982	28,0	241,9	36,3	0,0	22,4
AG	34,8	0,27	1,619	0,959	0,979	8,0	242,9	34,4	0,2	26,1
Objetivo 2: Minimizar o maior desvio absoluto sem restringir o maior desvio ou a soma dos desvios absolutos										
PMNL	35,9	0,30	1,556	0,963	0,981	-71,9	259,8	27,1	0,3	20,3
AG	34,2	0,28	1,612	0,959	0,979	-113,2	273,6	24,4	0,8	22,0
Objetivo 3: Minimizar a soma dos desvios absolutos restringindo aos poucos para menores valores o maior desvio										
PMNL	34,4	0,28	1,618	0,958	0,979	-114,4	274,7	23,6	0,8	23,6
AG	34,1	0,28	1,634	0,957	0,978	-100,6	270,4	24,9	1,1	24,8
Objetivo 4: Minimizar a soma dos desvios absolutos restringindo paulatinamente para menores valores o maior desvio absoluto e ajustando a curva para que ela passe entre e mais próximo possível de algumas medições										
PMNL	33,6	0,30	1,525	0,966	0,983	-150,1	283,0	25,0	0,2	9,5
AG	33,6	0,30	1,533	0,966	0,983	-147,3	282,1	25,0	0,2	10,4
Objetivo 5: Minimizar a soma dos desvios relativos visando o maior balanceamento da curva, para que ela passe o mais no meio possível dos pontos medidos										
PMNL	35,4	0,29	1,606	0,959	0,979	-86,2	265,8	25,0	1,5	25,0
AG	33,5	0,27	1,646	0,956	0,978	-109,2	273,0	24,8	0,3	24,5

Resultados

Curva-chave da estação FD 75400000, com os eixos da ordenada logaritmizados.



Curva-chave da estação FD 75400000, com os eixos da ordenada logaritmizados.



CONCLUSÃO

Entre as cinco técnicas de otimização da curva-chave, a que mais ajustou a curva com relação aos principais parâmetros testados (soma dos desvios relativos, absolutos e maior desvio absoluto unitário) foi à de minimizar a soma dos desvios relativos visando o maior balanceamento da curva, para que ela passasse o mais no meio possível dos pontos medidos.

A melhor metodologia de otimização foi à PMNL. Conclui-se que, para um melhor ajuste da curva-chave, as novas metodologias matemáticas e as novas ferramentas computacionais vêm acarretar mais facilidade para o hidrologista, contudo, ao menos por enquanto, não substitui o conhecimento heurístico humano na obtenção de melhores resultados.

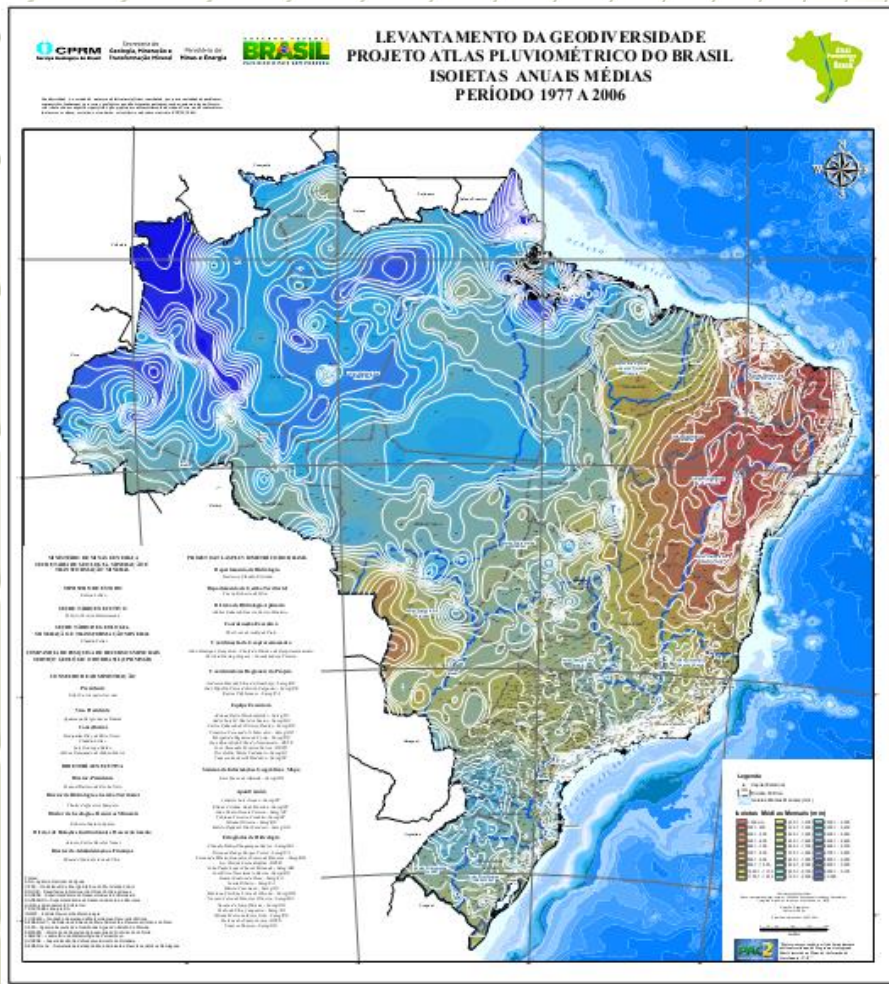
CONCLUSÃO

Com as diferentes possibilidades de metodologias de otimização, ferramentas computacionais e a heurística do hidrólogo no ajuste de curva-chave, verifica-se também a necessidade de atrelar a curva-chave ao nome do analista que a concebe. Este procedimento não traria só o reconhecimento, mas principalmente atrelaria o nome do hidrólogo à responsabilidade que a geração de vazão pela curva-chave tem para as demais informações e projetos que o conhecimento da vazão diária máxima, média e mínima acarreta.



Conheçam o material sobre Recursos Hídricos disponível gratuitamente no sítio da CPRM / SGB:

www.cprm.gov.br



Obrigado pela atenção!



www.cprm.gov.br

Francisco Marcuzzo
Pesquisador em Geociências - Hidrologia

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Superintendência Regional de Porto Alegre / RS
Rua Banco da Província, 105 – Santa Tereza
Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030
Tel.: (51) 3406-7324

E-mail: francisco.marcuzzo@cprm.gov.br