

ROTINA SIMPLIFICADA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA-CHAVE

Cláudio Marinho da Silva Filho*

RESUMO--O presente trabalho apresenta uma rotina computacional desenvolvida para o sistema HP-41CV visando a determinação da curva-chave de uma seção transversal de um manancial de superfície a partir de dados levantados em estações fluviométricas, segundo critérios desenvolvidos na Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG.

Os resultados obtidos levam, no Estado de Minas Gerais, a altos coeficientes de determinação e pequenos erros entre as vazões medidas e as vazões calculadas pelo método.

ABSTRACT--This paper presents a computational routine for the HP-41CV system for the determination of the rating curve of a transversal section of a river, with the data measured in hydrometric stations. The criteria here used were developed in Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG.

The results obtained with the application of this routine in the State of Minas Gerais have a high coefficient of determination and the errors between measured flows and computed flows are small.

INTRODUÇÃO

O estágio inicial para o desenvolvimento de estudos hidrológicos a partir de dados fluviométricos, envolve a construção de uma curva/equação representativa do manancial a estudar a partir do histórico de medições de descarga líquida, visando recuperar do histórico de cotas médias diárias as descargas médias diárias.

O presente trabalho apresenta uma rotina interativa de determinação da "curva-chave", a partir de experiências vividas na COPASA MG, tomando como curva típica uma relação potencial que leva, no Estado de Minas Gerais, a altos coeficientes de correlação e boa aderência gráfica, implicando em baixos erros percentuais com relação aos valores de vazões medidas e calculadas.

CURVA-CHAVE - PRINCÍPIOS TEÓRICOS

A curva-chave é uma representação gráfica e/ou algébrica com algumas simplificações das relações existentes entre as caracte-

* Engº Civil - Divisão de Hidrologia - COPASA MG - R.Sergipe, 580 5º andar - Tel(031)212-3511/ramal 425. Belo Horizonte - MG.

rísticas físicas e hidráulicas do trecho do canal que contém o posto fluviométrico e as vazões do manancial naquele ponto. A relação entre as medições de descarga líquida e de cotas fluviométricas observadas simultaneamente às medições, implica na obtenção de uma função $Q=f(h)$, onde Q é a descarga correspondente a uma determinada cota h , de acordo com as características hidráulicas do canal considerado.

As características hidráulicas do trecho de canal envolvem a rugosidade, declividade longitudinal, área e geometria da seção transversal, etc, definindo o controle do posto fluviométrico. As diversas características citadas definem o comportamento hidráulico do trecho de canal e conseqüentemente o comportamento da curva-chave respectiva.

Quando o controle é caracterizado pela ação de uma seção imediatamente a jusante, o regime é dito de controle de seção. Neste regime estão incluídas as corredeiras, as quedas d'água e em particular os vertedores especialmente instalados, podendo ocasionar um regime crítico de escoamento na seção, implicando em uma curva-chave com representação algébrica com a forma da equação geral dos vertedores:

$$Q = Cbh^n \quad (1)$$

onde:

- Q = descarga líquida (m^3/s);
- C = coeficiente de descarga;
- b = largura da soleira do vertedouro ou da seção (m);
- h = cota da régua (m);
- n = expoente de h .

Ao analisarmos o comportamento de tais parâmetros nas estações fluviométricas, as características morfológicas do canal e o ponto de instalação da régua, dificilmente a cota $h=0$ corresponde a uma descarga nula, $Q=0$.

Em vista de tal problema buscamos a determinação de h_0 (cota teórica da descarga nula), gráfica, algebricamente ou através de pesquisa de campo.

Substituindo a cota h_0 na equação (1), teremos:

$$Q = Cb(h-h_0)^n \quad (2)$$

Fazendo $A=C.b$ e substituindo em (2) fica:

$$Q = A(h-h_0)^n \quad (3)$$

Na maioria dos casos não há uma seção de controle definida, implicando na interferência de todas as características do canal que contém o posto fluviométrico na representação da curva-chave. A curva-chave então poderá ser obtida pela equação de Manning:

$$Q = S/n.R_H^{2/3}.i^{1/2} \quad (4)$$

onde:

- Q = descarga líquida (m^3/s);
- S = área da seção transversal (m^2);
- n = coeficiente de rugosidade de Manning ($s/m^{1/3}$);
- R_H = raio hidráulico (m);
- i = declividade da linha d'água (m/m)

No caso de rios de seção muito larga em relação a profundidade média poderemos fazer as seguintes simplificações:

$$\begin{aligned} R_H &= h \\ S &= b.h \end{aligned}$$

onde:

b = largura da seção transversal (m);
h = profundidade média (m)

Substituindo R_H e S na equação (4) teremos:

$$\begin{aligned} Q &= b.h/n \cdot h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad \therefore \\ Q &= (b/n.i^{1/2}) \cdot h^{5/3} \end{aligned} \quad (5)$$

Fazendo $A = b/n.i^{1/2}$ e substituindo em (5) fica:

$$Q = A.h^{5/3} \quad (6)$$

No que diz respeito à equação (6) acima, ressalte-se que geralmente as seções transversais dos canais não obedecem as condições de contorno iniciais tidas como base para a sua dedução. O não cumprimento das condições de contorno iniciais condiciona os valores assumidos por A e conseqüentemente pelo expoente de h, com relação a cada posto fluviométrico estudado.

Em virtude de tal fato exposto poderemos reescrever a relação algébrica representada pela equação (6), buscando uma relação genérica, e embutindo a cota de descarga nula, teremos:

$$Q = A(h-h_0)^n \quad (7)$$

Cabe ressaltar que apesar das equações (3) e (7) mesmo possuindo os parâmetros A e n definidos por maneiras distintas, apresentam uma só forma genérica para a representação da relação $Q=f(h)$.

Partindo da equação (7) e aplicando logaritmo em ambos os membros teremos:

$$\begin{aligned} \text{Log}(Q) &= \text{Log}[A(h-h_0)^n] \quad \therefore \\ \text{Log}(Q) &= \text{Log}(A) + n.\text{Log}(h-h_0) \end{aligned} \quad (8)$$

Fazendo algumas mudanças de variáveis,

$$\begin{aligned} b &= n; \\ Y &= \text{Log}(Q); \\ X &= \text{Log}(h-h_0); \\ a &= \text{Log}(A) \end{aligned} \quad (8.1)$$

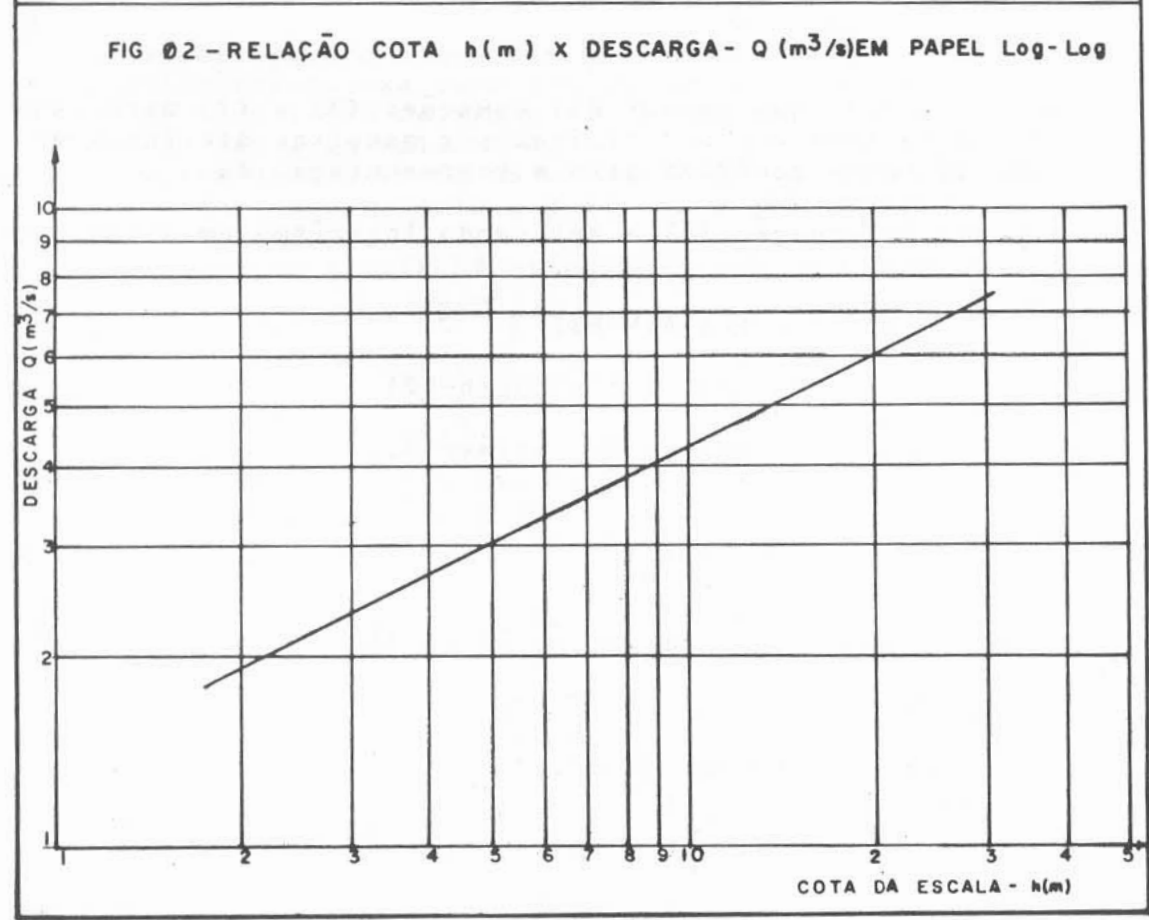
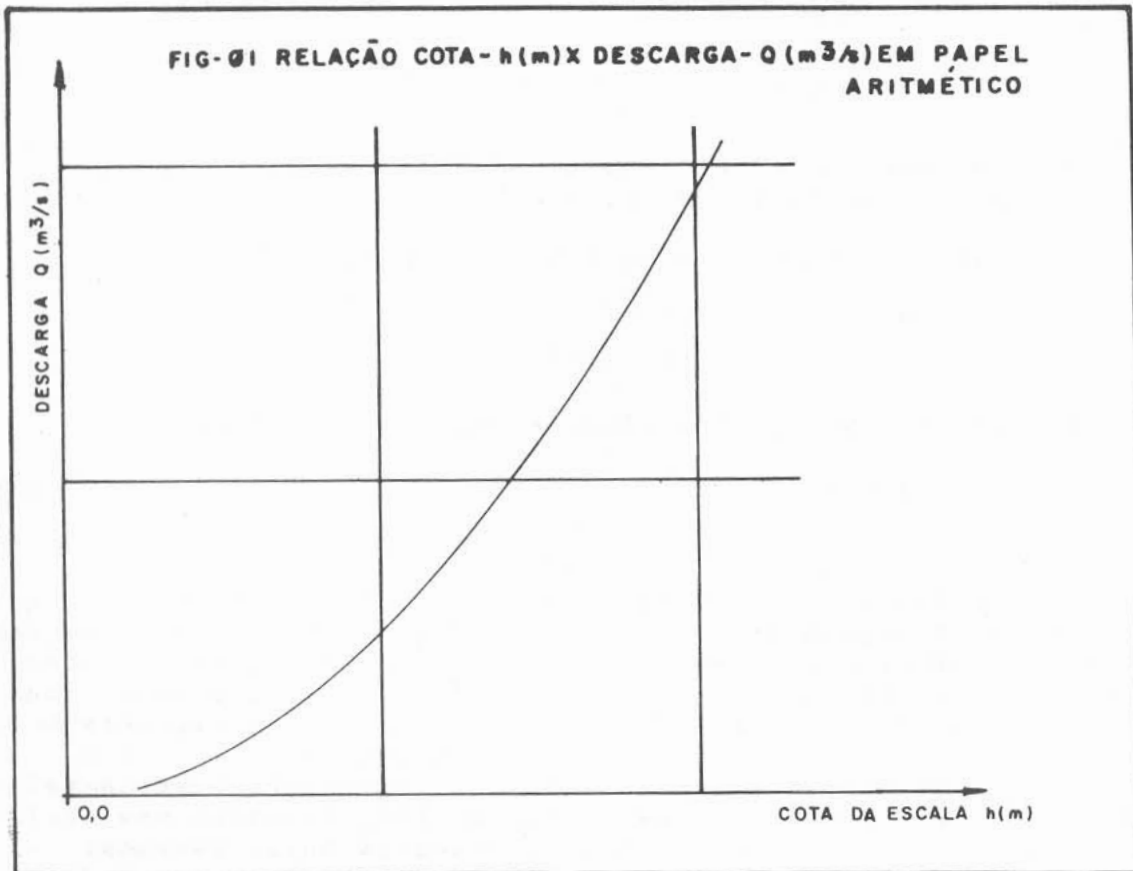
Substituindo as transformações de (8.1) em (8), teremos:

$$Y = a + bX \quad (9)$$

onde:

a = coeficiente linear da reta
b = coeficiente angular

A partir de um conjunto de pares de pontos (h_i, Q_i) pertencen-



centes a um determinado período de observação T, poderemos analisar a tendência da curva, que terá um comportamento semelhante às curvas das fig. 01 e 02, traçadas em papéis milimetrado e log-log respectivamente.

Ocorrendo uma e somente uma tendência bem definida, a equação (9) é obtida por análise de regressão. Deve-se salientar aqui, que as características físicas e hidráulicas da seção sofrem transformações com o passar do tempo, implicando em uma possível variação das relações cotas X descargas, cada uma delas com validade para determinados intervalos de tempo.

O sistema de equações abaixo nos levará à determinação dos parâmetros estimados \hat{a} e \hat{b} , que é a solução do sistema:

$$\begin{aligned} a \sum N + b \sum X_i &= \sum Y_i \\ a \sum X_i + b \sum X_i^2 &= \sum Y_i \cdot X_i \end{aligned} \quad (10)$$

A solução do sistema nos leva a um coeficiente de determinação R^2 definido por:

$$R^2 = \frac{a \sum Y_i + b \sum X_i Y_i - 1/N (\sum Y_i)^2}{\sum (Y_i)^2 - 1/N (\sum Y_i)^2} \quad (11)$$

onde:

N = número de pares (h_i, Q_i)

R^2 = coeficiente de determinação ($0 \leq R^2 \leq 1$)

Sendo \hat{a} e \hat{b} solução do sistema, e de acordo com as transformações em (8.1) teremos:

$$\begin{aligned} \hat{n} &= \hat{b} \\ \hat{A} &= 10^{\hat{a}} \end{aligned} \quad (12)$$

Substituindo os parâmetros \hat{n} e \hat{A} em (7) teremos:

$$Q = \hat{A} (h - h_0)^{\hat{n}} \quad (13)$$

Partindo do pressuposto de que existe um e somente um h_0 tal que R^2 pertencente ao intervalo $[0, 1]$, seja máximo, e para o qual a equação (13) tende a se aproximar de uma reta, teremos:

$\exists h_0^*$ tal que a equação (13) seja uma reta.

A pesquisa do valor de h_0^* que permite a determinação de R^2 max implica em sucessivas interações dos vários pontos de $(h_i - h_0, Q_i)$ pertencentes à curva. A partir do momento em que o número de pontos N seja muito grande torna-se necessário o uso de uma rotina computacional para a resolução do sistema (10), em virtude também dos vários valores de h_0 que deverão ser testados visando a determinação de R^2 max.

A fig. 03 mostra o comportamento da curva $Q = f(h - h_0 - \Delta h)$ em função dos incrementos Δh dados a partir de um valor inicial de h_0 . A curva-3 implica em um valor de $h_0^* = h_0 + \Delta h = h_3$, onde R^2 assume um valor máximo. Consequentemente a equação (13), com parâmetros \hat{A}, \hat{n} e $h_0 = h_0^*$ é a que apresenta melhor aderência gráfica com relação ao conjunto de pontos (h_i, Q_i) medidos.

PROGRAMAS

Os fluxogramas em anexo mostram a simplicidade do sistema desenvolvido. Optamos pela criação de programas em calculadoras HP-41/CV, devido a facilidade de manuseio do equipamento, seu relativamente curto tempo de resposta, facilidade de adaptação do pessoal de nível médio ao sistema, bem como seu baixo custo de aquisição.

O conjunto de programas para a determinação da curva-chave se compõe de dois estágios básicos:

Programa 01 - P01 - Programa de Entrada e Correção de Dados - Fluxos I e II

Entrada dos pares (cota medida, vazão correspondente):

- permite a entrada dos dados a serem processados pelo programa 02 - P02, bem como as suas correções após o término da entrada de dados.
- a entrada e correção de dados é feita de acordo com as instruções contidas no manual do usuário.

Programa 02 - P02 - Programa de Determinação da Curva-Chave Fluxo II

- O programa aplica o método dos mínimos quadrados ao conjunto de pontos (h_i, Q_i) , buscando como solução uma curva do tipo da equação (7)
- A instrução para a entrada de dados e algumas considerações são tecidas no manual do usuário.

Entradas do Sistema

Programa de Entrada de Dados

- 1) NMED = nº de pares (h_i, Q_i)
- 2) h_i, Q_i = entrada dos n pares.

Programa da Curva-Chave

- 1) h_{0i} = limite inferior do intervalo de pesquisa
- 2) h_{0f} = limite superior do intervalo de pesquisa
- 3) INC = incremento h para a interação subsequente.

OBS: Devemos ressaltar aqui que os valores inicial e final do intervalo a se pesquisar o h_0 que possibilite o R^2_{max} , são obtidos, de acordo com a metodologia desenvolvida na COPASA MG, através da plotação aritmética dos pares $(h_{med}, Q_{med}$ correspondente) e da extrapolação gráfica da curva no seu ramo inferior, até interceptar o eixo representativo das cotas.

O valor do incremento mínimo é tomado como 01 cm, limite de precisão das escalas linimétricas comumente adotadas.

Saídas do Sistema

- 1) \hat{A}, \hat{n} = parâmetros da regressão para R^2_{max} no intervalo de pesquisa;
- 2) h_{0*} = cota de descarga nula para R^2_{max} no intervalo de pesquisa;
- 3) R^2_{max} = coeficiente de determinação correspondente ao va

- 4) Tabela de erros percentuais relativos a cada valor de $Q=f(h_i-h_0^*)$

$$\text{erro}(\%) = \frac{Q_i - f(h_i-h_0^*)}{Q(i)} \cdot 100$$

onde:

erro = erro percentual relativo para a medição i ;
 Q_i = descarga líquida medida;
 $f(h_i-h_0^*)$ = desc. líquida calculada pela curva com parâmetros \hat{A} , \hat{n} e h_0^* .

- 5) E_{\max} = erro percentual máximo

Memória e Estado Interno

Programa de Entrada e Correção de Dados

- 1) Registradores para dados: 26 + NMED
 2) Registradores/endereço e conteúdo
- | endereço | conteúdo |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| 016 | controle dos registros para armazenamento |
| 017 | indireto para armazenar os pares (h_i, Q_i) |
| 023 | controle para incremento dos endreços dos registradores de dados |
| 026 | dados a processar (h_1, Q_1) |
| 027 | dados a processar (h_2, Q_2) |
| ⋮ | ⋮ |
| NNN | dados a processar (h_N, Q_N) |

Programa da Curva-Chave

- 1) Registradores estatísticos: 010 a 015
 2) Registradores/endereço e conteúdo:

endereço	conteúdo
000	índice
001	futuras expansões
002	futuras expansões
003	DET
004	auxiliar
005	n p/interação $h_0 - \Delta h$
006	A p/interação $h_0 - \Delta h$
007	usado
008	auxiliar / (potencial)
009	$(\sum Q_i)/N$
010	$\sum h_i$
011	$\sum h_i^2$
012	$\sum Q_i$
013	$\sum Q_i^2$

endereço	conteúdo
014	$\sum h_i \cdot Q_i$
015	N
016	controle de incremento para endereço dos registros a processar
017	indireto p/processamento
018	R^2 p/interação $h_0 - h$
019	n p/interação h_0
020	A p/interação h_0
021	controle - $h_0 f < 0$
022	controle de incremento para h_0 inicial e final
023	controle de registro a processar
024	h_0 a processar
025	R^2 p/interação h_0
026	
NNN	(h_i, Q_i) a processar

3) Indicadores (Flags)

nº	ativado	desativado
00	$h_0 < 0$	$h_0 \geq 0$
01	lê reg. p/tabela	lê reg. p/processar
02	$h_0 f < 0$	$h_0 f \geq 0$
03	imprime "%"	não imprime "%"
04	R^2 crescente	R^2 máximo

Considerações sobre o Sistema

1) Ao se aplicar o método dos mínimos quadrados para a determinação dos parâmetros de regressão \hat{A} e \hat{n} , parte-se do princípio de que os erros residuais têm distribuição Normal (0,1).

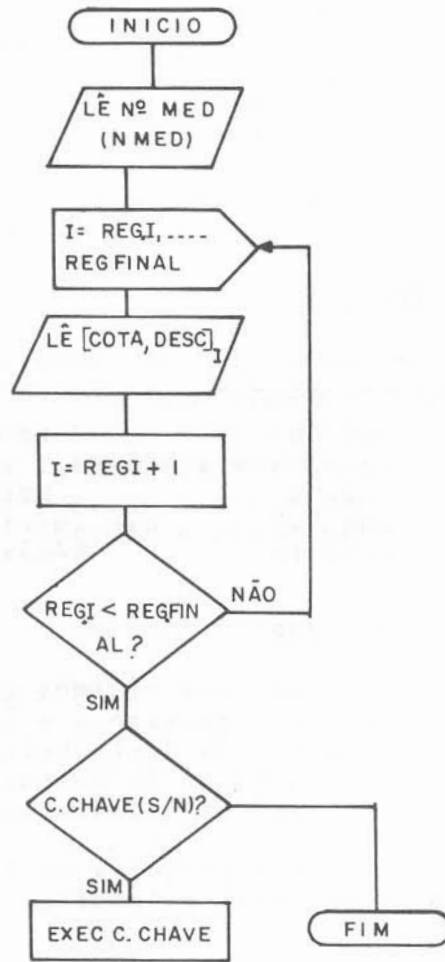
2) Valores negativos ou nulos de descarga causarão problemas no ajuste da curva, devido as transformações mostradas anteriormente (8.1).

3) O limite superior para pesquisa do h_0^* , visando determinar R^2_{\max} , deverá ser menor ou igual a descarga mínima medida, decrescida do incremento Δh .

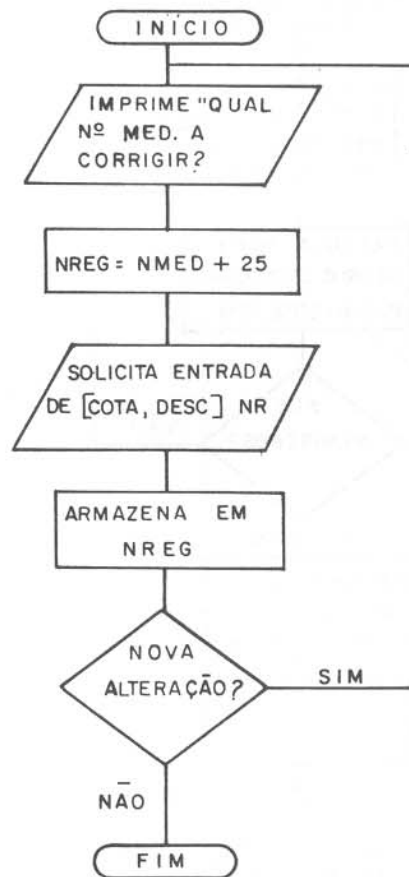
FLUXOGRAMAS, LISTAGENS DOS PROGRAMAS E MANUAL DO USUÁRIO

Os fluxogramas, as listagens dos programas e o manual do usuário estão contidas nas páginas a seguir.

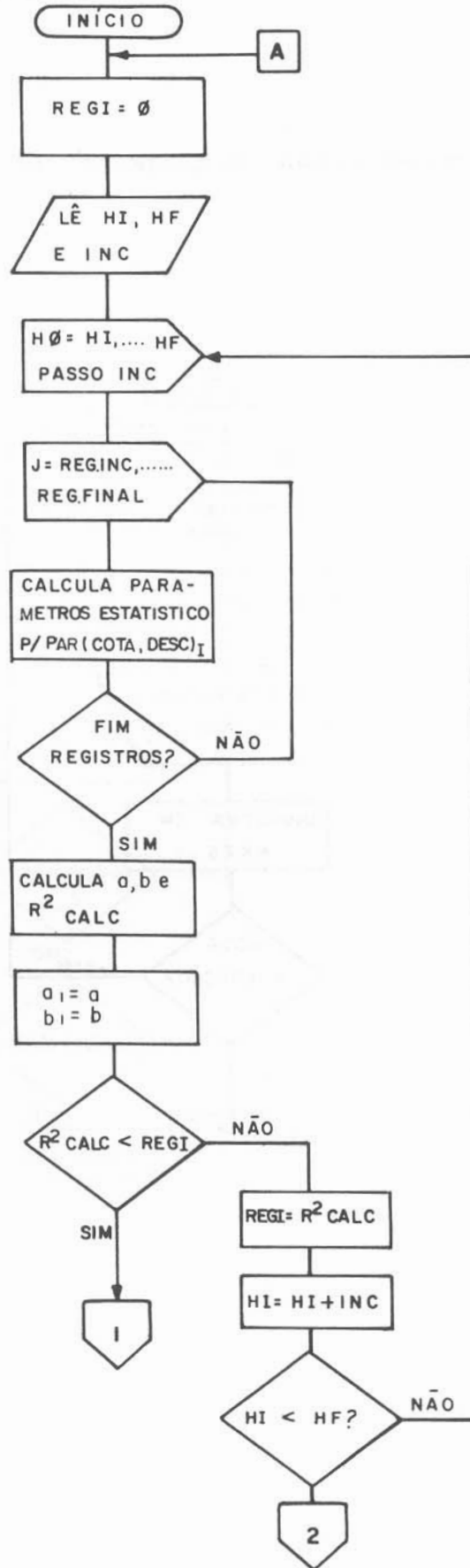
FLUXO I PROGRAMA DE ENTRADA DE DADOS - P 0 I.1



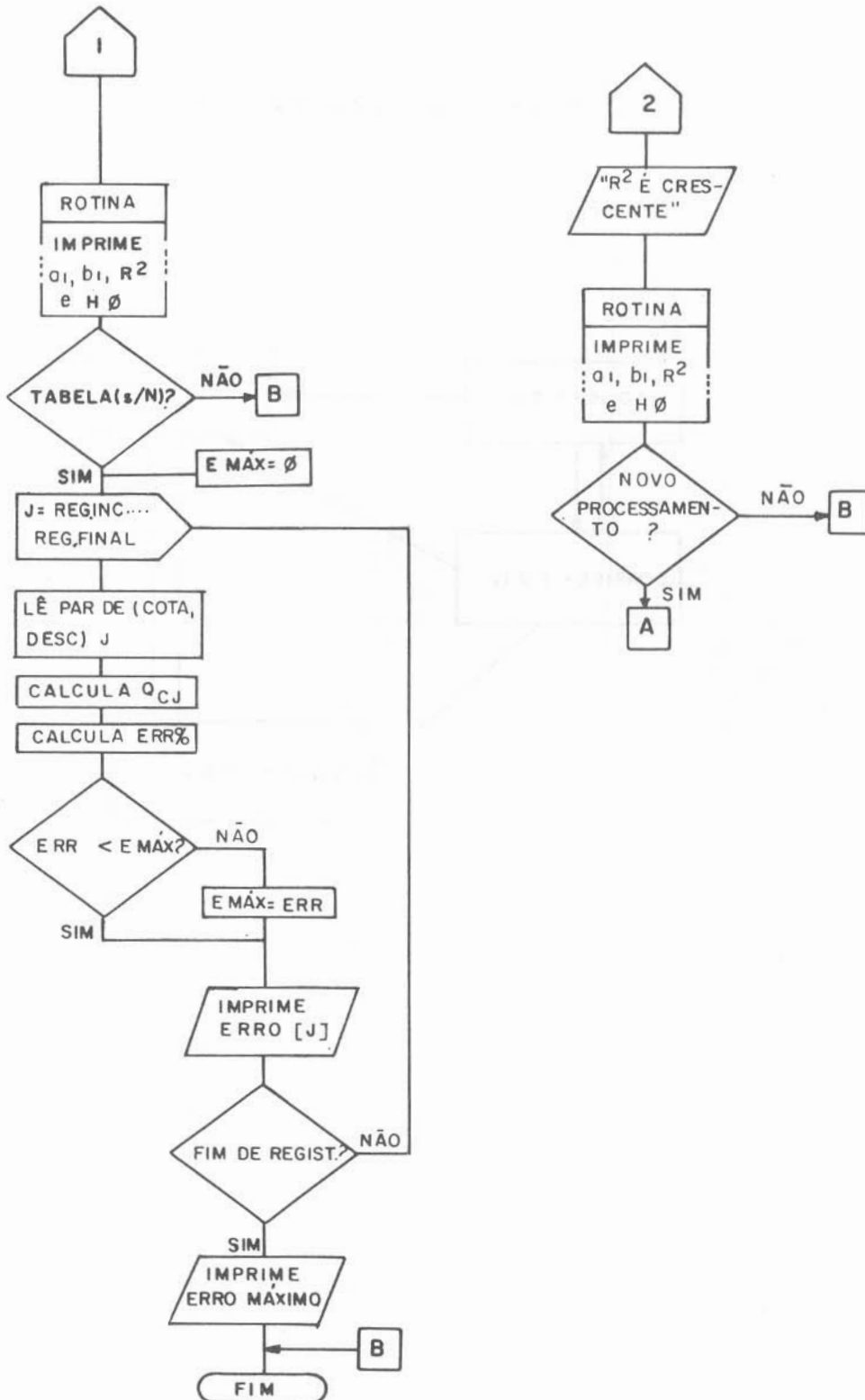
FLUXO II - PROGRAMA DE CORREÇÃO DE DADOS - P 01.2



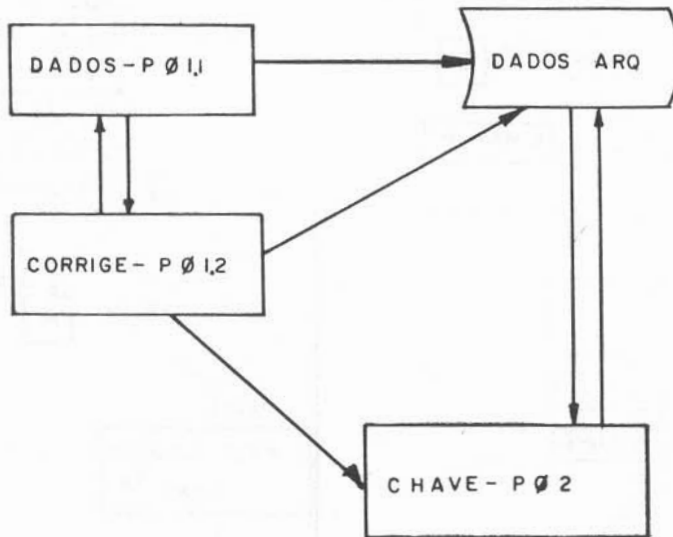
FLUXO III
PROGRAMA DE
CURVA CHAVE
P 0 2



PROGRAMA DE CURVA CHAVE - P Ø 2 CONTINUAÇÃO



ESQUEMA DE ENCADEAMENTO



```

=====
PROGRAMA DE ENTRADA
DE DADOS
=====
P-01 * LISTAGEM
=====

```

```

01+LBL "DADOS"
02 "NMED=?"
03 PROMPT
04 1
05 -
06 26
07 +
08 100
09 *
10 1
11 +
12 1 E5
13 /
14 26
15 +
16 STO 23
17 STO 16
18+LBL 01
19 CLA
20 "C+0"
21 RCL 16
22 INT
23 25
24 -
25 FIX 0
26 ARCL X
27 "I="
28 AVIEW
29 FIX 2
30 RTN
31+LBL A
32 XEQ 02
33 ISG 16
34 GTO 01
35 "FIM DE DADOS"
36 AVIEW
37 STOP
38 GTO 03
39+LBL 02
40 1000
41 /
42 X<Y
43 100
44 *
45 +
46 RCL 16
47 INT
48 STO 17
49 X<Y
50 STO IND 17
51 RTN
52+LBL 03
53 "CORRECAO"
54 XEQ *S/N?"

```

```

55 FS? 10
56 GTO "CORR"
57 "C.CHAVE"
58 XEQ *S/N?"
59 FS? 10
60 GTO "CHAVE"
61 CLX
62 END

```

```

=====
PROGRAMA DA C.CHAVE
=====
P-02 * LISTAGEM
=====

```

```

01+LBL "CHAVE"
02 0
03 STO 18
04 CF 00
05 CF 01
06 CF 02
07 CF 03
08 CF 04
09 SREG 10
10 "H0I=?"
11 PROMPT
12 X<0?
13 SF 00
14 ABS
15 1 E5
16 *
17 "H0F=?"
18 PROMPT
19 STO 21
20 X<0?
21 SF 02
22 ABS
23 100
24 *
25 +
26 "INC=?"
27 PROMPT
28 +
29 1 E5
30 /
31 FS? 00
32 CHS
33 STO 22
34+LBL 05
35 RCL 22
36 INT
37 100
38 /
39 STO 24
40 FS? 02
41 XEQ 13

```

```

42 CLS
43+LBL 01
44 RCL 23
45 STO 16
46+LBL 00
47 RCL 16
48 INT
49 STO 17
50 RCL IND 17
51 ENTER↑
52 INT
53 STO T
54 -
55 1000
56 *
57 RCL T
58 100
59 /
60 RCL 24
61 -
62 FS? 01
63 GTO 08
64+LBL 03
65 LN
66 X<Y
67 LN
68 X<Y
69 Σ+
70 ISG 16
71 GTO 00
72 XEQ "FIM"
73 FS? 01
74 GTO 01
75 RCL 06
76 STO 19
77 RCL 05
78 STO 20
79 RCL 25
80 STO 18
81 ISG 22
82 GTO 05
83+LBL 07
84 BEEP
85 "R2 E CRESCENTE"
86 AVIEW
87 RCL 22
88 INT
89 100
90 /
91 STO 24
92 SF 04
93 GTO 06
94+LBL 12
95 "NOVO PROCESS"
96 XEQ *S/N?"
97 FS? 10
98 GTO "CHAVE"
99 GTO 11
100+LBL 08
101 X<Y
102 STO 00
103 X<Y

```

104 RCL 20
 105 Y+X
 106 RCL 19
 107 *
 108 FIX 2
 109 RCL 01
 110 FIX 0
 111 "Qc<"
 112 ARCL X
 113 "t>=" "
 114 FIX 2
 115 X<>Y
 116 ARCL X
 117 "t"
 118 AVIEW
 119 STOP
 120 RCL 00
 121 /
 122 1
 123 -
 124 CHS
 125 100
 126 *
 127 INT
 128 FIX 0
 129 "Ee"
 130 SF 03
 131 XEQ 08
 132 RCL 04
 133 X<>Y
 134 X>Y?
 135 STO 04
 136 ISG 01
 137 ISG 16
 138 GTO 00
 139 RCL 04
 140 "EMaX"
 141 SF 03
 142 XEQ 08
 143 GTO 12
 144*LBL "FIM"
 145 8
 146 STO 00
 147 RCL 15
 148 RCL 11
 149 RCL 10
 150 RCL 10
 151 XEQ 09
 152 STO 03
 153 RCL 12
 154 RCL 11
 155 RCL 10
 156 RCL 14
 157 XEQ 09
 158 RCL 03
 159 /
 160 STO 04
 161 XEQ IND 00
 162 STO 06
 163 RCL 15
 164 RCL 14
 165 RCL 10

166 RCL 12
 167 XEQ 09
 168 RCL 03
 169 /
 170 STO 05
 171*LBL 03
 172 RCL 04
 173 RCL 12
 174 *
 175 RCL 05
 176 RCL 14
 177 *
 178 +
 179 RCL 12
 180 X+2
 181 RCL 15
 182 /
 183 STO 09
 184 -
 185 RCL 13
 186 RCL 09
 187 -
 188 /
 189 STO 25
 190 RCL 18
 191 X<Y?
 192 RTN
 193 GTO 06
 194*LBL 00
 195 E+X
 196 RTN
 197*LBL 09
 198 *
 199 STO 07
 200 RDN
 201 *
 202 RCL 07
 203 -
 204 RTN
 205*LBL 06
 206 FIX 3
 207 CF 03
 208 BEEP
 209 RCL 19
 210 "A"
 211 XEQ 08
 212 RCL 20
 213 "N"
 214 XEQ 08
 215 RCL 22
 216 1000
 217 *
 218 FRC
 219 ABS
 220 ST- 24
 221 RCL 24
 222 "H0"
 223 XEQ 08
 224 RCL 18
 225 100
 226 *
 227 "R2"

228 SF 03
 229 XEQ 08
 230 "TABELA:"
 231 XEQ "S/N?"
 232 FC? 10
 233 GTO 12
 234 "ERROS(%)"
 235 SF 01
 236 0
 237 STO 00
 238 STO 04
 239 0.99901
 240 STO 01
 241 FS? 04
 242 GTO 01
 243 RTN
 244*LBL 13
 245 RCL 24
 246 RCL 21
 247 100
 248 /
 249 X<Y?
 250 GTO 07
 251 RTN
 252*LBL 08
 253 "t=" "
 254 ARCL X
 255 FS? 03
 256 "t%"
 257 AVIEW
 258 STOP
 259 CLA
 260 STO 08
 261 RTN
 262*LBL 11
 263 TONE 9
 264 "< FIM >"
 265 AVIEW
 266 STOP
 267 END

=====

ROTINA S/N?

=====

01*LBL "S/N?"
 02 CF 23
 03 AON
 04 "t? S/N"
 05 PROMPT
 06 AOFF
 07 CF 10
 08 ASTO X
 09 "S"
 10 ASTO Y
 11 X=Y?
 12 SF 10
 13 END

MANUAL DO USUÁRIO - PROGRAMA DE ENTRADA E CORREÇÃO DE DADOS - P 01

PASSO	INSTRUÇÕES	ENTRADA	FUNÇÃO	VISOR	OBSERVAÇÕES
01	DEFINA O ESTADO DE ACORDO COM O NÚMERO DE MEDIÇÕES (*)		<input type="checkbox"/> XEQ SIZE NNN		
02	INICIALIZA O PROGRAMA DADOS		<input type="checkbox"/> XEQ DADOS		
03	SERÁ SOLICITADO O Nº DE PARES DE h_i, Q_i A SEREM ARMAZENADOS			NMED = ?	
04	INTRODUZA O Nº DE MEDIÇÕES	NMED	<input type="checkbox"/> R/S	H/Q 1 ?	
05	REPITA O PASSO 04 PARA $i = 1, 2, \dots, NMED$ INTRODUZA: $h_i,$ Q_i	h_i Q_i	<input type="checkbox"/> ENTER f <input type="checkbox"/> R/S	H/Q $i, 1$	
06	QUANDO $i = NMED$			FIM DE DADOS	
07	PARA DAR CONTINUIDADE....		<input type="checkbox"/> R/S	CORRIGE DADOS? (S/N)	
08	INTRODUZA OPÇÃO OP = S → VÁ PASSO 09 OP = N → VÁ PASSO 12	OP	<input type="checkbox"/> R/S		
09	SOLICITA O Nº DA MEDIÇÃO A SER CORRIGIDA	NM	<input type="checkbox"/> R/S	NM = ?	
10	INTRODUZA: h_{NM} Q_{NM}	h_{NM} Q_{NM}	<input type="checkbox"/> ENTER f <input type="checkbox"/> R/S		
11	EMITE MENSAGEM PERGUNTANDO SE DESEJA NOVA CORREÇÃO INTRODUZA OPÇÃO OP = S → VÁ PASSO 09 OP = N → VÁ PASSO 12	OP	<input type="checkbox"/> R/S	NOVA CORREÇÃO (S/N)	
12	DESEJA CALCULAR CURVA CHAVE? INTRODUZA OPÇÃO OP = S → VÁ PASSO 02 DO PROGRAMA DE C. CHAVE OP = N → VÁ PASSO 13 DESTE PROGRAMA	OP	<input type="checkbox"/> R/S		
13				<FIM>	

MANUAL DO USUÁRIO - PROGRAMA DA CURVA- CHAVE - P 0 2

PASSO	INSTRUÇÕES	ENTRADA	FUNÇÃO	VISOR	OBSERVAÇÕES
01	INICIALE O PROGRAMA CHAVE		XEQ CHAVE	H0I = ?	
02	SERÁ SOLICITADO O LIMITE INFERIOR SUPERIOR E O INCREMENTO DO INTERVALO A SER PESQUISADO OBSERVAÇÃO - - O TEMPO DE PROCESSAMENTO SERÁ FUNÇÃO DO NÚMERO DE MEDIÇÕES (NMED) E DO INTERVALO A SER PESQUISADO, BEM COMO DO INCREMENTO (INC.). DE ACORDO COM OS DADOS PROCESSADOS PODERÃO OCORRER AS SEGUINTE ALTERNATIVAS : 03/a ou 03/b	H0I H0F INC	R/S R/S R/S	H0F = ? INC = ? → →	
03/a	O PROGRAMA DETERMINA OS PARÂMETROS DA REGRESSÃO PARA R ² MAX DENTRO DO INTERVALO (HI, HF), PORÉM O MESMO AINDA CONTINUA CRESCENTE. VÁ AO PASSO 4		R/S R/S R/S R/S	R ² CRESCENTE Â n h0 ^a R ² MAX TABELA? (S/N)	• <BEEP> - SOM AUDÍVEL
03/b	O PROGRAMA DETERMINA OS PARÂMETROS DE REGRESSÃO PARA R ² MAX DENTRO DO INTERVALO (HI, HF), COM A RESSALVA DE QUE R ² É O MAX. MÁXIMORUM. VÁ AO PASSO 4		R/S R/S R/S R/S	Â n h0 ^a R ² MAX TABELA? (S/N)	• <BEEP> - <BEEP>
04	INTRODUZA OPÇÃO: OP = S → VÁ PASSO 05 OP = N → VÁ PASSO 07	OP	R/S		
05	PARA i = 1, 2, ... NMED		R/S R/S	Qi Rei	
06	EMITE VALOR DO ERRO MÁXIMO		R/S	EMAX	
07	PARA DAR CONTINUIDADE....		R/S		
08	PERMITE NOVO PROCESSAMENTO INTRODUZA OPÇÃO OP = S → VÁ PASSO 02 OP = N → VÁ PASSO 09	OP	R/S	NOVO PROCES? (S/N)	
09				<FIM>	

EXEMPLO

A título de exemplo tomamos a Estação Fluviométrica de Fazenda Paraíso, nº 60835000, operada pelo DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - no Rio Tejuco em Minas Gerais, Bacia do Rio Paranaíba. De posse da relação das medições de descargas do posto supra referido (cópia anexa), foram plotados os pares cota-descarga, pontos estes que definiram claramente a tendência de uma curva de potência.

Para se proceder a entrada dos pares cota-descarga no sistema ora proposto, tomamos o período de 08/07/71 a 08/02/80 (vide listagem das medições de descarga), correspondendo ao intervalo entre as medições de números 98 a 184, tendo sido desprezada a medição de número 181 por apresentar um comportamento diferente em relação aos demais pontos.

O intervalo de pesquisa do h_0 que proporciona o R^2 máximo foi obtido pela extrapolação gráfica do ramo inferior da curva plotada em papel aritmético até cortar o eixo das cotas (gráfico anexo).

Perfazendo um total de 63 dias de medições, obteve-se as seguintes saídas da ROTINA SIMPLIFICADA:

- | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1) Parâmetros da regressão: | $\hat{A} = 9,440$
$\hat{n} = 2,164$ |
| 2) Cota teórica de descarga nula: | $h_0^* = 0,33$ |
| 3) Coeficiente de determinação máximo: | $R^2 = 99,595\%$ |
| 4) Tabela de erros percentuais relativos (em anexo) | |
| 5) Erro percentual relativo máximo: | $E_{max} = 12\%$ |

$$*Curva-chave: Q = 9,440 (h-0,33)^{2,164}$$

A seguir, são apresentados anexos I, II e III com o seguinte conteúdo:

- Anexo I - Listagem das medições de descarga.
 Anexo II - Curva de cotas X descarga
 Anexo III - Tabela de cotas e descargas medidas, descargas calculadas e erros percentuais relativos.

MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA

14/05/86

CCPASA -*- DVFC/SCCH

**** RELACAO DAS MEDICOES DE DESCARGA ****

ESTACAO 60835000

DATA DA MEDICAO (D/M/A)	ENTIDADE MEDIDORA	NUMERO DA MEDICAO	CGTA MEDIA (CM)	DESCARGA TOTAL (M ³ /S)
06/11/69	01	093	169	18.165
09/12/69	01	094	185	23.645
09/12/69	01	095	185	22.666
17/11/70	01	096	160	15.007
17/11/70	01	097	160	14.868
08/07/71	82	098	101	3.970
11/08/71	82	099	99	3.530
11/08/71	82	100	99	3.580
14/09/71	82	101	126	7.960
14/09/71	82	102	125	7.610
16/10/71	82	103	175	22.700
16/10/71	82	104	178	21.800
17/11/71	82	105	111	6.110
17/11/71	82	106	111	6.250
12/01/72	82	107	168	17.000
12/01/72	82	108	167	17.000
16/03/72	82	109	282	66.900
16/03/72	82	110	283	69.200
13/04/72	82	111	229	39.200
13/04/72	82	112	226	41.100
29/05/72	82	113	158	14.800
29/05/72	82	114	158	15.400
14/06/72	82	115	136	10.000
14/06/72	82	116	136	9.760
18/07/72	82	117	144	13.500
18/07/72	82	118	144	13.600
19/09/72	82	119	113	5.600
19/09/72	82	120	113	5.550
04/11/72	82	121	237	41.300
04/11/72	82	122	237	43.000
14/01/73	82	123	199	27.800
14/01/73	82	124	201	27.300
12/03/73	82	125	244	46.900
12/03/73	82	126	244	48.100
28/04/73	82	127	202	29.400
28/04/73	82	128	202	29.100
16/06/73	82	129	169	17.700
16/06/73	82	130	169	18.400
28/08/73	82	131	136	10.400
28/08/73	82	132	136	9.490
21/09/73	82	133	126	8.230
21/09/73	82	134	126	7.490
26/01/74	82	135	215	32.400
26/01/74	82	136	214	32.500
19/02/74	82	137	202	29.700
19/02/74	82	138	202	27.600

ENTIDADE 01

AREA TOTAL (M ²)	LARGURA TOTAL (M)	PROFUNDIDADE MEDIA (M)	VELOCIDADE MEDIA (M/S)	SIT
22.16	18.90	1.17	0.820	1
25.47	19.40	1.31	0.928	1
24.78	19.30	1.28	0.915	1
19.67	16.90	1.18	0.763	1
19.79	17.30	1.14	0.751	1
23.95	24.60	0.97	0.165	1
23.46	24.70	0.94	0.150	1
24.61	24.70	0.99	0.145	1
27.19	28.00	0.97	0.292	1
27.88	28.00	0.99	0.272	1
29.08	31.12	0.93	0.779	1
29.32	31.12	0.94	0.744	1
14.55	29.15	0.49	0.419	1
14.75	29.15	0.50	0.423	1
22.34	18.06	1.23	0.761	1
21.77	18.06	1.20	0.782	1
45.29	21.94	2.06	1.476	1
45.82	21.94	2.08	1.509	1
32.69	20.80	1.57	1.199	1
34.93	21.70	1.60	1.177	1
20.20	17.34	1.16	0.730	1
20.18	17.34	1.16	0.761	1
16.70	15.85	1.05	0.600	1
17.01	15.85	1.07	0.573	1
18.18	16.70	1.08	0.744	1
18.13	16.70	1.08	0.749	1
13.17	15.36	0.85	0.424	1
13.38	15.36	0.87	0.415	1
33.00	21.29	1.55	1.252	1
34.37	21.29	1.61	1.251	1
25.67	19.40	1.32	1.081	1
26.37	19.40	1.35	1.034	1
35.35	20.90	1.69	1.327	1
35.61	20.90	1.70	1.351	1
26.68	19.70	1.35	1.103	1
26.68	19.70	1.35	1.089	1
20.78	18.13	1.14	0.849	1
22.73	18.13	1.25	0.807	1
16.45	16.15	1.01	0.631	1
16.13	16.15	0.99	0.588	1
15.21	15.75	0.96	0.540	1
14.84	15.75	0.94	0.504	1
31.39	20.62	1.52	1.031	1
30.30	20.62	1.46	1.073	1
28.50	19.70	1.44	1.044	1
28.61	19.70	1.45	0.963	1

MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA

14/05/86

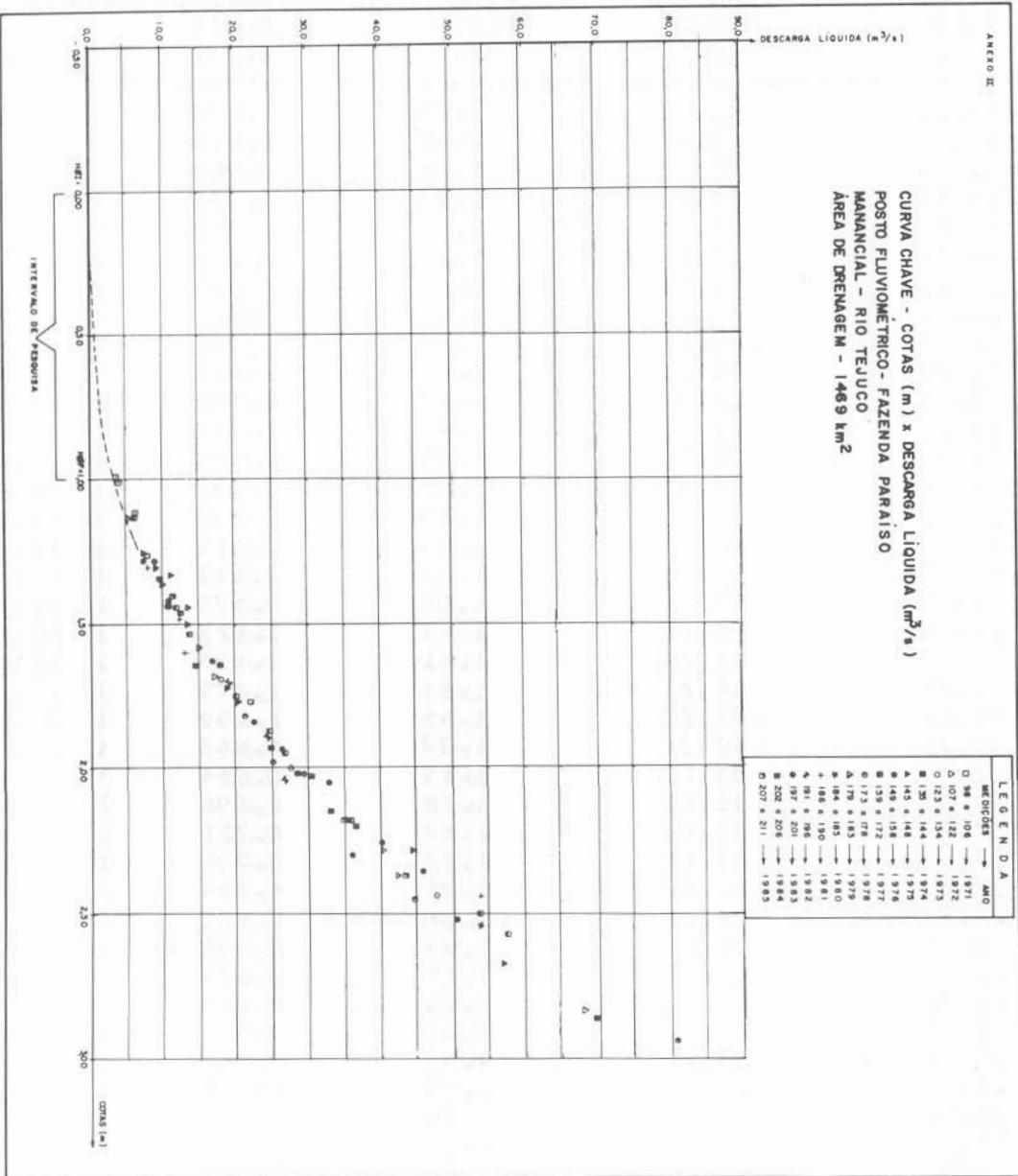
CCFASA -*- CVHC/SCCH

**** RELACAO DAS MEDICÖES DE DESCARGA ****

ESTACAO 60835000

DATA DA MEDICAO (C/M/A)	ENTIDADE MEDIDORA	NUMERO DA MEDICAO	CCJA MEDIA (CM)	DESCARGA TOTAL (M ³ /S)
26/03/74	82	135	286	68.500
26/03/74	82	140	286	70.400
23/04/74	82	141	193	25.000
23/04/74	82	142	193	24.500
19/06/74	82	143	161	15.555
19/06/74	82	144	167	16.300
24/09/74	82	145	125	7.670
21/10/74	82	146	130	9.010
08/12/74	82	147	228	44.300
23/12/74	82	148	267	56.700
22/01/75	82	149	235	45.600
10/02/75	82	150	235	45.900
18/02/75	82	151	194	26.600
10/03/75	82	152	163	16.800
12/05/75	82	153	163	16.500
06/06/75	82	154	142	11.100
11/08/75	82	155	125	7.968
11/11/75	82	156	134	9.540
06/12/75	82	157	205	32.783
16/12/75	82	158	226	39.700
12/01/76	82	159	225	40.634
18/02/76	82	160	218	35.804
24/03/76	82	161	257	57.260
24/04/76	82	162	169	18.564
20/06/76	82	163	143	12.089
23/08/76	82	164	148	12.812
26/10/76	82	165	153	13.526
28/12/76	82	166	250	53.582
15/02/77	82	167	175	19.999
22/04/77	82	168	187	24.680
16/06/77	82	169	144	11.842
19/08/77	82	170	112	5.734
21/10/77	82	171	113	6.202
14/12/77	82	172	195	26.773
16/02/78	82	173	202	28.169
17/04/78	82	174	182	21.479
15/06/78	82	175	158	15.392
12/08/78	82	176	128	9.053
20/10/78	82	177	198	25.129
12/12/78	82	178	245	44.518
13/04/79	82	179	177	20.151
14/06/79	82	180	150	13.451
10/08/79	82	181	133	11.442
13/10/79	82	182	143	12.046
14/12/79	82	183	172	18.836
08/02/80	82	184	254	53.488

ENTIDADE 82				
AREA TOTAL (M ²)	LARGURA TOTAL (M)	PROFUNDIDADE MEDIA (M)	VELOCIDADE MEDIA (M/S)	SIT
44.96	23.00	1.95	1.523	1
46.45	23.00	2.01	1.516	1
26.10	19.10	1.36	0.960	1
26.53	19.10	1.38	0.924	1
20.74	17.00	1.22	0.750	1
20.84	17.00	1.22	0.783	1
15.12	15.75	0.96	0.507	1
16.47	15.83	1.04	0.547	1
32.98	21.20	1.55	1.342	1
40.20	21.20	1.90	1.411	1
34.96	21.40	1.63	1.305	1
34.92	21.30	1.63	1.313	1
26.70	19.50	1.36	0.994	1
21.02	17.10	1.22	0.797	1
20.50	17.10	1.19	0.803	1
18.04	16.50	1.09	0.615	1
15.51	15.10	1.02	0.513	1
16.45	16.30	1.00	0.579	1
29.17	19.80	1.47	1.123	1
32.05	21.20	1.51	1.238	1
31.76	20.60	1.54	1.279	1
30.88	21.20	1.45	1.159	1
39.12	22.10	1.77	1.463	1
21.48	18.00	1.19	0.864	1
17.35	16.00	1.08	0.696	1
17.76	16.40	1.08	0.721	1
19.06	17.00	1.12	0.709	1
39.55	21.80	1.81	1.354	1
24.83	18.20	1.36	0.805	1
25.66	19.00	1.35	0.961	1
17.51	15.50	1.10	0.676	1
12.72	15.00	0.84	0.450	1
13.11	14.90	0.88	0.472	1
28.26	18.90	1.49	0.947	1
27.57	20.00	1.37	1.021	1
23.00	18.50	1.24	0.933	1
19.78	16.50	1.19	0.778	1
15.82	15.70	1.00	0.572	1
27.83	19.00	1.46	0.902	1
36.05	20.60	1.75	1.234	1
22.80	18.00	1.26	0.883	1
19.63	16.50	1.18	0.685	1
17.75	16.00	1.10	0.644	1
17.99	16.00	1.12	0.669	1
22.55	18.50	1.21	0.835	1
38.46	21.00	1.83	1.390	1



ANEXO III

COPASA MG

ESTUDO HIDROLÓGICO - DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE

PÁG.

1/2

NOME DO RIO		NOME DO POSTO			ÁREA DRENAGEM (Km ²)		Ho		
RIO TEJUCO		FAZENDA PARAISO			1.469		0,33		
Nº MED.	H	Q. REAL	Q. CALC.	ERRO	Nº MED.	H	Q. REAL	Q. CALC.	ERRO
98	1,01	3,97	4,10	-3%	145	1,25	7,67	7,88	-2%
99/100	0,99	3,55	3,84	-8%	146	1,30	9,01	8,84	1%
101/2	1,26	7,79	8,07	-3%	147	2,28	44,30	40,06	9%
103/4	1,77	22,25	20,78	6%	148	2,67	56,70	59,44	-4%
105/6	1,11	6,18	5,51	10%	149	2,35	45,60	43,24	5%
107/8	1,68	17,00	18,07	-6%	150	2,35	45,90	43,24	5%
109/10	2,83	68,05	68,59	0%	151	1,94	26,60	26,46	0%
111/12	2,28	40,15	40,06	0%	152	1,63	16,80	16,66	0%
113/14	1,58	15,10	15,30	-1%	153	1,63	16,50	16,66	0%
115/16	1,36	9,88	10,06	-1%	154	1,42	11,10	11,38	2%
117/18	1,44	13,55	11,83	12%	155	1,25	7,97	7,88	1%
119/20	1,13	5,58	5,82	-4%	156	1,34	9,54	9,65	-1%
121/22	2,37	42,15	44,17	-4%	157	2,05	32,78	30,53	6%
123/24	2,00	27,55	28,64	-3%	158	2,26	39,70	39,17	1%
125/26	2,44	47,50	47,51	0%	159	2,25	40,63	38,74	4%
127/28	2,02	29,25	29,39	0%	160	2,18	35,80	35,74	0%
129/30	1,69	18,05	18,36	-1%	161	2,57	57,26	54,08	5%
131/32	1,36	9,95	10,06	-1%	162	1,69	18,56	18,36	1%
133/34	1,26	7,86	8,07	-2%	163	1,43	12,09	11,60	4%
135/36	2,15	32,45	34,50	-6%	164	1,48	12,81	12,77	0%
137/38	2,02	28,65	29,39	-2%	165	1,53	13,53	14,01	-3%
139/40	2,86	69,45	70,38	-1%	166	2,50	53,58	50,49	5%
141/42	1,93	24,75	26,11	-5%	167	1,75	20,00	20,16	0%
143/44	1,64	15,93	16,93	-6%	168	1,87	24,68	24,03	2%

LEGENDA : CAMPO Ho = COTA DE DESCARGA NULA EM METROS

ANEXO III

COPASA MG

ESTUDO HIDROLÓGICO - DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE

PÁG.

2/2

NOME DO RIO RIO TEJUCO	NOME DO POSTO FAZENDA PARAISO	ÁREA DRENAGEM (Km ²) 1.469	H ₀ 0,33
---------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------	------------------------

Nº MED.	H	Q. REAL	Q. CALC.	ERRO	Nº MED.	H	Q. REAL	Q. CALC.	ERRO
169	1,44	11,84	11,83	0%					
170	1,12	5,73	5,67	1%					
171	1,13	6,20	5,82	6%					
172	1,95	26,77	26,82	0%					
173	2,02	28,17	29,39	-4%					
174	1,82	21,48	22,38	-4%					
175	1,58	15,39	15,30	0%					
176	1,28	9,05	8,45	6%					
177	1,98	25,13	27,90	-11%					
178	2,45	44,52	48,00	-7%					
179	1,77	20,15	20,78	-3%					
180	1,50	13,45	13,26	1%					
181	1,33	11,44	/	/					
182	1,43	12,05	11,60	3%					
183	1,72	18,84	19,25	-2%					
184	2,54	53,49	52,52	1%					

LEGENDA : CAMPO H₀ = COTA DE DESCARGA NULA EM METROS

AGRADECIMENTOS

Ao Eng^o Paulo Melo FREITAS Jr. e a Eng^a Soraya Ivania de CASTILHO, pelas revisões e sugestões apresentadas visando a otimização da rotina, bem como pelo incentivo à publicação.

Ao Eng^o Antônio Tarcisio de LAS CASAS pela oportunidade de desenvolvimento do trabalho na Divisão de Hidrologia da Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

Ao 5^o Distrito do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, em especial à Eng^a Maura Menin Teixeira de SOUZA, pela gentileza que sempre nos tem dispensado no fornecimento de subsídios para nossos trabalhos em hidrologia.

BIBLIOGRAFIA

FREITAS, P. M. Jr., 1974 - Determinação da Curva-chave e sua aplicação à estimativa de vazões de enchentes - Instituto de Engenharia Sanitária da E.E.U.F.M.G., 40p.

Gerenciamento da Bacia Hidrográfica - Reservatórios Serra Azul - 2^o Relatório, Set/84, COPASA MG.

HEWLETT PACKARD, 1979 - Manual de Aplicações HP-41C, pg.47 a 54.

NAVARRO, F.C., 1984 - Programação Avançada na HP-41 - Pro-Pesquisa, 1^a Edição, pg. 24 a 26.

SEREBRENICK, R., 1964 - Guia do Traçado de uma Curva-Chave, DNAEE -RJ.

SILVEIRA, R.L., 1975 - Notas de Aula, IPH-UFRS.

UNESCO, 1982 - Methods of Computation of low Streamflow, Paris , pg. 29 e 30.

4^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

"Regulamentação de Uso e Preservação das Águas Subterrâneas" é o tema do 4^o Congresso de nossa Associação a ser realizado no período de 4 a 7 de novembro próximo, no Centro de Convenções de Brasília.

Dezenas de trabalhos já foram inscritos e aprovados para apresentação. Também está confirmada a programação dos dias 5, 6 e 7 com a participação de conferencistas internacionais e brasileiros que abordarão temas atuais, dentro da sistemática proposta.

Paralelo ao Congresso, será realizada uma Exposição Técnica dedicada às empresas de perfuração, fabricantes de equipamentos e entidades públicas que atuam no setor.