INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN



ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS PARA DESASSOREAMENTO E REGULARIZAÇÃO DOS LEITOS E MARGENS DOS RIOS JUCU, FORMATE E MARINHO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA

PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM RODA D'ÁGUA
RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA BARRAGEM RODA D'ÁGUA E DO TRECHO CANALIZADO DO RIO FORMATE
VOLUME 1

Acquatool Consultoria

Abril 2009

APRESENTAÇÃO

A Empresa Acquatool Consultoria S/S Ltda., no marco da ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS PARA DESASSOREAMENTO E REGULARIZAÇÃO DOS LEITOS E MARGENS DOS RIOS JUCU, FORMATE E MARINHO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, apresenta o **DIMENSIONAMENTO DO TRECHO A SER CANALIZADO DO RIO FORMATE** e o **PROJETO BÁSICO DA BARRAGE M RODA D'ÁGUA** situada no rio Formate na divisa dos municípios de Cariacica e Viana.

O presente projeto foi divido em 05 (cinco) relatórios, a saber:

- Relatório de Estudos Topográficos;
- Relatório de Estudos Geotécnicos;
- ***Relatório de Dimensionamentos Hidráulicos;***
- Relatório de Dimensionamento do Maciço;
- Relatório de Orçamento das Obras.

Assim, este relatório atende parcialmente os serviços que foram objeto de aditivo contratual (no que diz respeito ao dimensionamento da Barragem Roda d'Água) e os serviços contemplados nos produtos denominados RP4/RP5, relativos à apresentação das soluções propostas para atenuação das cheias no que diz respeito ao Rio Formate.

O Relatório de Dimensionamentos Hidráulicos foi dividido em 02 Volumes, contendo 05 Capítulos e 03 Anexos, conforme descrito abaixo:

- Volume 01, contendo o seguinte material:
  - Capitulo 01 – Apresenta o estudo de modelagem hidrológica desenvolvido para determinação de cheias escoada na bacia hidrográfica do Rio Formate.
  - Capítulo 02 – Descreve a barragem Roda d'Água, mostrando o dimensionamento dos bueiros e seu efeito no amortecimento das cheias do Rio Formate.
  - Capítulo 03 – Mostra o dimensionamento hidráulico do trecho a ser canalizado do Rio Formate, apresentando o volume de escavação e os locais de bota-fora do material retirado de seu leito.

- Capítulo 04 – Apresenta o dimensionamento hidráulico do vertedouro da barragem Roda d'Água sob condições críticas de operação, além do dimensionamento da bacia de dissipação e das estruturas de contenção associados.
- Capítulo 05 – Apresenta as referências bibliográficas.
- Anexo 01 – Mostra o perfil das seções projetadas ao longo do rio Formate.

- Volume 02, contendo o seguinte material:
  - Anexo 02 – Apresenta as pranchas das faixas de inundação, de segurança e de preservação permanente para o Rio Formate.
  - Anexo 03 – Mostra o arranjo geral das estruturas de extravasamento de cheias da Barragem Roda d'Água.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO ..... **ii**
LISTA TABELAS ..... **v**
LISTA FIGURAS ..... **v**
1. MODELAGEM HIDROLÓGICA **2**
1.1. Metodologia e Procedimentos Hidrológicos 2
1.2. Discretização Espacial da Área de Estudo 3
1.3. Hietograma de Projeto 6
1.4. Método de Determinação da Precipitação Efetiva 10
1.5. Escoamento Superficial, Propagação em Rios e Reservatórios 11
1.6. Estudo de Cheias 13
2. A BARRAGEM RODA D'ÁGUA E SEU EFEITO NO AMORTECIMENTO DAS CHEIAS DO RIO FORMATE **19**
2.1. Objetivo e Conceito da Barragem Roda d'Água 19
2.2. O Boqueirão Selecionado para Construção da Barragem Roda d'Água 19
2.3. A Bacia Hidráulica da Barragem Roda d'Água 20
2.4. A Capacidade de Amortecimento de Cheias da Barragem Roda d'Água 21
3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO TRECHO A SER CANALIZADO DO RIO FORMATE **26**
3.1. Metodologia do Dimensionamento Hidráulico 26
3.2. Dados de Entrada da Modelagem Hidráulica 29
3.3. Resultados do Dimensionamento Hidráulico 30
3.3.1. Seção de Projeto 30
3.3.2. Parâmetros Hidráulicos 30
3.3.3. Análise das Áreas de Inundação 38
3.3.4. Volume de Escavação 40
3.3.5. Identificação das Áreas de Bota-Fora do Material Escavado 42
4. BARRAGEM RODA D'ÁGUA SOB CONDIÇÕES CRÍTICAS DE OPERAÇÃO – O DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO **47**
4.1. Definição da Condição Crítica de Operação 47
4.2. Recorrências e Cheias de Projeto Afluentes 47
4.3. Dimensionamento da Estrutura de Vertimento 47
4.4. Bacia de Dissipação 55
4.5. Estruturas de Contenção 58
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **70**
ANEXO1. DESENHO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO RIO FORMATE **74**
ANEXO 2. PRANCHAS DAS FAIXAS DE INUNDAÇÃO, SEGURANÇA E DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
ANEXO 3. ARRANJO GERAL DAS ESTRUTURAS DE EXTRAVASAMENTO DE CHEIAS

LISTA TABELAS

Tabela 1.1. Parâmetros físicos das 31 sub-bacias nas quais a bacia do rio Formate foi dividida 4
Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate 32
Tabela 3.2. Disposição dos volumes escavados nas células de bota-foras 44

LISTA FIGURAS

Figura 1.1. Discretização espacial da bacia hidrográfica contribuinte ao trecho a ser canalizado do rio Formate..... 5
Figura 1.2. Gráfico da variação da máxima redução da precipitação pontual, em função da duração da tormenta 7
Figura 1.3. Hietogramas da chuva de projeto (TR = 50, 100 e 1.000 anos) para a área de contribuição da barragem Roda d'Água. 9
Figura 1.4. Hietogramas da chuva de projeto (TR = 50 e 100 anos) para a área urbanizada de contribuição do rio Formate e rio/canal Marinho. 9
Figura 1.5. Hidrograma das cheias cinqüentenárias que afluem pontualmente em seções do rio Formate..... 15
Figura 1.6. Hidrograma das cheias cinqüentenárias que afluem de forma distribuída entre seções do rio Formate 15
Figura 1.7. Hidrograma da cheia cinqüentenária total que eflui do rio Formate 16
Figura 1.8. Diagrama unifilar de afluências das cheias no rio Formate 17
Figura 2.1. Curva Cota x Área x Volume da bacia hidráulica da Barragem Formate 20
Figura 2.2. Amortecimento da cheia com recorrência de 50 anos pela barragem Roda d'Água.... 23
Figura 2.3. Amortecimento da cheia com recorrência de 100 anos pela barragem Roda d'Água . 24
Figura 3.1. Gráfico do volume de escavação do canal projetado no rio Formate 41
Figura 3.2. Mapa de localização das áreas identificadas para o "bota-fora" do material escavado do trecho projetado do rio Formate 45
Figura 4.1. Cheia com recorrência de 100 anos afluente a barragem Roda d'Água 49
Figura 4.2. Cheia com recorrência de 1.000 anos afluente a barragem Roda d'Água..... 50
Figura 4.3. Perfil Padrão U.S Army Corps of Engineers..... 51
Figura 4.4. Ressalto Hidráulico a Jusante do Vertedouro 55
Figura 4.5. Bacia de Dissipação USBR Tipo II..... 57
Figura 4.6. Determinação da Extensão da Bacia de Dissipação (CHOW, 1973) 57
Figura 4.7. Seção Tipo do Muro de Arrimo em Concreto Ciclópico..... 59
Figura 4.8. Seção Tipo do Muro de Gabião Tipo Caixa..... 59

1. MODELAGEM HIDROLÓGICA

1. MODELAGEM HIDROLÓGICA

Neste item apresenta-se o estudo de modelagem hidrológica desenvolvido para determinação de cheias escoada na bacia hidrográfica do rio Formate, envolvendo a discretização da área de estudo em sub-bacias, avaliação de extremos das precipitações, cálculo da precipitação efetiva, transformação dos eventos de chuva em escoamento superficial, propagação do escoamento e análise dos hidrogramas em pontos de interesse.

1.1. Metodologia e Procedimentos Hidrológicos

A baixa densidade de dados fluviométricos do Brasil, aliada aos interesses prioritários do setor elétrico (principal financiador dos órgãos de monitoramento hidrológico no país) e que visa, tão somente, o monitoramento dos rios de maior caudalosidade, leva, muitas vezes, a não disposição de séries de vazões observadas em pontos de interesse, impossibilitando, assim, o emprego de métodos estatísticos que envolvam o ajuste de distribuição de probabilidades em estudos de cheias. Isto se verifica na bacia hidrográfica do rio Formate.

Como alternativa, pode-se aplicar métodos de regionalização de vazões ou de transformação chuva-deflúvio. Os métodos de transformação chuva-deflúvio têm sido empregados em diversos estudos de cheias do Brasil, apresentando resultados coerentes.

A modelagem hidrológica realizada no âmbito deste estudo constituiu-se na determinação de ondas de cheias que se formam na bacia hidrográfica do rio Formate, a partir da precipitação incidente na área contribuição. De forma sintética pode-se descrever a seqüência de passos adotada como a seguir:

- Discretização espacial da área de estudo em sub-bacias;
- Determinação do hietograma de projeto;
- Determinação da precipitação efetiva através da separação da parcela de chuva que infiltra e evapora da parcela que escoa superficialmente, utilizando a metodologia conhecida como "Método da Curva Número" (USACE, 2000);

- Determinação do escoamento superficial na bacia hidrográfica contribuinte utilizando a metodologia da Onda Cinemática (USACE, 2000);
- Propagação do escoamento em canais e reservatórios utilizando, respectivamente, o Método da Onda Cinemática e o Método de Puls (USACE, 2000);
- Obtenção dos hidrogramas em seções de interesse, ou seja, as cheias escoadas das sub-bacias que contribuem ao trecho a ser canalizado do rio Formate.

1.2. Discretização Espacial da Área de Estudo

A bacia hidrográfica contribuinte ao rio Formate apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 101 km². A área total de drenagem foi discretizada em 31 sub-bacias conforme ilustra a Figura 1.1.

Os dados referentes às características físicas das sub-bacias (declividades, comprimentos, áreas, etc.) foram levantados utilizando-se de ferramentas SIG – Sistemas de Informações Geográficas (software ArcGIS/ArcMap). O SIG foi aplicado para gerar um modelo de elevação do terreno, cujo processamento permitiu capturar automaticamente as informações requeridas para simulação. A Tabela 1.1 mostra os dados físicos das 31 sub-bacias nas quais a bacia do rio Formate foi dividida.

Foi considerada ainda na simulação a possibilidade da construção de um barramento, logo após a confluência do córrego Roda d'Água com o rio Formate, cuja finalidade hidrológica é o de atenuação da onda de cheia gerada na porção médio-alta da bacia hidrográfica deste último rio, reduzindo significativamente o pico das cheias, antes de este pico atingir a zona urbanizada que margeia o rio Formate.

Tabela 1.1. Parâmetros físicos das 31 sub-bacias nas quais a bacia do rio Formate foi dividida

Bacia	Sub-bacia	Área (m²)	Decliv. (%)	% urbaniz.	% imperm.	Rio				Vertente direita			Vertente esquerda		
						Comprim. (m)	Decliv. (m/m)	Cota montante	Cota jusante	% Area	Decliv. (m/m)	Comprim. rampa (m)	% Area	Decliv. (m/m)	Comprim. rampa (m)
Formate	FM01	3.146.155	14,4	0%	0%	4462,5	0,00022	5,00	4,00	45%	0,1445	317,3	55%	0,1445	387,8
Formate	FM02	800.668	14,2	0%	0%	1722,8	0,00290	10,00	5,00	60%	0,1417	278,9	40%	0,1417	185,9
Formate	FM03	654.696	9,5	18%	13%	814,3	0,00123	11,00	10,00	50%	0,0946	402,0	50%	0,0946	402,0
Formate	FM04	2.463.480	16,9	44%	31%	2279,8	0,00048	12,11	11,00	75%	0,1690	810,4	25%	0,1690	270,1
Formate	FM05	144.225	14,9	0%	0%	155,8	0,00909	13,52	12,11	55%	0,1486	509,3	45%	0,1486	416,7
Formate	FM06	2.111.868	15,8	33%	23%	2871,9	0,00104	16,50	13,52	20%	0,1585	147,1	80%	0,1585	588,3
Formate	FM07	1.381.701	20,8	19%	14%	731,3	0,00057	16,92	16,50	50%	0,2080	944,7	50%	0,2080	944,7
Formate	FM08	29.798	12,5	0%	0%	139,5	0,00089	17,04	16,92	60%	0,1252	128,2	40%	0,1252	85,5
Formate	FM09	968.218	12,8	76%	53%	1319,6	0,00131	18,78	17,04	65%	0,1285	476,9	35%	0,1285	256,8
Formate	FM10	1.225.982	13,1	0%	0%	829,1	0,00265	20,97	18,78	50%	0,1308	739,3	50%	0,1308	739,3
Formate	FM11	40.215	15,0	0%	0%	108,4	0,00028	21,00	20,97	60%	0,1499	222,6	40%	0,1499	148,4
Formate	FM12	5.686.148	15,3	0%	0%	1101,3	0,00225	23,48	21,00	30%	0,1533	1548,9	70%	0,1533	3614,1
Formate	FM13	2.100.208	16,1	0%	0%	1249,3	0,00131	25,12	23,48	80%	0,1614	1344,9	20%	0,1614	336,2
Formate	FM14	5.268.774	21,4	0%	0%	3900,9	0,00140	30,59	25,12	75%	0,2144	1013,0	25%	0,2144	337,7
Formate	FM15	9.889.440	34,4	0%	0%	4388,3	0,02669	147,73	30,59	40%	0,3445	901,4	60%	0,3445	1352,2
Formate	FM16	11.078.674	26,4	0%	0%	6496,1	0,07386	627,50	147,73	25%	0,2639	426,4	75%	0,2639	1279,1
Formate	FM17	2.107.017	15,0	0%	0%	2921,9	0,01085	36,71	5,00	60%	0,1500	432,7	40%	0,1500	288,4
Formate	FM18	2.029.198	16,5	20%	14%	2274,9	0,00737	26,77	10,00	70%	0,1652	624,4	30%	0,1652	267,6
Formate	FM19	6.706.516	14,6	0%	0%	5393,3	0,01065	68,46	11,00	60%	0,1455	746,1	40%	0,1455	497,4
Formate	FM20	3.620.813	18,2	50%	35%	4800,7	0,01260	72,61	12,11	70%	0,1821	528,0	30%	0,1821	226,3
Formate	FM21	5.857.917	17,5	65%	46%	5342,0	0,00779	55,13	13,52	50%	0,1745	548,3	50%	0,1745	548,3
Formate	FM22	1.126.753	21,2	30%	21%	1947,1	0,00526	29,01	18,78	55%	0,2118	318,3	45%	0,2118	260,4
Formate	FM23	1.171.564	16,7	70%	49%	2354,0	0,00568	30,41	17,04	50%	0,1669	248,8	50%	0,1669	248,8
Formate	FM24	4.235.234	24,4	20%	14%	2610,7	0,00509	32,76	19,47	25%	0,2438	405,6	75%	0,2438	1216,7
Formate	FM25	947.965	10,5	29%	21%	1442,6	0,00210	24,00	20,97	35%	0,1051	230,0	65%	0,1051	427,1
Formate	FM26	716.775	15,8	0%	0%	1495,0	0,00829	36,39	24,00	25%	0,1578	119,9	75%	0,1578	359,6
Formate	FM27	8.023.833	28,0	15%	11%	4015,4	0,00028	25,13	24,00	65%	0,2796	1298,9	35%	0,2796	699,4
Formate	FM28	1.542.604	23,1	0%	0%	2240,3	0,05516	147,06	23,48	60%	0,2312	413,1	40%	0,2312	275,4
Formate	FM29	10.048.260	31,3	0%	0%	6438,2	0,08171	587,19	61,12	50%	0,3128	780,4	50%	0,3128	780,4
Formate	FM30	3.249.725	30,6	0%	0%	2960,6	0,04723	170,42	30,59	80%	0,3056	878,1	20%	0,3056	219,5
Formate	FM31	2.061.602	37,7	0%	0%	1959,9	0,09728	338,39	147,73	45%	0,3775	473,3	55%	0,3775	578,5

338000 340000 342000 344000 346000 348000 350000 352000 354000 356000 358000 360000

7756000 7754000 7752000 7750000 7748000 7746000 7744000 7742000

N W E S

FM16 FM27 FM26 FM20 FM24 FM12 FM24 FM23 FM11 FM10 FM14 FM13 FM09 FM08 FM15 FM31 FM28 FM22 FM07 FM06 FM30 FM21 FM05 FM20 FM04 FM18 FM03 FM19 FM02 FM01 FM17

Barragem Roda D'Água

Rio Bubu

Rio Formate

Rio Marinho

Rio Jucu

Canal de Fuga

Canal de Derivação

Canal de Adução

Canal de Restituição

Canal de Aproximação

Canal de Saída

1.3. Hietograma de Projeto

Conforme apresentado no Produto 3, intitulado "*Relatório do Diagnóstico das Bacias Hidrográficas dos rios Jucu, Formate e Marinho*", parte integrante do presente trabalho, a determinação das intensas das chuvas para diferentes durações e recorrências foi realizada a partir de três metodologias, quais sejam: Otto Pfafstetter; Taborga Torrico; e Equanção I-D-F.

Na ocasião, foi realizada uma análise comparativa entre as metodologias, verificando-se que os valores de intensidade das chuvas calculados com base na metodologia de Otto Pfafstetter apresentam índices pluviográficos intermediários, se comparados com àqueles índices obtidos pelas duas outras metodologias (Taborga Torrico e Equação I-D-F).

Diante disto, optou-se pela utilização dos valores de intensidade de chuva calculados com base na metodologia de Otto Pfafstetter, a fim de se obter os hietogramas necessários para modelagem hidrológica aqui desenvolvida.

Com relação à escolha do período de retorno, levou-se em conta o usualmente praticado em projetos de dimensionamento de canais em sistemas de macrodrenagem e também recomendado pelo DAEE/CETESB (1980), adotando-se um período de retorno de 50 anos para a chuva intensa. A duração da chuva adotada foi de 24 horas, superior ao tempo de concentração das bacias. A discretização temporal dos dados pluviométricos foi realizada tomando um intervalo de tempo de 30 minutos.

Adotou-se ainda ama técnica da atenuação das chuvas, a fim de reduzir possíveis erros decorrentes da utilização de registrados pluviográficos pontuais, extrapolados para áreas hidrográficas extensas, o que pode, por muitas vezes, maximizar as intensidades pluviométricas calculadas, levando a obtenção, durante a modelagem hidrológica, de cheias além das reais capacidades físicas dos corpos de drenagem existentes e que elevariam o nível d'água nos mesmos a cotas que, se possíveis de serem atingidas, causariam significativos problemas de inundações que inviabilizariam a existência, por exemplo, da formação de qualquer núcleo urbano nos arredores.

Assim, foi adotada a equação a seguir, extraída do HEC-1 - Flood Hydrograph Package (User's Manual), 1990, na qual a atenuação da chuva é realizada por meio da determinação de um fator calculado por uma função exponencial, diretamente proporcional a extensão da área para a qual os valores de intensidade pluviométrica estão sendo considerados, bem como um índice que varia de acordo coma duração da tormenta.

$$fator = 1 - BV \times \left(1 - \exp\left(-0{,}015 \times A\right)\right)$$

Onde:

- Fator = coeficiente para ajuste de precipitação pontual;
- BV = máxima redução da precipitação pontual, em função da duração da tormenta (vide Figura 1.2);
- A = área sob efeito da tormenta (milhas quadradas).

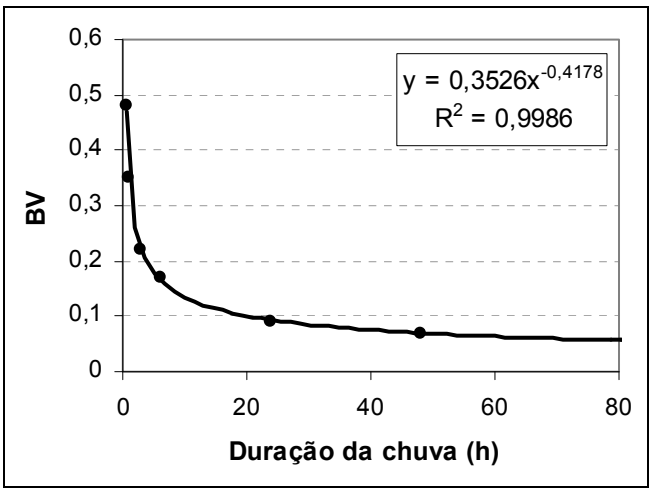


Figura 1.2. Gráfico da variação da máxima redução da precipitação pontual, em função da duração da tormenta

Diante do exposto, procedeu-se a escolha das áreas de contribuição da bacia hidrográfica do rio Formate para aplicação do fator de redução da precipitação, sendo, então, adotados dois conceitos, quais sejam:

1. Área de formação de escoamentos cujas características são estritamente rurais, cuja característica principal está associada à presença de vegetação nativa, ou sobre alguma prática de cultivo

agrícola, não apresentando resquícios de ocupação urbana e conseqüente impermeabilização do solo. Esta área foi adotada, estrategicamente, como sendo aquela que drena toda a porção médio-alta da bacia do rio Formate, ou seja, desde suas cabeceiras até pouco depois da confluência do córrego Roda d'Água com o rio Formate, apresentando uma superfície de 45,2 km². Esta área constitui-se, ainda, na bacia de contribuição da barragem proposta pára ser construída sobre o rio Formate, com o objetivo de amenizar as cheias deste rio, antes de adentrar na zona urbana de Viana e Cariacica.

2. Área de formação de escoamentos cujas características são marcadas pela significativa presença de manchas urbanizadas, cujo coeficiente de escoamento eleva-se em relação à área descrita anteriormente, decorrente da natural impermeabilização que o solo sofre com adensamento urbano (construção de unidades habitacionais e comerciais, dentre outras, além da pavimentação das vias de circulação). Esta área ficou sendo a porção médio-baixa da bacia do rio Formate, localizada a jusante da descrita anteriormente, onde se encontra boa parte das manchas urbanizadas de Viana e Cariacica, adicionado da área de contribuição do rio/canal Marinho, cujas características de ocupação se assemelham, totalizando uma superfície de 82,6 km².

Assim, as Figuras a seguir mostram os hietogramas calculados e considerados na modelagem hidrológica de determinação das cheias escoadas na bacia hidrográfica do rio Formate.

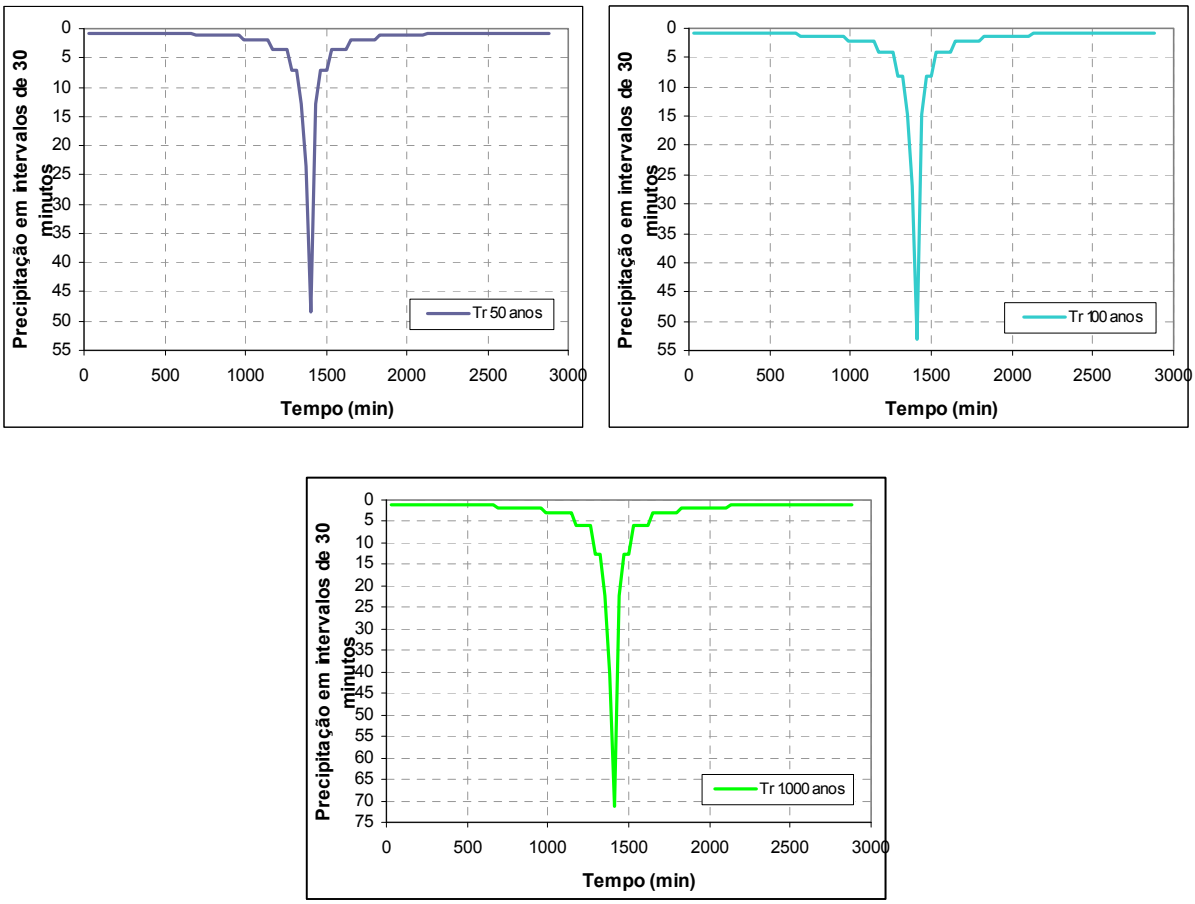


Figura 1.3. Hietogramas da chuva de projeto (TR = 50, 100 e 1.000 anos) para a área de contribuição da barragem Roda d'Água.

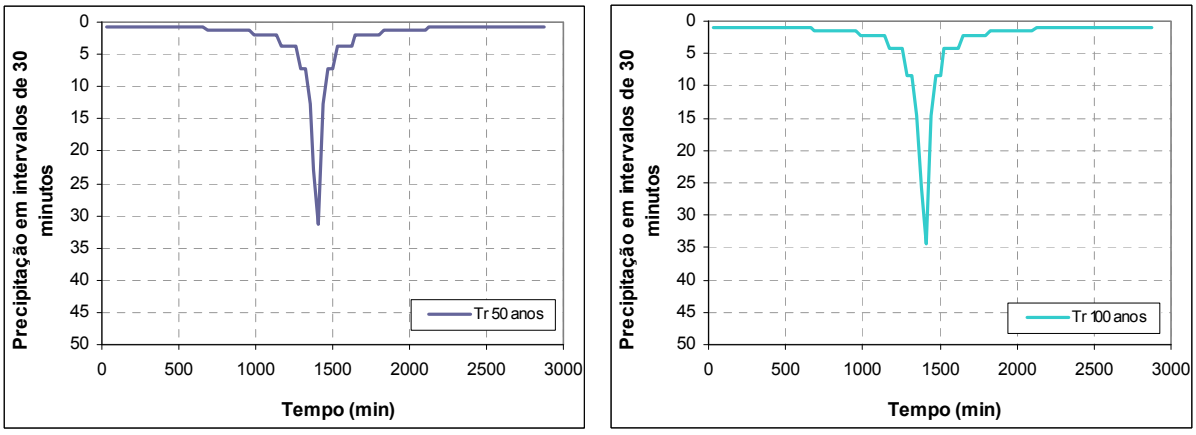


Figura 1.4. Hietogramas da chuva de projeto (TR = 50 e 100 anos) para a área urbanizada de contribuição do rio Formate e rio/canal Marinho.

1.4. Método de Determinação da Precipitação Efetiva

A precipitação efetiva é a parcela do total precipitado que gera escoamento superficial. Para obter à precipitação efetiva é necessário retirar os volumes evaporados, infiltrados e retidos nas depressões.

Utilizou-se a metodologia conhecida como Método da Curva Número, desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* – SCS, que se baseia na expressão apresentada a seguir:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Em que:

- P_e = precipitação efetiva (mm);
- P = precipitação total (mm);
- I_a = perdas iniciais;
- S = retenção máxima potencial.

Os autores da metodologia verificaram a partir de experimentos em pequenas bacias que:

$$I_a = 0{,}2 \times S$$

Para determinar a retenção máxima potencial S, os autores relacionaram esse parâmetro da bacia com um fator CN dado pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Valores do fator CN variam de 100 para superfícies totalmente impermeáveis até aproximadamente 30 para solos permeáveis com altas taxas de infiltração.

Para uma bacia hidrográfica o fator CN pode ser estimado a partir de informações do uso e ocupação da terra, tipo de solos e umidade antecedente da bacia, usando tabelas publicadas pelo SCS. Deve-se frisar que Canholi (2005) é uma importante referência que apresenta estimativas de CN para áreas urbanas, através da adaptação de outros trabalhos publicados.

Assim, adotou-se o valor 35 para o CN das 31 sub-bacias de contribuição do rio Formate, valor este de CN razoável, decorrente das características de solo e cobertura vegetal, tendo sido calculado, ainda, o percentual de impermeabilização de cada destas 31 sub-bacias, de acordo com a taxa de ocupação urbana da mesma, tomando por base as imagens satelitais da área. Os valores calculados de percentual de impermeabilização das 31 sub-bacias de contribuição ao rio Formate já foram mostradas na Tabela 1.1, anteriormente.

1.5. Escoamento Superficial, Propagação em Rios e Reservatórios

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. A resposta da bacia a um determinado evento chuvoso que resulta em escoamento é representada através de um hidrograma.

No presente estudo utilizou-se a metodologia da Onda Cinemática para geração dos escoamentos. Esse modelo conceitual considera a bacia como um plano de escoamento com afluência ao rio principal. O hidrograma na bacia é calculado através da solução das equações que simulam fluxo não permanente em canais a céu aberto.

A bacia é dividida em planos que direcionam o escoamento superficial à rede de drenagem. Nas vertentes, a vazão é calculada com base nas equações de Conservação da Quantidade de Movimento e de Continuidade, considerando-se fluxo unidimensional.

As vazões nos canais principais constituem-se na soma das vazões geradas nas bacias de montante e na própria bacia, sendo a propagação realizada também pela solução das equações de Conservação da Quantidade de Movimento e de Continuidade.

O software HEC-HMS apresenta uma solução desse modelo baseada numa aproximação por diferenças finitas, cujos dados de entrada necessários são a declividade e o comprimento dos canais e vertentes, além do coeficiente de Manning para os canais e coeficiente de rugosidade para as vertentes.

O coeficiente de rugosidade (N), empregado no método da Onda Cinemática, corresponde aos obstáculos ao escoamento em uma cobertura do solo de cerca de

3 cm, sendo esta a única parcela que obstrue o fluxo distribuído nas vertentes. De acordo com o manual técnico do HEC-HMS (USACE, 2000) o valor de (N) varia de 0,011 para superfícies lisas (concreto, asfalto, solo nu) a 0,80 para florestas com densa vegetação arbustiva de sub-bosque. Para representar os planos de escoamento das 31 sub-bacias contribuintes ao rio Formate utilizou-se um valor de coeficiente de rugosidade de 0,2.

No que diz respeito ao coeficiente de Manning (n), empregado para cálculo das vazões escoadas na rede de drenagem, foi adotado o seguinte valor:

- n = 0,08 para cursos d'água naturais, com leitos arenosos, vegetação rasteira presente nos taludes laterais e vegetação de pequeno a médio porte presente das margens e que são atingidas pelas enchentes;

Nas sub-bacias onde o exutório foi delimitado pela presença de um barramento, o modelo HEC-HMS computa o amortecimento das vazões utilizando o método de Puls, que consiste numa expressão discretizada da equação da continuidade concentrada e na relação entre armazenamento e vazão, conforme ilustrado a seguir:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{(I_t + I_{t+1})}{2} - \frac{(Q_t + Q_{t+1})}{2}$$

Em que:

- S_t e S_{t+1} = armazenamentos nos tempos t e t+1;
- I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório nos tempos referidos;
- Q_t e Q_{t+1} = vazões efluentes do reservatório nos tempos referidos;
- Δt = intervalo de tempo.

Destaca-se que a geração e propagação de escoamentos neste estudo de cheias foram realizadas para intervalos iguais aos da desagregação da chuva diária, ou seja, a cada 30 minutos.

A Tabela 1.1, mostrada anteriormente, apresenta os dados dos planos de escoamentos das sub-bacias e os dados dos canais que foram utilizados na aplicação da metodologia da onda cinemática

1.6. Estudo de Cheias

Diante dos passos descritos anteriormente, realizou-se a modelagem hidrológica das 31 sub-bacias que dividiram a área de contribuição superficial do rio Formate, determinando-se os hidrogramas das cheias escoadas nestas áreas, sendo que para o dimensionamento do trecho a ser canalizado do rio Formate, considerou-se a cheia com recorrência cinqüentenária, enquanto que para o dimensionamento da barragem Roda d'Água e de seu respectivo vertedouro, foi considerada a cheia com recorrência milenar.

O impacto da consideração da barragem Roda d'Água no amortecimento das cheias que escoam no rio Formate será mostrado em capítulo mais adiante.

As Figuras 1.5 e 1.6 mostram os hidrogramas das cheias cinqüentenárias geradas nas sub-bacias que deságuam no trecho a ser canalizado do rio Formate, sem levar em conta a construção da barragem Roda d'Água.

Destaca-se que os hidrogramas da Figura 1.5 representam as cheias que afluem ao rio Formate em locais pontuais, como, por exemplo, o deságüe do córrego Areinha. Já a Figura 1.6 mostra os hidrogramas que representam as cheias geradas nas áreas de contribuição que margeiam o rio Formate ao longo de vários trechos, afluindo de forma distribuída a este rio.

Por fim, a Figura 1.7 mostra o hidrograma da cheia cinqüentenária total, que eflui do rio Formate, no seu deságüe ao rio Marinho, resultante da combinação dos hidrogramas apresentados nas figuras anteriores, e propagados ao longo do rio Formate.

Para um melhor entendimento dos locais de deságüe dos hidrogramas das cheias ao rio Formate, a Figura 1.8 mostra um diagrama unifilar com a indicação destes locais.

Observa-se que dentre as sub-bacias que contribuem pontualmente ao rio Formate, a FM21 é a que apresenta maior pico de vazão cinqüentenária, no valor de 45,6 m³/s, sub-bacia esta que corresponde a uma área de drenagem de 586 ha e com elevado grau de urbanização (65% da área total da sub-bacia), sendo estimado um percentual de impermeabilização de 46%.

Seguida da sub-bacia FM21, encontra-se a sub-bacia FM20 com um pico de vazão cinqüentenária de 24,1 m³/s. A sub-bacia FM20 (córrego Areinha) apresenta uma área de contribuição total de 362 ha, sendo que 50% desta área encontra-se com ocupação urbana, estimando-se um percentual de impermeabilização de 35%.

Nota-se que as duas sub-bacias descritas anteriormente, por apresentarem significativas áreas com ocupação urbana, sujeitas a consideráveis percentuais de impermeabilização, formam hidrogramas de cheias, cujos picos ocorrem antes dos picos de outras áreas, as quais apresentam características urbanas com bem menores níveis de adensamento (áreas com significativas parcelas não urbanas).

Ainda com relação às sub-bacias que contribuem com cheias pontualmente afluentes ao rio Formate, verifica-se que a vazões cinqüentenária escoada na porção médio-alta da bacia hidrográfica do referido rio (cheia determinada no local de construção da barragem Roda d'Água) gera um hidrograma cujo pico de vazão é de 43,9 m³/s, ocorrendo cerca de 3 horas após os outros dois picos mais relevantes de cheias (das sub-bacias FM20 e FM21, comentadas acima), mostrando o caráter rural desta área e que, caso não amortecido, pode prolongar o efeito das cheias na calha do rio Formate. É ainda este valor de pico de cheia cinqüentenária (43,9 m³/s) o qual a construção da barragem Roda d'Água visa amortecer em mais de 85%, sendo que o efeito de tal amortecimento será apresentado no Capítulo seguinte.

Os demais picos das cheias cinqüentenárias geradas nas outras sub-bacias que deságuam pontualmente no rio Formate apresentam valores entre 2,9 m³/s e 13,1 m³/s.

Já os hidrogramas das cheias cinqüentenárias geradas nas sub-bacias que contribuem de forma distribuída ao rio Formate apresentam picos de vazões que variam entre 1,5 m³/s e 10,3 m³/s, sendo que os três maiores picos (10,3 m³/s, 7,3 m³/s e 9,2 m³/s) ocorrem nas sub-bacias FM04, FM05+FM06 e FM08+FM09, localizadas ao longo de trechos com elevado grau de ocupação urbana e altas taxas de impermeabilização do solo.

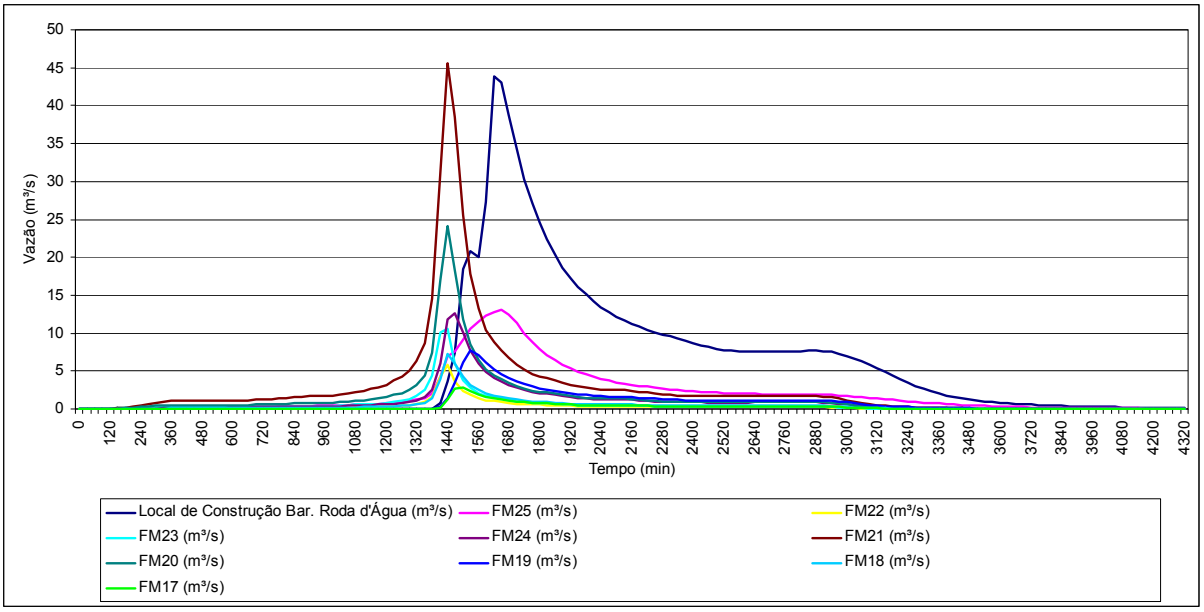


Figura 1.5. Hidrograma das cheias cinqüentenárias que afluem pontualmente em seções do rio Formate

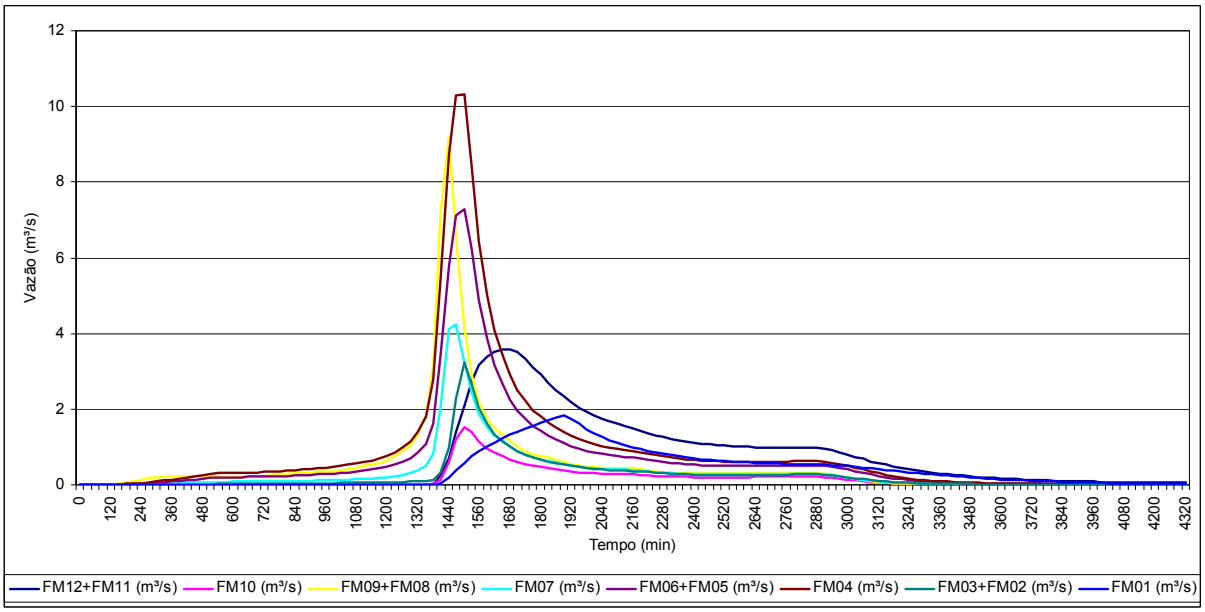


Figura 1.6. Hidrograma das cheias cinqüentenárias que afluem de forma distribuída entre seções do rio Formate

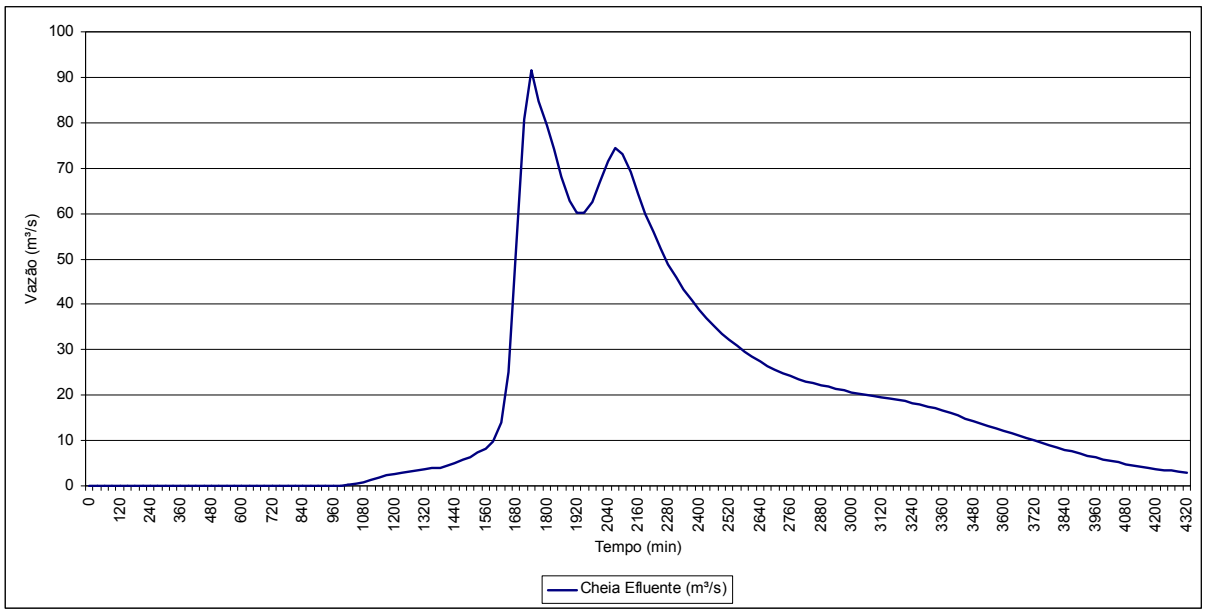
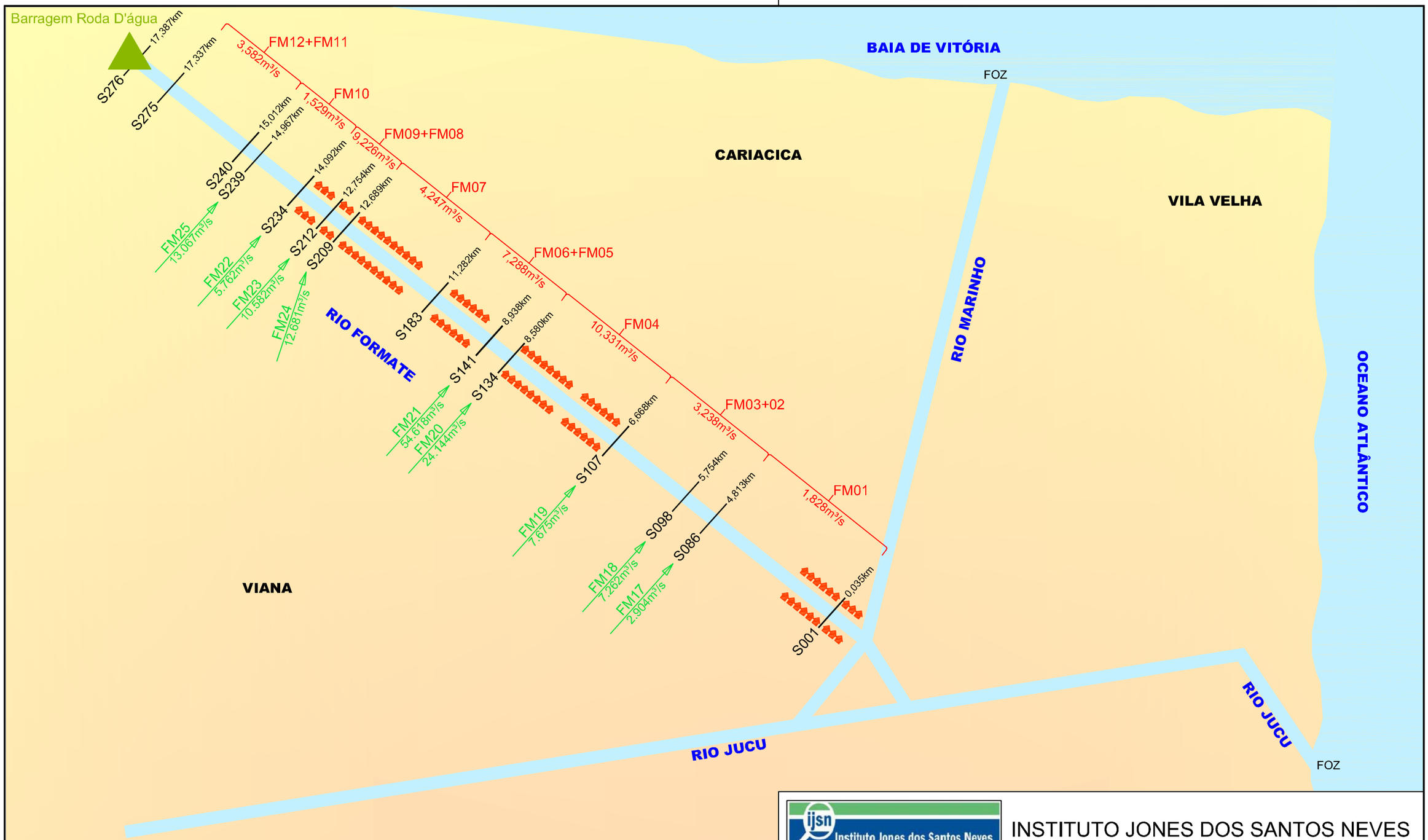


Figura 1.7. Hidrograma da cheia cinqüentenária total que eflui do rio Formate



LEGENDA

Sub-Bacia / Vazão de Pico — ENTRADA PONTUAL

Sub-Bacias / Vazão de Pico — ENTRADA DISTRIBUÍDA

AGLOMERADOS URBANOS

SEÇÕES

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucu, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

CONTEÚDO:

DIAGRAMA UNIFILAR ILUSTRATIVO DAS SEÇÕES TRANVERSAIS DO RIO FORMATE

FIGURA: 1.8

DATA: Abril / 2009

ACQUATOOL

2. A BARRAGEM RODA D'ÁGUA E SEU EFEITO NO AMORTECIMENTO DAS CHEIAS DO RIO FORMATE

2. A BARRAGEM RODA D'ÁGUA E SEU EFEITO NO AMORTECIMENTO DAS CHEIAS DO RIO FORMATE

2.1. Objetivo e Conceito da Barragem Roda d'Água

Como dito anteriormente, o objetivo maior da construção de um barramento do rio Formate, antes deste rio adentrar do perímetro urbano dos municípios de Cariacica e Viana, é atenuar de forma bastante significativa as cheias escoadas pelo referido rio e que atingem tais áreas urbanizadas.

Desta forma, o conceito de barramento aqui empregado é o de permitir a formação de um lago, cuja capacidade de acumulação seja suficiente para armazenar todo volume escoado, em poucas horas, durante um evento extremo, liberando lentamente tal volume (daí o conceito de amortecer o pico de cheia) através de estruturas (tipo bueiro) localizadas nas cotas mais baixas do barramento, em valores de vazões comportadas naturalmente pela calha do rio Formate.

2.2. O Boqueirão Selecionado para Construção da Barragem Roda d'Água

Diante disto, em visita de campo, selecionou-se como local para construção da barragem Roda d'Água um boqueirão situado logo após a confluência do córrego Roda d'Água com o rio Formate, nas proximidades da localidade de Membeca (Vide fotografia abaixo).



Vista do boqueirão propício à construção da barragem Roda d'Água

Trata-se de um boqueirão bem encaixado entre ombreiras íngremes e propícias à construção de um barramento que, localizado antes do Rio Formate adentrar a área urbana de Cariacica, pode controlar as cheias geradas neste rio e em três de seus principais afluentes, quais sejam: Córrego Trincheira; Córrego Jaquitá e Córrego Roda d'Água.

2.3. A Bacia Hidráulica da Barragem Roda d'Água

A área controlada pelo barramento é de 45,24 km², sendo que a bacia hidráulica apresenta uma curva cota x área x volume conforme mostrado na Figura 2.1. A topografia da bacia hidráulica foi levantada em campo e encontra-se detalhada no Relatório dos Serviços Topográficos.

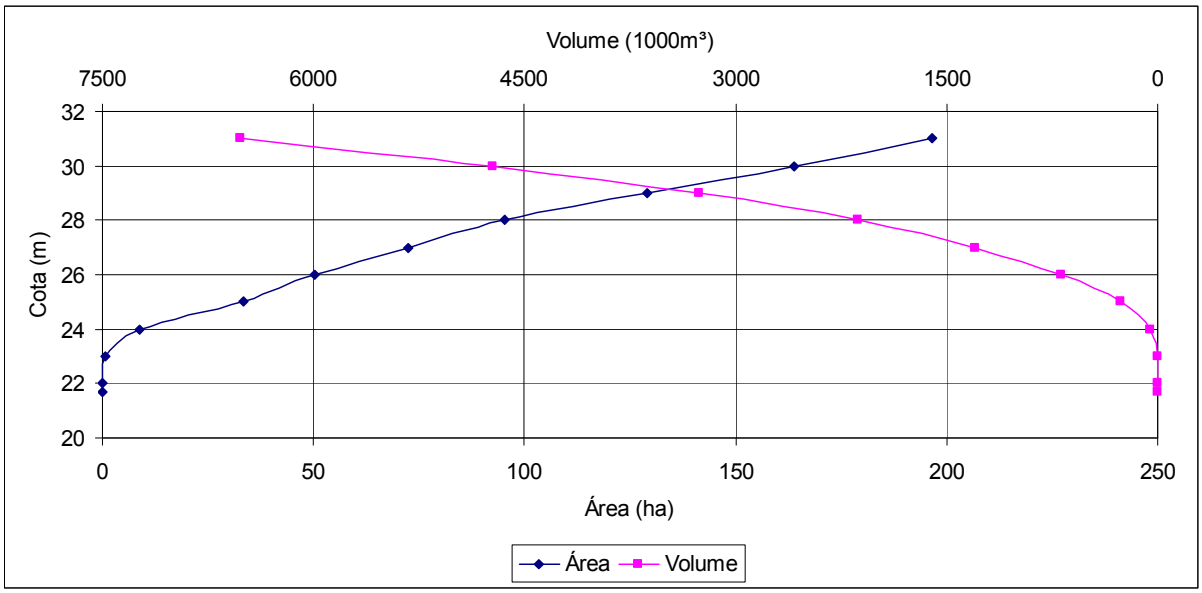


Figura 2.1. Curva Cota x Área x Volume da bacia hidráulica da Barragem Formate

2.4. A Capacidade de Amortecimento de Cheias da Barragem Roda d'Água

Diante do exposto, um evento com recorrência de 50 anos geraria ao longo do rio Formate, a montante do local de construção da barragem Roda d'Água, um hidrograma conforme a Figura 2.2, cujo volume total escoado seria da ordem dos 1.500.000 m³, fazendo com que as águas represadas na referida barragem atingissem até a cota 26,62 m.

Coso seja considerado um evento de cheias com recorrência de 100 anos, o hidrograma escoado no mesmo local descrito acima geraria um hidrograma conforme a Figura 2.3, cujo volume total gerado seria da ordem dos 2.040.000 m³, fazendo com que as águas represadas na referida barragem atingissem até a cota 27,30 m.

Assim, adotou-se no projeto da barragem Roda d'Água que a soleira do vertedouro ficaria na cota topográfica 29 m, representando uma capacidade de acumulação de 3.256.035 m³, inundando uma bacia hidráulica de 128,96 ha.

Nesta cota de vertimento (cota 29 m), a barragem Roda d'Água apresentaria uma capacidade disponível para armazenar o volume total escoado por outra cheia com recorrência de 50 anos, ou pelo menos 60% do volume escoado em outra cheia com recorrência de 100 anos. Isto se constitui, portanto, em uma razoável folga que a referida barragem apresentaria para continuar controlando as cheias da porção médio-alta da bacia hidrográfica do rio Formate, mesmo que houvesse algum problema operacional da barragem (obstrução de bueiros, por exemplo), ou houvesse, mesmo de que forma muito pouco provável, a repetição de outras cheias de mesma magnitude, antes de haver tempo do volume represado ser esvaziado pelo bueiro.

Para dar vazão aos volumes estocados durante os eventos de cheias, foi proposta a incorporação de 1 + 1 bueiros com diâmetro de 1m cada, localizados na cota 24 m. O conceito de 1 + 1 bueiros foi adotado para dar uma segurança extra ao sistema, sendo que a operação do processo de amortecimento de cheias envolve a utilização de 1 (um) bueiro, ficando outro de reserva caso haja necessidade de manutenção desta estrutura, ou obstrução do mesmo, constituindo-se este sistema de 1 + 1 bueiros como uma maneira de garantir o sucesso no processo de amortecimentos de cheias pela barragem Roda d'Água.

Conforme visto nas figuras anteriores (2.2 e 2.3), a contenção das enxurradas com recorrências cinqüentenárias e centenária no rio Formate seriam significativas, reduzindo o pico da cheia com cinqüentas anos de recorrência de 43,9 m³/s para 4,5 m³/s, ou seja, uma redução de 89,7% deste pico, sendo que o pico da cheia centenária seria reduzido de 71,3 m³/s para 5,1 m³/s, ou seja, uma redução de 92,8% deste pico.

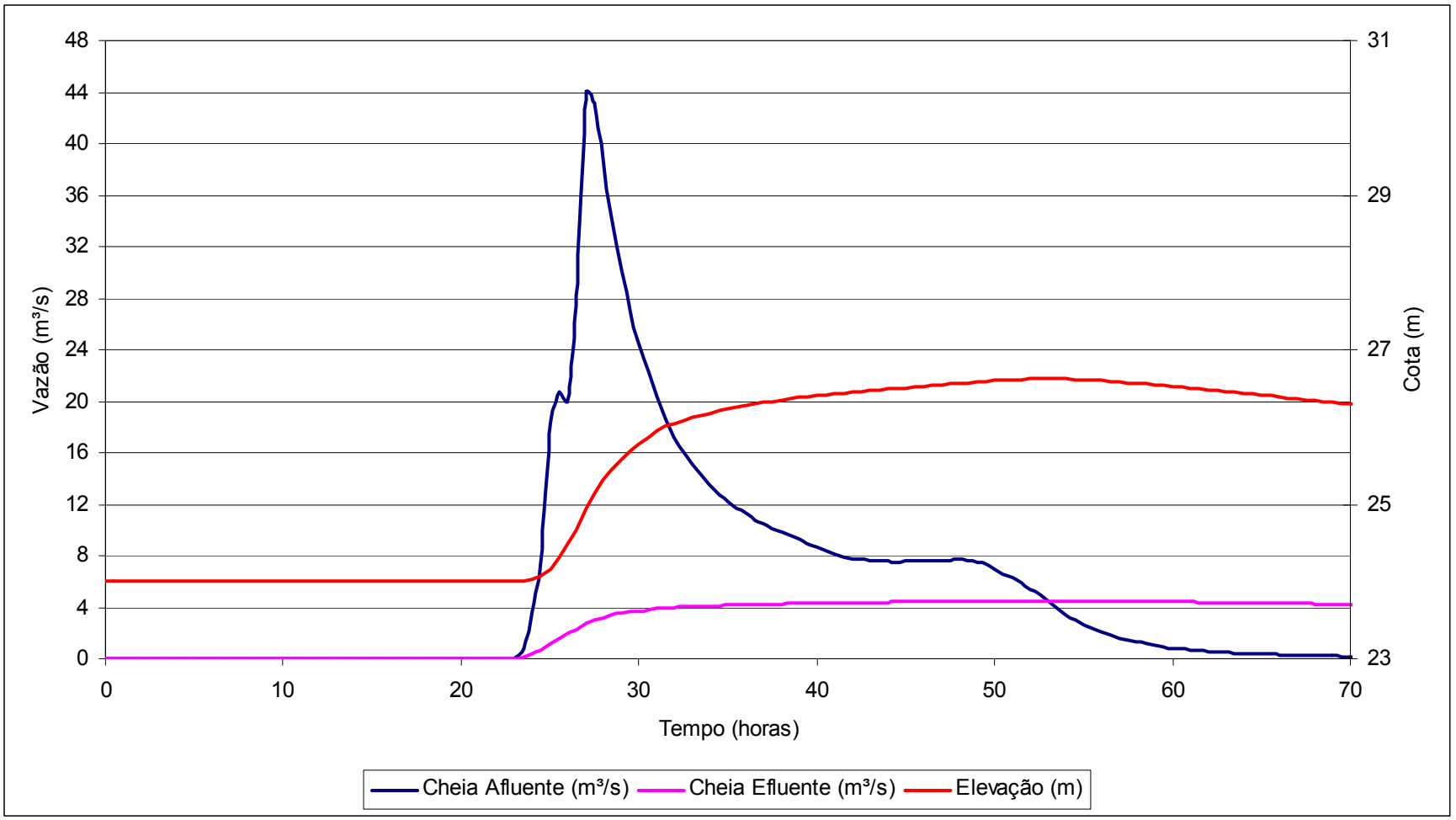


Figura 2.2. Amortecimento da cheia com recorrência de 50 anos pela barragem Roda d'Água

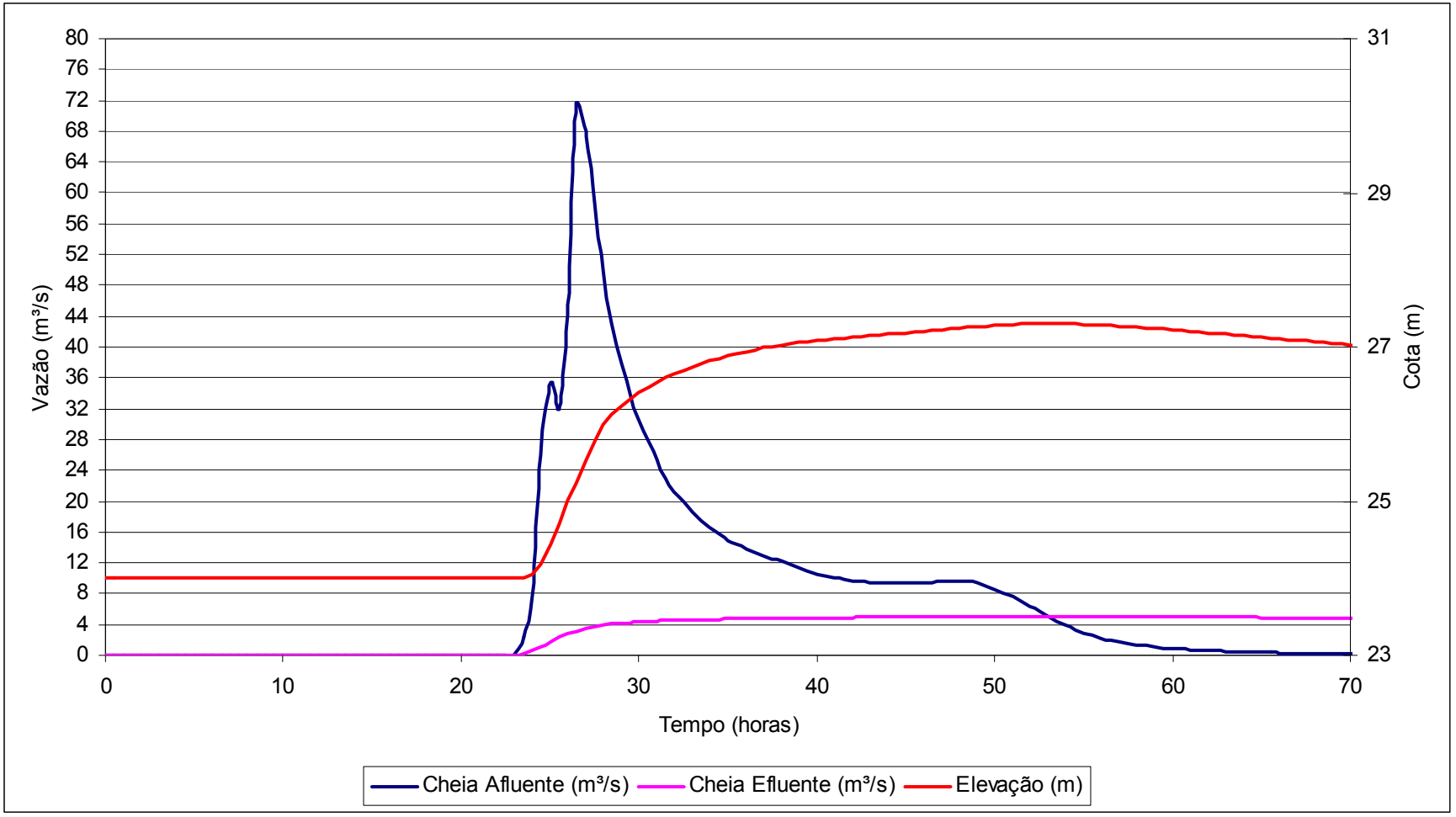


Figura 2.3. Amortecimento da cheia com recorrência de 100 anos pela barragem Roda d'Água

3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO TRECHO A SER CANALIZADO DO RIO FORMATE

3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO TRECHO A SER CANALIZADO DO RIO FORMATE

O dimensionamento hidráulico do trecho a ser canalizado do rio Formate considerou como contribuições os hidrogramas das cheias calculadas durante a modelagem hidrológica descrita no Capítulo 01, para uma recorrência de 50 anos, levando-se em conta, ainda, o efeito da construção da barragem Roda d'Água no amortecimento da cheia de mesma recorrência, gerada na porção médio-alta da bacia hidrográfica do referido rio.

Para tanto, considerou-se na simulação hidráulica o trecho do rio Formate que se estende desde a seção escolhida para construção da barragem Roda d'Água, até o deságüe deste rio com o rio/canal Marinho, totalizando assim, mais de 17 km de comprimento do rio Formate simulado em regime não-permanente.

Como trecho de dimensionamento foi selecionado aquele que se estende entre as seções 91 e 232 (vide figuras do diagrama unifilar e da discretização espacial, mostradas no Capítulo 01), trecho este que soma uma extensão de quase 9 km, aonde se encontram os principais problemas de alagamentos provocados pelas cheias do rio Formate e aonde se encontram as áreas urbanizadas que se desenvolveram as margens deste rio.

3.1. Metodologia do Dimensionamento Hidráulico

Conhecendo-se os hidrogramas das cheias que afluem ao rio Formate, procedeu-se o dimensionamento hidráulico do trecho desta estrutura, de forma que fosse ajustada uma seção, em formato trapezoidal, capas de dar vazão a dinâmica do fluxo hídrico com recorrência cinqüentenária, na medida em que os hidrogramas mostrados no Capítulo 01 (Estudo de Cheias) fossem afluindo ao referido rio.

Para tanto, utilizou-se o modelo HEC-RAS (USACE, 2001) para simulação hidráulica em regime não permanente. O HEC-RAS é um pacote integrado de programas de análise hidráulica, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center da USACE, capaz de realizar cálculos hidráulicos de redes de canais naturais e/ou artificiais envolvendo escoamento em regime permanente ou não-permanente, que podem incluir vários dispositivos hidráulicos como pontes, bueiros, barramentos, etc.

A adoção do referido modelo se deu principalmente devido à sua capacidade de simular redes hidrográficas de configuração complexa, permitir a entrada de séries temporais de vazões como condição de contorno nas simulações hidráulicas para regime não-permanente, dentre outras vantagens, podendo-se citar o fato do modelo constituir-se de domínio público, ser amplamente difundido no meio da engenharia e já ter sido exaustivamente testado com sucesso por pesquisadores e projetista de todo o mundo.

A simulação hidráulica em regime não-permanente é modelada pelo HEC-RAS a partir de expressões matemáticas (equações parciais diferenciais) que representam os princípios da conservação da massa (continuidade) e do momento (quantidade de movimento), ilustradas a seguir:

- $\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$ (eq. da continuidade)
- $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$ (eq. do momento)

Em que:

- x,t : variáveis de espaço e tempo; [L] e [T]
- A_T: área total do fluxo; [L^2]
- Q: fluxo ou vazão volumétrica; [L^3/T]
- q_l: vazão de contribuição lateral por unidade de comprimento; [L^2/T]
- V: velocidade do fluxo; [L/T]
- g: aceleração da gravidade; [L/T^2]
- $\partial z/\partial x$: declividade da linha da água; [L/L]
- S_f: declividade da linha de energia. [L/L]

As equações acima sofrem ainda adaptações para incluir efeitos mais complexos como o escoamento diferenciado que ocorre nas planícies de inundação nas margens do canal principal, o momento causado pela contribuição lateral de tributários e as perturbações causadas por estruturas como pontes, bueiros,

barramentos, etc., que se encontram detalhadamente documentados nas referências técnicas do modelo (USACE, 2001).

Para solução das equações unidimensionais do escoamento não-permanente o modelo HEC-RAS utiliza o esquema implícito de quatro pontos, também conhecido como esquema de caixa. Nesse esquema, os valores das derivadas espaciais e das funções são avaliados em um ponto interior, $(n+\theta)\Delta t$. Então, valores em $(n+1)\Delta t$ surgem em todos os termos nas equações. Assim, para um trecho de rio, resulta um sistema de equações simultâneas. A solução simultânea é um aspecto importante desse esquema porque permite que informações de todo o trecho influenciem a solução em qualquer ponto singular. Conseqüentemente, o passo de tempo pode ser significativamente maior do que o de esquemas numéricos explícitos. Análises de estabilidade de Von Neumman realizadas por Fread (1974) e Liggett & Cunge (1975) demonstraram que o esquema implícito é incondicionalmente estável (teoricamente) para $0,5 < \theta \leq 1,0$; condicionalmente estável para $\theta = 0,5$; e instável para $\theta < 0,5$.

Deve-se frisar que quando o esquema de diferenças finitas implícito é aplicado diretamente nas equações que regem o problema, surge um sistema de equações algébricas não-lineares, que pode ser resolvido pelo método iterativo de Newton-Raphson. Entretanto, esse método é lento e pode apresentar problemas de convergência em descontinuidades geométricas do canal. Para evitar a solução não-linear, o modelo utiliza a técnica de linearização de Preissmann (reportado em Liggett & Cunge, 1975) e Chen (1973).

Conforme Tucci (1986), esquemas numéricos similares aos utilizados pelo HEC-RAS são extremamente robustos, permitindo simular situações complexas e de rápidas variações das afluências.

No entanto, os ganhos em robustez do modelo podem, eventualmente, se refletir na falta de precisão na estimativa das vazões, não havendo registros de erros ocorridos na estimativa de níveis.

Assim, mesmo sob situações de rápidas variações das afluências, a determinação dos níveis permanece confiável.

3.2. Dados de Entrada da Modelagem Hidráulica

A modelagem hidráulica em regime não-permanente envolve a determinação, obrigatória, das condições de contorno que regem a dinâmica do escoamento dentro do corpo hídrico a montante e a jusante do trecho a ser simulado, além da representação matemática da calha de escoamento. Além destas, podem ser incorporadas outras condições de contorno, como afluxos pontuais e distribuídos, referentes ao deságüe lateral dos tributários que confluem ao corpo hídrico ao longo do trecho simulado.

Assim, como as condições de contorno adotadas foram:

- A montante do trecho simulado do rio Formate: o hidrograma efluente da barragem Roda d'Água, referente ao amortecimento da cheia com recorrência cinqüentenária;
- A jusante do trecho simulado do rio Formate: nível d'água referente ao tirante normal, bem característico da confluência entre corpos hídricos nas áreas mais baixas (de várzea) das bacias hidrográficas (confluência do rio Formate com o rio/canal Marinho).
- Representação matemática da calha de escoamento: levantamento topográfico de campo, com determinação de seções transversais ao rio Formate e espaçadas de acordo com o maior ou menor adensamento urbano nas margens deste rio e a presença das principais pontes de travessia;
- Condições de contornos laterais: hidrogramas das cheias cinqüentenárias geradas nas diversas sub-bacias que drenam para os tributários laterais do rio Formate ao longo do trecho simulado.

3.3. Resultados do Dimensionamento Hidráulico

3.3.1. Seção de Projeto

Depois de várias tentativas para dimensionar uma seção que fosse capaz de dar vazão a cheia com recorrência de 50 anos que escoa pelo rio Formate, evitando assim, os constantes problemas de alagamentos das áreas urbanizadas que se desenvolvem à sua margem, chegou-se a conclusão da necessidade de duas seções tipo, dimensionadas da seguinte forma:

- Trecho compreendido entre as seções 91 e 164: seção tipo trapezoidal, com largura de fundo de 30 m e taludes laterais de 1V : 2,5H;
- Trecho compreendido entre as seções 165 e 232: seção tipo trapezoidal, com largura de fundo de 20 m e taludes laterais de 1V : 2,5H;

Quanto à declividade de fundo do trecho projetado, verificou-se a necessidade de uma declividade de 0,2% entre as seções 91 e 100 e de 0,1% entre as seções 100 e 232.

O resultado da escolhas destas seções tipo e das declividades de fundo descritas será mostrado a seguir.

3.3.2. Parâmetros Hidráulicos

A Tabela 3.1 mostra os resultados do dimensionamento hidráulico do canal projetado para o rio Formate. Já o Anexo 01 contem o desenho das seções transversais referentes à representação matemática da calha de escoamento deste rio, juntamente com as seções tipo de projeto e o nível d'água atingido pela cheia cinqüentenária em cada seção.

Observando os parâmetros hidráulicos obtidos com a simulação realizada, verifica-se que o regime de escoamento no trecho projetado (entre as seções 91 e 232) ocorre em regime fluvial, com o número de Froude correspondente à máxima vazão escoada compreendido entre 0,22 e 0,61.

Com relação às máximas vazões escoadas no trecho de projeto, verifica-se que na seção localizada mais a montante (seção 232), o pico de cheia cinqüentenária escoa com um valor de apenas 21,5 m³/s, mostrando já a importância da presença da

barragem Roda d'Água, a qual evita que 90% do pico da cheia cinqüentenária gerada na porção médio-alta da bacia do rio Formate (no valor de 43,9 m³/s) chegue à referida seção.

Ao longo do trecho projetado, em virtude das contribuições laterais (pontuais e distribuídas) que o rio Formate recebe de seus tributários, sobremaneira dos córregos que drenam áreas com elevados índices de urbanização e impermeabilização (córrego Areinha, por exemplo), as vazões de pico escoadas vão sofrendo acréscimos, até chegar ao valor de 101,5 m³/s na seção localizada mais a jusante do trecho projetado (seção 91).

Com relação ao nível d'água atingido no trecho projetado, observam-se elevações máximas que variam entre 1,09 m e 2,09 m, mostrando que as seções tipo adotadas dão à calha do rio Formate uma conformação satisfatória para atender à necessidade de escoamento de uma cheia com recorrência de 50 anos, sem promover uma significativa elevação do nível d'água, que venha a causar alagamentos por atingir as áreas urbanas localizadas às margens deste rio.

Por fim, analisando o efeito das declividades de fundo adotadas ao longo do trecho projetado na velocidade do escoamento, observa-se que a média das velocidades atingidas somente durante a passagem o pico da cheia cinqüentenária é de apenas 1,08 m/s, bem razoável para canais escavados em terra e com presença de material pétreo.

É importante observar que este valor de velocidade média representa apenas uma situação momentânea, relativa à passagem do pico da cheia, sendo que, via de regra, as velocidades do escoamento no trecho projetado do canal do rio Formate são da ordem de 0,5 m/s (extraído da modelagem hidráulica realizada), valor este que não promove erosão da calha escavada, bem como evita a deposição das partículas sedimentares e conseqüente assoreamento do trecho projetado.

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
0	84,5	0,92	3,90	2,98	1,02	83,63	0,30
1	84,6	0,30	3,93	3,63	0,90	93,49	0,22
2	84,7	0,21	3,96	3,75	0,55	155,34	0,13
3	84,9	0,27	3,97	3,70	0,74	115,26	0,18
4	85,1	1,32	3,99	2,67	0,72	117,82	0,18
5	85,5	0,67	4,02	3,35	0,62	138,01	0,17
6	85,6	0,98	4,02	3,04	0,89	96,64	0,20
7	85,7	0,77	4,03	3,26	1,04	82,74	0,26
8	85,9	0,46	4,09	3,63	0,81	105,84	0,17
9	86,1	1,02	4,09	3,07	1,03	83,59	0,25
10	86,2	0,88	4,10	3,22	1,72	50,19	0,40
11	86,2	0,50	4,16	3,66	1,40	61,37	0,35
12	86,3	1,03	4,25	3,22	0,96	89,52	0,26
13	86,6	1,12	4,30	3,18	0,84	106,62	0,30
14	86,8	1,48	4,32	2,84	1,28	75,56	0,45
15	86,8	0,56	4,36	3,80	1,27	68,30	0,39
16	87,1	1,03	4,49	3,46	0,86	123,65	0,32
17	87,3	1,07	4,52	3,45	0,58	150,14	0,22
18	87,7	-0,06	4,54	4,60	0,98	89,14	0,28
19	87,8	0,99	4,59	3,60	1,35	65,14	0,36
20	88,0	1,39	4,74	3,35	0,99	88,48	0,26
21	88,2	2,16	4,77	2,61	1,79	49,38	0,52
22	88,2	1,53	4,87	3,34	1,46	60,41	0,41
23	88,3	0,54	4,98	4,44	0,57	153,92	0,17
24	88,6	1,44	5,00	3,56	0,93	99,03	0,31
25	88,8	0,87	5,04	4,17	1,36	65,25	0,36
26	88,9	1,11	5,13	4,02	0,52	172,47	0,14
27	89,3	1,02	5,15	4,13	0,61	147,32	0,21
28	89,5	0,83	5,15	4,32	0,81	113,16	0,29
29	89,6	1,41	5,17	3,76	0,75	118,94	0,21
30	89,8	1,53	5,26	3,73	1,38	69,91	0,41
31	89,9	1,78	5,40	3,62	1,37	66,74	0,36
32	89,8	1,14	5,51	4,37	0,60	152,84	0,22
33	89,9	1,68	5,55	3,87	0,85	105,20	0,23
34	89,9	2,40	5,58	3,18	0,85	110,23	0,30
35	89,9	2,08	5,60	3,52	0,98	91,68	0,29
36	90,0	1,99	5,69	3,70	0,74	121,96	0,22
37	90,0	1,46	5,71	4,25	0,91	98,59	0,27
38	90,1	2,00	5,72	3,72	1,45	62,06	0,35
39	90,1	1,75	5,86	4,11	0,69	130,91	0,18
40	90,1	2,55	5,85	3,30	0,97	92,46	0,33
41	90,1	2,34	5,90	3,56	0,61	150,28	0,24
42	90,2	2,08	5,96	3,88	1,17	81,91	0,37
43	90,2	2,55	6,03	3,48	0,79	113,61	0,21
44	90,3	2,89	6,06	3,17	0,80	112,35	0,27
45	90,3	2,75	6,10	3,35	0,81	114,16	0,30
46	90,3	3,15	6,12	2,97	0,93	97,28	0,29
47	90,3	3,13	6,16	3,03	0,62	145,67	0,21
48	90,4	2,65	6,14	3,49	1,49	60,73	0,43
49	90,4	2,83	6,22	3,39	1,12	91,45	0,44
50	90,4	2,96	6,26	3,30	0,67	135,56	0,20

Continua...

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
51	90,4	2,44	6,26	3,82	0,80	113,87	0,25
52	90,4	2,76	6,31	3,55	0,73	124,17	0,22
53	90,4	2,87	6,32	3,45	1,35	82,55	0,61
54	90,4	3,23	6,38	3,15	0,89	101,99	0,24
55	90,4	3,11	6,43	3,32	0,93	97,29	0,25
56	90,5	3,16	6,49	3,33	0,71	128,19	0,21
57	90,5	2,57	6,49	3,92	1,22	79,01	0,45
58	90,8	2,79	6,56	3,77	1,06	85,83	0,29
59	91,4	3,33	6,67	3,34	0,79	115,30	0,22
60	92,3	3,19	6,72	3,53	0,70	131,96	0,21
61	92,7	3,12	6,75	3,63	0,63	146,49	0,18
62	92,9	3,14	6,75	3,61	0,71	130,92	0,21
63	94,0	3,52	6,80	3,28	0,58	160,91	0,17
64	94,5	3,36	6,81	3,45	0,81	117,50	0,27
64,75	94,7	3,50	6,81	3,31	0,94	102,84	0,31
65	94,9	3,31	6,85	3,54	0,76	125,51	0,23
66	95,4	3,61	6,87	3,26	1,01	96,66	0,36
67	95,7	3,41	6,93	3,52	0,75	128,24	0,23
67,75	95,8	3,53	6,87	3,34	1,54	64,05	0,54
68	96,0	3,47	7,01	3,54	0,80	119,68	0,24
69	96,2	3,35	7,01	3,66	1,20	80,37	0,39
70	96,3	2,79	7,04	4,25	1,28	75,30	0,38
71	96,4	3,60	7,10	3,50	1,07	90,14	0,34
72	96,5	3,75	7,11	3,36	1,18	81,82	0,37
73	96,8	4,04	7,20	3,16	0,93	104,39	0,27
74	97,0	4,09	7,23	3,14	0,90	107,80	0,28
75	97,2	3,15	7,26	4,11	0,82	118,78	0,24
76	97,6	3,86	7,30	3,44	0,77	127,29	0,23
77	98,1	3,97	7,34	3,37	0,75	130,37	0,23
78	98,5	3,12	7,38	4,26	0,85	116,08	0,24
79	99,1	4,03	7,44	3,41	0,93	106,67	0,28
80	99,2	4,41	7,43	3,02	1,32	75,31	0,43
81	99,2	4,28	7,69	3,41	1,07	98,89	0,32
82	99,3	3,78	7,71	3,93	0,97	108,98	0,30
83	99,9	3,90	7,79	3,89	1,04	101,48	0,33
84	99,9	4,21	7,79	3,58	1,12	99,46	0,38
85	100,3	4,10	7,87	3,77	0,91	113,28	0,29
86	100,7	4,31	7,91	3,60	0,74	135,42	0,20
87	101,2	3,87	7,94	4,07	0,59	173,29	0,19
88	101,3	4,75	7,95	3,20	0,59	170,73	0,15
89	101,4	6,51	8,00	1,49	3,06	46,08	1,62
90	101,4	6,51	8,19	1,68	4,48	22,64	1,13
91	101,5	7,05	8,61	1,56	1,82	55,70	0,49
92	101,5	7,24	8,67	1,43	2,16	47,05	0,61
93	101,6	7,37	8,94	1,57	1,92	53,01	0,52
94	101,7	7,48	9,13	1,65	1,61	63,04	0,42
95	102,1	7,80	9,42	1,62	1,79	56,91	0,49
96	102,3	7,99	9,65	1,66	1,83	56,01	0,49
97	102,6	8,36	10,10	1,74	1,75	58,70	0,49
98	98,6	8,75	10,52	1,77	1,64	60,29	0,46
99	99,0	9,19	10,94	1,75	1,66	59,72	0,42
100	99,5	9,56	11,37	1,81	1,58	63,07	0,45

Continua...

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
101	99,9	9,72	11,69	1,97	1,29	77,62	0,32
102	100,2	9,82	11,80	1,98	1,46	69,79	0,38
103	100,4	9,92	11,96	2,04	1,40	71,62	0,35
104	100,5	9,95	12,01	2,06	1,22	82,72	0,30
105	100,6	9,98	12,05	2,07	1,14	91,85	0,33
106	97,5	10,02	12,06	2,04	1,34	74,63	0,34
107	91,4	10,07	12,13	2,06	1,33	72,95	0,33
108	91,3	10,10	12,15	2,05	1,37	70,87	0,34
109	91,0	10,19	12,24	2,05	1,28	74,87	0,32
110	90,9	10,23	12,26	2,03	1,34	70,78	0,34
111	90,4	10,36	12,40	2,04	1,20	79,01	0,32
112	90,3	10,41	12,44	2,03	1,25	75,57	0,33
113	89,5	10,61	12,64	2,03	1,17	80,03	0,31
114	89,3	10,64	12,67	2,03	1,17	79,97	0,31
115	89,0	10,71	12,72	2,01	1,31	71,01	0,32
116	88,6	10,80	12,81	2,01	1,33	69,41	0,33
117	89,1	10,89	12,91	2,02	1,17	79,08	0,32
118	89,4	10,94	12,95	2,01	1,19	77,42	0,32
119	89,7	10,98	12,99	2,01	1,26	73,49	0,35
120	89,9	11,02	13,05	2,03	1,08	85,73	0,33
121	90,7	11,11	13,12	2,01	1,17	78,54	0,31
122	91,1	11,18	13,17	1,99	1,31	70,32	0,32
123	91,4	11,25	13,24	1,99	1,31	70,03	0,34
124	91,8	11,33	13,33	2,00	1,26	73,01	0,32
125	92,5	11,46	13,48	2,02	1,24	74,50	0,33
126	93,0	11,54	13,57	2,03	1,24	74,92	0,32
127	93,4	11,61	13,64	2,03	1,30	71,79	0,31
128	93,4	11,62	13,65	2,03	1,30	71,88	0,31
129	93,7	11,68	13,72	2,04	1,27	73,57	0,30
130	94,4	11,83	13,85	2,02	1,19	79,22	0,28
131	94,7	11,87	13,90	2,03	1,09	86,97	0,29
132	94,9	11,91	13,92	2,01	1,28	74,17	0,34
133	95,1	11,94	13,97	2,03	1,23	77,12	0,32
134	71,5	11,98	14,07	2,09	0,97	77,18	0,27
135	71,7	12,01	14,08	2,07	1,02	73,08	0,28
136	72,8	12,12	14,16	2,04	0,98	75,79	0,26
137	73,4	12,18	14,20	2,02	0,90	82,39	0,30
138	74,1	12,27	14,24	1,97	1,10	67,51	0,28
139	74,3	12,29	14,26	1,97	1,08	68,81	0,27
140	74,4	12,32	14,28	1,96	1,00	74,27	0,29
141	43,4	12,34	14,37	2,03	0,66	83,53	0,22
142	43,3	12,36	14,38	2,02	0,72	74,94	0,23
143	43,2	12,39	14,38	1,99	0,69	77,75	0,22
144	43,0	12,45	14,38	1,93	0,76	74,90	0,24
145	42,9	12,48	14,39	1,91	0,74	71,51	0,24
146	42,7	12,52	14,39	1,87	0,78	66,28	0,25
147	42,4	12,59	14,40	1,81	0,79	62,34	0,25
148	42,0	12,72	14,42	1,70	0,83	57,35	0,27
149	42,0	12,74	14,43	1,69	0,81	57,81	0,26
150	41,9	12,75	14,43	1,68	0,81	59,27	0,26
151	41,8	12,80	14,44	1,64	0,83	55,37	0,27
152	41,6	12,88	14,46	1,58	0,71	66,88	0,25

Continua...

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
153	41,4	12,94	14,48	1,54	0,71	64,03	0,25
154	41,1	13,03	14,51	1,48	0,84	52,43	0,27
155	41,0	13,07	14,53	1,46	0,80	53,10	0,26
156	40,8	13,15	14,58	1,43	0,63	68,13	0,22
157	40,7	13,23	14,60	1,37	0,92	45,12	0,30
158	40,6	13,24	14,67	1,43	0,86	47,40	0,26
159	40,5	13,28	14,70	1,42	0,84	48,20	0,25
160	40,4	13,37	14,75	1,38	0,85	47,62	0,25
161	40,3	13,40	14,78	1,38	0,83	48,24	0,26
162	40,2	13,47	14,82	1,35	0,90	44,41	0,27
163	40,0	13,52	14,86	1,34	0,80	49,89	0,27
164	40,0	13,55	14,88	1,33	0,90	44,40	0,27
165	39,7	13,67	14,99	1,32	1,29	30,76	0,39
166	39,6	13,71	15,06	1,35	1,26	31,57	0,37
167	39,6	13,73	15,10	1,37	1,24	31,95	0,36
168	39,5	13,76	15,14	1,38	1,22	32,35	0,36
169	39,4	13,82	15,22	1,40	1,19	33,10	0,34
170	39,3	13,88	15,32	1,44	1,15	34,01	0,35
171	39,2	13,93	15,38	1,45	1,14	34,25	0,33
172	39,1	13,96	15,42	1,46	1,13	34,49	0,32
173	39,0	13,98	15,45	1,47	1,12	34,87	0,32
174	39,0	14,01	15,50	1,49	1,06	36,73	0,33
175	38,7	14,12	15,62	1,50	1,09	35,59	0,31
176	38,5	14,20	15,71	1,51	1,07	36,44	0,33
177	38,3	14,29	15,81	1,52	1,07	36,18	0,30
178	38,1	14,38	15,90	1,52	1,07	36,14	0,30
179	37,9	14,46	15,98	1,52	1,07	36,07	0,30
180	38,1	14,56	16,07	1,51	1,08	36,00	0,30
181	38,2	14,61	16,12	1,51	1,08	35,95	0,30
182	38,3	14,65	16,16	1,51	1,05	36,96	0,32
183	38,4	14,68	16,20	1,52	1,08	35,98	0,30
184	38,4	14,71	16,22	1,51	1,07	36,01	0,30
185	38,5	14,74	16,25	1,51	1,07	35,96	0,30
186	38,6	14,83	16,34	1,51	1,07	36,19	0,30
187	38,7	14,91	16,43	1,52	1,01	38,39	0,30
188	38,9	14,99	16,51	1,52	1,08	36,12	0,30
189	38,9	14,99	16,51	1,52	1,08	36,16	0,30
190	39,0	15,03	16,55	1,52	1,07	36,31	0,30
191	39,1	15,15	16,68	1,53	1,08	36,40	0,30
192	39,3	15,25	16,78	1,53	1,08	36,48	0,30
193	39,5	15,36	16,90	1,54	1,08	36,58	0,30
194	39,6	15,44	16,98	1,54	1,08	36,67	0,30
195	39,7	15,53	17,07	1,54	1,08	36,72	0,30
196	39,8	15,57	17,12	1,55	1,08	36,90	0,30
197	39,9	15,62	17,17	1,55	1,08	36,86	0,30
198	40,0	15,67	17,22	1,55	1,08	37,15	0,31
199	40,0	15,69	17,24	1,55	1,08	36,97	0,30
200	40,0	15,69	17,24	1,55	1,08	36,98	0,30
201	40,1	15,71	17,26	1,55	1,08	36,99	0,30
202	40,2	15,80	17,36	1,56	1,09	37,05	0,30
203	40,3	15,84	17,39	1,55	1,09	37,09	0,30
204	40,3	15,85	17,40	1,55	1,09	37,09	0,30

Continua...

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
205	40,4	15,89	17,45	1,56	1,00	40,30	0,30
206	40,6	15,97	17,53	1,56	1,09	37,31	0,30
207	40,6	15,99	17,55	1,56	1,09	37,29	0,30
208	40,7	16,01	17,57	1,56	1,09	37,30	0,30
209	29,1	16,08	17,69	1,61	0,81	38,46	0,25
210	29,1	16,11	17,70	1,59	0,81	38,06	0,25
211	29,0	16,12	17,71	1,59	0,81	37,97	0,25
212	22,1	16,16	17,75	1,59	0,78	38,20	0,24
213	22,1	16,23	17,76	1,53	0,79	36,71	0,25
214	22,0	16,30	17,78	1,48	0,80	35,09	0,25
215	22,0	16,37	17,80	1,43	0,82	34,14	0,26
216	21,9	16,43	17,81	1,38	0,82	32,45	0,26
217	21,9	16,50	17,84	1,34	0,83	31,10	0,26
218	21,8	16,60	17,87	1,27	0,84	29,48	0,27
219	21,8	16,70	17,91	1,21	0,84	27,98	0,27
220	21,7	16,80	17,95	1,15	0,86	26,36	0,27
221	21,7	16,87	17,98	1,11	0,86	25,45	0,28
222	21,6	16,95	18,05	1,10	0,86	25,14	0,28
223	21,6	16,96	18,07	1,11	0,86	25,11	0,28
224	21,6	16,98	18,09	1,11	0,86	25,09	0,28
225	21,6	17,01	18,11	1,10	0,86	25,04	0,28
226	21,6	17,02	18,13	1,11	0,86	25,04	0,28
227	21,6	17,09	18,19	1,10	0,86	24,98	0,28
228	21,6	17,14	18,24	1,10	0,86	24,96	0,28
229	21,5	17,18	18,28	1,10	0,86	24,92	0,28
230	21,5	17,19	18,28	1,09	0,87	24,66	0,28
231	21,5	17,23	18,33	1,10	0,86	24,88	0,28
232	21,5	17,28	18,37	1,09	0,87	24,86	0,28
233	21,5	16,60	18,46	1,86	1,14	18,77	0,45
234	20,7	17,27	18,89	1,62	1,40	14,83	0,71
235	20,6	17,60	19,59	1,99	1,03	24,30	0,43
236	20,3	17,41	20,10	2,69	0,82	35,37	0,28
237	20,0	18,09	20,21	2,12	0,87	27,09	0,31
238	19,8	18,25	20,28	2,03	1,35	15,31	0,47
239	7,6	18,56	20,51	1,95	0,45	31,95	0,22
240	7,5	18,64	20,51	1,87	0,52	17,92	0,16
241	7,1	18,53	20,56	2,03	0,61	13,99	0,19
242	6,8	18,65	20,59	1,94	0,41	19,31	0,13
243	6,6	18,92	20,62	1,70	0,61	13,13	0,21
244	6,3	19,01	20,66	1,65	0,64	11,65	0,21
245	6,3	18,67	20,66	1,99	0,72	10,00	0,23
246	6,0	19,44	20,79	1,35	0,86	7,97	0,34
247	5,7	19,30	20,91	1,61	0,39	14,85	0,13
248	5,7	19,33	20,92	1,59	0,79	7,51	0,29
249	5,6	19,91	20,94	1,03	1,07	5,91	0,50
250	5,6	19,87	21,01	1,14	1,03	5,65	0,47
251	5,5	19,80	21,11	1,31	0,87	6,48	0,42
252	5,4	20,68	21,54	0,86	1,82	2,98	0,86
253	5,4	20,47	22,11	1,64	1,10	7,33	0,50
254	5,3	20,85	22,15	1,30	0,66	11,53	0,30
255	5,3	20,81	22,15	1,34	1,00	7,14	0,49
256	5,3	19,80	22,18	2,38	0,55	10,00	0,21

Continua...

Tabela 3.1. Resultado do dimensionamento hidráulico do canal do Rio Formate

Seção	Vazão (m³/s)	Cota Fundo (m)	Cota Linha d'Água (m)	Altura d'Água (m)	Velocidade do Fluxo (m/s)	Área de Vazão (m²)	Froude
257	5,2	20,78	22,20	1,42	0,80	7,19	0,34
258	5,2	20,91	22,22	1,31	0,82	6,50	0,29
259	5,1	20,96	22,24	1,28	1,53	3,85	0,72
260	5,0	20,10	22,46	2,36	0,38	13,21	0,11
260,75	5,0	20,91	22,46	1,55	0,48	10,41	0,21
261	5,0	21,10	22,47	1,37	0,54	9,23	0,18
262	4,9	20,71	22,49	1,78	0,72	6,86	0,30
263	4,8	21,00	22,55	1,55	1,13	4,92	0,55
264	4,8	20,77	22,63	1,86	0,77	6,22	0,24
265	4,7	21,44	22,71	1,27	1,21	3,97	0,49
266	4,6	21,41	22,82	1,41	0,76	6,17	0,26
267	4,6	21,23	22,85	1,62	1,02	4,60	0,42
268	4,6	21,37	22,92	1,55	0,86	5,36	0,34
269	4,6	21,47	23,02	1,55	1,25	3,67	0,47
270	4,5	21,81	23,16	1,35	0,51	8,90	0,16
271	4,5	21,78	23,21	1,43	1,25	3,58	0,49
272	4,4	21,66	23,42	1,76	0,47	9,36	0,15
273	4,4	21,97	23,44	1,47	0,44	9,95	0,17
274	4,4	21,97	23,44	1,47	0,37	11,96	0,14
275	4,4	22,18	23,46	1,28	0,64	6,84	0,28
276	4,4	22,39	23,50	1,11	0,29	15,13	0,09

3.3.3. Análise das Áreas de Inundação

A determinação da área inundada ao longo do trecho projetado, sob efeito da cheia cinqüentenária, é de fundamental importância para avaliar tanto se a proposição das seções tipo e as declividades de fundo adotadas são suficientes para dar vazão a tal cheia (sem promover alagamentos das áreas urbanizadas localizadas nas margens), quanto para avaliar o espaço físico necessário para realização do projeto e de eventuais necessidades de realocação de moradias e definições de faixas segurança e de preservação.

O Anexo 02 apresenta as pranchas contendo o levantamento topográfico do rio Formate, juntamente com as faixas de inundação, segurança e preservação, a identificação dos imóveis localizados nestas faixas e o perfil de fundo do terreno natural e do trecho projetado ao longo deste rio e o perfil da linha d'água no advento da cheia cinqüentenária.

Nestas pranchas, pode-se observar que da maneira como o canal do rio Formate foi proposto, a atuação de uma cheia com recorrência cinqüentenária escoa sem que haja o espraiamento em direção as diversas manchas urbanizadas localizadas, principalmente, entre as seções 155 e 168 e entre as seções 195 e 232.

Nestes trechos do projeto, a largura média da superfície da linha d'água é inferior aos 30 m, sendo que o maior valor desta largura é de 56 m e ocorre na seção 156, já na saída do trecho urbano entre as seções 155 e 168, ou seja, quando praticamente não há mais ocupação das margens do canal com áreas urbanizadas.

Diante dos resultados obtidos, definiram-se duas faixas (de segurança e de preservação) no entorno do rio/canal Formate, delimitadas a partir da borda da faixa de inundação, sendo que a faixa de segurança apresenta uma distância de 15 m para fora de cada uma das margens inundadas e a faixa de preservação apresenta uma distância de 30 m para fora de cada uma das margens inundadas.

Assim, observando a imagem satelital ao longo do trecho projetado do rio Formate, verificou-se a presença de 41 imóveis dentro da faixa de inundação, 79 imóveis entre esta faixa de inundação e a faixa de segurança e outros 105 imóveis entre esta faixa de segurança e a faixa de preservação, totalizando assim, 225 imóveis afetados pelo projeto.

Ressalta-se que o canal do rio Formate, dimensionado da forma que foi proposto, somente atinge diretamente aqueles imóveis construídos bem próximos as margens do referido rio, locais estes que, segundo a resolução CONAMA nº. 303, de 20 de março de 2002, que dispões sobre Parâmetros, Definições e Limites de Áreas de Preservação Permanente, estabelece:

"...Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

I. - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura;

b) cinqüenta metros, para o curso d'água com dez a cinqüenta metros de largura;

c) cem metros, para o curso d'água com cinqüenta a duzentos metros de largura;

d) duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;

e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura;"

Ou seja, à luz da legislação vigente, já não poderia haver a localização de boa parte dos imóveis presentes nas áreas urbanizadas que se desenvolveram ao longo do tempo nas margens do rio Formate, conforme fotografia abaixo.



Ocupação irregular das margens do Rio Formate

3.3.4. Volume de Escavação

Diante dos favoráveis resultados obtidos no dimensionamento hidráulico do canal proposto para o rio Formate, foi calculado o volume total a ser escavado para escavação das seções tipo com os perfis e declividades de fundo escolhidos.

Para tanto, foi calculada para cada uma das seções de representação matemática do trecho projetado a área transversal necessária a escavar, para dar ao terreno natural uma das duas formas trapezoidais estabelecidas (largura de fundo 20 m e talude lateral 1V : 2,5H; largura de fundo 30 m e talude lateral 1V : 2,5H) e de acordo com a cota de fundo que estas seções teriam que apresentar para manter as declividades também selecionadas (0,2% entre as seções 91 e 100 e de 0,1% entre as seções 100 e 232).

O volume de escavação foi então calculado com base no produto entre as áreas de escavação calculadas para cada seção do trecho de projeto e as distâncias entre duas seções consecutivas (distâncias estas medidas ao longo do rio).

A Figura 3.1 mostra um gráfico do volume de escavação associado a cada trecho de influência da seção de projeto, bem como o volume acumulado entre a seção mais a montante (232) e mais a jusante (91).

Observa-se nesta figura que há uma maior concentração de volumes a serem escavados nas 23 primeiras seções (91 a 126), em decorrência destas seções trapezoidais apresentarem largura de fundo de 30 m, além da maior declividade do trecho entre as seções 91 e 99 (0,2%). O volume total de escavação no trecho entre as seções 91 e 126 é de pouco mais de 192.000 m³.

Nesta mesma figura, é possível observar que entre as seções 126 e 232 são poucos às vezes em que o volume de escavação supera o valor de médio de 3.632 m³, acontecendo esta superação em apenas 21 das seções contidas no intervalo mencionado.

Desta forma, estima-se que o volume total que deva ser escavado para moldar a calha do rio Formate, no trecho de projeto, de acordo com os perfis de seções trapezoidais e declividades de fundo propostos seja da ordem dos 515.000 m³.

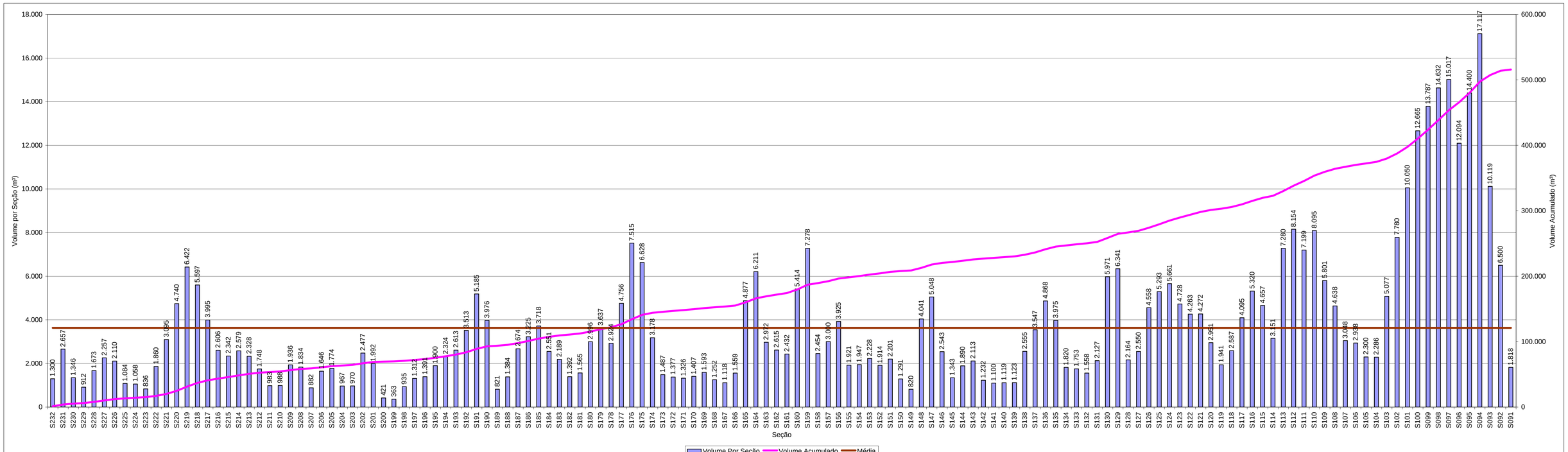


Figura 3.1. Gráfico do volume de escavação do canal projetado no rio Formate

3.3.5. Identificação das Áreas de Bota-Fora do Material Escavado

Foram selecionadas áreas localizadas nas margens do trecho projetado do rio Formate para disposição do material a ser retirado de sua calha, a fim de dar forma às seções trapezoidais dimensionadas para escoar à cheia com recorrência cinqüentenária, conforme já apresentado.

Ao todo, foram selecionadas 16 células situadas nos terrenos com cotas baixas em relação à topografia local das margens do rio Formate, células estas que correspondem a áreas com muito pouca ou nenhuma ocupação urbana, em decorrência da fácil possibilidade de alagamentos a que tais áreas ficam sujeitas.

A Figura 3.2 mostra a localização destas células para disposição do material escavado do rio Formate no trecho projetado, juntamente com a distribuição das seções por célula de alocação.

A área total destinada aos bota-foras é de 67,57 ha, que deverá comportar um volume total de 515.751 m³ de material escavado, disposto conforme apresentado a seguir.

Destaca-se que esta disposição levou em conta a proximidade das seções em relação às áreas de bota-fora.

- Células 01 e 02:
    - Área das células de "bota-fora": 114.771 m²;
    - Volume de material escavado: 77.065 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 0,67 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 91 e 97;
- Célula 3:
    - Área da célula de "bota-fora": 155.216 m²;
    - Volume de material escavado: 85.001 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 0,55 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 98 e 109;

- Célula 4:
    - Área da célula de "bota-fora": 28.386 m²;
    - Volume de material escavado: 38.536 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 1,36 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 110 e 115;
- Célula 5:
    - Área da célula de "bota-fora": 14.951 m²;
    - Volume de material escavado: 16.894 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 1,13 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 116 e 120;
- Células 06 e 07:
    - Área das células de "bota-fora": 50.663 m²;
    - Volume de material escavado: 49.484 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 0,98 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 121 e 132;
- Células 08, 09 e 10:
    - Área das células de "bota-fora": 79.493 m²;
    - Volume de material escavado: 88.690 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 1,12 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 133 e 164;
- Células 11, 12 e 13:
    - Área das células de "bota-fora": 76.940 m²;
    - Volume de material escavado: 76.313 m³;
    - Altura do aterro do material escavado: 0,99 m;
    - Localização do trecho escavado: entre as seções 165 e 191;
- Células 14 e 15:

- Área das células de "bota-fora": 16.984 m²;
- Volume de material escavado: 22.952 m³;
- Altura do aterro do material escavado: 1,35 m;
- Localização do trecho escavado: entre as seções 192 e 205;

- Célula 16:
  - Área da célula de "bota-fora": 138.326 m²;
  - Volume de material escavado: 60.816 m³;
  - Altura do aterro do material escavado: 0,44 m;
  - Localização do trecho escavado: entre as seções 206 e 232;

A Tabela 3.2 mostra um resumo do que foi descrito acima.

Tabela 3.2. Disposição dos volumes escavados nas células de bota-foras

Célula	Área (m²)	Área Agrupada (m²)	Vol. Escavação (m³)	Altura Aterro (m)	Seções
01	42.599	114.771	77.065	0,67	91 a 97
02	72.172				
03	155.216	155.216	85.001	0,55	98 a 109
04	28.386	28.386	38.536	1,36	110 a 115
05	14.951	14.951	16.894	1,13	116 a 120
06	31.514	50.663	49.484	0,98	121 a 132
07	19.149				
08	16.685	79.493	88.690	1,12	133 a 164
09	5.975				
10	56.833				
11	13.525	76.940	76.313	0,99	165 a 191
12	42.800				
13	20.615				
14	8.212	16.984	22.952	1,35	192 a 205
15	8.773				
16	138.326	138.326	60.816	0,44	206 a 232
Total	675.732	675.732	515.751	0,76	-

348000 350000 352000 354000 356000 358000

7748000 7750000 7752000 7754000

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
16	138.326	138.326	60.816	0.44	206 a 232

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
14	8.212	16.985	22.952	1.35	192 a 205
15	8.773				

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
11	13.525	76.940	76.313	0.99	165 a 191
12	42.800				
13	20.615				

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
08	16.685	79.493	88.690	1.12	133 a 164
09	5.975				
10	56.833				

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
06	31.514	50.663	49.484	0.98	121 a 132
07	19.149				

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
05	14.951	14.951	16.894	1.13	116 a 120

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
04	28.386	28.386	38.536	1.36	110 a 115

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
03	155.216	155.216	85.001	0.55	98 a 109

Célula	Area (m²)	Area Agrupada (m²)	Volume de Escavação (m³)	Altura do Aterro (m)	Seções
01	42.599	114.771	77.065	0.67	91 a 97
02	72.172				

Córrego do Abacaxi

Rio Formate

Rio Formate

Rio Formate

Legenda

- Células de "Bota Fora"
- Seções
- Rio Formate com seções naturais
- Rio Formate com seções de projeto
- Faixa de Preservação (30m)

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Conteúdo: Mapa de localização das áreas identificadas para o "bota-fora" do material escavado do trecho projetado do rio Formate

Figura:	Escala:	Data:
3.2	1/10.000	Abril/2009

4. A BARRAGEM RODA D'ÁGUA SOB CONDIÇÕES CRÍTICAS DE OPERAÇÃO – O DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

4. BARRAGEM RODA D'ÁGUA SOB CONDIÇÕES CRÍTICAS DE OPERAÇÃO – O DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

4.1. Definição da Condição Crítica de Operação

No dimensionamento do vertedouro da barragem Roda d'Água foi considerada uma situação em que houvesse o represamento do volume máximo, correspondente a cota 29 m e uma condição em que os bueiros estivessem obstruídos. Isto faria com que a única maneira de extravasamento das águas acumuladas pela barragem durante uma cheia ocorresse através do seu vertedouro.

Partindo deste princípio, dimensionou-se um vertedouro capaz de dar vazão não apenas a uma cheia com recorrência centenária, mas também para uma cheia com recorrência milenar.

4.2. Recorrências e Cheias de Projeto Afluentes

Os hietogramas adotados como de projeto foram aqueles mostrados no Capítulo 01, referente a uma recorrência de 100 anos e 1.000 anos para a área de contribuição da barragem Roda d'Água, e utilizados no processo de transformação chuva-deflúvio bem como na propagação dos escoamentos descritos no referido capítulo mediante uso do HEC-HMS (USACE, 2000).

Observa-se que a cheia com recorrência de 100 anos gera um pico de vazão afluente ao reservatório da barragem Roda d'Água de 71,3 m³/s, enquanto que a cheia com recorrência de 1.000 anos gera um pico de vazão afluente de 245,8 m³/s.

4.3. Dimensionamento da Estrutura de Vertimento

Entre as Estacas E13 +11,50m e E14 + 16,50m, na ombreira direita, foi projetado o vertedouro da Barragem Roda d´Água com uma extensão total de 25,0 m. A presença de uma camada sedimentar com espessura superior a 7,0 m indica que o topo rochoso situa-se em cota inferior a de soleira de vertimento (entre as cotas 24 e 26m), necessitando-se assim, a construção de uma estrutura cuja altura máxima é de 5,0 m tendo com base o topo rochoso.

A estrutura do vertedouro foi projetada em concreto ciclópico com fck=15 MPa e em ***Perfil Creager*** cujo maciço é assente sobre o topo rochoso regularizado, com o

reforço de chumbadores, incluindo perfuração de furos (diam=3") com até 3,5 m de profundidade, injeção de calda d´água/cimento e fornecimento e aplicação de ferro CA-50 - 25 mm.

Diante das cheias de projeto com recorrência centenária e milenar, calculou-se a capacidade de amortecimento destas, pela metodologia de Puls, levando em conta um valor de coeficiente de crista de C=2,0, relativo à vertedouros tipo Perfil Creager e cuja a descarga é determinada pela seguinte equação:

$$Q = C.L.H^{\frac{3}{2}}$$

Onde:

- Q é a vazão de descarga do vertedouro (m^3/s);
- C é o coeficiente de crista (1,4 para soleira espessa e 2,0 para perfil Creager);
- L é a extensão do vertedouro (m) L = 25,0 m;
- H é a lâmina d´água vertida (m).

Assim, o vertedouro projetado permite que o pico da cheia centenária, cujo valor é de 71,3 m³/s, seja reduzido para 20,3 m³/s, o que representa um amortecimento de 71,5% do referido pico de cheia afluente. A cota de pico da cheia atinge 29,55 gerando uma lâmina de vertimento de 0,55 m.

Já o pico da cheia com recorrência milenar, cujo valor é de 245,8 m³/s, é reduzido para **68,8 m³/s**, correspondendo a um amortecimento de 72,0%. A cota de pico nesta cheia é de 30,24 m gerando uma lâmina de vertimento de **1,24 m**.

As Figura 4.1 e 4.2 apresentam os hidrogramas afluentes e efluentes do vertedouro da Barragem Roda d´Água para as recorrências de 100 e 1000 anos respectivamente.

Além disso, foi feita uma modelagem para verificação no caso de mudança no coeficiente de crista do vertedouro passando este para 1,4. Verificou-se que para um vertedouro de 25,0 m de extensão a cheia centenária escoa com uma lâmina de apenas 0,61 m acima da cota de vertimento (cota 29 m) e a cheia milenar escoa com uma lâmina não superior a 1,36 m.

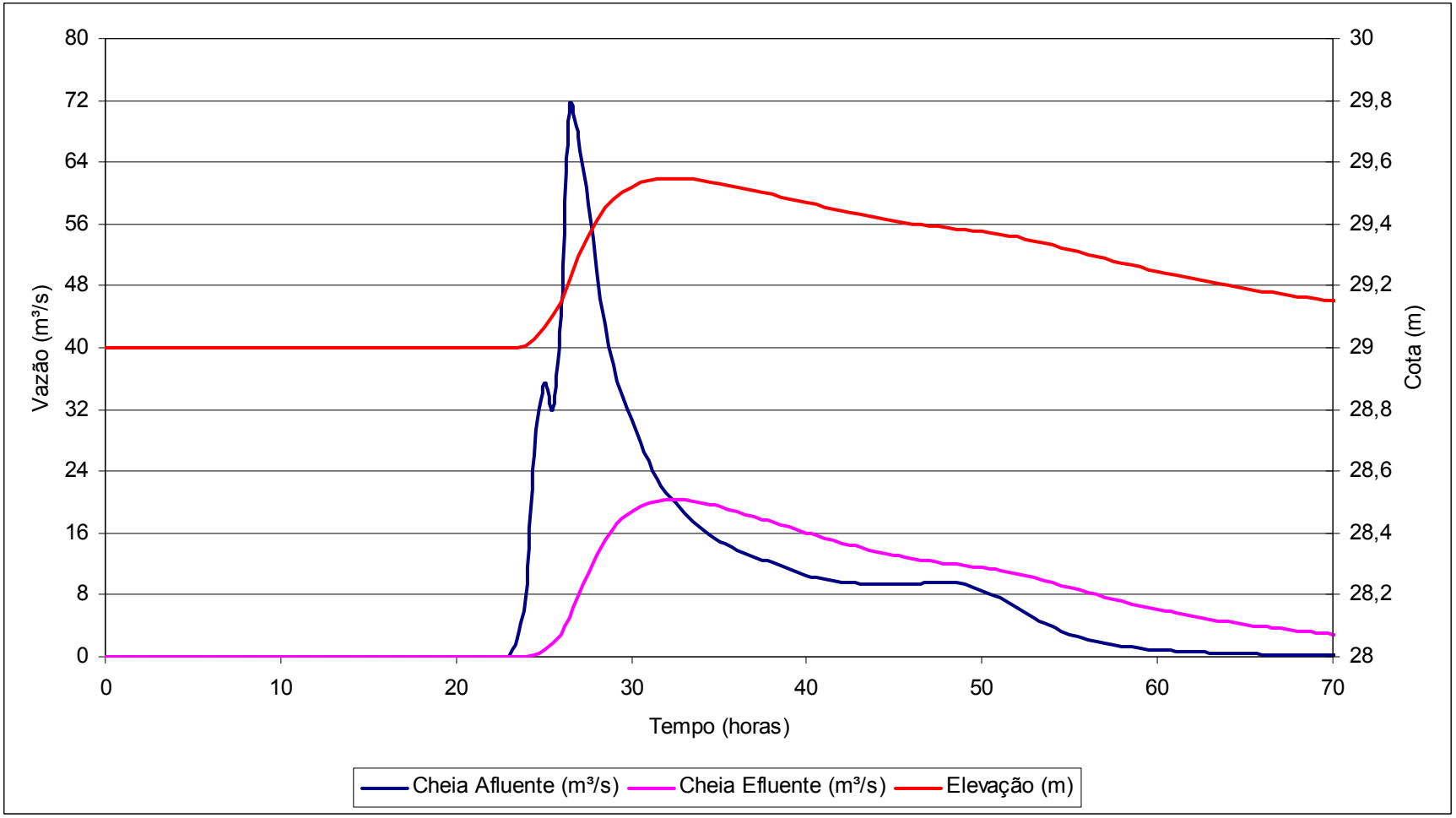


Figura 4.1. Cheia com recorrência de 100 anos afluente a barragem Roda d'Água

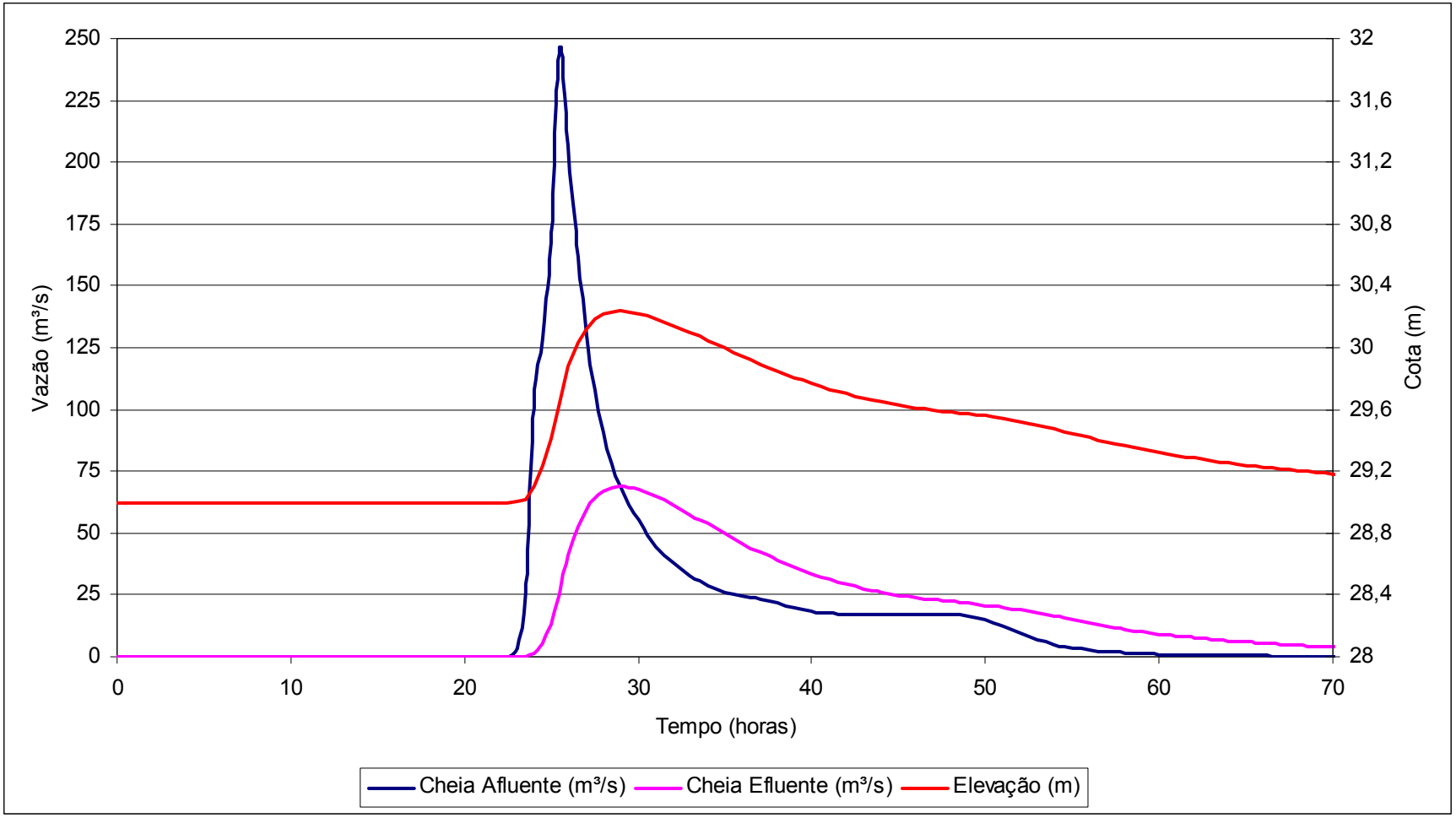


Figura 4.2. Cheia com recorrência de 1.000 anos afluente a barragem Roda d'Água

Assim, com base nos resultados obtidos o coroamento da Barragem Roda d'Água será na cota topográfica 31 m, assegurando que mesmo no caso de uma cheia excepcional (com recorrência milenar) e bueiros obstruídos, exista uma folga de 0,76 m para a condição de vertedouro em perfil Creager e 0,64 m para a condição de vertedouro soleira espessa.

Quanto a geometria do perfil Creager do vertedouro esta leva em consideração a eficiência hidráulica, resguardando a estrutura do aparecimento de pressões negativas. Baseado em dados experimentais levantados pelo Corpo de Engenheiros Militar dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers) o perfil padrão para um descarregador de paramento de montante vertical é dado pela fórmula:

$$Y = \frac{1}{2} * \frac{X^{1,85}}{hd^{0,85}};$$

Onde:

- X e Y são as coordenadas do perfil com origem no ponto mais alto do perfil;
- hd é a carga estática de projeto excluindo a velocidade de aproximação.

O trecho do perfil entre a crista e o paramento de montante fica definido por dois arcos de círculos de raios R1 e R2 e as distância a e b, conforme mostra a Figura 4.3.

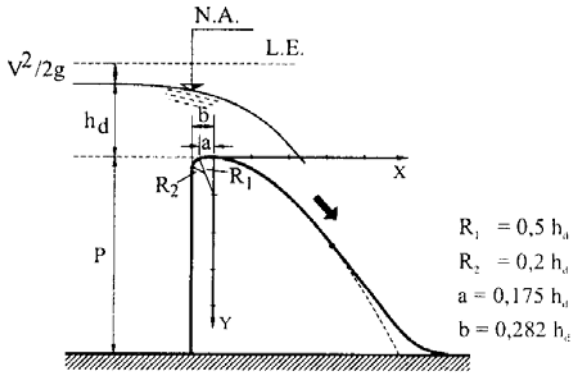


Figura 4.3. Perfil Padrão U.S Army Corps of Engineers

As obras para implantação do vertedouro da Barragem Roda d´Água envolvem também a execução do canal de aproximação, bem como o canal de saída da cheia. Para o canal de aproximação foi garantida uma largura mínima de 25,0 m de extensão sendo o fundo do canal nivelado na cota 26,0 m ocupando uma área de 2.277 m^2. Para a saída da cheia de projeto o canal tem uma largura fixa de 25,0 m, cota de fundo 24,0 m ocupando uma área de 1.280 m^2.

Além do dimensionamento hidráulico foi feita a análise de estabilidade da estrutura projetada. Para tanto foi considerado a geometria da seção máxima com altura de 5,0 m e o escoamento de uma lâmina de água de 1,24 m correspondente a cheia de recorrência milenar.

A seguir são apresentados os cálculos realizados.

1. DADOS DE ENTRADA

Principais características:

N.A.M(cota do nivel agua da cheia)=	30,24	m
N.A.J(Cota para nivel da agua da cheia)=	24,50	m
Coef. De Subpressao	1,00	

DADOS COMPLEMENTARES:

Seção Total	16,88	m2
Xg	1,87	m
Yg	2,02	m
Cota do Contato Rocha/Concreto	24,00	m
Cota da Soleira do Vertedouro	29,00	m

2. SEÇÃO VERTEDOURA

2.1 CARGAS

2.1.1 DETERMINAÇÃO DO PESO PRÓPRIO:

A =	16,88	m^2	γ_c =	22 kN/m^3	(peso especifico do concreto)
X_G =	1,87	m	G =	371,25 kN/m	
Y_G =	2,02	m	Ma=	694 kNm/m	
			Mb=	1.273,20 kNm/m	

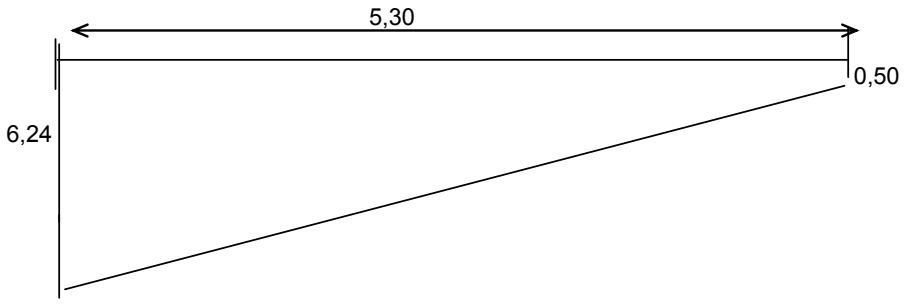
2.1.2 CARGAS HIDROSTÁTICAS

2.1.2.1 EMPUXOS

NAM= 30,24 Ha = 5,00 m
L(lamina)= 1,24
Fah = 187 kN/m
ya= 1,94 m
Ma=Mb= 363,3125 kNm/m

2.1.2.2 SUBPRESSÃO

NAM= 30,24 Hm = 6,24 m
NAJ= 24,50 Hj = 0,50 m



a = 0,50 m a + b = 6,74 m U_1 = -178,61 kN/m
b = 6,24 m A = 17,86 m² X_1 = 1,90 m
h = 5,30 m eo = 1,898 m
eu = 3,402 m
Ma= 338,9526667 kNm/m
Mb= 607,68 kNm/m

2.1.4 RESUMO DAS CARGAS

REF.	ESF. VERTICAIS kN/m	ESF. HORIZONTAIS kN/m	BRAÇO m	MOMENTOS (rel. à extermidade) kNm/m
G	371,25		3,43	1273,204167
U	-178,61		3,40	-607,680333
Fah		-187,00	1,94	-363,3125
TOTAL	192,64	-187,00	1,57	302,2113333

2.2. VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES NO PLANO DA COTA: 24,00

				braço=	1,57	L base=	5,30
ΣV =	192,64	kN/m	EXCENTRICIDADE:	e =	1,08	m < b/6 =	0,88 m
ΣH =	-187,00	kN/m			em rel. ao C.G.da seção		

ÁREA DA SEÇÃO DA BASE: Adisp = 5,30 m^2

ÁREA DA SEÇÃO COMPRIMIDA: Acompr = 4,82 m^2 Acompr/Adisp = 91%

tensão normal vertical a montante: σ_{vm} = -8,1 kN/m^2 -0,008 MPa

tensão normal vertical a jusante: σ_{vj}= 80,8 kN/m^2 0,081 MPa

2.3 CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

$$Fh,resist = \frac{\Sigma V tg\phi}{\gamma_\phi} + \frac{cAc}{\gamma_c}$$
$$Fh,solic = \Sigma H$$

$$F.S.D = \frac{Fh,resist}{Fh,solic} \geq 1$$

onde:

Fh,resist = somatória de todas as forças resistentes paralelas à superfície de deslizamento;
Fh,solic = somatória de todas as forças solicitantes paralelas à superfície de deslizamento;
V = somatória de todas as forças ativas normais à superfície de deslizamento;
tg ϕ = coeficiente de atrito ao longo da superfície de deslizamento; (fi)= 45 graus
γ_ϕ = coeficiente de minoração de resistência relativo ao atrito;
c = coesão média efetiva ao longo da superfície de deslizamento; c= 300 Kg/cm2
γ_c = coeficiente de minoração de resistência relativo à coesão;
A = área efetiva comprimida no contato de deslizamento;
F.S.D. = fator de segurança contra o deslizamento.

$$SFF = \frac{\Sigma V tg\phi + cAc}{\Sigma H}$$

SFF shear friction factorion factor do U.S.B.R.

ΣV =	192,64	kN/m	ΣFresist =	629,68	kN/m
ΣH =	187,00	kN/m	ΣFsolic =	187,00	kN/m
Ac =	4,82	m^2			
Tγəϕ =	1,000		FSD =	3,37	>1,0
γϕ =	1,3				
C =	300	kN/m^2	SFF =	8,75	>2,0
γc =	3,0				

2.4 SEGURANÇA À FLUTUAÇÃO

ΣV - U =	192,64 kN/m	Sf =	ΣV / U >= 1,30	Sf = 2,08
U =	178,61 kN/m			

2.5 SEGURANÇA AO TOMBAMENTO

ΣM(+) =	1273,2 kN/m (A)	Sf =	A/B >= 1,30	Sf = 1,31
ΣM(–) =	970,99 kN/m (B)			

No Anexo 3 são apresentadas as plantas com arranjo geral das obras do vertedouro, bem como dos bueiros para o extravasamento das cheias.

4.4. Bacia de Dissipação

De forma a proteger a área a jusante do vertedouro contra a erosão hidráulica foi projetada uma estrutura para dissipar o excesso de energia antes que o fluxo entre em contato com o terreno natural.

Trata-se de uma bacia de dissipação na qual a redução de energia é feita através de ressalto hidráulico. Tal fenômeno é caracterizado por uma sobrelevação brusca da superfície da água. Corresponde a mudança de regime de uma profundidade menor que a crítica para outra maior que esta, em conseqüência do retardamento do escoamento em regime rápido (Vide Figura 4.4).

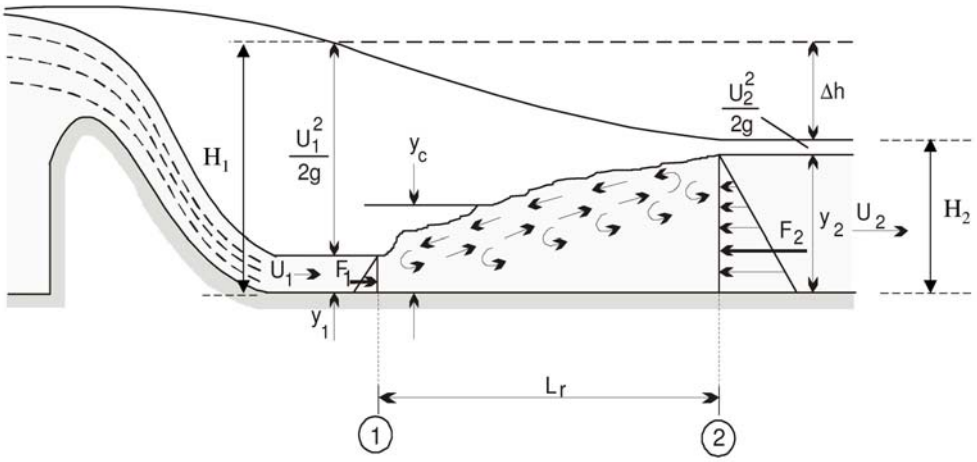


Figura 4.4. Ressalto Hidráulico a Jusante do Vertedouro

O dimensionamento da bacia de dissipação segue os conceitos preconizados pelo Open Channel Hydraulics (CHOW, 1973) e pelo Bureau of Reclamation dos Estados Unidos da América (USBR) tendo este último desenvolvido uma padronização nos formatos das bacias de dissipação levando-se em conta alguns parâmetros hidráulicos descritos a seguir.

Inicialmente calcula-se a velocidade do fluxo no sopé do vertedouro aplicando-se o Teorema de Bernoulli entre a posição da lâmina de cheia milenar e a posição da Lâmina do fluxo de água no sopé do vertedouro pela equação abaixo:

$$V_1 = \sqrt{2.g(Z + H - y_1)}$$

Onde:

- V_1 – velocidade do fluxo no sopé do vertedouro (m/s);
- g – aceleração da gravidade (m/s^2);
- Z – diferença da cota de soleira do vertedouro (cota 29,0m) e a cota do tabuleiro da bacia de dissipação (cota 24,0 m);
- H – lâmina da cheia milenar (1,24 m).

Aplicando-se a equação anterior para uma vazão de 68,48 m^3/s e um vertedouro de 25,0 m de extensão chegam-se aos seguintes valores: V_1 = 10,84 m/s e y_1 = 0,30 m.

Com esses valores calcula-se o número de Froude:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g.y_1}}$$

O valor encontrado para F_1 = 6,32 indica, segundo CHOW, 1973 um ressalto estável com dissipação de energia entre 45% a 70% e uma bacia de dissipação segundo **USBR denominada Tipo II**, conforme ilustra a Figura 4.5.

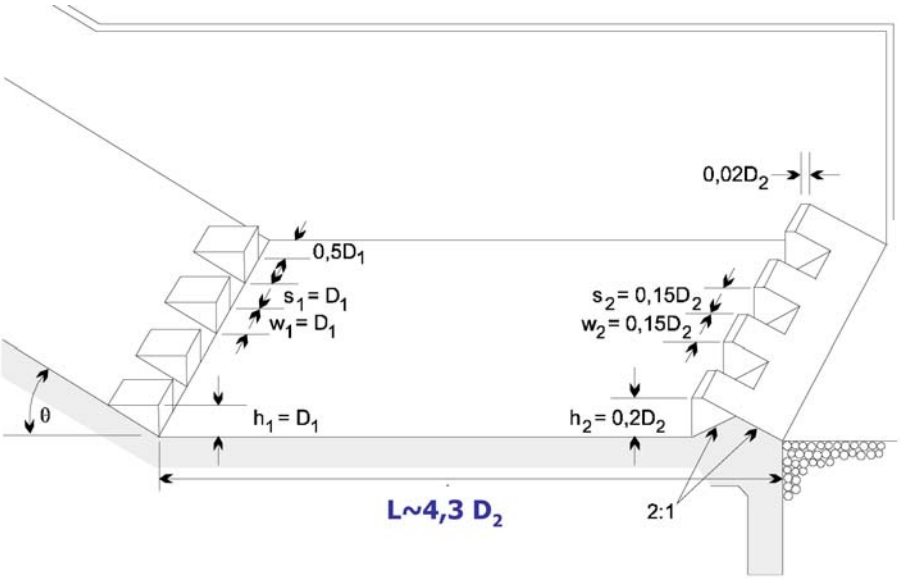


Figura 4.5. Bacia de Dissipação USBR Tipo II

A relação entre as alturas conjugadas y_1 e y_2 é determinada pela seguinte relação:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1$$

Logo a altura y_2 é de 2,30 m e o gráfico da Figura 4.6 permite a determinação da extensão (L) da bacia de dissipação USBR Tipo II mediante o número de Froude F1 e da altura y_2. Assim, a bacia de dissipação projetada tem uma extensão L = 10,0 m.

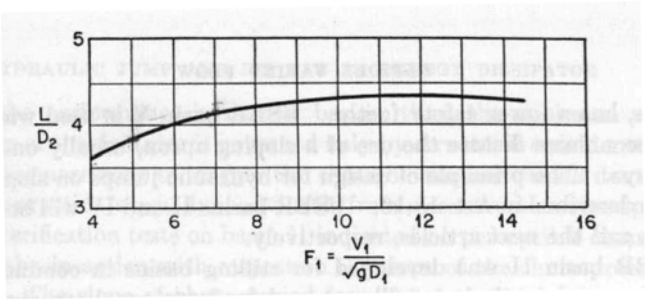


Figura 4.6. Determinação da Extensão da Bacia de Dissipação (CHOW, 1973)

Assim, a bacia de dissipação projetada para o vertedouro da barragem Roda d´Água apresenta as seguintes características:

- V_1 = 10,84 m/s (velocidade do fluxo no sopé do vertedouro);
- V_2 = 1,17 m/s (velocidade do fluxo na saída da bacia de dissipação);
- y_1 = 0,30 m (lâmina de água no sopé do vertedouro);
- y_2 = 2,30 m (lâmina de água na saída da bacia de dissipação);
- L = 10,0 m (extensão da bacia de dissipação).

No final da bacia de dissipação foi projetado para fins de combate a erosão hidráulica uma camada de gabião tipo colchão com 0,30 m de espessura com uma extensão de 15,0 m e largura de 25,0 m perfazendo uma área de 375 m^2.

No Anexo 3 são apresentadas as plantas com arranjo geral das obras da bacia de dissipação.

4.5. Estruturas de Contenção

Para a contenção das encostas escavadas nas obras dos canais de aproximação e de saída, bem como para a contenção do maciço de terra da barragem no contato com o vertedouro foram projetadas dois tipos de estruturas de contenção, a saber:

- Muro de Arrimo em concreto ciclópico;
- Muro em Gabião Tipo Caixa.

As Figura 4.7 e 4.8 apresentam as seções tipo dos muros em concreto e gabião, respectivamente utilizadas neste projeto.

O contato do vertedouro com a ombreira direita, bem como a contenção de encosta dos canais de aproximação e saída serão protegidos com 65,0 m de extensão de muro de arrimo em concreto ciclópico com altura máxima de 7,0 m e mínima de 5,0 m. O muro tem cota de topo máxima de 31,0 m (situado a montante do vertedouro) passando gradualmente para cota 26,5 m na área de jusante. Em seguida, no canal de saída a proteção/contenção de encostas será feita através de 28,0 m de extensão em estrutura de gabião tipo caixa com altura de 3,0 m tendo a cota de topo de 26,5 m.

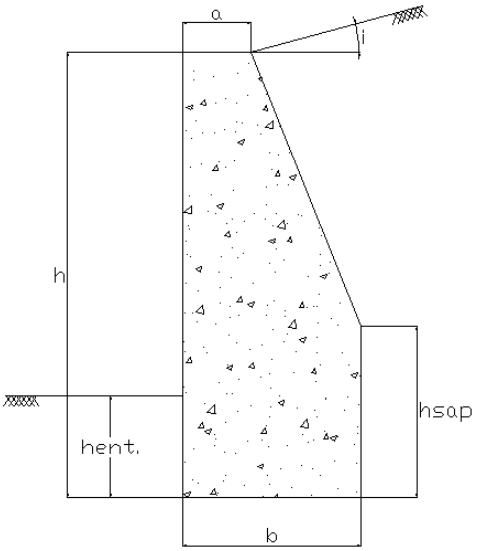


Figura 4.7. Seção Tipo do Muro de Arrimo em Concreto Ciclópico

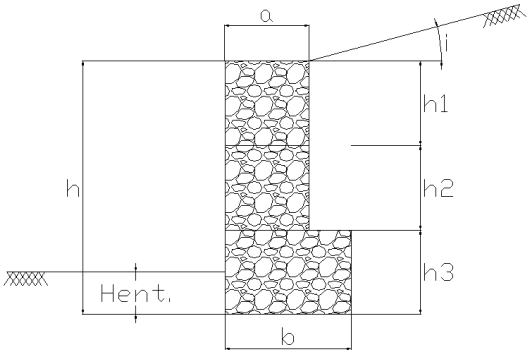


Figura 4.8. Seção Tipo do Muro de Gabião Tipo Caixa

Já o contato do vertedouro com o maciço de terra da barragem inclusive a contenção de encosta dos canais de aproximação e saída serão protegidos por 45,0 m de extensão de muro em concreto ciclópico com altura máxima de 7,0 m e altura mínima de 4,0 m. O muro tem cota de topo 31,0 m (estendendo-se ao longo da lado de montante). Para jusante a cota de topo do muro passa de 31,0 m para 26,5 m ao longo da bacia de dissipação. Em seguida, no canal de saída a proteção/contenção de encostas será feita através de 6,50 m de extensão em estrutura de gabião tipo caixa com altura de 3,0 m tendo a cota de topo de 26,5 m.

No Anexo 3 são apresentadas as plantas com arranjo geral das obras de contenção. A seguir são apresentadas as planilhas de cálculo de estabilidade das estruturas projetadas.

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Ombreira

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	21,80	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,76	coeficiente de empuxo ativo
q	-	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	-	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	6,50	altura do muro (m)
b	4,30	medida da base do muro (m)
a	1,70	largura do topo do muro (m)
H	7,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	31,27	empuxo ativo (t/m)
d	2,33	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z 0,40

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	21,65	m^2
W	47,63	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	17,39	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	25,98	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	65,02	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,87	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	25,98	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,52**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,65	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	3,37	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,65	centro de gravidade (m)
Yg	2,53	centro de gravidade (m)
M_{res}	137,11	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	60,62	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,26**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,72	limite núcleo central de inércia (m)
N	65,02	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,97	excentricidade resultante (m)
e´	1,18	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	35,67	tensões (t/m^2)
σ_2	(5,42)	
σ	44,52	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2) ROCHA
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Ombreira

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	21,80	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,76	coeficiente de empuxo ativo
q	-	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	-	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	5,50	altura do muro (m)
b	3,50	medida da base do muro (m)
a	1,30	largura do topo do muro (m)
H	6,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	22,22	empuxo ativo (t/m)
d	2,00	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z 0,40

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	14,95	m^2
W	32,89	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	12,36	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	18,47	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	45,25	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,47	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	18,47	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,50**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,34	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,70	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,34	centro de gravidade (m)
Yg	2,09	centro de gravidade (m)
M_{res}	77,41	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	36,93	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,10**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,58	limite núcleo central de inércia (m)
N	45,25	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,86	excentricidade resultante (m)
e´	0,89	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	31,89	tensões (t/m^2)
σ_2	(6,04)	
σ	35,26	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2) ROCHA
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Ombreira

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	21,80	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,76	coeficiente de empuxo ativo
q	-	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	-	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	4,50	altura do muro (m)
b	2,80	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	5,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	14,70	empuxo ativo (t/m)
d	1,67	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z 0,40

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	9,95	m^2
W	21,89	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	8,18	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	12,22	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	30,07	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,16	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	12,22	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,52**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,07	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,13	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,07	centro de gravidade (m)
Yg	1,66	centro de gravidade (m)
M_{res}	40,97	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	20,37	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,01**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,47	limite núcleo central de inércia (m)
N	30,07	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,71	excentricidade resultante (m)
e´	0,69	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	27,19	tensões (t/m^2)
σ_2	(5,71)	
σ	28,05	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2) ROCHA
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Ombreira

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	21,80	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,76	coeficiente de empuxo ativo
q	-	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	-	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	4,50	altura do muro (m)
b	2,80	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	5,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	14,70	empuxo ativo (t/m)
d	1,67	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z 0,40

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	9,95	m^2
W	21,89	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	8,18	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	12,22	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	30,07	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,16	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	12,22	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,52**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,07	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,13	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,07	centro de gravidade (m)
Yg	1,66	centro de gravidade (m)
M_{res}	40,97	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	20,37	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,01**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,47	limite núcleo central de inércia (m)
N	30,07	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,71	excentricidade resultante (m)
e´	0,69	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	27,19	tensões (t/m^2)
σ_2	(5,71)	
σ	28,00	tensão máxima (t/m²)
Nspt médio	14,00	
$\sigma_{terreno\ adm}$	28,00	tensão admissível do terreno (t/m^2) SOLO
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Barragem

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	-	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,50	coeficiente de empuxo ativo
q	1,00	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	0,50	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	6,50	altura do muro (m)
b	3,60	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	7,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	22,91	empuxo ativo (t/m)
d	2,48	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z	0,40	

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	16,75	m^2
W	36,85	peso próprio da estrutura (t/m)
φ´	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	12,74	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	19,03	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	49,59	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,39	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	19,03	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,58**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,33	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,61	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,33	centro de gravidade (m)
Yg	2,38	centro de gravidade (m)
M_{res}	82,22	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	47,19	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**1,74**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,60	limite núcleo central de inércia (m)
N	49,59	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	1,09	excentricidade resultante (m)
e´	0,71	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	38,89	tensões (t/m^2)
σ_2	(11,34)	
σ	30,23	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2)
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Barragem

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	-	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,50	coeficiente de empuxo ativo
q	1,00	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	0,50	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	5,50	altura do muro (m)
b	3,20	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	6,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	16,65	empuxo ativo (t/m)
d	2,14	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z 0,40

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	13,15	m^2
W	28,93	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	9,26	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	13,84	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	38,19	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,28	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	13,84	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,69**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,20	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,34	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,20	centro de gravidade (m)
Yg	2,02	centro de gravidade (m)
M_{res}	56,45	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	29,65	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**1,90**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,53	limite núcleo central de inércia (m)
N	38,19	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,90	excentricidade resultante (m)
e´	0,70	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	32,04	tensões (t/m^2)
σ_2	(8,16)	
σ	28,35	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2)
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Barragem

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	-	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,50	coeficiente de empuxo ativo
q	1,00	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	0,50	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	4,50	altura do muro (m)
b	2,80	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	5,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	11,39	empuxo ativo (t/m)
d	1,81	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z	0,40	

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	9,95	m^2
W	21,89	peso próprio da estrutura (t/m)
φ'	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	6,34	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	9,46	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	28,23	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,16	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	9,46	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,84**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	1,07	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	2,08	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	1,07	centro de gravidade (m)
Yg	1,66	centro de gravidade (m)
M_{res}	36,68	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	17,09	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,15**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,47	limite núcleo central de inércia (m)
N	28,23	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,71	excentricidade resultante (m)
e´	0,69	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	25,33	tensões (t/m^2)
σ_2	(5,17)	
σ	26,66	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2)
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Arrimo - Gravitário - Seção da Barragem

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	68,20	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	30,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	12,00	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus) ângulo de rugosidade
ε	-	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,50	coesão (t/m^2)
Ka	0,50	coeficiente de empuxo ativo
q	1,00	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	2,00	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	0,50	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	3,50	altura do muro (m)
b	2,40	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	4,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	0,50	altura da sapata(m)
Ea	7,12	empuxo ativo (t/m)
d	1,47	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Z	0,40	

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γ_{muro}	2,20	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	7,15	m^2
W	15,73	peso próprio da estrutura (t/m)
φ´	30,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	3,96	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	5,92	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	19,69	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	1,06	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	5,92	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**2,10**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	0,95	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	1,81	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	0,95	centro de gravidade (m)
Yg	1,30	centro de gravidade (m)
M_{res}	22,11	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	8,68	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,55**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,40	limite núcleo central de inércia (m)
N	19,69	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,52	excentricidade resultante (m)
e´	0,68	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	18,83	tensões (t/m^2)
σ_2	(2,42)	
σ	25,34	tensão máxima (t/m²)
$\sigma_{terreno}$	150,00	tensão admissível do terreno (t/m^2)
Status	**Ok**	

Análise de Estabilidade Muro de Gabião

Tipo de Muro	1	paramento inclinado interno (1) e paramento inclinado externo (2)
β	80,54	ângulo entre o plano de aplicação do empuxo e a horizontal (graus)
α	-	inclinação do muro contra o terreno natural (graus)
φ	28,00	ângulo de atrito interno do terreno (graus)
δ	25,20	ângulo de atrito entre o terreno e o muro (graus)
ε	21,80	ângulo de inclinação do talude sobre o muro com a horizontal (graus)
c	0,500	coesão (t/m^2)
Ka	0,64	coeficiente de empuxo ativo
q	-	sobrecarga (t/m^2)
γ_s	1,92	peso específico do solo (t/m^3)
h_s	-	altura de aterro da sobrecarga (m)
h	**3,00**	**altura do muro (m)**
b	1,50	medida da base do muro (m)
a	1,00	largura do topo do muro (m)
H	3,00	altura de atuação do empuxo (m)
hsap	-	altura da sapata(m)
Ea	3,11	empuxo ativo (t/m)
d	1,00	altura do ponto de aplicação do empuxo (m)

Verificação da Segurança contra o Deslocamento

γp	2,43	peso específico das pedras (t/m3)
γ_{muro}	1,70	peso específico do muro (t/m^3)
Seção do Muro	3,50	m^2
W	5,95	peso próprio da estrutura (t/m)
φ´	28,00	ângulo de atrito interno do solo de base(graus)
E_v	1,77	componente vertical do empuxo (t/m)
E_h	2,56	componente horizontal do empuxo (t/m)
F_{en}	7,72	força estabilizante normal (t/m)
F_{eh}	0,75	força estabilizante horizontal (t/m)
Fi	2,56	força instabilizante (t/m)
FS_{des}	**1,90**	**>= 1,50 (fator de segurança deslocamento)**
Status	**Ok**	

Verificação da Segurança contra o Tombamento

s´	0,61	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do peso, medida na horizontal (m)
s	1,33	distância entre o fulcro e o ponto de aplicação do empuxo, medida na horizontal (m)
Xg	0,61	centro de gravidade (m)
Yg	1,36	centro de gravidade (m)
M_{res}	5,97	momento resistente (t/m.m)
M_{at}	2,56	momento atuante (t/m.m)
FS_{tom}	**2,34**	**>= 1,50 (fator de segurança tombamento)**
Status	**Ok**	

Verificação das Tensões Transmitidas no Terreno

Limite e	0,25	limite núcleo central de inércia (m)
N	7,72	resultante das forças normais à base do muro (t/m)
e	0,31	excentricidade resultante (m)
e´	0,44	excentricidade real (m) caso e>B/6, acima do limite de e
σ_1	11,48	tensões (t/m^2)
σ_2	(1,19)	
σ	16,73	tensão máxima (t/m²)
Nspt médio	14,00	
$\sigma_{terreno}$	28,00	tensão admissível do terreno (t/m^2)
Status	**Ok**	

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. B. Modelagem da retenção de sedimentos nos reservatórios do semi-árido. (2001). Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2001.

ANA. Legislação Estadual

ANA (2008). Banco de Dados HidroWEB.

ARAÚJO, FERNANDES, MACHADO JÚNIOR, OLIVEIRA e SOUSA. Sedimentation of reservoirs in semi -arid Brazil , in: Gaiser, Krol, Frischkom e Araújo (eds.) Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Margraf Verlag (2002a).

ARAÚJO, DõLL, GÜNTNER, KROL, ABREU, HAUSCHILD e MENDIONDO Water. Scarcity Prognosis under Change Scenarios in Brazilian Semi-Arid. Relatório técnico, Programa WAVES. Fortaleza (2002b).

AZEVEDO N., J. M. (2003). Manual de Hidráulica. Ed. Edgard Blücher Ltda. 8ª Edição, 3ª reimpressão. São Paulo / SP, 2003.

BERTONI , J., LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo . 31 ed. São Paulo, Ícone, 1990.

BAPTISTA, M. N., NILO, B. S. (2005). Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre. ABRH. 2005.

BAPTISTA, M. B., CIRILO, J. A., COELHO, M. M. L. P., Hidráulica Aplicada. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, V8. Porto Alegre, RS. 2001.

CANHOLI, A. P. (2005). Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de Textos. São Paulo.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática . CPRM, Rio de Janeiro, 1994.

CHEN, Y.H. (1973). Mathematical Modeling of Water and Sediment Routing in Natural Channels. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO. 1973.

CHOW, V.T. (1964). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Company, Singapore. ISBN: 0-07-085906-X, 1964.

CHOW, V.T. (1973). Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Singapore. ISBN: 0-07-085906-X, 1973.

DAEE/CETESB (1980). Drenagem Urbana: Manual de Projeto. São Paulo: 465p.

DNOS. Estudo Global dos Recursos Hidráulicos de Bacias Hidrográficas do Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, Engenharia Gallioli, 1966.

DUNNE, T. e LEOPOLD, L. B. Water in Environmental Planning, W.H. Freeman e Co, Nova York, 818p, 1995.

ES. Estado do Espírito Santo. Das Águas Superficiais e Subterrâneas. In: ____. Meio Ambiente e Desenvolvimento no Espírito Santo. Relatório Final. Vitória, Comissão Coordenadora Estadual sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992.

ES (2007). Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo – GEOBASES. Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. Espírito Santo – ES, 2007.

ESCELSA. Bacias Hidrográficas do Espírito Santo. Estudos Finais de Inventário Hidrelétrico. Relatório Final. Rio de Janeiro, Engevix, s.d.

FERNANDES, L. Processo Hidrosedimentológico na Bacia do Açude Acarape do Meio, Ceará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, janeiro 2000, 93p.

FISCHER, H.B.; LIST, E.J.; KOH, R.C.Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N.H. (1979). Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, Inc., London.

FRAZÃO, E.P. (2003). Caracterização Hidrodinâmica e Morfo-sedimentar do Estuário Potengi e Áreas Adjacentes: Subsídios para Controle e Recuperação Ambiental no caso de Derrames de Hidrocarboneto. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRN. Natal, RN.

FREITAS et al (2001). Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 2001.

FUNCATE (2007), Atualização e Detalhamento do Cálculo do Custo da Água Bruta Disponibilizada por Reservatórios Localizados no Nordeste Setentrional. Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE. São José dos Campos – SP, 2007.

GALVEAS, HOMERO BONADIMANN, A História da Barra do Jucu, Gênese da Cultura Capixaba. Desenvolvimento Sócio-Cultural da Grande Vitória,1976.

GERENCIAMENTO AMBIENTAL DE DRAGAGEM E DISPOSIÇÃO DO MATERIAL DRAGADO (2002). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio de Janeiro. 2002.

HABTEC (1997). Diagnóstico e plano diretor das bacias dos Rios Santa Maria e Jucu: biodiversidade, região estuarina e espaços territoriais protegidos. Consórcio Intermunicipal das Bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu, Vitória, ES, 1997.

IBGE (2003). Base Cartográfica Integrada Digital do Brasil ao Milionésimo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, 2003.

IBGE. www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/população/censo.

IEMA (2008). Banner "As Águas da Bacia do Rio Jucu". Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. Espírito Santo, 2008.

INMET (1992). Normais Climatológicas (1961 – 1990). Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, 1992.

KHANBILVARDI, R.M. e ROGOWSKI, A.A. Quantitative evaluation of sediment delivery ratios. Water Resources Bulletin , vol. 20, n.6, p.865-874, 1984.

KINNEL, P.I.A., et ai. The IXEA index as na alternative to the E130 erosivity index. In: Transactions of the ASAE, vol. 37(5): 1449-1456, 1984.

LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria III: Effects of rainfall characteristics. In: Geoderma 16 (5): 389-401, 1976.

LIGGETT, J.A., and CUNGE, J.A. (1975). Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equations, in Unsteady Flow in Open Channels, edited by K. Mahmood and V. Yevjevich, Vol. I, Chapter 4, Water Resource Publication, Ft. Collins, CO. 1975.

MAIDMENT, D. R. (2002). ArcHydro – Gis for Water Resources. Redlan, California. 2002.

MUSGRAVE, G.W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation . J. Soil and Water Cons., 1947.

NÓBREGA, M.T. (1998). Simulação do comportamento dos transientes hidráulicos na calha do Rio Cocó. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará.

OTTO PFAFSTETTER (1957). Chuvas Intensas no Brasil. Ministério do Interior. Departamento Nacional de obras de Saneamento. Rio de Janeiro, RJ. 1982.

PINTO, F. R. L. (2003). Equações de intensidade – duração – freqüência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

PORTO, R. M. (1999). Hidráulica Básica. Ed. São Carlos – EESC-USP. São Paulo. 1999.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004.

REINING, Ludger. Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southem central cordillera of Colombia. Margraf, Hohenhein tropical agricultura[series: 1, 1992.

RIGHETTO, A.M. Hidrologia e Recursos Hídricos. EESC/USP, São Carlos-SP, 1998.

RISSE, L.M.; NEARING, A.D.N.;LAFLEN , J.M. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. Soìl Sei. Soc. Am. J. 57: 825-833, 1993.

ROOSE, E.J. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: Greenland , D.J.; Lal (ed.) . Soil conservation and management in the hunid tropics, pp. 177-178. Wiley. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1977.

SALES, M.T.B.F. Caracterização de processos erosivos em áreas florestadas e antropizadas na serra de Baturité-CE. Fortaleza, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado, 1997.

SCHWERTMANN, U. Die Vorausschãtzung des Bodenabtrags in Bayer (Verfahren Wischmeier und Smith). Bayer, 126p. St. Ministerium f. Ernãhrung, Landwirtschaft und Forsten. München, 1981.

SEAMA/COGIRH. Informações sobre as Bacias Hidrográficas do Estado. Coordenadoria de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos. Em preparação.

SEAMA-CVRD-UFES. PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos - Regionalização de Vazões Características Mensais e Diárias no Estado do Espírito Santo. Vitória, 1996.

SMITH, D.D.; WHITT, D.M. Evaluating soil losses froco field areas . Am. Soc. Agr., 1948.

TABORGA TORRICO, J.J. (1974). "Isozonas", in Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro, RJ, pp. 9-18.

TUCCI, C.E.M. (1987). Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica. Revista Brasileira de Engenharia – RBE. Rio de Janeiro, RJ. 1986.

TUCCI, C.E.M. (1993). Hidrologia – Ciência e Aplicação. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. 1993.

TUCCI, C.E.M. (1995). Drenagem Urbana. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. 1995.

USACE (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-CA, 2000.

USACE, (2001). River Analysis System HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual. Hydrologic

VANNONI, V.A. Sedimentation Engineering . ASCE, New York, 745 p., 1977.

WISCHMEIER, W.H. Rainfall-erosion Tosses from cropland east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook n°. 282. USDA-ARS, 1965.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfalll erosion losses - a guide to conservation planning . U.S. Department of Agricultutre, Agriculture Handbook, n°. 537, Washington D.C., 1978.

USACE (1983). DREDGING AND DREDGED MATERIAL DISPOSAL (1983). Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, 1983.

USACE (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-CA, 2000.

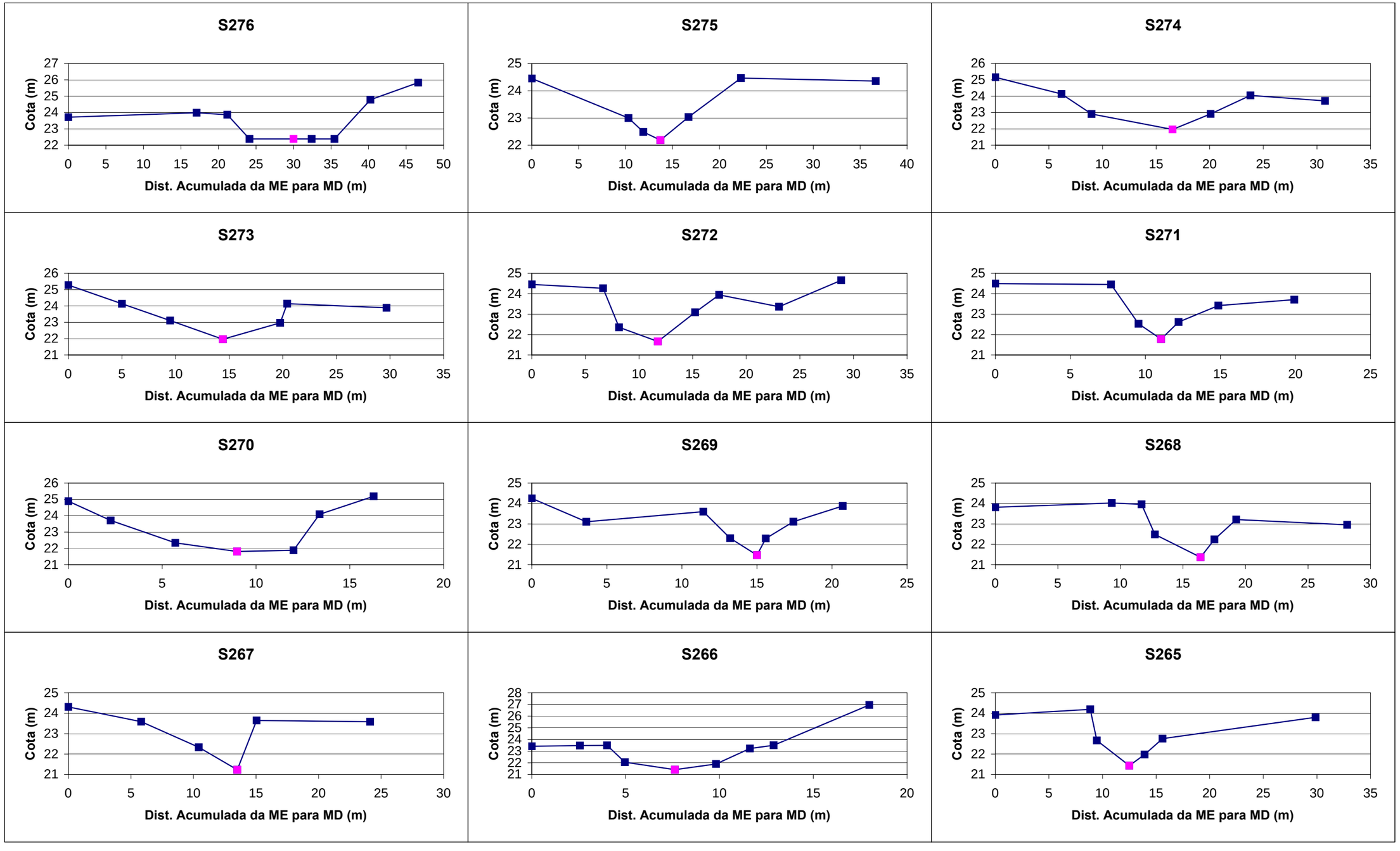
USACE, (2001). River Analysis System HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-C. 2001.

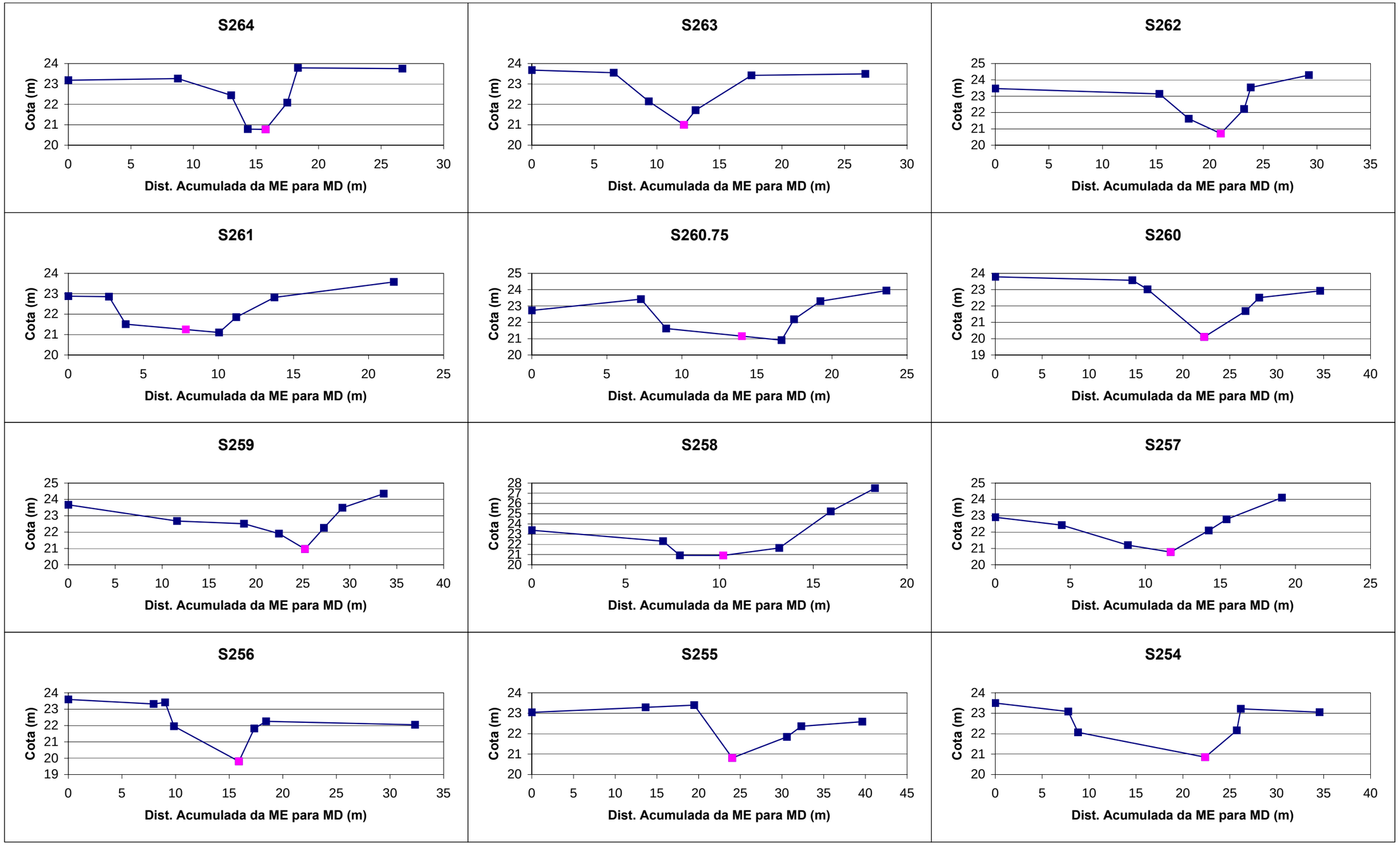
USACE (2004). EVALUATING ENVIRONMENTAL EFFECTS OF DREDGED MATERIAL MANAGEMENT ALTERNATIVES -- A TECHNICAL FRAMEWORK (2004). DEPARTMENT OF THE ARMY United States Army Corps of Engineers Washington, DC. 2004.

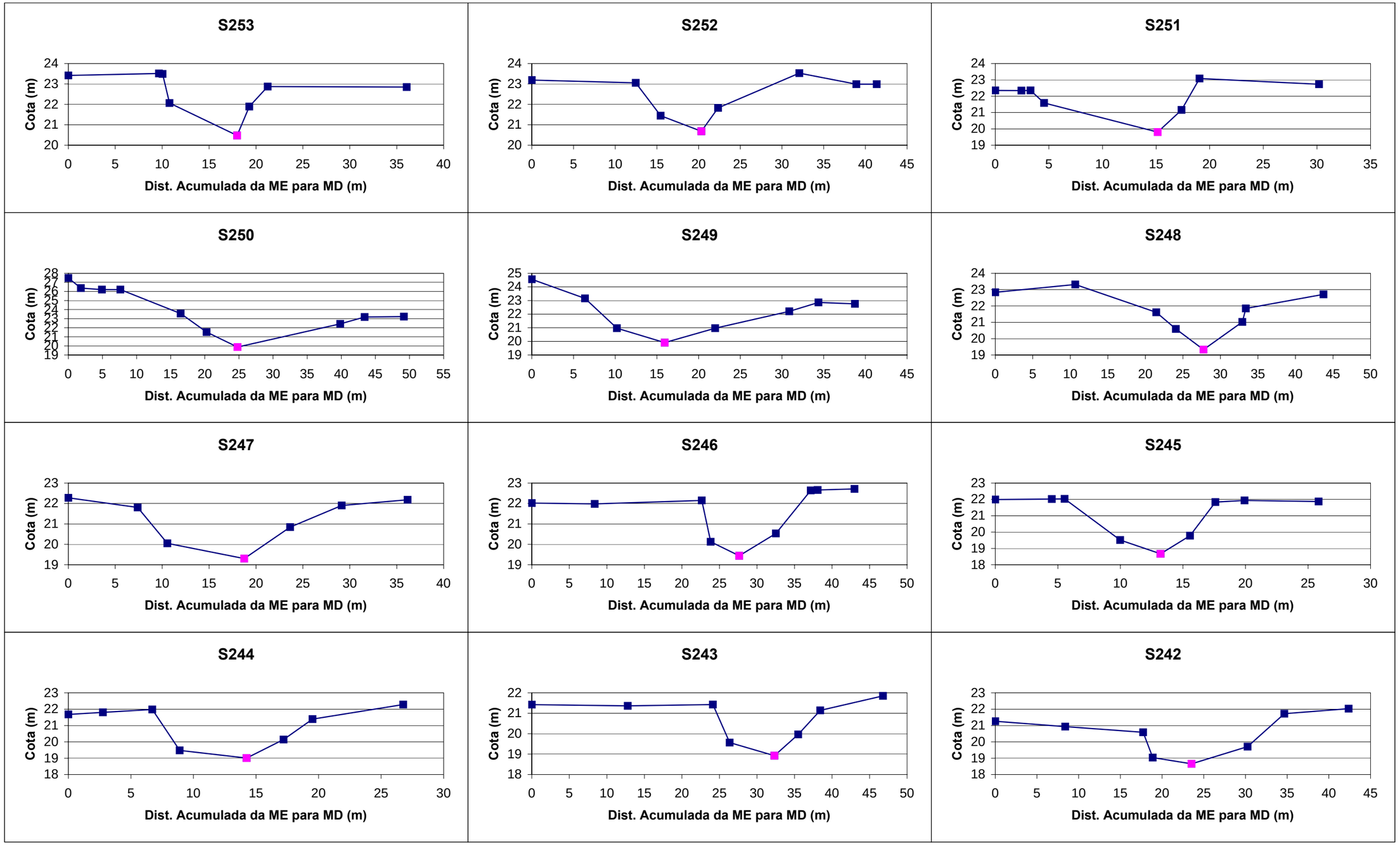
ANEXO 1. DESENHO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO RIO FORMATE

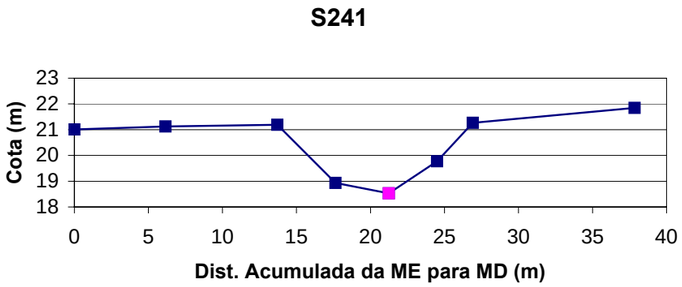
SUMÁRIO

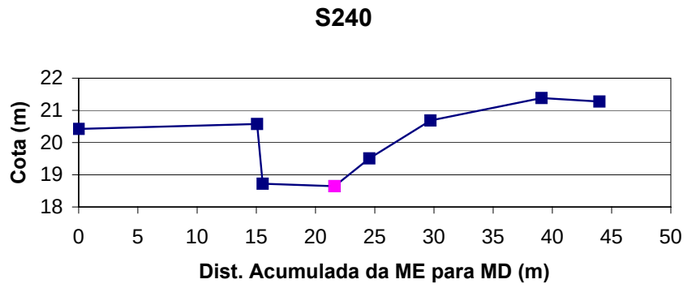
S276 à S265 01
S264 à S254 02
S253 à S242 03
S241 à S230 04
S229 à S218 05
S217 à S206 06
S205 à S194 07
S193 à S182 08
S169 à S158 10
S145 à S134 12
S133 à S122 13
S121 à S110 14
S109 à S098 15
S097 à S086 16
S085 à S074 17
S073 à S064 18
S063 à S052 19
S051 à S040 20
S039 à S028 21
S027 à S016 22
S015 à S04 23
S03 à S01 24

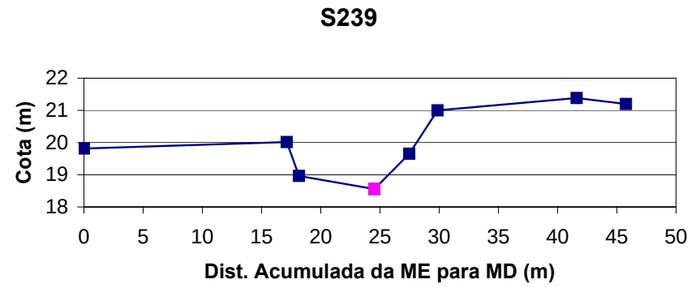

S276
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S275
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S274
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S273
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S272
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S271
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S270
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S269
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S268
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S267
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S266
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S265
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

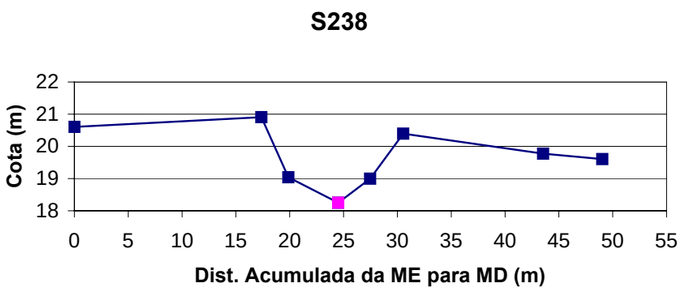

S264
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S263
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S262
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S261
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S260.75
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S260
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S259
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S258
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S257
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S256
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S255
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S254
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

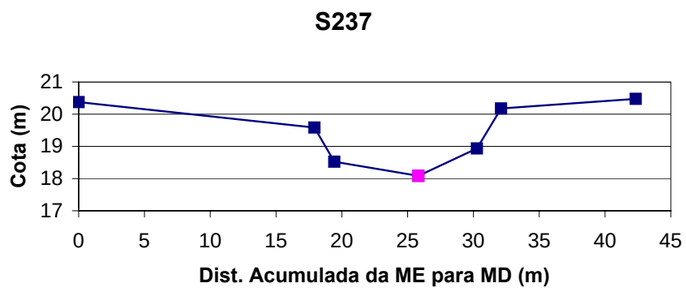

S253
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S252
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S251
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S250
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S249
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S248
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S247
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S246
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S245
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S244
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S243
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S242
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

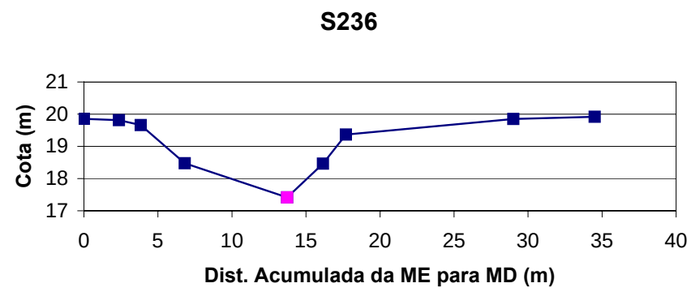

S241
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

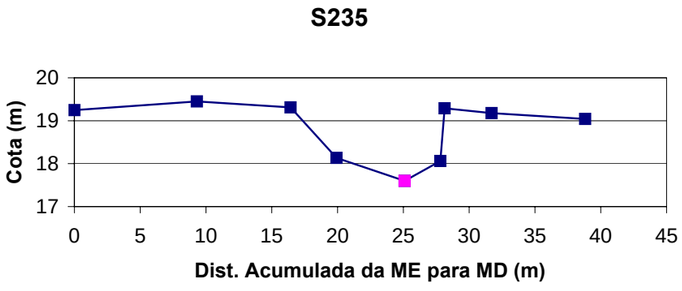

S240
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

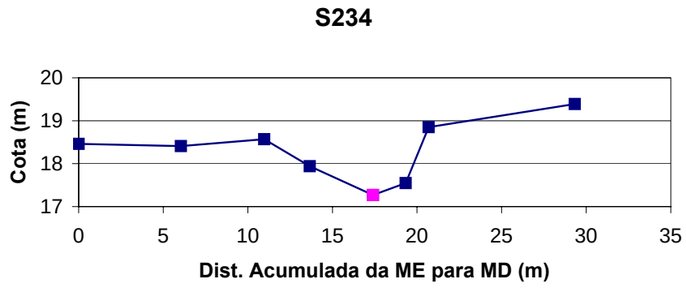

S239
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

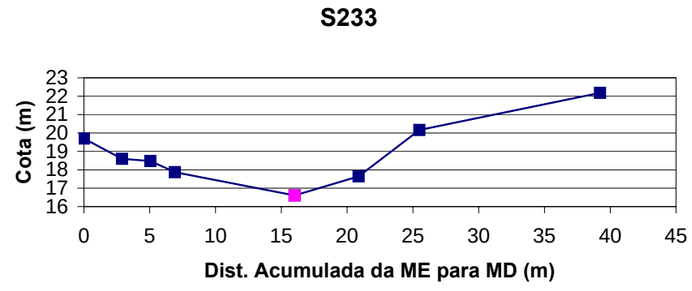

S238
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

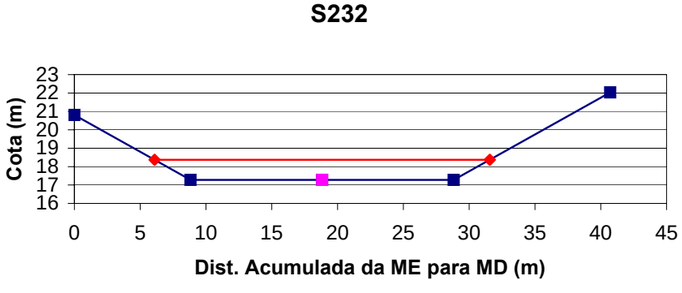

S237
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

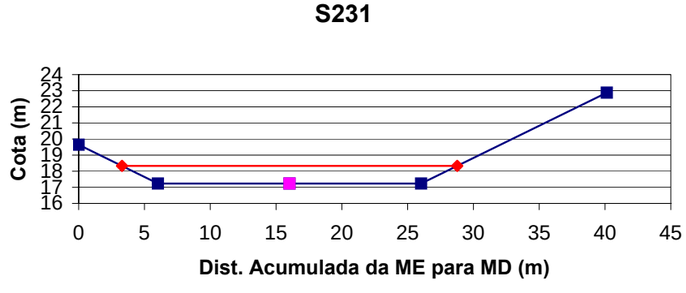

S236
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

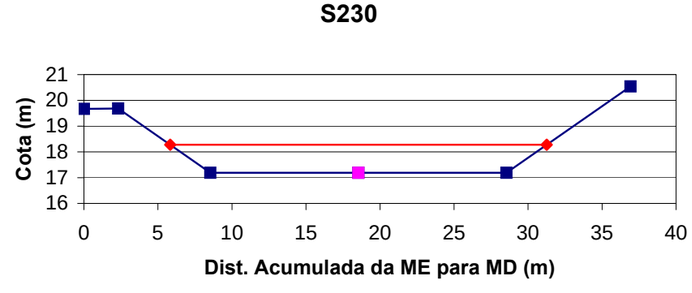

S235
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

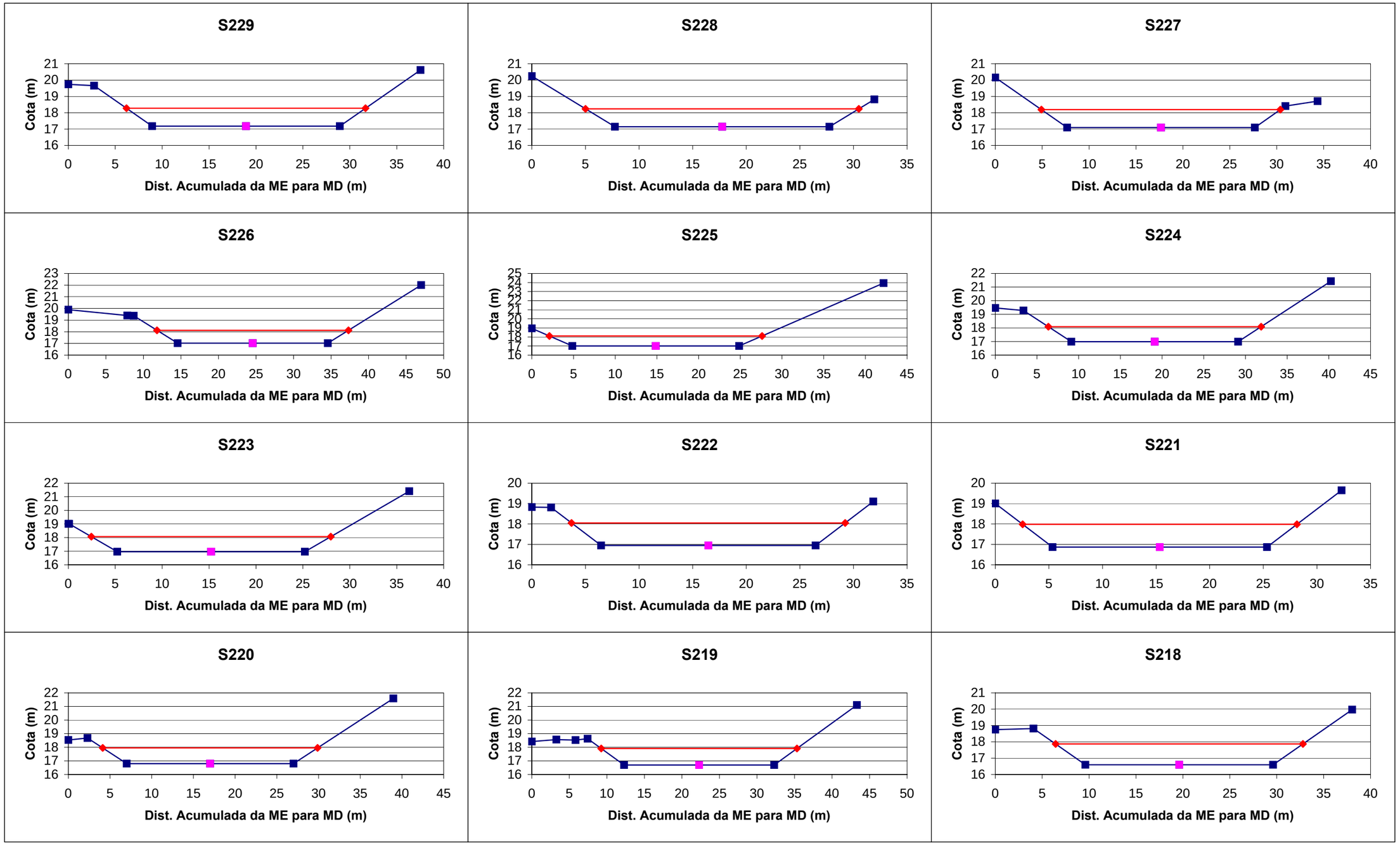

S234
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

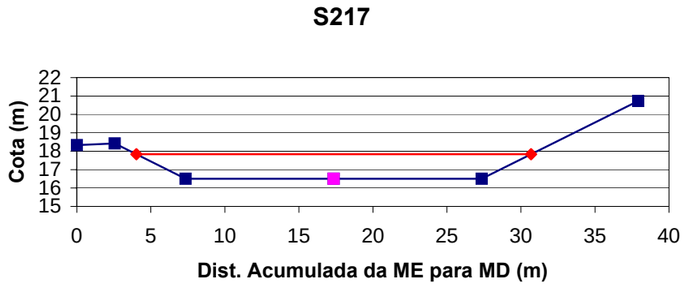

S233
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

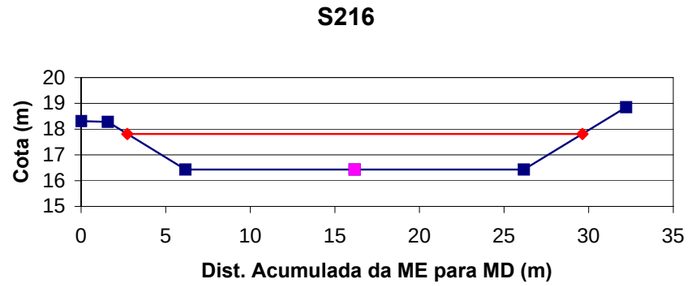

S232
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

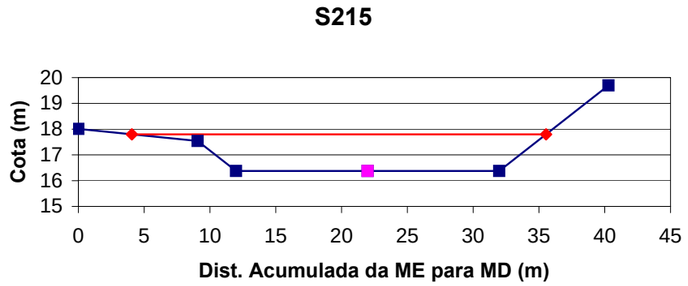

S231
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

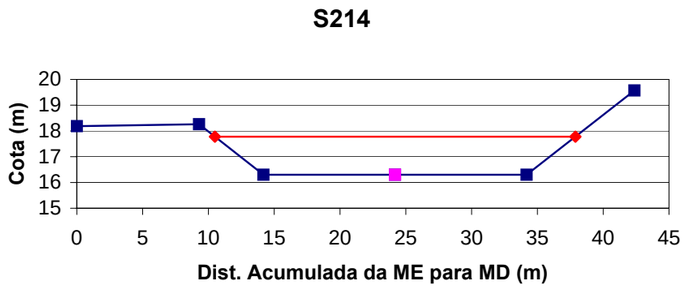

S230
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

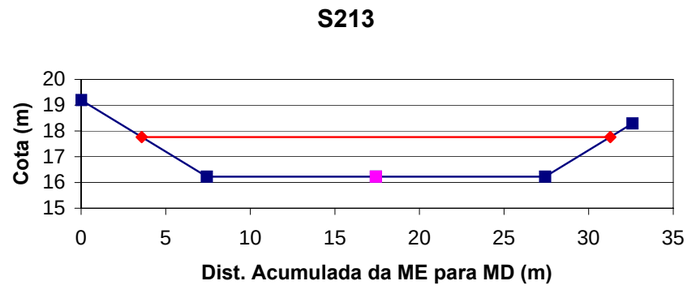

S229
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S228
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S227
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S226
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S225
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S224
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S223
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S222
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S221
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S220
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S219
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S218
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

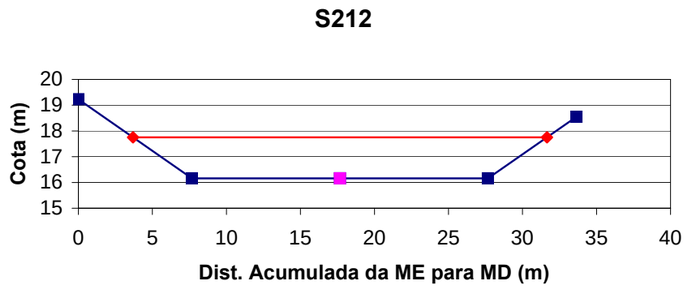

S217
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

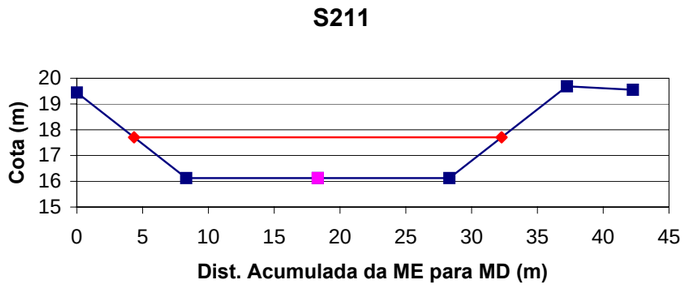

S216
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

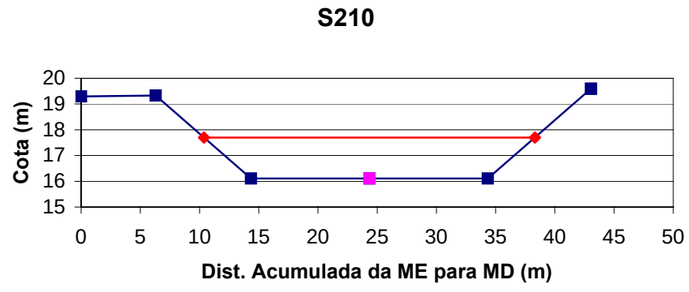

S215
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

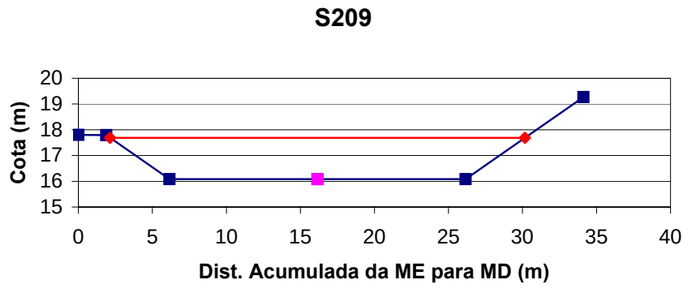

S214
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

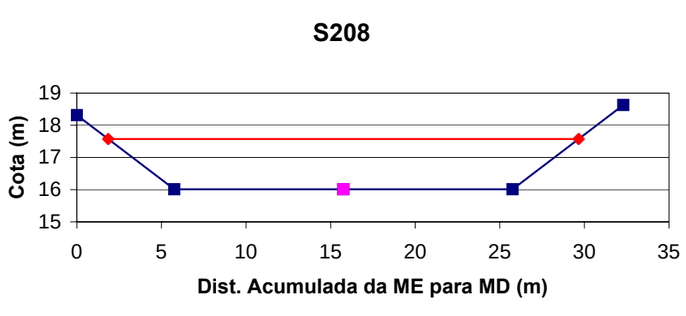

S213
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

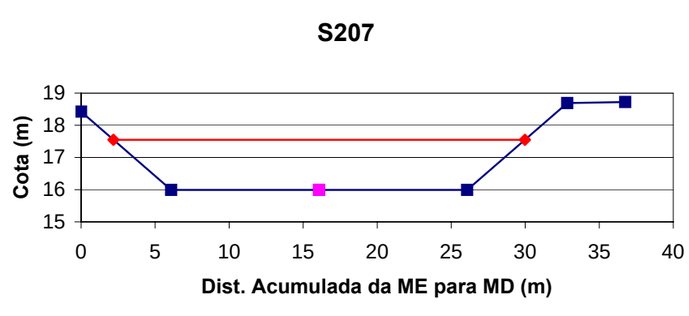

S212
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

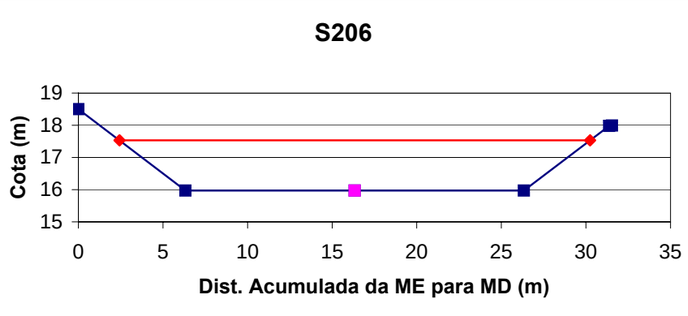

S211
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

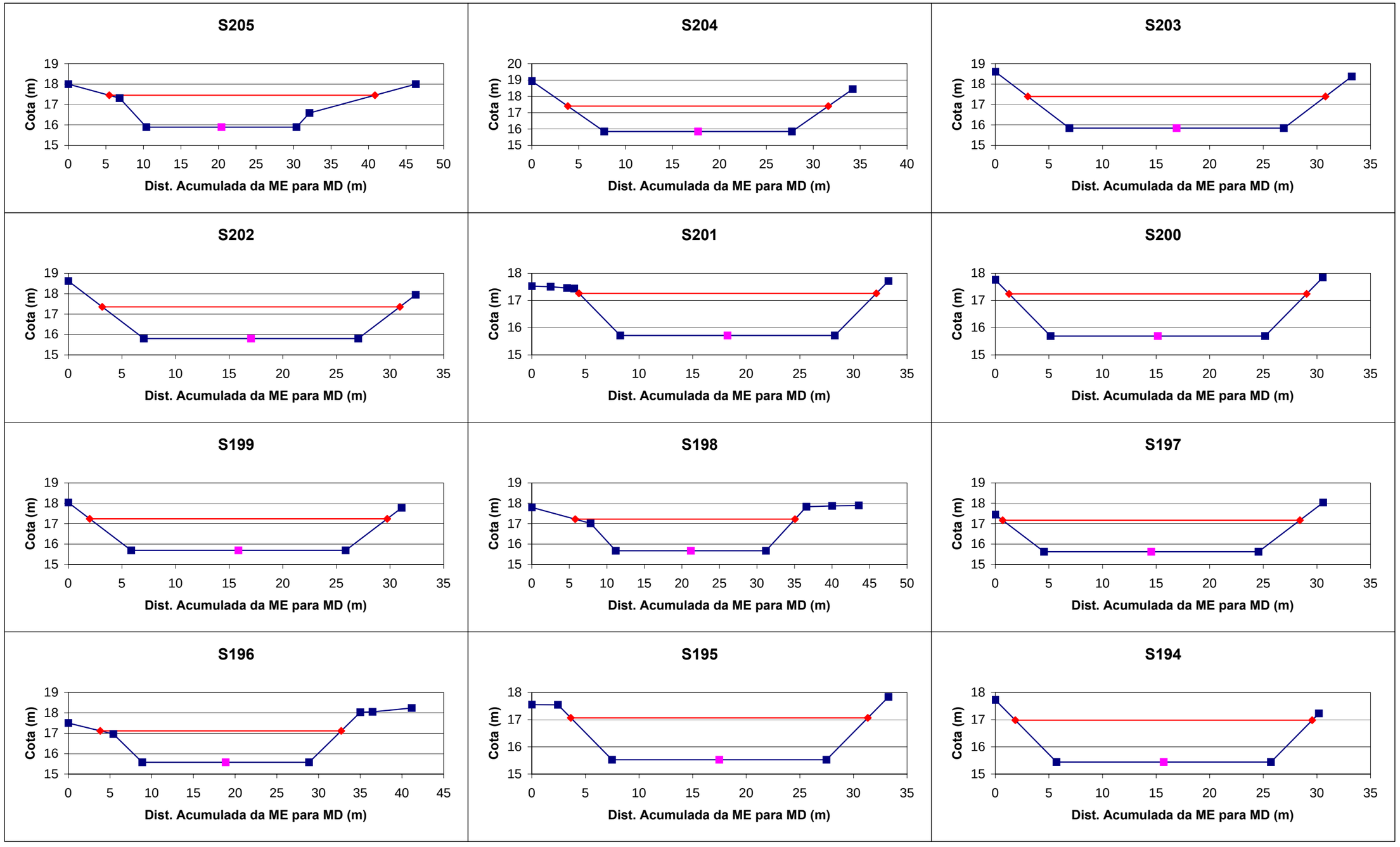

S210
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)


S209
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

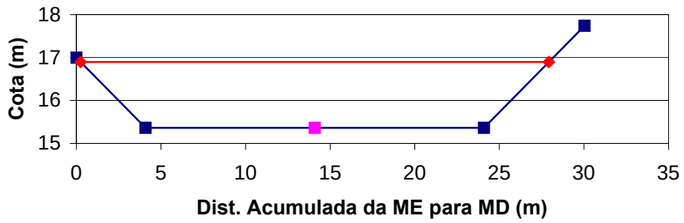

S208
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)


S207
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

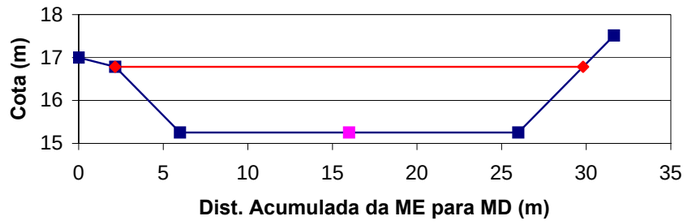

S206
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)


S205
S204
S203
S202
S201
S200
S199
S198
S197
S196
S195
S194
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

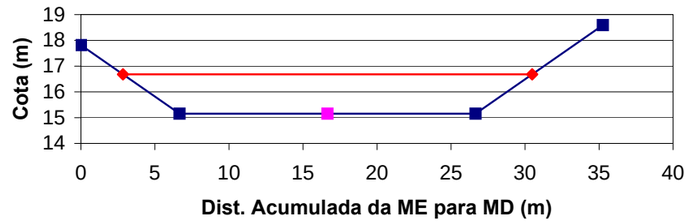
S193



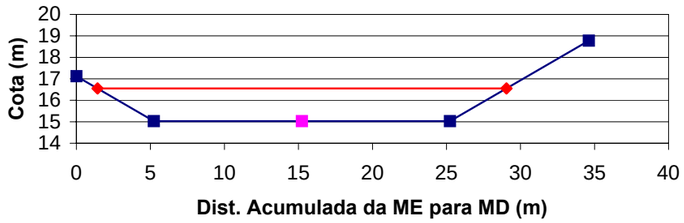
S192



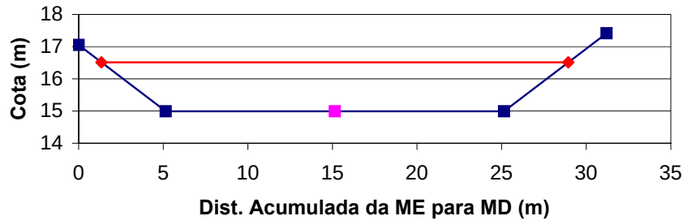
S191



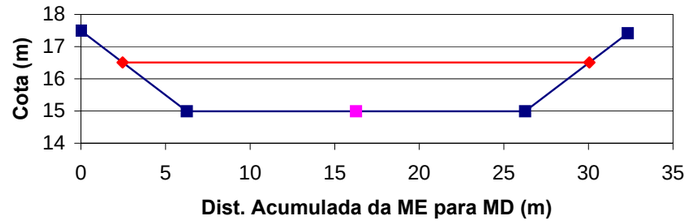
S190



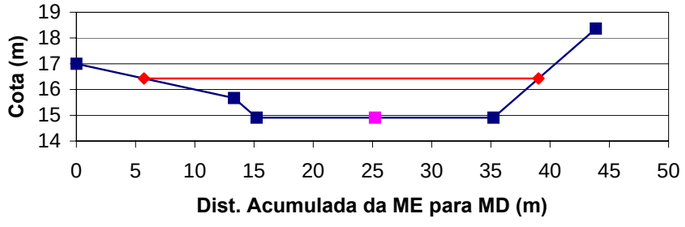
S189



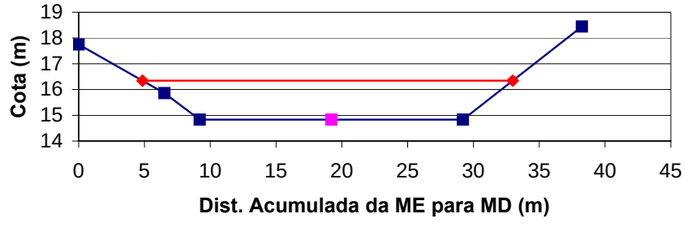
S188



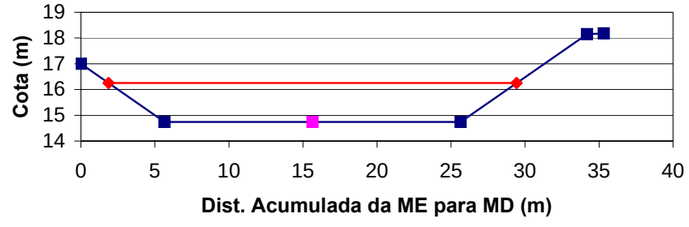
S187



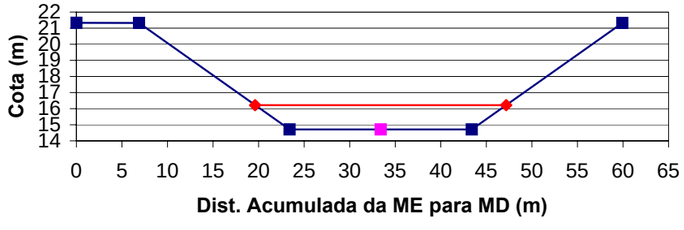
S186



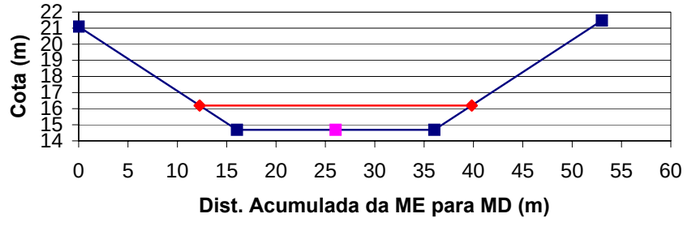
S185



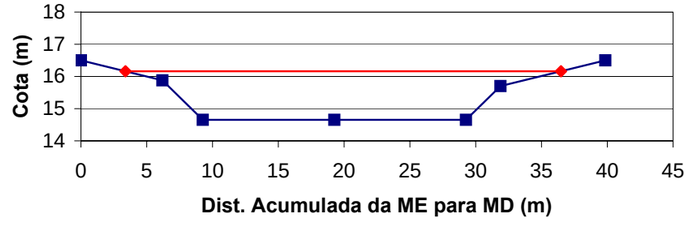
S184

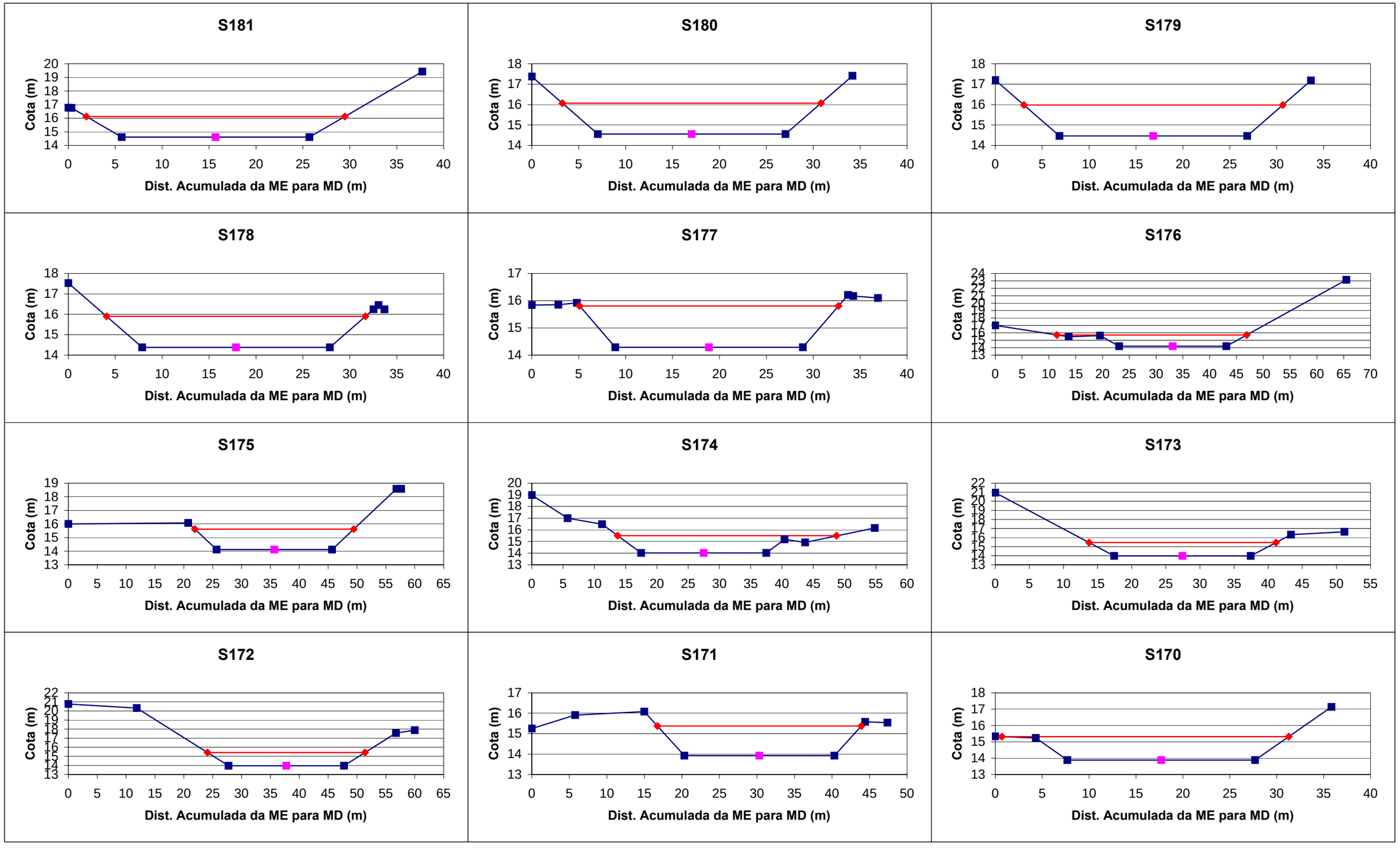


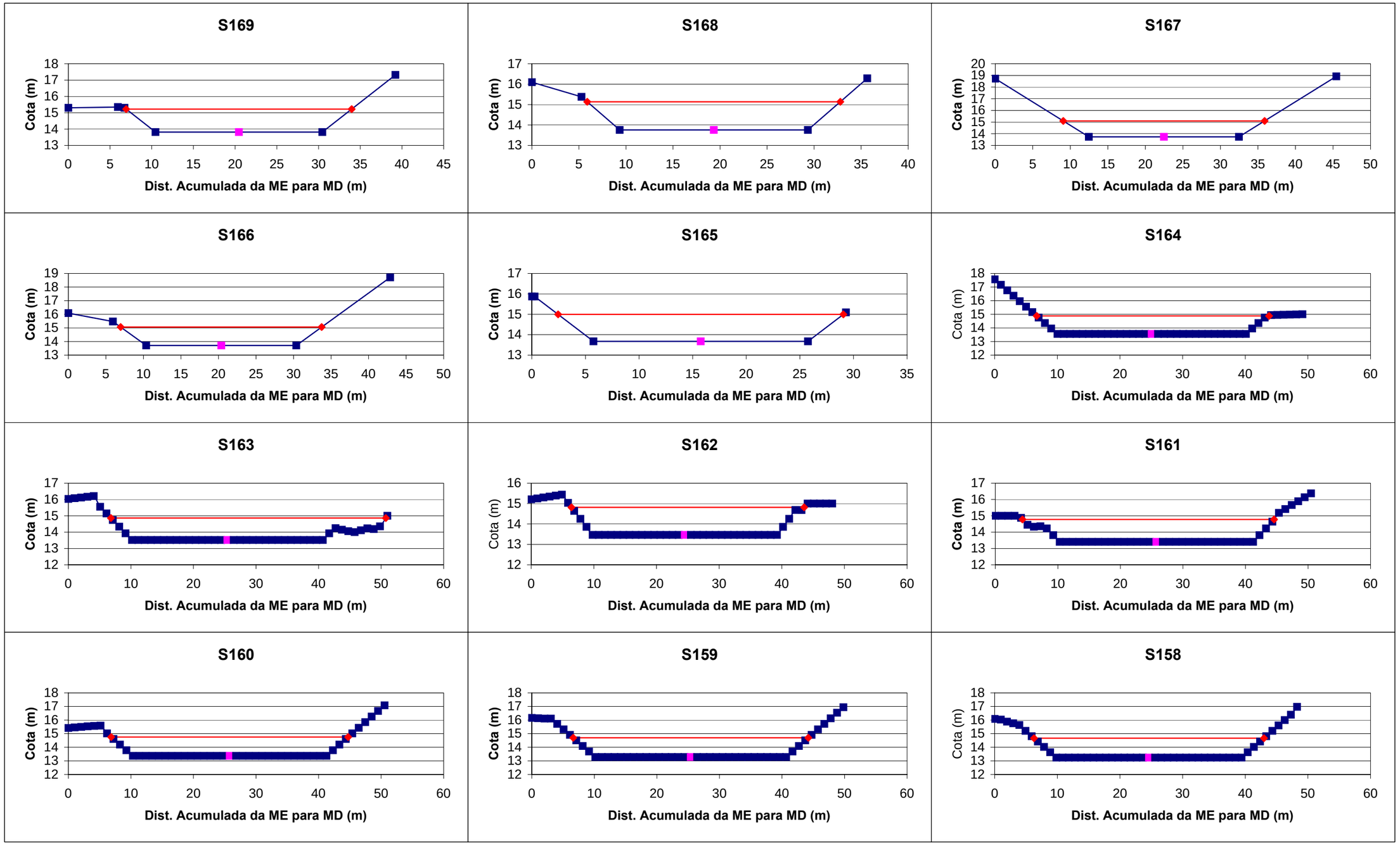
S183

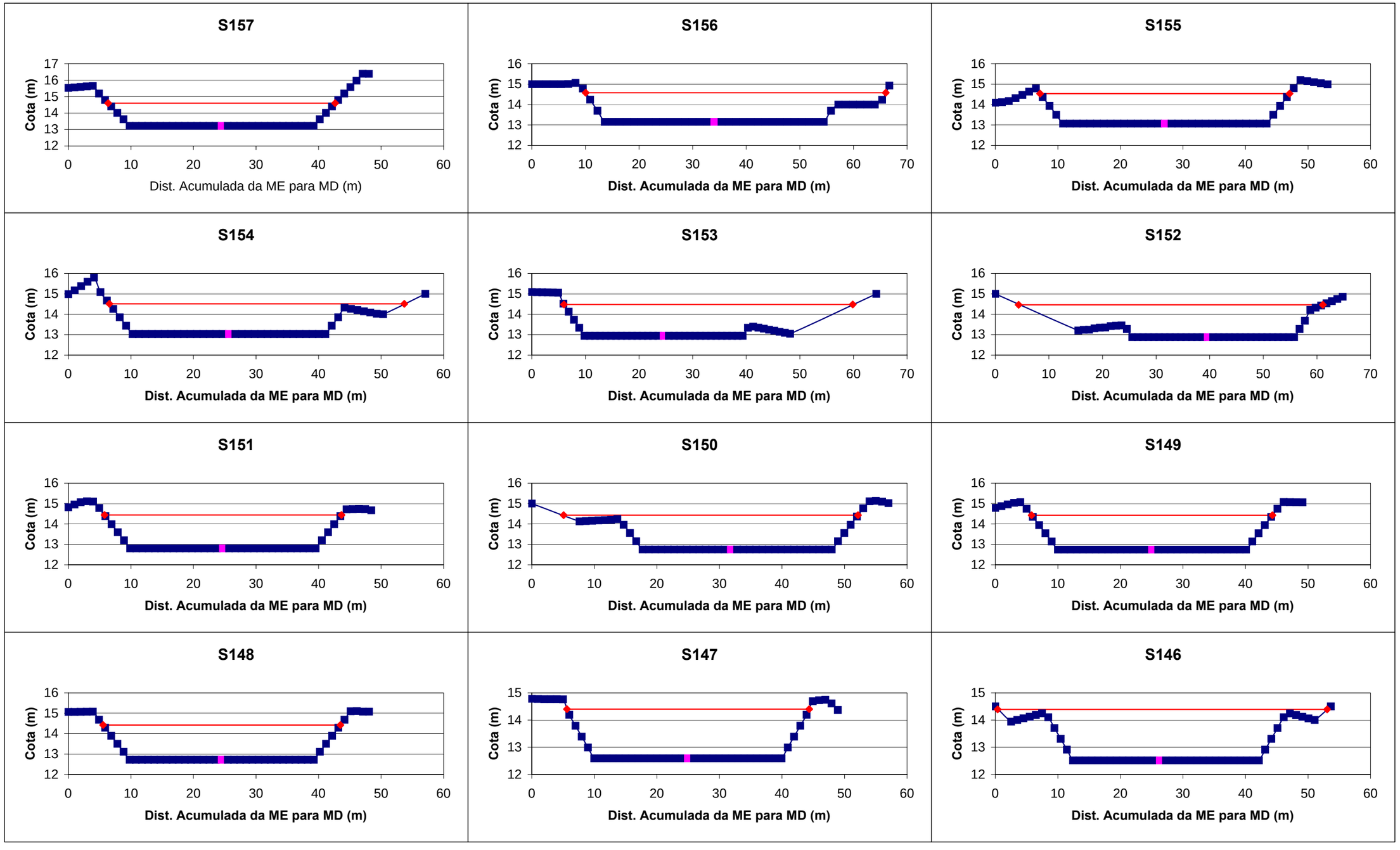


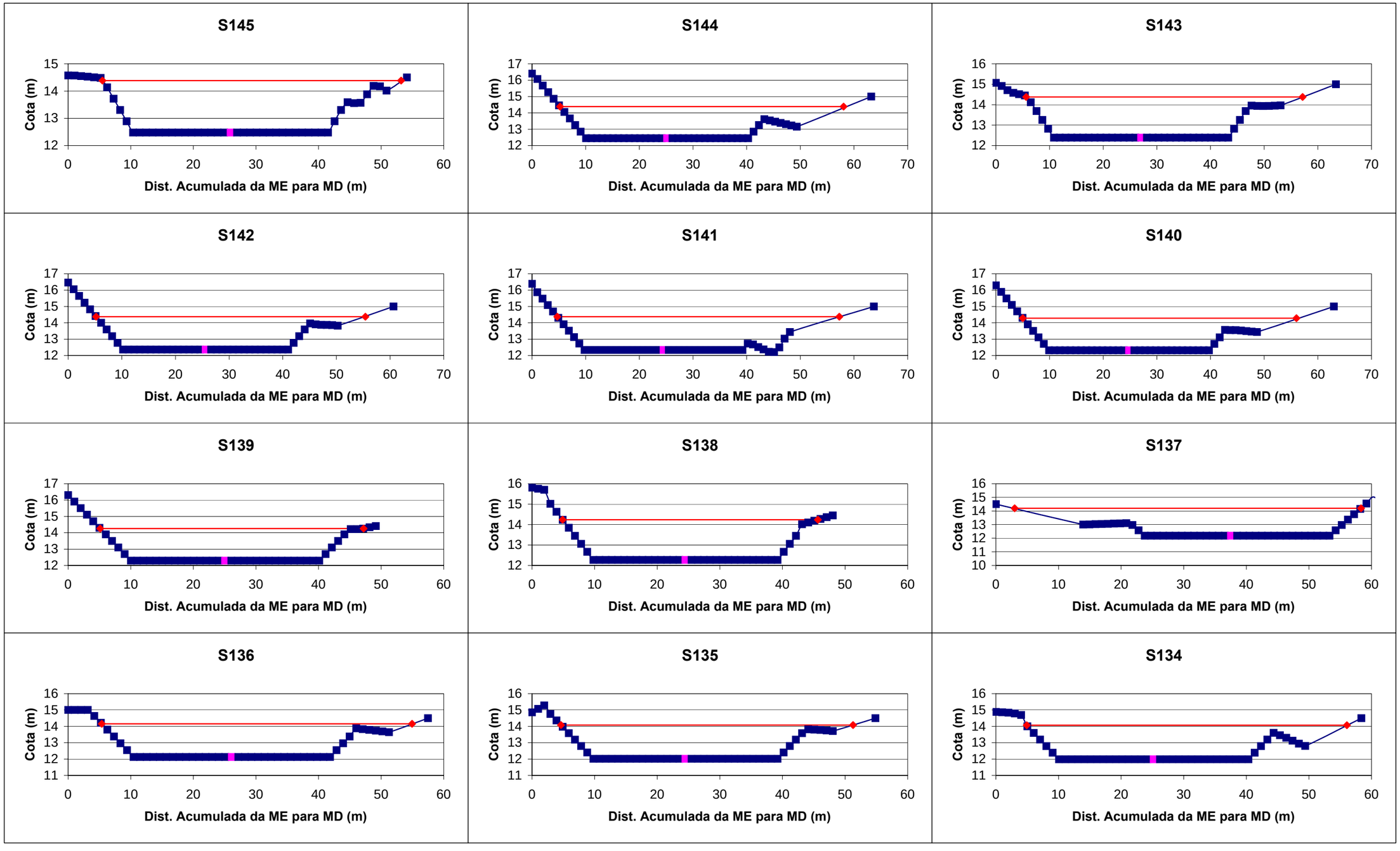
S182

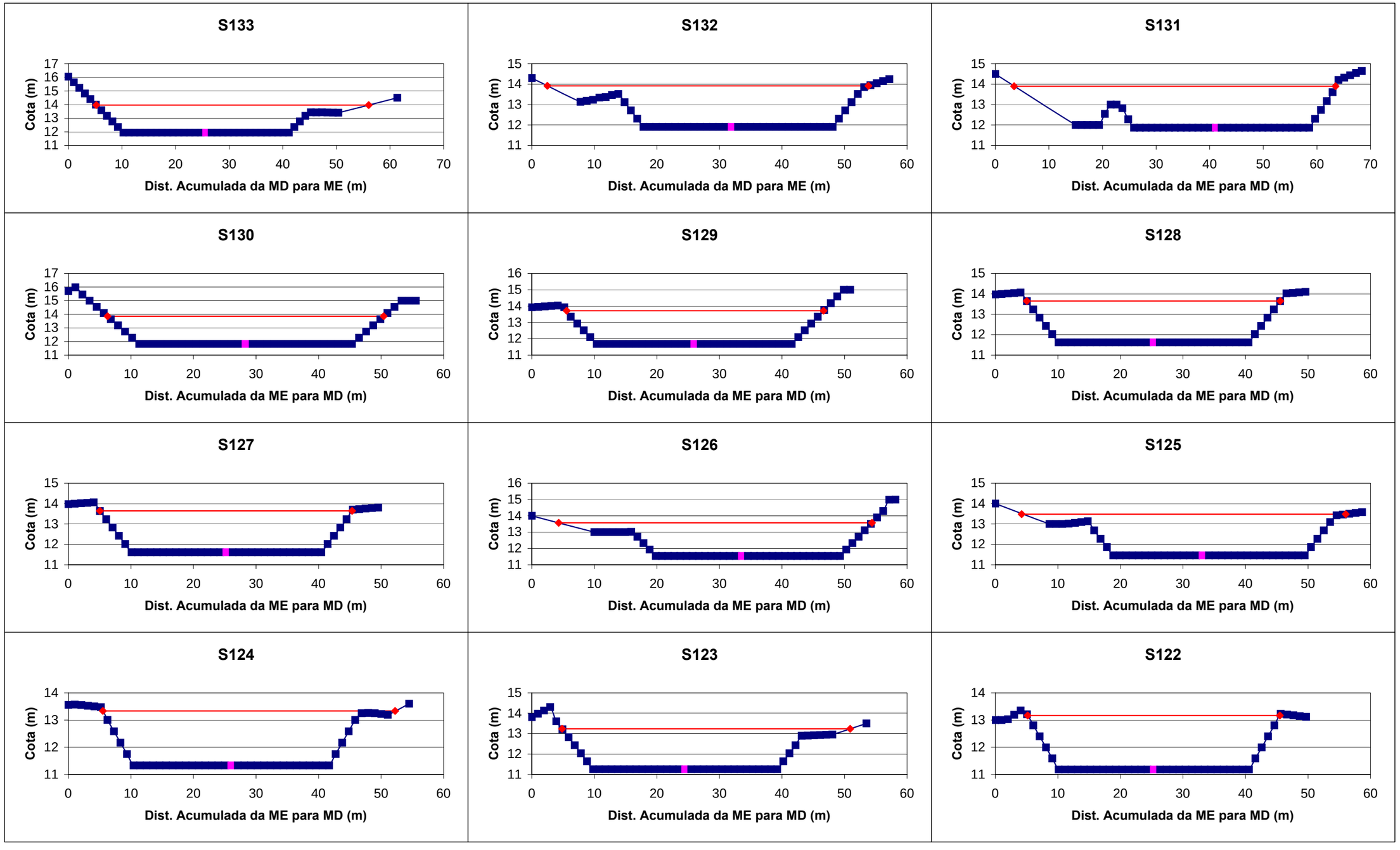


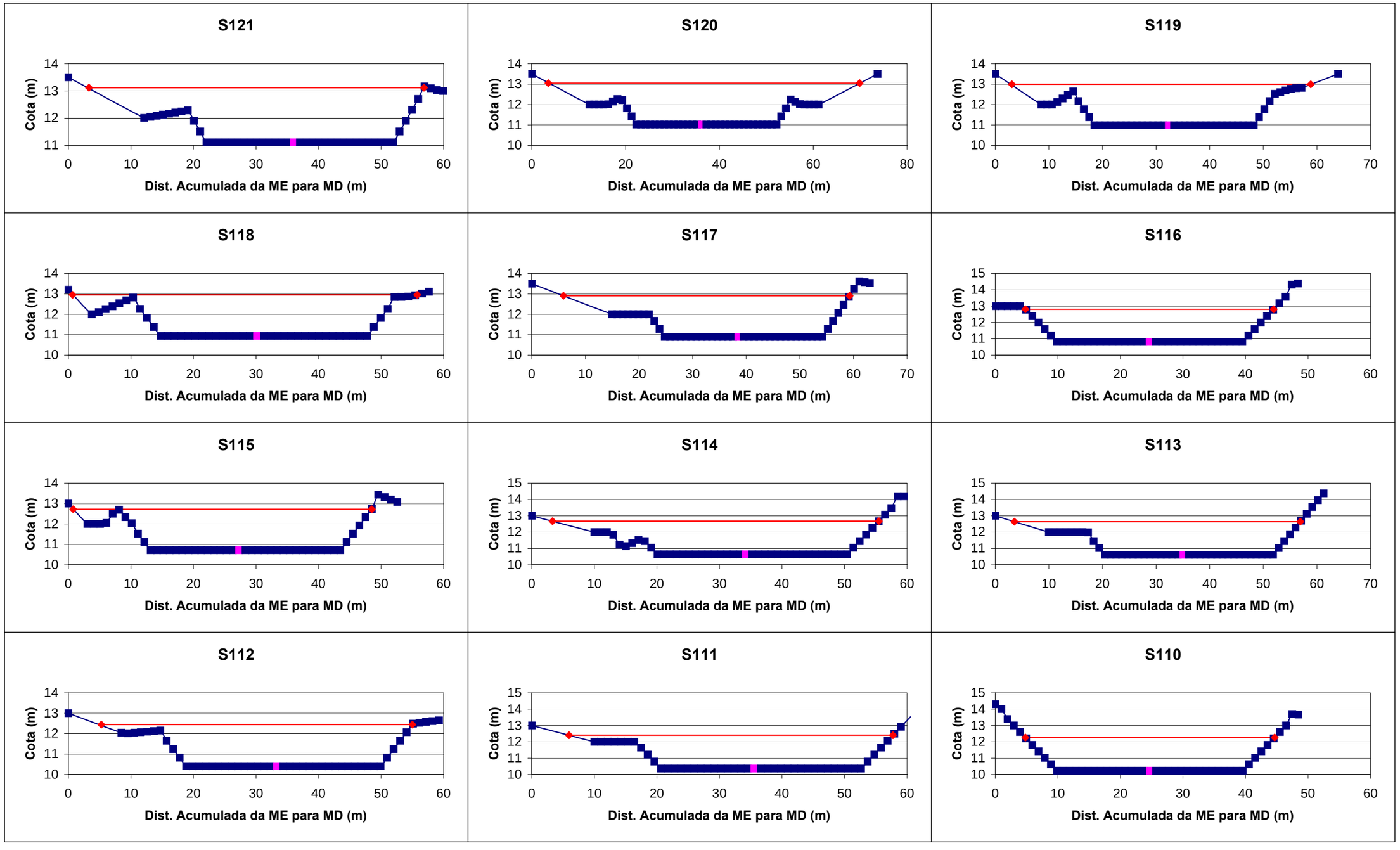

S181
S180
S179
S178
S177
S176
S175
S174
S173
S172
S171
S170
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

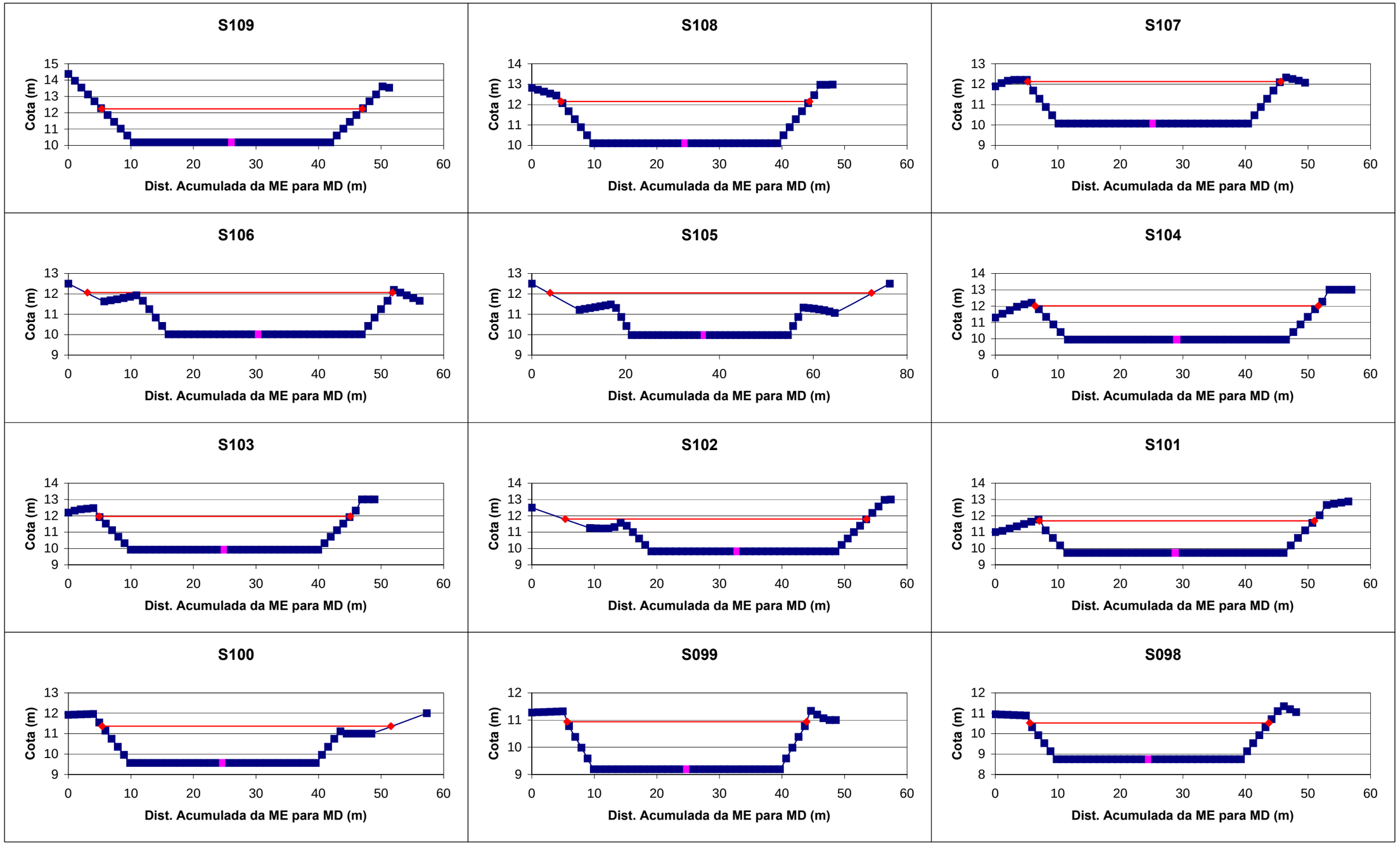

S169
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S168
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S167
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S166
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S165
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S164
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S163
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S162
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S161
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S160
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S159
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S158
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

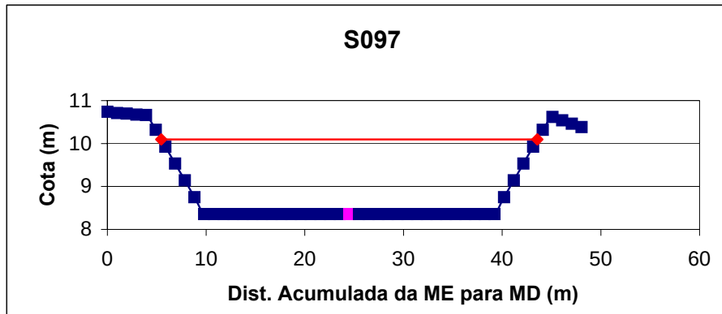

S157
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S156
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S155
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S154
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S153
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S152
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S151
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S150
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S149
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S148
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S147
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S146
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

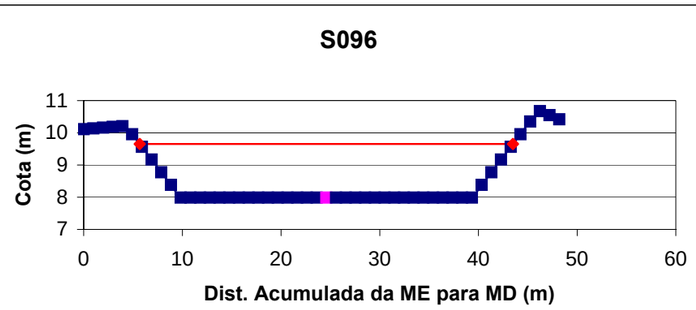

S145
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S144
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S143
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S142
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S141
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S140
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S139
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S138
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S137
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S136
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S135
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S134
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

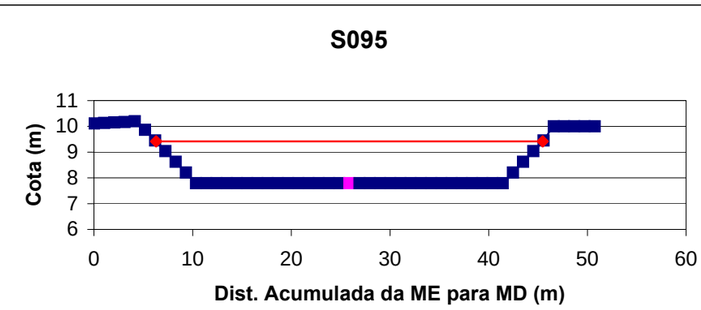

S133
Cota (m)
Dist. Acumulada da MD para ME (m)
S132
Cota (m)
Dist. Acumulada da MD para ME (m)
S131
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S130
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S129
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S128
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S127
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S126
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S125
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S124
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S123
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S122
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

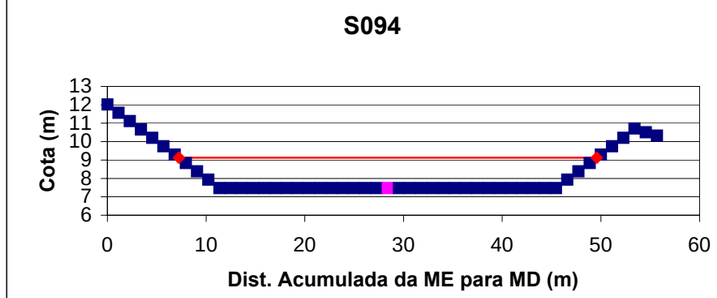

S121
S120
S119
S118
S117
S116
S115
S114
S113
S112
S111
S110
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

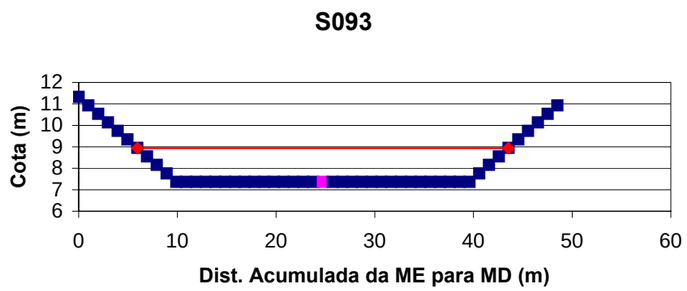

S109
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S108
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S107
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S106
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S105
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S104
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S103
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S102
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S101
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S100
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S099
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S098
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

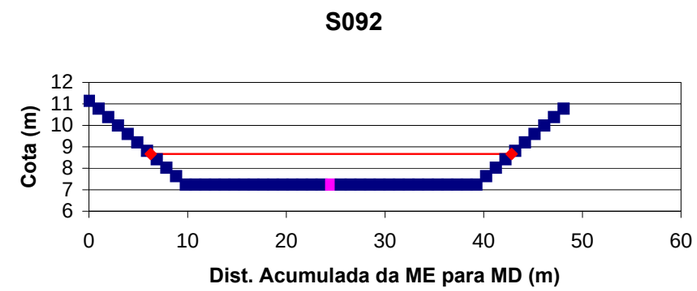

S097
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

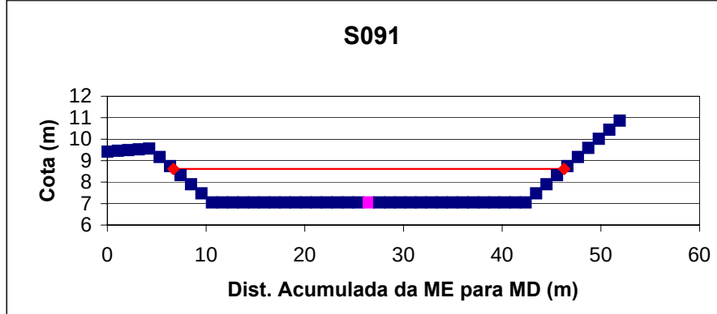

S096
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

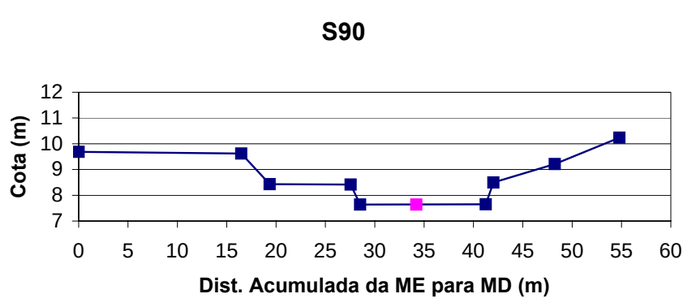

S095
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

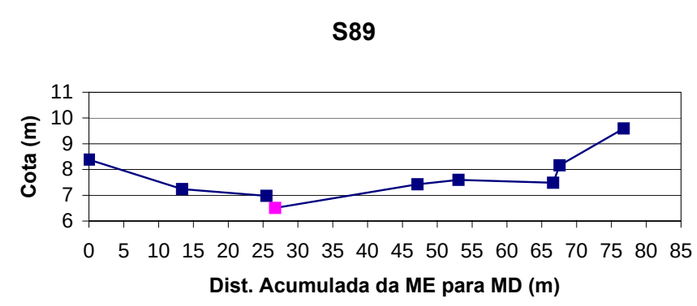

S094
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

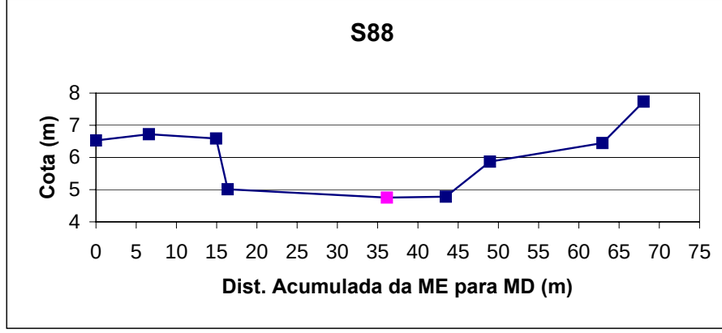

S093
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

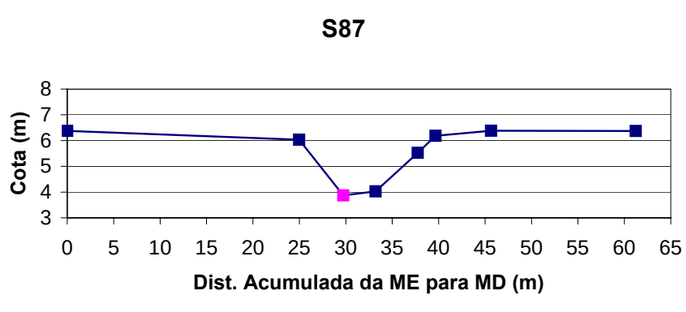

S092
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

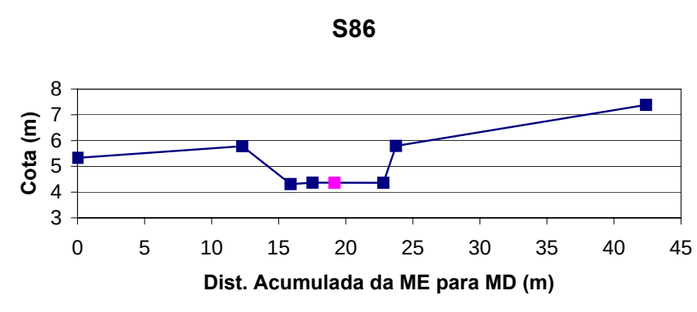

S091
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

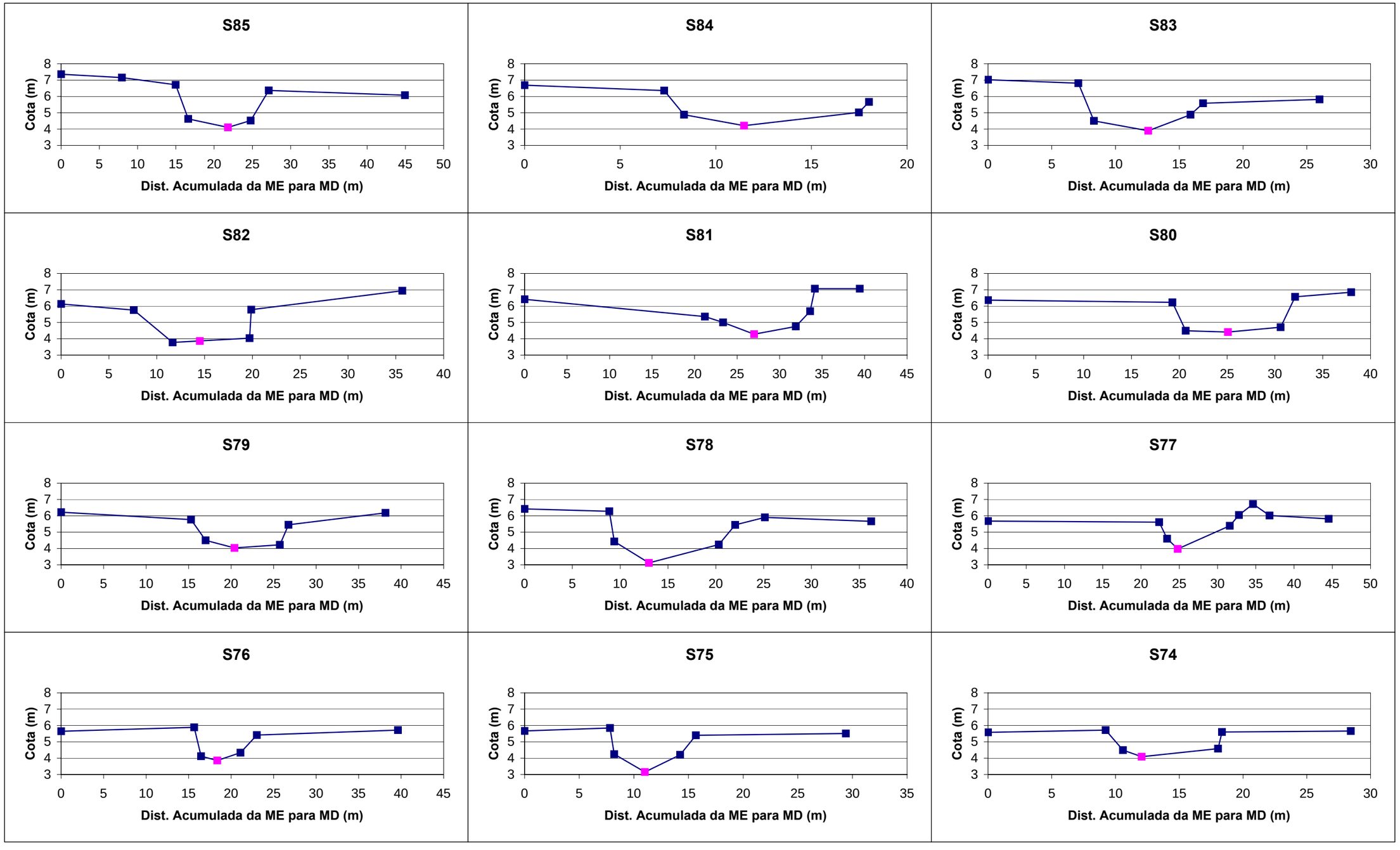

S90
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

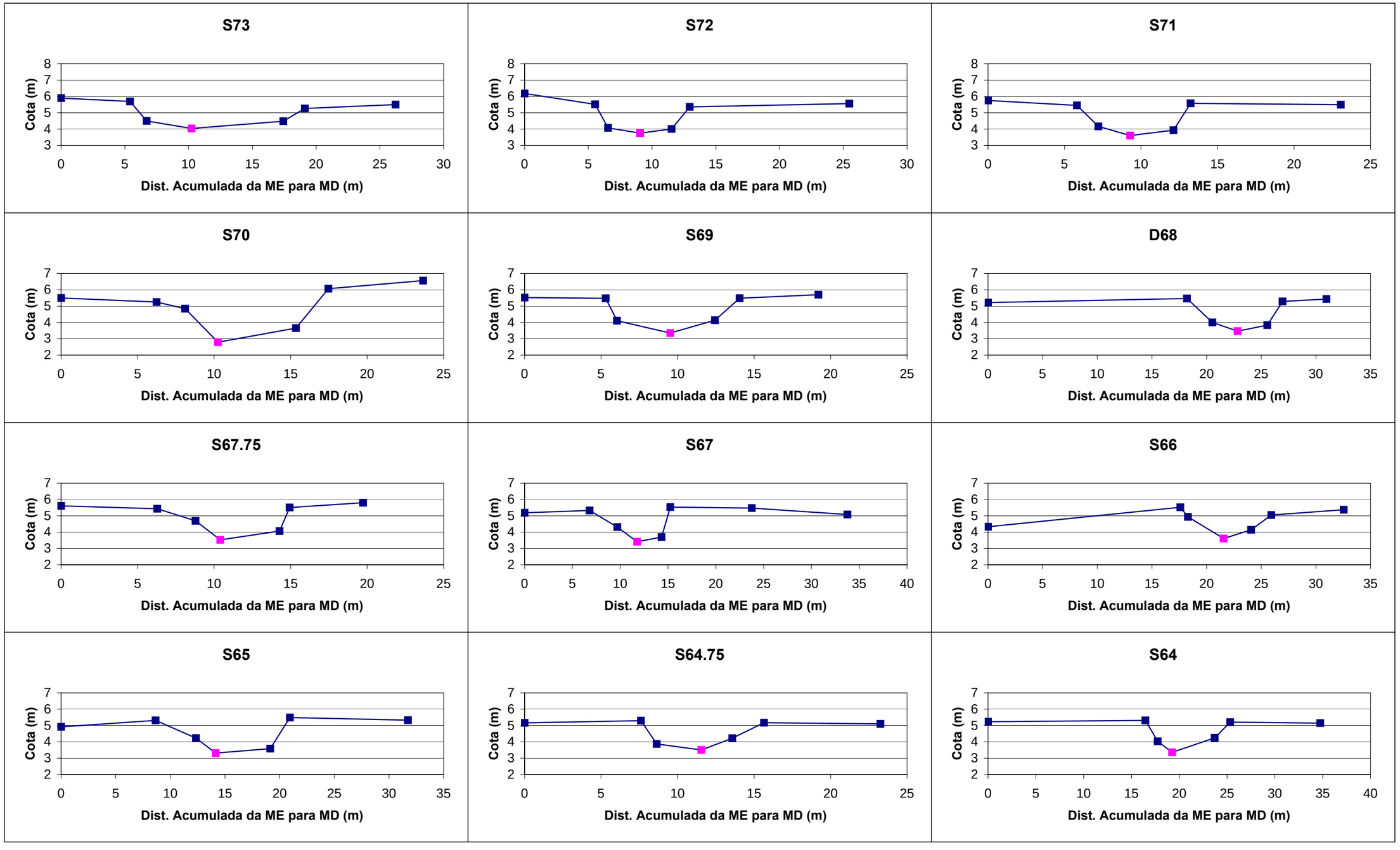

S89
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

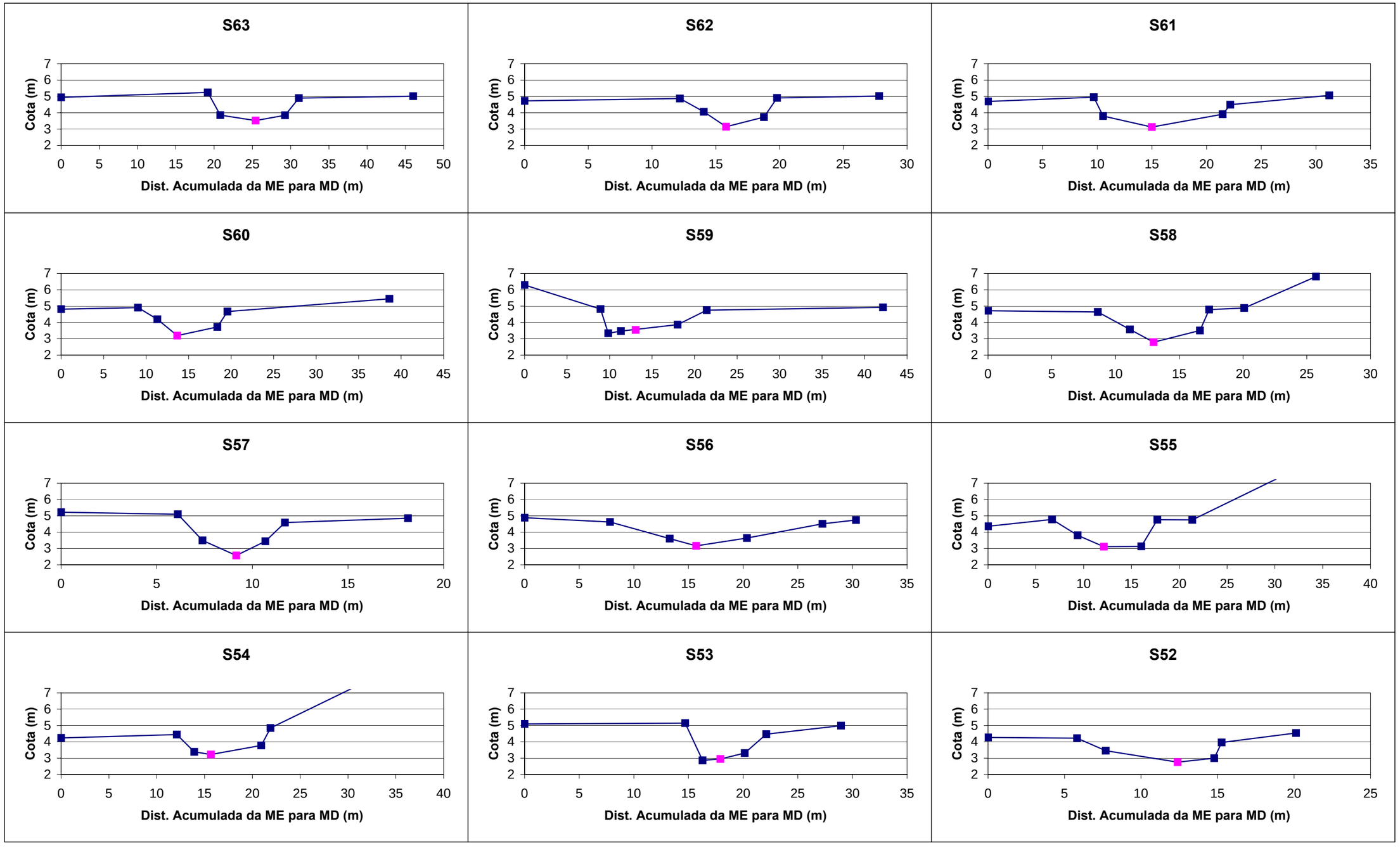

S88
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

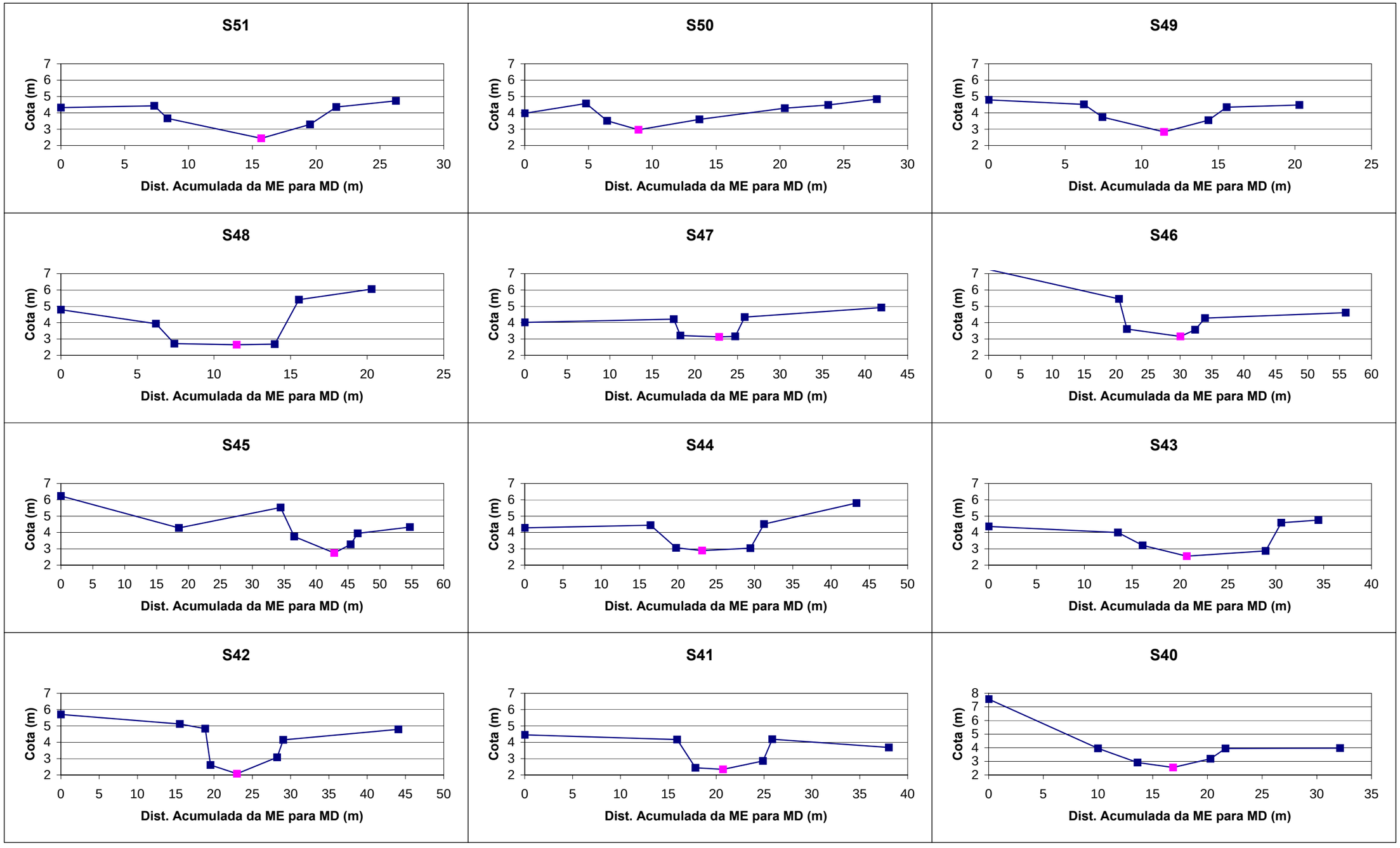

S87
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

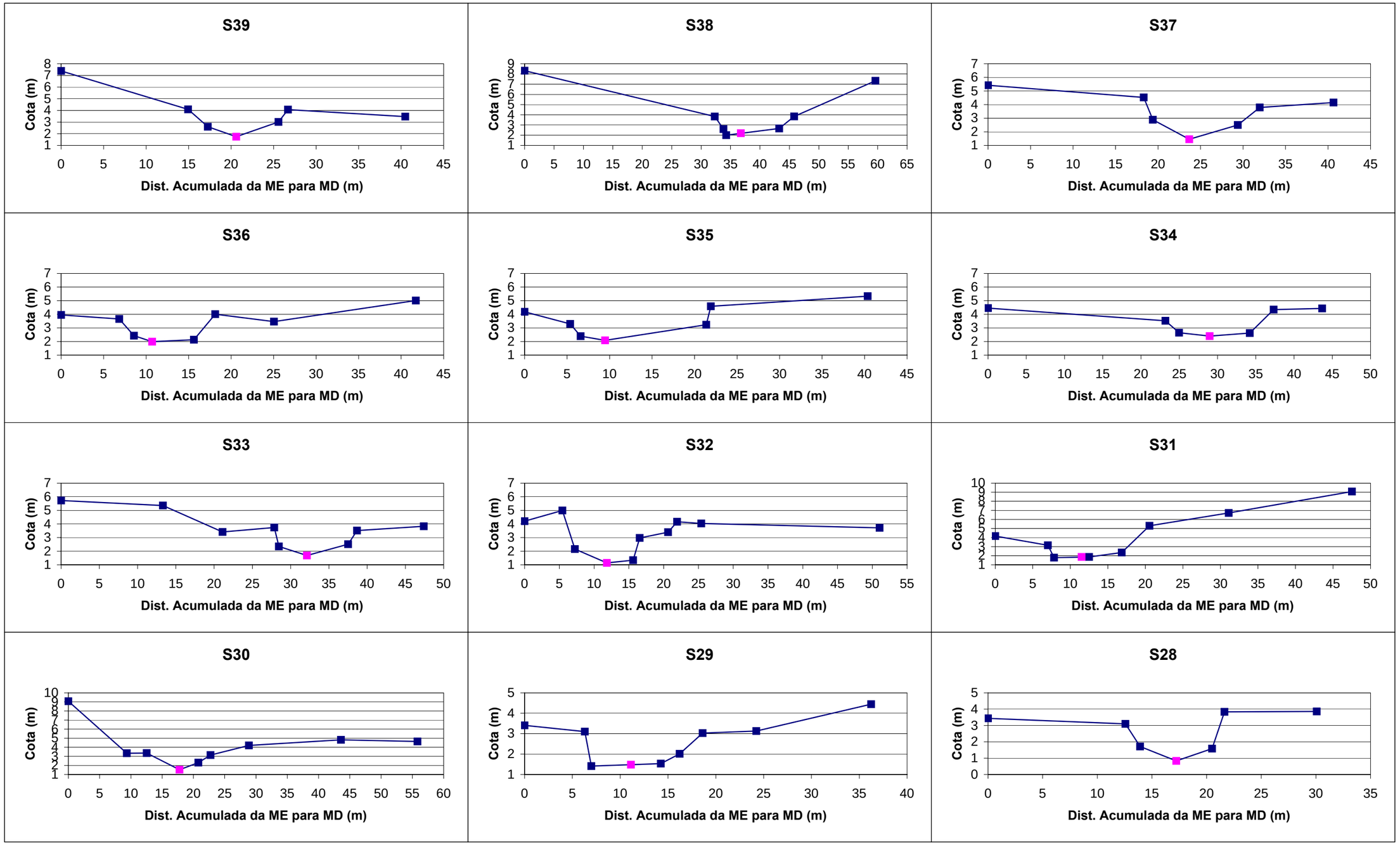

S86
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

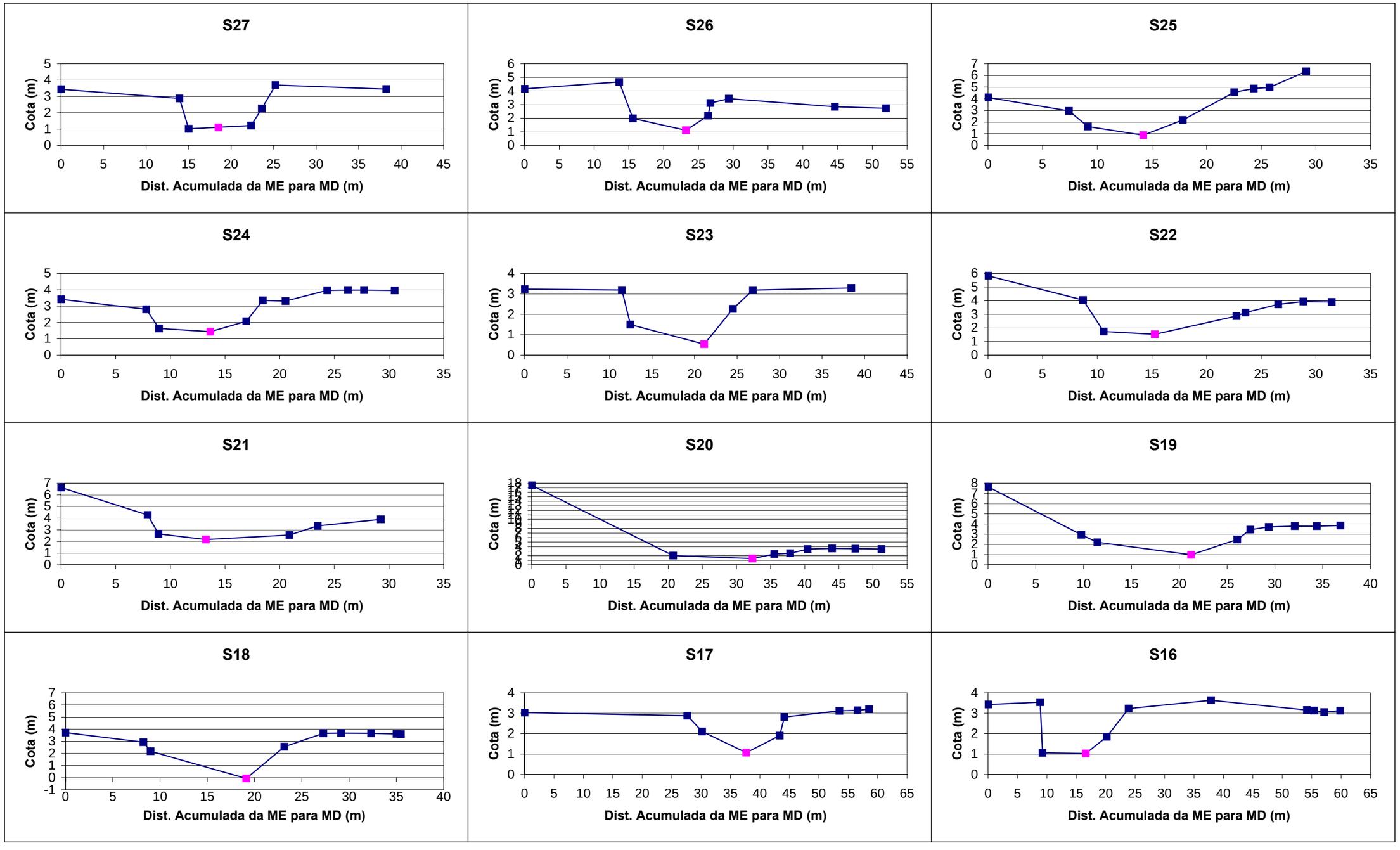

S85
S84
S83
S82
S81
S80
S79
S78
S77
S76
S75
S74
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

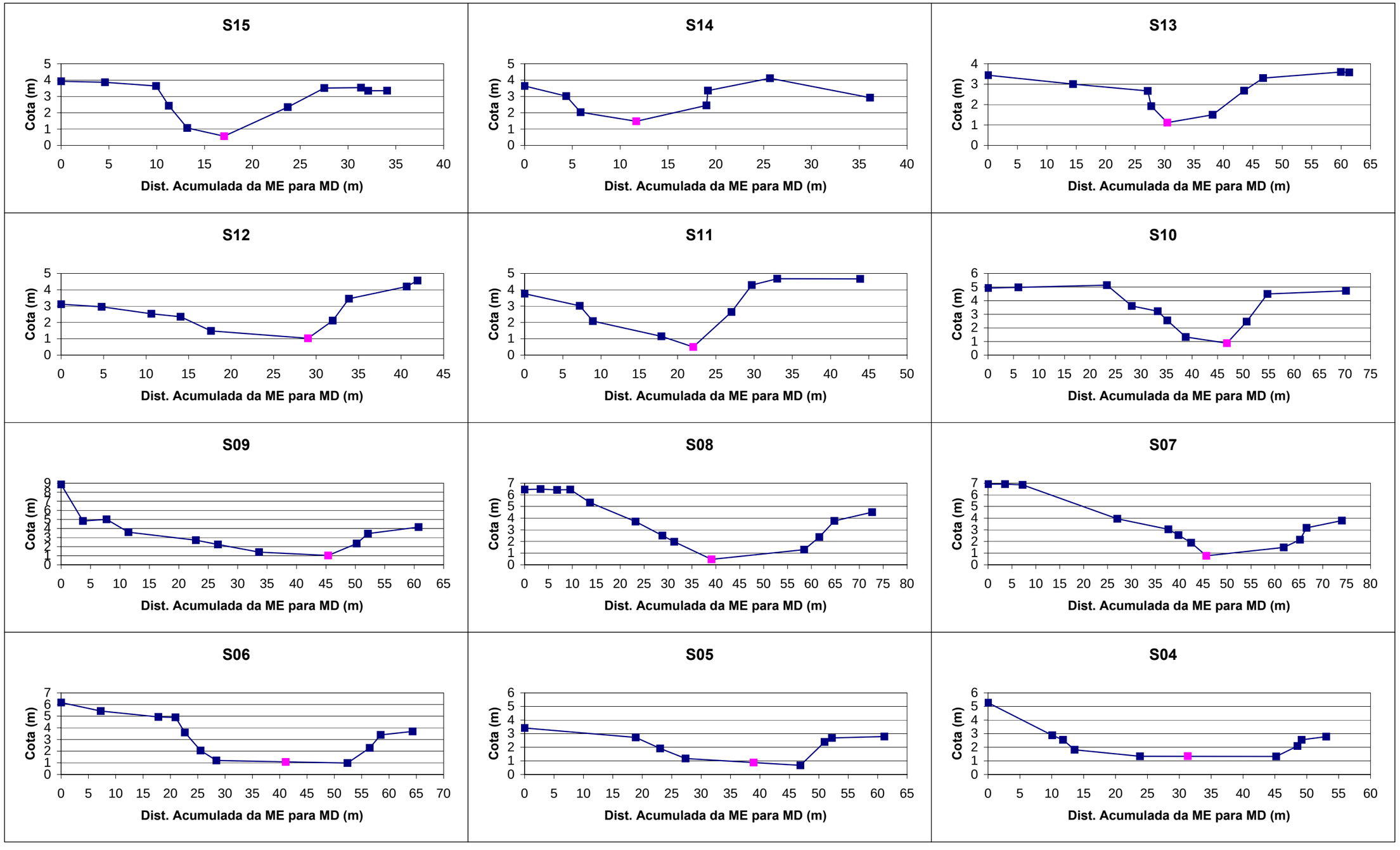

S73
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S72
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S71
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S70
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S69
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
D68
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S67.75
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S67
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S66
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S65
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S64.75
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S64
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

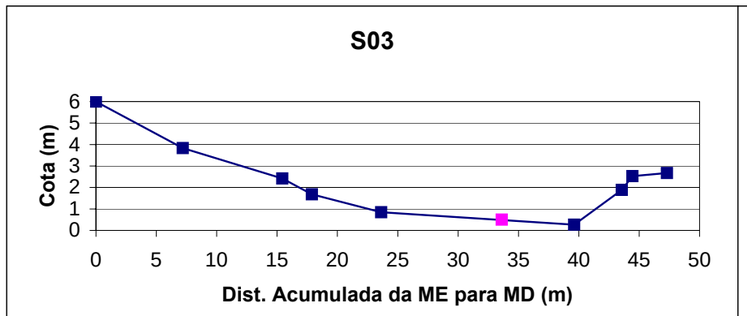

S63
S62
S61
S60
S59
S58
S57
S56
S55
S54
S53
S52
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

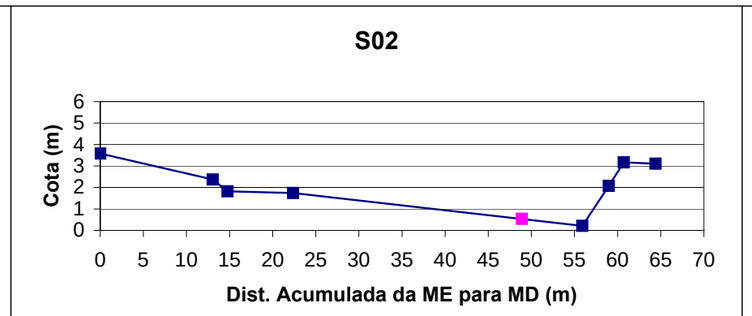

S51
S50
S49
S48
S47
S46
S45
S44
S43
S42
S41
S40
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

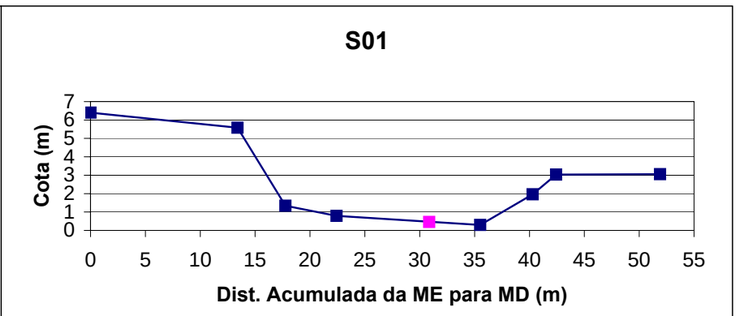

S39
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S38
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S37
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S36
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S35
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S34
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S33
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S32
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S31
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S30
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S29
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S28
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)

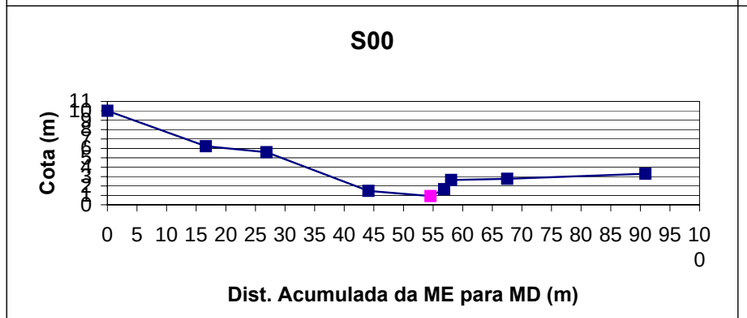

S27
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S26
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S25
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S24
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S23
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S22
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S21
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S20
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S19
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S18
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S17
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S16
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)


S15
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S14
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S13
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S12
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S11
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S10
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S09
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S08
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S07
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S06
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S05
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)
S04
Cota (m)
Dist. Acumulada da ME para MD (m)









LEGENDA
Linha do Terreno
Eixo de Escoamento