



UFSM

Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE UMA PEQUENA
BACIA HIDROGRÁFICA DE ENCOSTA**

Sergio Luiz Belló

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

Dezembro / 2004

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE UMA PEQUENA
BACIA HIDROGRÁFICA DE ENCOSTA**

Por

Sergio Luiz Belló

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil.

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

Dezembro / 2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE UMA PEQUENA
BACIA HIDROGRÁFICA DE ENCOSTA**

elaborada por
Sergio Luiz Belló

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva (CT/UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Péricles Alves Medeiros (UFSC)

Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva (UFSM)

Santa Maria, 22 de Dezembro de 2004.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial à Nina que sempre esteve comigo mesmo com a minha ausência.

Ao professor e amigo João Batista Dias de Paiva pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao CT-HIDRO- Fundo Setorial de Recursos Hídricos, FINEP Financiadora de Estudos e Projetos CNpq pela bolsa de estudos e pelos recursos financeiros concedidos.

Ao GHIDROS- Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFSM pelo apoio e a estrutura disponibilizada para a realização da pesquisa.

Ao colega de mestrado Thiago Z. Moraes pelo coleguismo, ao bolsista Fábio Alex Beling; o meu muito obrigado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria.

O meu agradecimento.

DEDICATÓRIA

A minha esposa, Nina, aos meus
filhos, Thais, Mariah e Gabriel, aos meus pais
Fermino (In memorium) e Leonita (In memorium), dedico.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE REDUÇÕES (Siglas e Abreviaturas)	xxiii
LISTA DE REDUÇÕES (Simbologia)	xxv
RESUMO	xxviii
ABSTRACT	xli
1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2 – REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 – Identificação e caracterização da bacia hidrográfica	3
2.2 – Caracterização das medidas pluviométricas	4
2.3 – Medidas hidráulicas	5
2.3.1 – Caracterização das vazões; máximas e mínimas	5
2.3.2 – Vazões máximas	6
2.3.3 – Vazões mínimas	6
2.3.4 – Medições das vazões	7
2.3.4.1 – Medições de vazões em pequenos córregos	8
2.4 – Processos erosivos.....	10
2.4.1 – Origem dos processos erosivos	10
2.4.2 – Agentes erosivos e seus processos	11
2.4.3 – Fatores condicionantes dos processos erosivos	14
2.4.4 – Capacidade e forma do transporte de sedimentos.....	15
2.5 – Produção de sedimentos.....	16
2.5.1 – Efeitos da urbanização na produção de sedimentos.....	18
2.5.2 – Fatores que contribuem com a erosão no processo de urbanização	19
2.6 – Transporte de sólidos	21
2.6.1 – Transporte de sólidos através do escoamento superficial.....	21
2.6.2 – Transporte de sólidos nos cursos de água.....	22
2.6.3 – Início do movimento de partículas não coesivas em leitos de canais	23
2.6.3.1 - Transporte de sedimentos em rios	23
2.6.3.2 – Fluxo fluvial	23
2.7 – Medidas hidrosedimentométricas	27

2.7.1 – Estimativa da produção de sedimentos e critérios de avaliação	27
3 - MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 – Caracterização geral da bacia.....	29
3.1.1 - Localização	29
3.1.2 - Solos.....	30
3.1.3 – Uso e cobertura dos solos.....	31
3.1.4 – Determinação das características físicas.....	31
3.2 – Determinação e caracterização das medidas pluviométricas.....	32
3.3 – Medidas hidráulicas	32
3.3.1 – Determinação das descargas líquidas.....	32
3.3.2 – Estrutura de medição calha (I) composta.....	33
3.3.3 – Estrutura de medição calha (II).....	36
3.3.4 – Curva chave das descargas líquidas	38
3.4 – Medidas hidrosedimentométricas	39
3.4.1 – Determinação das descargas sólidas	39
3.4.1.1 – Sedimentos em suspensão.....	39
3.4.1.1.1 – Equipamentos utilizados	39
3.4.1.1.2 – Curva chave dos sedimentos em suspensão.....	45
3.4.1.3 - Sedimentos produzidos pela enxurrada	45
3.4.1.3.1- Equipamentos utilizados	45
3.4.1.2.2 – Curva chave dos sedimentos de fundo.....	45
3.4.1.3.2 - Curva chave dos sedimentos da enxurrada.....	47
3.4.2 - Sedimentos totais	47
3.4.2.1 – Curva chave dos sedimentos totais	48
3.4.2.2– Sedimentogramas	48
3.5 - Amostragens e análise dos sedimentos.....	49
3.5.1 – Sedimentos em suspensão	49
3.5.2 – Sedimentos de fundo e da enxurrada	50
3.6 – Determinação do volume superficial escoado e da produção de sedimentos	51
3.6.1 - Estimativa da produção de sedimentos através das curvas chave do volume superficial escoado	52
3.7 – Relação entre a estimativa de produção dos sedimentos das áreas urbanas e em urbanização.....	53

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 – Caracterização geral da bacia hidrográfica	54
4.1.1 – Solos	54
4.1.2 – Uso e cobertura do solo.....	55
4.1.3 – Características físicas	56
4.2 – Determinação e caracterização das medidas pluviométricas	57
4.3 – Medidas hidráulicas	58
4.3.1 – Determinação das descargas líquidas.....	58
4.3.2 – Estrutura de medição da seção calha I	58
4.3.2.1 – Curvas chave da estrutura de medição calha I	59
4.3.3 – Estrutura de medição da seção calha II.....	64
4.3.3.1- Curva chave da seção calha II	64
4.4 - Medidas hidrosedimentométricas	65
4.4.1 - Determinação das descargas sólidas.....	65
4.4.1.1 - Sedimentos em suspensão	66
4.4.1.1.1- Curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha I	66
4.4.1.1.2 – Curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha II	67
4.4.1.2 - Sedimentos de fundo.....	70
4.4.1.2.1 – Curva chave dos sedimentos de fundo da estrutura calha I	70
4.4.1.2.2 – Curva chave dos sedimentos coletados pelos amostradores tipo fossa de sedimentos da estrutura calha II.....	72
4.4.1.3 – Sedimentos totais	74
4.4.1.3.1 – Curva chave dos sedimentos totais da estrutura calha I	74
4.4.1.3.2 – Curva chave dos sedimentos totais da estrutura calha II	75
4.4.2 - Sedimentogramas.....	77
4.5 - Amostragens e análise dos sedimentos.....	87
4.5.1 - Sedimentos em suspensão.....	87
4.5.2 - Sedimentos de fundo.....	89
4.5.2.2 - Sedimentos da enxurrada da estrutura de medição calha II	97
4.6 - Determinação dos parâmetros do volume superficial escoado e da produção de sedimentos	102
4.6.1– Estimativa da produção de sedimentos através das curvas chave do volume superficial escoado	111

4.7 – Relação entre a estimativa de produção de sedimentos das áreas urbana e em urbanização	116
5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	120
5.1 - Conclusões	120
5.2 – Recomendações.....	122
6 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	123
7 – ANEXOS.....	130
7.1 Anexos A e B (CD).....	130

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Identificação dos solos na bacia hidrográfica.....	54
QUADRO 02 – Características físicas da bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro.....	56
QUADRO 03 – Precipitações totais ocorridas durante os eventos selecionados.....	57
QUADRO 04 – Dados para elaboração da curva chave da calha I.....	59
QUADRO 05 – Dados para elaboração da curva chave do vertedor esquerdo.....	59
QUADRO 06 – Dados para elaboração da curva chave do vertedor direito.....	60
QUADRO 07 – Dados para elaboração da curva chave calculada e da equação composta.....	60
QUADRO 08 – Dados para elaboração da curva chave dos dois vertedores, e da calha e vertedores para lâmina d'água maiores que 26 cm.....	60
QUADRO 09 – Dados para elaboração da curva chave da calha II.....	64
QUADRO 10 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos em suspensão da calha I.....	67
QUADRO 11 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos em suspensão da calha II.....	68
QUADRO 12 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos de fundo com o amostrador Waslenchuk.....	70
QUADRO 13 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos fundo com o amostrador Helle Smith.....	71

QUADRO 14 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos produzidos pela enxurrada da calha II.....	73
QUADRO 15 – Dados para elaboração da descarga líquida total pela descarga sólida total da calha I.....	74
QUADRO 16 – Dados para elaboração da descarga líquida total pela Descarga sólida total da calha II.....	76
QUADRO 17 – Dados para elaboração das curvas de ajuste dos eventos De 11/12/03 e 16/06/03 da calha I.....	78
QUADRO 18 – Amostras dos sedimentos em suspensão da calha I.....	88
QUADRO 19 – Amostras dos sedimentos em suspensão da calha II.....	88
QUADRO 20 – Resultado da análise do amostrador Helle Smith do dia 08/07/03.....	89
QUADRO 21 – Resultado da análise do amostrador Helle Smith do dia 11/12/03.....	89
QUADRO 22 – Resultado da análise do amostrador Helle Smith do dia 16/06/03.....	90
QUADRO 23 – Resultado da análise do amostrador Waslenchuck do dia 02/06/03.....	90
QUADRO 24 – Resultado da análise do amostrador Waslenchuck do dia 07/06/03.....	90
QUADRO 25 – Resultado da análise do amostrador Fossa de Sedimentos do dia 11/12/03.....	97
QUADRO 26 – Resultado da análise do amostrador Fossa de Sedimentos do dia 15/12/03.....	97
QUADRO 27 – Resultado da análise do amostrador Fossa de Sedimentos do dia 25 e 26/10/03.....	97

QUADRO 28 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup*qp Pela produção de sedimentos da estrutura de medição Calha I.....	112
QUADRO 29 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup total pela produção de sedimentos da estrutura de me- dição Calha I.....	112
QUADRO 30 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup*qp pela produção de sedimentos da estrutura de medição calha II.....	114
QUADRO 31 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup total pela produção de sedimentos da estrutura de me- dição Calha II.....	114
QUADRO 32 – Dados obtidos por (Belinaso, 2002) observados e cal- culados para a estrutura de medição Calha I.....	117
QUADRO 33 – Dados observados e calculados para a estrutura de me- dição Calha I.....	118

LISTA DE QUADROS – Anexo A

QUADRO 34 – Dados de Concentração Sedimentos em Suspensão Va- zão Calha I.....	129
QUADRO 35– Dados de Concentração Sedimentos em Suspensão Va- zão Calha I	130
QUADRO 36– Dados de Concentração Sedimentos em Suspensão Ca- lha II	131

QUADRO 37– Dados de Concentração Sedimentos em Suspensão Ca- lha II	132
QUADRO 38– Amostras Sedimentos de Fundo Calha I do Amostrador Holley Smith	133
QUADRO 39– Amostras Sedimentos de Fundo Calha I do Amostra- dor Waslenchuck	133
QUADRO 40– Amostras de Sedimentos da Enxurrada Calha II (Ane- xo A).....	134
QUADRO 41 - Análise Granulométrica Sedimentos de Fundo Calha I (Amostrador Waslenshuk) Evento 07/06/03	135
QUADRO 42 - Análise Granulométrica Sedimentos de Fundo Calha I (Amostrador Waslenshuk) Evento 02/06/03	136
QUADRO 43 - Análise Granulométrica Sedimentos de Fundo Calha I (Amostrador Holley Smith) Evento 02/06/03.....	137
QUADRO 44 - Análise Granulométrica Sedimentos de Fundo Calha I (Amostrador Holley Smith) Evento 11/12/03	138
QUADRO 45 - Análise Granulométrica Sedimentos de Fundo Calha I (Amostrador Holley Smith) Evento 16/06/03.....	139
QUADRO 46 - Análise Granulométrica Sedimentos da Enxurrada Ca- lha II Evento 11/12/03.....	140
QUADRO 47 - Análise Granulométrica Sedimentos da Enxurrada Ca- lha II Evento 15/12/03	141
QUADRO 48 - Análise Granulométrica Sedimentos da Enxurrada Ca- lha II Evento 25 e 26/12/03	142

LISTA DE QUADROS – Anexo B

QUADRO 49 - Dados Medidos de Lâmina da Água da Calha I.....	606
QUADRO 50 - Dados Medidos de Lâmina da Água dos Vertedouros....	
Esquerdo.....	606
QUADRO 51 - Dados Medidos de Lâmina da Água dos Vertedouros....	
Direito.....	606
QUADRO 52 - Dados Medidos de Lâmina da Água da Calha II.....	607
QUADRO 53 - Dados Medidos de Lâmina da Água da Calha II.....	607

LISTA DE TABELAS**LISTA DE TABELAS – Anexo A**

TABELA 16 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 15/07/03.....	143
TABELA 17 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 22/05/03.....	173
TABELA 18 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 24/09/03.....	204
TABELA 19 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 11/12/03.....	235
TABELA 20 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 05/08/03.....	266
TABELA 21 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 21/06/03.....	297
TABELA 22 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 16/06/03.....	327
TABELA 23 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (I) do evento de 24/07/03.....	358
TABELA 24 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 21/09/03.....	390

TABELA 25 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 08/10/03.....	420
TABELA 26 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 25 e 26/10/03.....	451
TABELA 27 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 31/10/03.....	482
TABELA 28 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 16/06/03.....	513
TABELA 29 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 15/12/03.....	544
TABELA 30 – Sedimentograma da estrutura de medição calha (II) do evento de 11/12/03.....	574

LISTA DE TABELAS – Anexo B

TABELA 01 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 22/05/03.....	608
TABELA 02 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 15/07/03.....	641
TABELA 03 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 24/09/03.....	674
TABELA 04 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 11/12/03.....	707

TABELA 05 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 05/08/03.....	740
TABELA 06 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 21/06/03.....	773
TABELA 07 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 16/06/03.....	806
TABELA 08 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (I) do evento de 16/06/03.....	839
TABELA 09 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 21/09/03.....	871
TABELA 10 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 08/10/03.....	900
TABELA 11 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 25 e 26/10/03.....	929
TABELA 12 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 31/10/03.....	958
TABELA 13 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 11/12/03.....	967
TABELA 14 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 15/12/03.....	1016
TABELA 15 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha (II) do evento de 16/06/03.....	1045

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Pico da concentração de sedimentos se antecipando em relação ao pico de vazão.....	26
FIGURA 02 – Simultaneidade do pico da concentração de sedimentos e da vazão.....	26
FIGURA 03 – Pico da concentração de sedimentos se atrasando ao pico de vazão.....	27
FIGURA 04 – Mapa de localização.....	29
FIGURA 05 – Locação das estruturas de medição e das áreas de contribuições.....	33
FIGURA 06 – Esquema de medição das calhas e vertedores.....	36
FIGURA 07 – Estrutura de medição calha (I) composta.....	37
FIGURA 08 – Esquema de funcionamento da estrutura de medição calha (I) composta.....	38
FIGURA 09 – Estrutura de medição calha (II).....	39
FIGURA 10 – Amostrador US-U-59 (ANA)	43
FIGURA 11 – Amostrador Helleys-Smith em operação.....	45
FIGURA 12 – Amostrador Waslenchuk.....	46
FIGURA 13 – Amostrador Fossa de Sedimentos em operação.....	48
FIGURA 14 – Esquema com as dimensões do amostrador tipo fossa de Sedimentos da estrutura de medição calha (II).....	49
FIGURA 15 – Unidades pedológicas de solo.....	56
FIGURA 16 – Uso e cobertura do solo. Fonte (Belinaso, 2002).....	57
FIGURA 17 – Gráfico das precipitações totais nos eventos selecionados..	60
FIGURA 18 – Curva chave da calha (I).....	63

FIGURA 19 – Curva chave do vertedor do lado esquerdo.....	63
FIGURA 20 – Curva chave do vertedor do lado direito.....	64
FIGURA 21 – Curva chave vertedores esquerdo e direito.....	64
FIGURA 22 – Curva chave, vertedores e calha para lâminas d’água > 26 cm.....	65
FIGURA 23 – Curva da equação composta para lâminas d’água.....	65
FIGURA 24 – Curva chave da calha II.....	67
FIGURA 25 – Curva média dos sedimentos em suspensão da calha I.....	71
FIGURA 26 – Curva média dos sedimentos em suspensão da calha II.....	71
FIGURA 27 – Curva chave dos sedimentos de fundo da calha I.....	73
FIGURA 28 – Curva chave dos sedimentos de fundo da calha I.....	74
FIGURA 29 – Curva chave dos sedimentos produzidos pela enxurrada da calha II.....	75
FIGURA 30 – Curva chave dos sedimentos totais da calha I.....	77
FIGURA 31 – Curva chave dos sedimentos totais da calha II.....	78
FIGURA 32 – Curva de ajuste do evento de 11/12/03 da calha I.....	81
FIGURA 33 – Curva de ajuste do evento de 16/06/03 da calha I.....	81
FIGURA 34 – Sedimentograma da calha I do evento de 15/07/03.....	82
FIGURA 35 – Sedimentograma da calha I do evento de 22/05/03.....	82
FIGURA 36 – Sedimentograma da calha I do evento de 24/09/03.....	83
FIGURA 37 – Sedimentograma da calha I do evento de 05/08/03.....	83
FIGURA 38 – Sedimentograma da calha I do evento de 21/06/03.....	84
FIGURA 39 – Sedimentograma da calha I do evento de 24/07/03.....	84
FIGURA 40 – Sedimentograma da calha I do evento de 11/12/03.....	85
FIGURA 41 – Sedimentograma da calha I do evento de 16/06/03.....	85
FIGURA 42 – Sedimentograma da calha II do evento de 21/06/03.....	86

FIGURA 43 – Sedimentograma da calha II do evento de 08/10/03.....	86
FIGURA 44 – Sedimentograma da calha II do evento de 31/10/03.....	87
FIGURA 45 – Sedimentograma da calha II do evento de 15/12/03.....	87
FIGURA 46 – Sedimentograma da calha II do evento de 11/12/03.....	88
FIGURA 47 – Sedimentograma da calha II do evento de 16/06/03.....	88
FIGURA 48 – Sedimentograma da calha II do evento de 25 e 26/10/03... FIGURA 49 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do e- vento de 08/07/03. (amostrador Helly Smith).....	89 91
FIGURA 50 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do e- vento de 11/12/03. (amostrador Helly Smith).....	92
FIGURA 51 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do e- vento de 16/06/03. (amostrador Helly Smith).....	93
FIGURA 52 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do e- vento de 02/06/03. (amostrador Waslenchuck).....	94
FIGURA 53 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do e- vento 07/06/03. (amostrador Waslenchuck).....	95
FIGURA 54 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela enxurrada da estrutura de medição calha II do evento 11/12/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).....	98
FIGURA 55 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela enxurrada da estrutura de medição calha II do evento	

15/12/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).....	99
FIGURA 56 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela Enxurrada da estrutura de medição calha II do evento 25 e 26/10/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).....	100
FIGURA 57 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 22/05/03.....	103
FIGURA 58 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 24/09/03.....	104
FIGURA 59 – Separação do escoamento superficial da estrutural de medição calha I do evento de 11/12/03.....	104
FIGURA 60 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 21/06/03.....	105
FIGURA 61 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 16/06/03.....	105
FIGURA 62 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 05/08/03.....	106
FIGURA 63 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 24/07/03.....	106
FIGURA 64 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 15/07/03.....	107
FIGURA 65 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 15/12/03.....	107
FIGURA 66 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 21/09/03.....	108
FIGURA 67 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 08/10/03.....	108

FIGURA 68 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 31/10/03.....	109
FIGURA 69 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 11/12/03.....	109
FIGURA 70 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição da calha II do evento de 16/06/03.....	110
FIGURA 71 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição da calha II do evento de 25 e 26/10/03.....	110
FIGURA 72 – Curva chave do VOLSup*qp da estrutura calha I.....	113
FIGURA 73 – Curva chave do VOLSup da estrutura calha I.....	113
FIGURA 74 – Curva chave do VOLSup*qp da estrutura calha II.....	115
FIGURA 75 – Curva chave do VOLSup da estrutura calha II.....	115

LISTA DE REDUÇÕES

Siglas e Abreviaturas

ABES	- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	- Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ACTMO	- Agricultural Chemical Transport Model
AGNPS	- Agricultural Nonpoint Source Pollution Model
AIRH	- International Association of Hydraulic Engineering and Research
AMS-1	- Amostrador de material em suspensão, modelo 1, fabricado no Brasil
ANA	- Amostrador de sedimento automático de fluxo ascendente
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSWERS	- Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation
ARM	- Agricultural Runoff Management Model
ASCE	- American Society of Civil Engineers
AWRA	- American Water Resources Association
BL	- Bed Load
BNH	- Banco Nacional da Habitação
BTMA	- Bed Load Transport Meter
CAL	- Centro de Artes e Letras
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCNE	- Centro de Ciências Naturais e Exatas
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNS	- Cornell Nutrient Simulation Model
CPM	- Cornell Pesticide Model
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CREAMS	- Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
CSU	- Colorado State University
CV	- Cavallo Vapor
DLEM	- Departamento de Letras Estrangeiras Modernas
DNOS	- Departamento Nacional de Obras de Saneamento (entidade extinta)

EUA	- Estados Unidos da América
FAE	- Fundação de Assistência ao Estudante
FAPERGS	- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
GIS	- Sistemas de Informações Geográficas
HDS	- Departamento de Hidráulica e Saneamento
IAHS	- International Association of Hydrological Science
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPA	- Índice de Precipitação Anterior
IPH/UFRGS	- Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
LHIPAE	- Laboratório de Hidráulica e Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos
LMCC	- Laboratório de Materiais e Construção Civil
MDT	- Monografia, Dissertação e Tese
MUSLE	- Equação Universal de Perda de Solo Modificada
PPM	- Partes Por Milhão
PRPGP	- Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
PVC	- Cloreto de Polivinila
RECOPE	- Redes Cooperativas de Pesquisa
REHIDRO	- Rede Cooperativa de Pesquisa em Recursos Hídricos
RFFSA	- Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima
RN	- Referência de Nível
RS	- Rio Grande do Sul
SDR	- Sediment Delivery Ratio
SCS	- Soil Conservation Service
SCSCN	- Soil Conservation Service Curve Number
SWM	- Standford Watershed Model
UFSM	- Universidade Federal de Santa Maria
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
US	- United States, dos Estados Unidos da América
USDA	- United States Department of Agriculture
USLE	- Equação Universal de Perda de Solo
WEPP	- Water Erosion Prediction Project
WMO	- World Meteorological Organization

LISTA DE REDUÇÕES

Simbologia

L - largura do vertedor

BM - Bed Material, para material de fundo

q_p - vazão de pico do escoamento superficial, em m^3/s

km^2 - kilometro quadrado

A - área da bacia

cm – centímetro

mm – milímetro

m – metro

ha - altura da lâmina d'água

m^3/min - metro cúbico por minuto

m^3/s - metro cúbico por segundo

l/s - litros por segundo

V_1 - velocidade média da vertical 1

V_2 - velocidade média da vertical 2

V_3 - velocidade média da vertical 3

ml - mililitro

kg - quilograma

m/s - metros por segundo

cm^2 - centímetro quadrado

ha - hectare

km - kilometro

m/m - metro por metro

km/km^2 - kilometro por kilometro quadrado

A - área da bacia

R^2 - coeficiente de correlação

h - altura da lâmina d'água

Y – estimativa de produção de sedimentos, em (ton/dia) e (ton)

Q_s - volume de escoamento superficial, em m^3

Y observado - produção de sedimento observado

Y calculado - produção de sedimento calculado

$Q(l/s)$ – vazão litros por segundo

Q_{ss} – descarga sólida em (ton/dia)

$Q_{(l)}$ – descarga líquida em (m^3/s)

c – concentração em (mg/l)

Q_{sf} – descarga sólida de fundo em (ton/dia)

Q_{se} – descarga sólida da enxurrada em (ton)

VOLSup – volume superficial total em (m^3)

Q_{st} – descargas sólidas dos sedimentos totais (ton)

Dif_(Pc-Pa) – diferença entre a vazão do ponto a e o ponto b

$Q_{(mc)}$ – vazão medida no ponto c

$Q_{(ma)}$ – vazão medida no ponto a

$Q_{(b)}$ – vazão de base

$Q_{(Si)}$ – escoamento superficial

Pefet – precipitação efetiva

Q_1 - descarga líquida

Q_1 - descarga líquida na vertical 1

Q_2 - descarga líquida na vertical 2

Q_3 - descarga líquida na vertical 3

A_1 - área da vertical 1

A_2 - área da vertical 2

A_3 - área da vertical 3

Q_{cl} – descarga líquida total da calha

Q_{v1} – descarga líquida total vertedor 1

Q_{v2} – descarga líquida total vertedor 2

Q_t – descarga líquida total

Δt – variação de tempo

t – tempo (h, min, s)

R – fator de correlação

a e b – coeficientes ajustados do estudo

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DE ENCOSTA

Autor: Sergio Luiz Belló
Orientador: João Batista Dias de Paiva

Local e data da defesa: Santa Maria, 22 de Dezembro de 2004.

Este trabalho teve como objetivo a caracterização de duas pequenas áreas em fases distintas de urbanização em uma pequena bacia urbana de encosta com área total de 0.53 Km². Foram instaladas duas estações fluvio-sedimentométricas e uma pluviométrica, com o objetivo de caracterizar vazões máximas, médias e mínimas em períodos chuvosos e

de estiagem, a produção de sedimentos, e as características granulométricas do material transportado. Os dados foram coletados e analisados entre 10 de maio e 20 de dezembro de 2003, com 8 eventos registrados na área menos urbanizada, e 7 na área urbana. A caracterização da produção de sedimentos foi feita através da composição das relações das descargas líquidas com as descargas sólidas, levando-se em conta ainda o volume superficial escoado.

A determinação dos parâmetros da área em estudo e da estimativa da produção de sedimentos foram baseados a partir de curvas chave que relacionaram o produto do volume superficial escoado e da vazão de pico, pela descarga sólida transportada; e o volume total escoado superficialmente pela descarga sólida total transportada. Foi feita ainda a caracterização do material transportado através das análises de granulometria e sedimentação para os sedimentos transportados por arraste de fundo e pela enxurrada, e através do método da pesagem e filtragem foi determinada a concentração média dos sedimentos transportados em suspensão, sendo que as análises laboratoriais determinaram as amostras como sendo de origem franco arenosa. Os resultados obtidos foram analisados e comparados entre as duas estruturas de medição e também com outros estudos, observando-se que a produção e a caracterização dos sedimentos transportados ficou dentro do esperado.

A produção média de sedimentos para a área em fase de urbanização foi de 0,141(ton/ha.dia), e para a área urbana foi de 0,271(ton/ha.dia).

ABSTRACT

M.Sc. Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

URBAN OCCUPATION IMPACT ASSESSMENT OVER THE HYDRO-SEDIMENTOMETRIC CHARACTERISTICS OF A SMALL HILLSLOPE BASIN

Author: Sergio Luiz Belló

ADVISOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Local and Date: Santa Maria, December 22th, 2004.

The objective of this research was the characterization of two small areas in different urbanization stages in a small urban hillslope basin with a total area of 0.53 km². Two fluvio-sedimentometric stations and a pluviometric one were installed to characterize the maximum, mean and minimum discharges during the raining and dry periods, the sediment yield and also the transported material particle size analyses. The data were collected and analyzed between May 1st

and December 20th , 2003 with 8 registered events at the less urbanized area and 7 events at the urban area. The sediment yield characterization was done by composing the relation of the liquid discharges with the solid discharges and the overland flow volume was also considered. The studying area and the sediment yield parameters were determined from the rating curve, which related the product of the superficially flowed volume and the peak discharge by the transported solid discharge; and the total superficially flowed volume by the total transported solid discharge. The bed load transported material and the ones transported by the storm were characterized through the particle size and sedimentation analyses. The suspended sediment mean concentration was determined through the weighting and filtering method and the laboratories analyses determined that the samples are from sandy origin. The results were analyzed and compared between the two measurement structures and they were also compared to other studies. It was observed that the sediment yield and the transported sediment characterization were as expected. The mean sediment yield to the urbanization stage area was 0.141 (t/ha.day) and to the urban area it was 0.271 (t/ha.day).

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 – Introdução

A urbanização sem planejamento e controle pode ocasionar efeitos catastróficos do ponto de vista ecológico e ambiental.

O processo de urbanização, uso e ocupação do solo ocasiona grandes problemas do ponto de vista hidrológico e sedimentológico, provocando assim um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional. Para uma melhor compreensão desses problemas se faz necessário o aprofundamento nos conhecimentos das áreas em fases distintas de urbanização, através do monitoramento hidrosedimentológico.

O conhecimento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos, (Paiva et alli, 2001).

Tendo em vista ao exposto os trabalhos deste estudo foram direcionados para a obtenção de dados em uma bacia hidrográfica que encontra-se em estágio inicial e diferenciado de urbanização.

A bacia hidrográfica denominada Sítio do Tio Pedro objeto deste estudo, tem importância fundamental no contexto regional, devido contribuir diretamente ao reservatório do DNOS, reservatório este que abastece parte da cidade de Santa Maria RS.

A bacia do estudo apresenta locais com áreas impermeabilizadas, e locais com o extrato vegetal ainda preservado; apresenta ainda forte

declividade com pequena área para o escoamento superficial, apenas 0,53Km²; resultando assim em uma resposta hidrológica muito rápida.

Para o monitoramento da bacia em questão foram implantadas duas estações fluviométricas e uma pluviométrica, nas quais foram monitoradas as vazões, o transporte de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, e ainda a análise granulométrica do material transportado, durante eventos chuvosos e de estiagem no período compreendido de 10/05/2003 a 20/12/2003.

1.2- Objetivos gerais

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar o impacto da urbanização na produção de sedimentos da bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro.

1.3 - Objetivos específicos

Este trabalho objetivou a caracterização do efeito da urbanização em uma pequena bacia hidrográfica de encosta, em termos hidrológicos e sedimentológicos. Foram caracterizadas as vazões de cheias, a produção de sedimentos, e as características granulométricas do material transportado, durante períodos de cheia e estiagem.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 –Identificação e caracterização da bacia hidrográfica

Os estudos que compreendem o ciclo hidrológico tem maior ênfase na superfície, onde o enfoque principal das análises é a bacia hidrográfica.

Conforme Viessman & Harbaugh (1972), a bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída.

As bacias submetidas a um processo de urbanização sofrem mudanças nas suas características físicas, hidrológicas e hidráulicas, dependendo da magnitude dessas mudanças da intensidade do processo de impermeabilização do solo, Sanchez (1987).

Observa-se com tudo que alguns fatores relevantes atuam positivamente para a avaliação do estudo em questão, por ser uma bacia de pequena ordem ou seja com tamanho máximo de até 5Km², o que segundo Silveira (1982), permite que:

- a) possa ser considerada a ocorrência de eventos pluviosos uniformes em toda bacia;
- b) as características físicas sejam semelhantes em toda sua extensão;
- c) se tenha um maior controle sobre a entrada de sedimentos de outras áreas;

d) se identifique rapidamente qualquer alteração na camada superficial do solo na bacia ou sub bacias;

Pode-se salientar que alguns parâmetros das bacias hidrográficas, devido às intervenções humanas no ambiente das mais variadas e diferentes formas e tipos, podem sofrer transformações no decorrer dos anos como é o caso em relação à cobertura vegetal, ocupação ou urbanização, e a capacidade de absorção dos solos.

2.2- Caracterização das medidas pluviométricas

O ciclo hidrosedimentológico tem origem e se desencadeia a partir das precipitações.

A precipitação deve ser diretamente ligada a duração e a intensidade em que ocorre, são esses os fatores determinantes para que ocorra a saturação do solo e consequentemente o início do escoamento superficial.

Conforme Canil (2002), o volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e freqüência da chuva.

Exprime-se a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos, Villela & Mattos (1975).

2.3 – Medidas hidráulicas

2.3.1– Caracterização das vazões; máximas e mínimas

Ainda que os fenômenos hidrológicos (precipitações, escoamento superficial, vazão entre outros), possam parecer bastante conhecidos devido a regularidade com que se verificam, basta observar os efeitos catastróficos que causam pela falta de dados, e o pouco conhecimento do homem sobre as leis naturais que regem esses fenômenos; e a necessidade de se aprofundar os conhecimentos para serem utilizados na gestão dos recursos hídricos e nas suas consequências.

A hidrologia de superfície trata especialmente do escoamento superficial da água em movimento sobre o solo. Sua finalidade principal é o estudo dos processos físicos que tem lugar entre a precipitação, o escoamento superficial e o seu desenvolvimento.

Segundo Mendonça (2001) as águas em excesso, durante cheias, podem causar grandes prejuízos e perdas de vidas humanas. Além disto quantidade e qualidade de água são interdependentes, e a análise das condições qualitativas de um curso d’água depende do conhecimento das condições quantitativas.

Ainda segundo Mendonça (2001), a grande variabilidade de disponibilidade hídrica, tanto temporal como espacial, ressalta a necessidade de permanente quantificação de descargas líquidas visando a previsão de vazões futuras.

2.3.2 - Vazões máximas

Deve-se ressaltar a importância do estudo das vazões de cheia, para poder evitar ou minimizar os prejuízos tanto financeiros, como de vidas humanas; e também dimensionar e executar obras hidráulicas como condutos, canais, bueiros entre outros.

Conforme Tucci (1997), a vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. O hidrograma de projeto ou hidrograma tipo é uma seqüência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência. Esta seqüência se caracteriza pelo seu volume, distribuição temporal e valor máximo (pico do hidrograma).

2.3.3 – Vazões mínimas

O estudo das vazões mínimas tem fundamental importância para a análise e projetos de sistemas de irrigação, pequenas centrais hidrelétricas, e abastecimento urbano, entre outros.

Conforme Silveira (2001), as vazões mínimas são vazões que ocorrem nos períodos de estiagem, pelo esgotamento de reservas do subsolo, que afloram nas fontes e nos talvegues dos cursos d'água.

Conduzidas por estes, a tendência das vazões de estiagem é diminuírem, continuamente, se a recarga das reservas pelas chuvas não se fizer presente, acelerando-se pelas perdas por evaporação e por infiltração no leito do escoamento.

Tucci (1979) descreve que as vazões mínimas se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. A vazão mínima é associada a uma duração (t). Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias, indica que é o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos.

2.3.4 - Medições de vazões

São utilizados diversos métodos e maneiras para a obtenção e ou quantificação de dados hidrológicos referentes a vazões, sendo que é de fundamental importância a escolha e a utilização do método de acordo com a precisão desejada das medidas, e as dimensões do curso d'água em questão.

Os métodos de medição de vazão podem ser classificados em três categorias conforme a natureza da medida assim descrito por Martins & Paiva (2001).

- 1) de nível: são obtidos através de uma régua graduada ou por linígrafos ou linímetros;
- 2) não estrutural: são métodos baseados no uso de molinetes, flutuadores, compostos químicos, acústica entre outros;

3) estrutural: são métodos que fazem uso de estruturas de medição pré-calibradas, bastando-se determinar em geral uma medida de nível para obter-se a medida da vazão.

2.3.4.1- Medições de vazões em pequenos córregos

As medidas de vazões em rios e pequenos córregos são obtidas através de uma estação hidrométrica de medição.

Uma estação hidrométrica é instalada e operada com a finalidade de se obter as vazões em todos os níveis de lâmina d'água ao longo do tempo, em uma seção qualquer de um rio ou córrego.

Existem várias maneiras para se medir a vazão em um curso d'água. As mais utilizadas são aquelas que determinam a vazão a partir do nível d'água através das calhas e vertedores para os pequenos córregos.

Diversos métodos de medida de vazão são utilizados de acordo com as dimensões do curso d'água e com a precisão desejada para a medida. Assim para pequenos cursos de água, é comum utilizar-se um vertedor para medir a vazão, Villela & Mattos (1975).

2.3.4.1.1 - Vertedores e calhas

São estruturas que funcionam como um dispositivo de medição da vazão em uma seção de controle, em forma de canal com escoamento

livre e de dimensões padronizadas. São recomendadas para uso em pequenas e médias bacias devido ao seu porte e ser de fácil manejo, eventualmente podem ser utilizadas para medidas de vazões mínimas nas grandes bacias hidrográficas.

Conforme descrito por Martins & Paiva (2001), a escolha do tipo e tamanho de vertedor e calha medidora de vazão depende da aplicação, da variação de vazão esperada e qualidade de água.

a)vertedores: de maneira geral, todo obstáculo no fundo de qualquer canal que cause a aceleração do escoamento enquanto passa por cima desde obstáculo é considerado um vertedor.

Nos vertedores a largura da parede determina o tipo do mesmo; vertedores de parede espessa e vertedores de parede delgada.

Um vertedor é considerado de parede espessa quando a sua soleira é espessa o suficiente para garantir o paralelismo dos filetes de água.

b)calhas medidoras de vazão; são construídas de forma a promover, em seu interior, a transição entre o regime fluvial e torrencial, assegurando dessa forma condições de controle que produzem uma relação direta entre a lâmina d'água e a vazão de escoamento Martins & Paiva (2001).

Tipos de calhas que podem ser consideradas;

1)calhas Parshall ou medidores Parshall, são condutos abertos construídos de tal forma que suas laterais promovam um adequado estrangulamento de seção. Estes medidores são indicados nominalmente pela largura da seção crítica ou garganta, podendo ser construídas em

diversos tamanhos para medir vazões que variam entre 0,83l/s até 93m³/s Martins & Paiva (2001).

2)calhas de fundo plano Scogerboe et alli (1972); difere da calha Parshall por ter o fundo plano e apresentar um estreitamento de seção com um trecho convergente de 3:1 no terço inicial da calha, e um trecho divergente de 6:1 nos dois terços restantes Martins & Paiva (2001).

2.4 – Processos erosivos

Processos erosivos são forças combinadas (principalmente pela energia de impacto da gota de chuva no solo e a energia gravitacional) que atuam, modificando e modelando a superfície terrestre. A ocorrência da modificação e deformação do meio varia com o tempo, espaço e a velocidade.

Pode-se no entanto, fazer uma análise mais detalhada dos processos, no que se refere à sua origem e seus agentes.

2.4.1 - Origem dos processos erosivos

A atuação gradual e contínua dos processos erosivos quanto à sua origem, no qual alteram e transformam a forma do relevo podem se dar:
a)processos móveis (antrópicos); rios, ventos, marés, enxurradas, ocorre o transporte imediato do material.

b)processos imóveis (natural); intemperismo, processo gradual e lento.

Os processos móveis ou antrópicos são responsáveis pela alteração do meio de forma intensa e rápida através da ação aerodinâmica dos ventos ou ação mecânica da água sobre a bacia.

Os processos erosivos naturais têm atuação lenta, inicialmente na superfície do meio causando em um primeiro momento a erosão superficial.

Observa-se, no entanto, que esses processos sofrem uma aceleração erosiva em locais onde os solos são mais susceptíveis e desprotegidos, onde a erosão superficial é responsável pelo arraste de um volume considerável de solo para o interior das calhas de rios e consequentemente para os reservatórios de acumulação, provocando à perda da capacidade de escoamento e armazenamento respectivamente.

2.4.2 – Agentes erosivos e seus processos

A erosão é o processo pelo qual o solo e os minerais são destacados e transportados pela água, vento, gravidade e atividades do homem. A energia cinética, a gravidade e a química (intemperização) são causas primárias da erosão em todas as suas formas.

Inicialmente, o processo erosivo se manifesta no solo; particularmente nas áreas sem proteção vegetal, através da água da chuva, desagregando suas partículas, onde os filetes de água têm força suficiente para arrastar as partículas que foram soltas.

Os filetes de água ao escorrerem encosta abaixo podem provocar simplesmente a lavagem da superfície do solo, dos terrenos arados, ou provocar a remoção de camadas mais espessas do solo. Esse processo é designado escoamento laminar ou erosão laminar.

Pode-se observar que este processo ocorre através de um escoamento superficial difuso, no qual age sensivelmente sob ação da gravidade retirando a camada superficial do solo de uma forma homogênea.

Umezawa (1979) afirma que a dissipação da energia de impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo desprotegido, entre outros fatores, desagrega e transporta partículas de solo, em intensidade que varia em função da espessura da lâmina de água e diâmetro da gota. Mutchler & Young (1975), concluíram que o impacto das gotas de água tem maior poder erosivo, quando a superfície do solo é coberta por uma lâmina de água de espessura entre 0,14 e 0,20 do diâmetro da gota e é insignificante, quando a espessura ultrapassa cerca de três vezes o diâmetro da gota.

Como característica principal esse processo apresenta a formação de pequenos filetes evidenciados por tonalidades mais claras de sedimentos nos solos.

Quando as chuvas são mais intensas e são favorecidas por parâmetros de natureza natural e antrópica, a erosão pode se desenvolver por escoamento concentrado ou linear formando sulcos na superfície do terreno.

Os processos erosivos lineares são resultantes da intensificação do escoamento superficial concentrado em determinados pontos proporcionando o desenvolvimento de sulcos, calhas, ravinas, e boçorocas;

a)sulcos: são resultantes de precipitações intensas na qual vem a suceder a erosão laminar iniciando assim o processo linear, originando pequenas saliências com profundidade e largura inferiores a cinqüenta centímetros;

b)calhas: tipo de erosão em forma de canal, originada pelo escoamento concentrado das águas superficiais, também são pouco profundas como os sulcos, porém possuem bordas suaves e largura inferior a cinco metros Oliveira (1994).

c)ravinas: é o processo subsequente e agravante dos sulcos com uma profundidade mínima que varia entre trinta e cinqüenta centímetros.

Segundo Oliveira (1994), na ravina devem ser considerados mecanismos de erosão que envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento erosivo e também seu avanço a remontante. As ravinas são normalmente de forma alongada, mais compridas que largas e com profundidades variáveis, normalmente inferiores a dez metros;

d)boçorocas: a penetração da água do escoamento superficial em solos muito porosos e permeáveis com a interceptação do lençol freático, forma a ocorrência de um solapamento subterrâneo, ou seja, vazios internos com posteriores desmoronamentos e escorregamentos

ocasionando o aprofundamento do processo de ravinamento em grandes proporções.

De acordo com Rodrigues (1982) as boçorocas são formadas pelo aprofundamento das ravinas e interceptação do lençol freático, onde se pode observar grande complexidade de processos do meio físico (piping, liquefação de areia, escorregamentos laterais, erosão superficial), devido à ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais.

2.4.3 – Fatores condicionantes dos processos erosivos

A intensidade de atuação dos processos erosivos é determinada por fatores condicionantes naturais que intervém diretamente no meio, determinando basicamente a maior ou menor capacidade de erodibilidade dos solos.

Segundo Bellinazzi Junior et all (1981), cinco são os fatores naturais básicos que determinam a intensidade desses processos:

- a) clima: a água de chuva provoca a erosão do solo através do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e através do escoamento da enxurrada. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e de sua intensidade;
- b) solo: entre as principais propriedades físicas do solo que conferem maior ou menor resistência à ação erosiva das águas, ou seja, a erodibilidade, destacam-se a textura, estrutura, permeabilidade,

densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas. Outra característica importante do solo com relação ao comportamento erosivo é a sua espessura;

c) topografia: a influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta ou da vertente). Estes fatores interferem diretamente na velocidade do escoamento das águas pluviais;

d) cobertura vegetal; é o fator mais importante de defesa natural do solo que funciona como uma manta protetora, evitando a desagregação das partículas de solo que é a primeira fase da erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal destacam-se; proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, dispersão e quebra da energia das águas do escoamento superficial, aumento da infiltração entre outros;

e) ação antrópica: a forma como se usa o solo, tem grande influência no processo erosivo, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo das terras, implantação de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobre tudo quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da aceleração dos processos erosivos.

2.4.4 – Capacidade e forma do transporte de sedimentos

A capacidade e a forma de transporte dos sedimentos erodidos se constituem em processos não muito simples de serem analisados, pois as partículas sólidas estão sob influência de várias forças atuantes, como a

resistência de atrito, a força da gravidade, a dinâmica do escoamento e assim por diante. O deslocamento e transporte de sedimento dependem da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento.

Nos períodos com intensa precipitação pluviométrica, as fortes enxurradas acabam carreando partículas sólidas de sedimentos na superfície da bacia hidrográfica para os canais e rios, onde estes sedimentos são deslocados então em função do fluxo rio abaixo.

Conforme descrito por Tucci (1997), capacidade de transporte refere-se à quantidade máxima de sólido que um escoamento à superfície livre pode transportar. Não deve ser confundida com a competência do escoamento, a qual designa o maior tamanho das partículas sólidas que esse pode carrear. O ciclo sedimentológico é acionado pela energia que dispõe a água em movimento.

Outra forma de transporte de sedimentos erodidos é a eólica, ação combinada do vento com a gravidade, que neste trabalho não será fator relevante.

2.5 – Produção de sedimentos

A produção de sedimentos se origina do desprendimento de partículas sólidas do solo através dos processos erosivos, é a quantidade de material erodido em um determinado local, tendo origem inicialmente nas vertentes.

O uso da terra e o crescimento populacional urbano e rural aceleram este processo, no que resulta o aumento sensível na produção de sedimentos.

Segundo Carvalho et all (2000b) a produção de sedimento derivada da área de drenagem ou correspondente a toda uma bacia hidrográfica é dependente da erosão, do escoamento das águas de chuva com o carreamento dos sedimentos e das características de transporte de sedimentos nos cursos d'água.

Pode-se constatar que a produção e deposição de sedimentos em uma bacia atuam em função de alguns aspectos e características naturais como; precipitação, topografia, tipo de solo, cobertura vegetal e área de drenagem.

Carvalho et alli (2000b) define os principais fatores que afetam a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica:

- 1)Precipitação – quantidade, intensidade e freqüência;
- 2)Tipo de solo e formação geológica;
- 3)Cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes e outros);
- 4)Uso do solo (prática de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação);
- 5)Topografia (geomorfologia);
- 6)Natureza da rede de drenagem – densidade, declividade, forma, tamanho e conformação de canais;
- 7)Escoamento superficial;

- 8)Características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas, entre outras);
- 9)Hidráulica dos canais.

Conforme Canali (1980) outros fatores podem influenciar além dos descritos acima, como as características físicas de uma bacia hidrográfica (área , declividade média e área cultivada).

2.5.1 –Efeitos da urbanização na produção de sedimentos

Com o crescimento urbano sem planejamento as conseqüências nas áreas em urbanização causam preocupação, tanto do ponto de vista da infra-estrutura como da produção de sedimentos através de processos erosivos.

Pode-se constatar que este problema vem se agravando ao longo do tempo, principalmente nas regiões periféricas dos grandes centros urbanos resultante das precárias condições de infra-estrutura.

Outro agravante referente a esta questão, é que as áreas em fase de urbanização muitas vezes localizam-se em lugares com grande declividade, com terrenos altamente susceptíveis a erosão superficial facilitando assim o processo erosivo. É notório que esses processos erosivos apresentam características das mais variadas possíveis entre uma bacia rural e uma bacia urbana; por isso a atenção aos cuidados que devem ser tomados ao se analisar uma bacia em fase de urbanização.

A erosão urbana se expressa mais freqüentemente nas formas de erosão laminar e de sulcos ou ravinas nas vias públicas e áreas periféricas, e mais intensamente na forma de boçorocas que, de forma acelerada, destroem edificações e equipamentos urbanos.

O estudo em questão se torna bastante complexo, pois se observa que ocorre também erosão linear em grande escala ocasionando conjuntamente os mais variados tipos de contribuição ao rio principal.

Do ponto de vista de estabilização da morfologia de cursos d'água, a erosão rural tem um caráter mais extensivo que as erosões urbanas, apresentando, no entanto taxas específicas de contribuição muito inferiores, Ramos (1995).

2.5.2 – Fatores que contribuem com a erosão no processo de urbanização

Em regiões de ocupação recente em fase de urbanização, observa-se em geral que as pessoas que fazem estas ocupações têm uma menor condição cultural e financeira entre outras. Como consequência as ocupações ocorrem de maneira inadequada, sem os devidos cuidados ambientais e de conservação do solo, através da retirada da cobertura vegetal desprotegendo a superfície .

Além da susceptibilidade do solo e das precipitações pluviométricas em períodos chuvosos, outro fator agravante seria o manejo do solo

devido as edificações, sem a atenção necessária para a proteção do mesmo.

Araújo (2000) afirma que as mudanças antrópicas, realizadas na cobertura vegetal e nas formas de uso do solo urbano das bacias hidrográficas contidas nas grandes metrópoles, influenciam diretamente os regimes hidrológicos, hidráulicos, sedimentológicos e de qualidade das suas águas superficiais.

O impacto quantitativo dessas modificações é de difícil prognóstico, face ao grande número de combinações entre condições climáticas, geológica, solo e suas variadas formas alternativas de cobertura.

Cabe aqui lembrar a afirmativa de Pontes (1980), segundo a qual os principais fatores que influem na erosão das áreas urbanas relacionados com o escoamento superficial são:

- a)vazão do escoamento das águas pluviais;
- b)declividade do terreno;
- c)natureza do terreno.

Pode-se então fazer uma análise das formas de uso e ocupação, e os principais problemas associados a processos erosivos urbanos conforme Canil (2000).

a)áreas urbanas consolidadas;

- intervenção; impermeabilizações, ocupação das baixadas, concentração das águas pluviais, estrangulamento de sistemas de drenagens.

- conseqüências; erosão (lançamento das galerias a meia encosta ou na cabeceira de drenagens), inundações e ou enchentes, assoreamentos.
- b)áreas urbanas em expansão;
- intervenção; movimento de terra, parcelamento do solo e ausência de infra-estrutura (sistema de drenagem e pavimentação).
 - conseqüências: intensos processos erosivos (laminar, sulcos, ravinas e boçorocas), e transporte de sedimentos com assoreamento das drenagens.

2.6 – Transporte de sólidos

2.6.1 – Transporte de sólidos através do escoamento superficial

O transporte de sedimentos devido ao escoamento superficial se dá através da energia desprendida pela descarga líquida, atuando sobre as partículas sólidas na superfície da bacia hidrográfica.

De acordo com Canalli (1980), a ação do escoamento superficial sobre o solo, manifesta-se de duas maneiras; desagregando o solo com o impacto cinético do fluxo (mistura água e solo), e ao mesmo tempo transportando partículas de solos suscetíveis ao transporte devido sua forma, tamanho e peso.

Muitos dos sedimentos levados aos rios e reservatórios são originários de áreas elevadas, tais como áreas de cultivo e locais de construção. Estes sedimentos tem sua origem na superfície da bacia, de onde pelos processos de erosão laminar e por ravinamento, são levados aos cursos d'água, sendo por isso denominados deplúvio (washload), Umezawa, (1979).

2.6.2 – Transporte de sólidos nos cursos de água

Depois dos sedimentos erodidos serem carreados para o curso principal da bacia hidrográfica; começa então o transporte destas partículas sólidas rio abaixo em direção ao exutório. No decorrer deste transporte ocorre também a erosão do leito dos cursos d'água, gerando uma série de problemas hidráulicos tais como; assoreamentos, instabilização de taludes entre outros.

O deslocamento e o consequente transporte do sedimento dependem da forma, tamanho, peso da partícula, e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não conseguir mais deslocar a partícula, ocorre então o processo de deposição dos sedimentos.

2.6.3 – Início de movimento de partículas não coesivas em leitos de canais

2.6.3.1 – Transporte de sedimentos em rios

Por ocasião do transporte e deposição de sedimentos em canais e rios, pode-se constatar que estes trazem grandes transtornos quanto a qualidade da água para uso humano, como também na redução da capacidade de suporte do leito.

Grande parte do transporte de sedimentos em rios ocorre em períodos chuvosos principalmente durante as fortes precipitações.

2.6.3.2 - Fluxo fluvial

As alterações causadas nos fluxos fluviais devido ao transporte e deposição de sedimentos geram grandes problemas, ocasionando primeiramente a redução das vazões e depois as cheias.

O movimento do “material do leito” é governado pela capacidade de transporte do escoamento, que por sua vez, é dependente da natureza do canal e do próprio sedimento. Esse movimento pode ser previsto em função do escoamento, Einstein (1950).

De acordo com Ramos (1995) há uma forte correlação entre a forma da seção, a declividade do curso d'água e a granulometria.

Nos trechos superiores dos rios onde a declividade é mais acentuada e concentra o material de leito graúdo, as seções são mais largas e rasas. Nesses trechos a potência hidráulica do escoamento confere uma capacidade de transporte superior ao suprimento da bacia, havendo uma tendência generalizada à erosão.

No trecho intermediário, encontram-se declividades menores, ocorrendo um maior equilíbrio entre a capacidade de transporte sólido e o suprimento. Eses trechos são constituídos, predominantemente, por areias médias.

No trecho inferior, com a redução maior das declividades, volta a haver um desequilíbrio, onde o suprimento de material sólido supera a capacidade de transporte. Resultando a uma tendência ao assoreamento. Esse último trecho é constituído, em geral, por materiais finos, na faixa das areias finas e siltos.

Segundo Paiva (2001), a quantidade total de sedimentos transportados por um curso d'água pode ser expressa como:

$$Q_{st} = Q_{sf} + Q_{ss} + Q_{sb} \quad (2.1)$$

Onde:

Q_{st} = descarga total de sedimentos (total load);

Q_{sf} = descarga de sedimentos transportada por arrasto de fundo (bed load);

Q_{ss} = descarga de sedimentos proveniente do fundo, transportada em suspensão (suspended load);

Q_{sb} = descarga de sedimento transportada em suspensão proveniente da bacia hidrográfica (wash load ou deplúvio);

Conforme Carvalho (1994) as formas de transporte de sedimento se classificam como;

1)descarga sólida de arraste: são as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo;

2)descarga sólida saltante; são as partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas; e

3)descarga sólida em suspensão: são as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão.

Os sedimentos em suspensão transportados na onda de cheia têm comportamento diferenciado em relação ao pico de vazão. Esse comportamento diferenciado ocorre devido a fatores externos que atuam nas componentes de sustentação da partícula em suspensão.

Conforme Carvalho (1994), a quantidade de sedimentos que é transportado no curso d'água forma uma onda que acompanha a onda de cheia de três maneiras diferentes: (figuras 01,02 e 03).

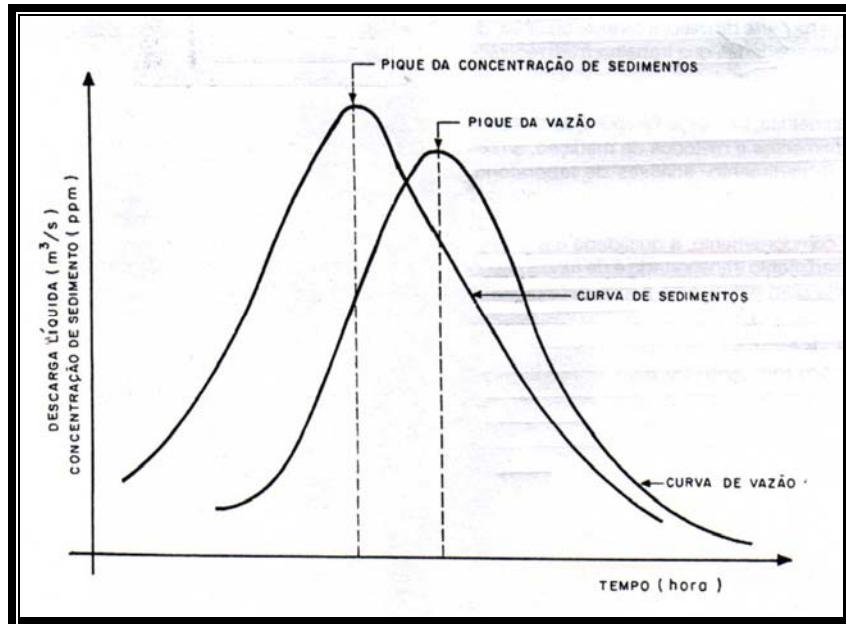


Figura 01 - Pico da concentração de sedimentos se antecipando em relação ao pico de vazão (Fonte,Carvalho 1994).

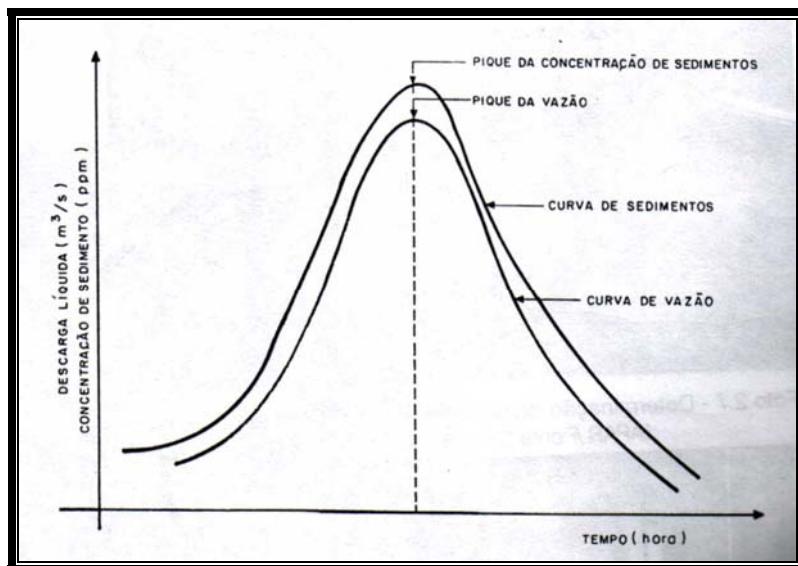


Figura 02 - Simultaneidade do pico da concentração de sedimentos e da vazão (Fonte, Carvalho, 1994).

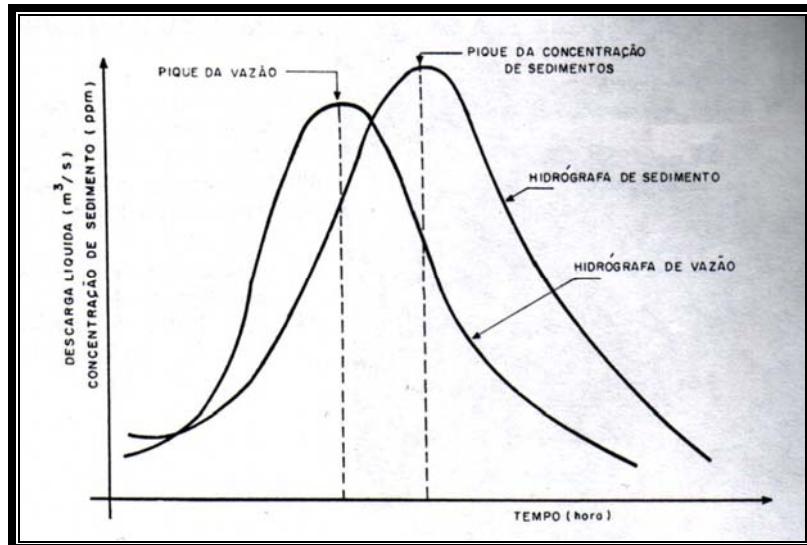


Figura 03 - Pico da concentração de sedimentos se atrasando ao pico de vazão (Fonte, Carvalho, 1994).

2.7 – Medidas hidrosedimentométricas

2.7.1 – Estimativa da produção de sedimentos e critérios de avaliação

Dentro do ciclo hidrossedimentológico (produção, transporte e deposição de sedimentos), a estimativa da produção de sedimentos tem importância fundamental no que se refere ao planejamento da gestão dos recursos hídricos.

Devido aos grandes problemas tanto na área rural como urbana, causados pela erosão e consequentemente pela perda de solo, torna-se de fundamental importância a obtenção de dados significativos próximos da realidade, para a adoção das medidas cabíveis no sentido de viabilizar a melhoria no uso e na gestão dos recursos hídricos.

A estimativa da produção de sedimentos em uma estação de controle pode se dar basicamente de duas maneiras;

- 1)diretamente através de medições no local;
- 2)através de fórmulas empíricas que expressam a descarga sólida.

Segundo Branco (1998), a avaliação do transporte de sólidos dos leitos fluviais pode se dar;

- a) através do uso de fórmulas empíricas de transporte de sólidos, onde relacionam-se a carga sólida com parâmetros do fluido, do escoamento e do material transportado;
- b) através de medições diretas de vazão líquida e concentração de sedimentos numa seção do curso d'água. Estas medições devem ser realizadas periodicamente e durante um determinado período de tempo representativo.

Algumas fórmulas para serem aplicadas exigem o conhecimento de algumas características hidráulicas do escoamento (profundidade, velocidade ou vazão) e das propriedades do sedimento transportado.

De acordo com Paiva (2001) alguns métodos fazem a estimativa da quantidade de sedimentos transportada pela corrente de maneira indireta, à partir de parâmetros hidráulicos da corrente em uma seção ou trecho do rio e das características do material de fundo, enquanto outros, fazem essa estimativa à partir da medição direta da concentração de sedimentos em suspensão, das características hidráulicas da seção ou trecho de rio e das características de material de fundo.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Caracterização geral da bacia hidrográfica

3.1.1 - Localização

A bacia hidrográfica em estudo apresenta área total de 0,53 Km², encontra-se localizada junto ao reservatório do DNOS na periferia da cidade de Santa Maria RS, com coordenadas de longitude 53° 47' 37,6" à oeste de Greenwich, e a latitude de 29° 39' 59,5" à sul.

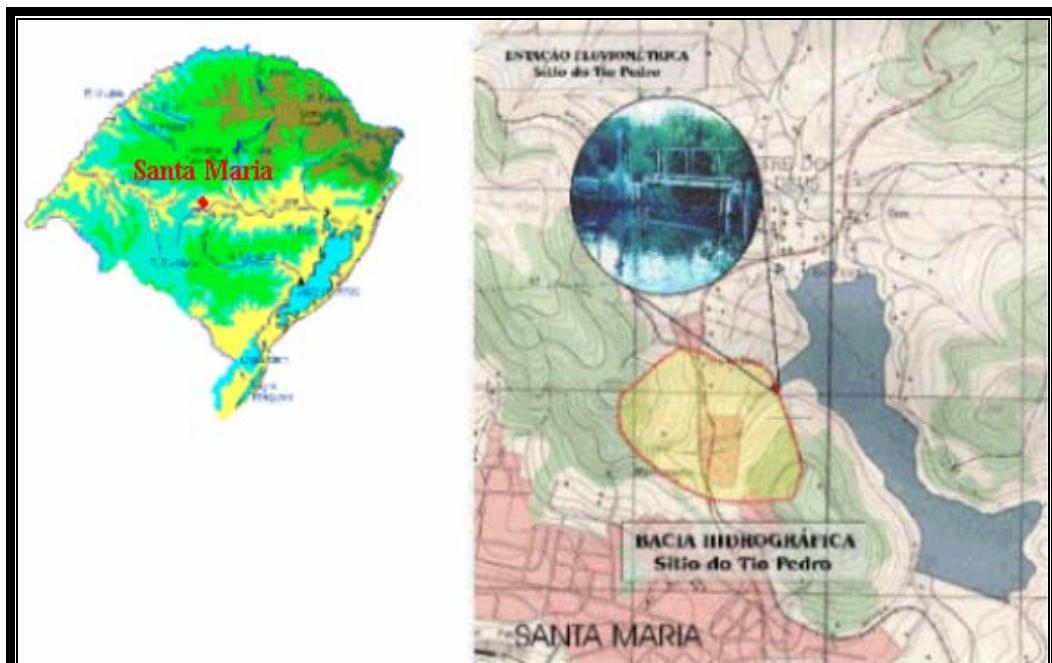


Figura 04 – Mapa de localização.

3.1.2 - Solos

Na área em estudo foram identificados três tipos de unidades geológicas formais; Formação Serra Geral, Formação Botucatu e Formação Caturrita. Também foram identificados depósitos coluvionares.

Quanto a classificação dos solos com suas principais classes e características utilizadas neste trabalho, foi aquela elaborada por Azolin & Mutti (1988) e posteriormente descrito por Belinaso (2002) como segue:

- a) Podzólico Bruno - Acinzentado Álico (PB_{al}): estes solos ocorrem na unidade geomórfica parte baixa (depressão), caracterizando regiões com solos pouco profundos, com profundidades entre 50 e 100 cm. O relevo predominante neste solo é o suave ondulado, com declividades que oscilam entre 3 a 8 %.
- b) Solo Litólico Eutrófico Relevo Forte Ondulado (Re_3): estes solos ocorrem na unidade geomórfica parte superior. O relevo forte ondulado possui declividades que variam de 20 a 45 %.
- c) Associação de Solo Litólico Eutrófico - Cambissolo - Colúvios ($Re-C-Co$): estes solos ocorrem na unidade geomórfica da região do degrau estrutural.

3.1.3- Uso e cobertura dos solos

Por ser uma bacia hidrográfica de encosta semi urbanizada, pode-se dizer que o uso dos solos é extremamente diversificado, contendo desde cobertura vegetal com matas nativas e ciliares, até as condições artificiais oferecidas e provocadas pela urbanização.

Quanto à cobertura vegetal na área em estudo são predominantes as matas nativas, ciliares, e arbustivas.

Nos locais de encostas e morros existe uma concentração de matas nativa e ciliar, apresentando árvores com altura média de 15 à 25 metros, e grande diversidade biológica.

Pode-se constatar também que não existem locais utilizados ao manejo da pecuária e nem a existência de solos agricultáveis.

3.1.4- Determinação das características físicas

As características físicas representam fatores essenciais no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, portanto é de fundamental importância precisá-los numericamente para facilitar a sua compreensão e seu estudo.

Para compor este trabalho foram utilizados os dados das características físicas da bacia hidrográfica elaborados por Belinaso (2002).

3.2-Determinação e caracterização das medidas pluviométricas

A determinação dos dados e medidas pluviométricas na bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro foram obtidas e analisadas no período de 10 de maio de 2003 a 20 de dezembro de 2003, quando foi instalado um novo pluviômetro junto à estação fluviométrica.

Para obtenção dos dados pluviométricos foi utilizado um pluviômetro eletrônico com data-logger, identificado sob número 0000144748, no qual monitora continuamente a intensidade e quantidade de precipitação, armazenando assim os dados obtidos para posterior coleta dos mesmos.

Para a coleta e leitura dos dados monitorados, foi utilizado a unidade coletora VOTA com a subsequente análise dos mesmos.

3.3 – Medidas hidráulicas

3.3.1- Determinação das descargas líquidas

As determinações das descargas líquidas da estação fluvio-sedimentométrica Sítio do Tio Pedro foram feitas através de duas estruturas de medições com o objetivo de elaborar as curvas chaves dos vertedores e das calhas.

A primeira seção existente no local tem estrutura composta com uma calha (I) de fundo plano centrada, e dois vertedores retangulares nas laterais, que coleta principalmente as descargas da área não urbanizada.

A segunda estrutura de medição foi executada posteriormente com a construção de outra calha (II) de fundo plano com as mesmas dimensões e características da anterior, com o objetivo de coletar as descargas oriundas da drenagem pluvial da rua Lourival Pires Dutra e adjacências, local este com grande densidade populacional e totalmente urbanizada.

Para facilitar o entendimento das estruturas de medição foi identificada a estrutura existente como calha (I) composta, e a estrutura construída recentemente como calha (II), (Figura 05).

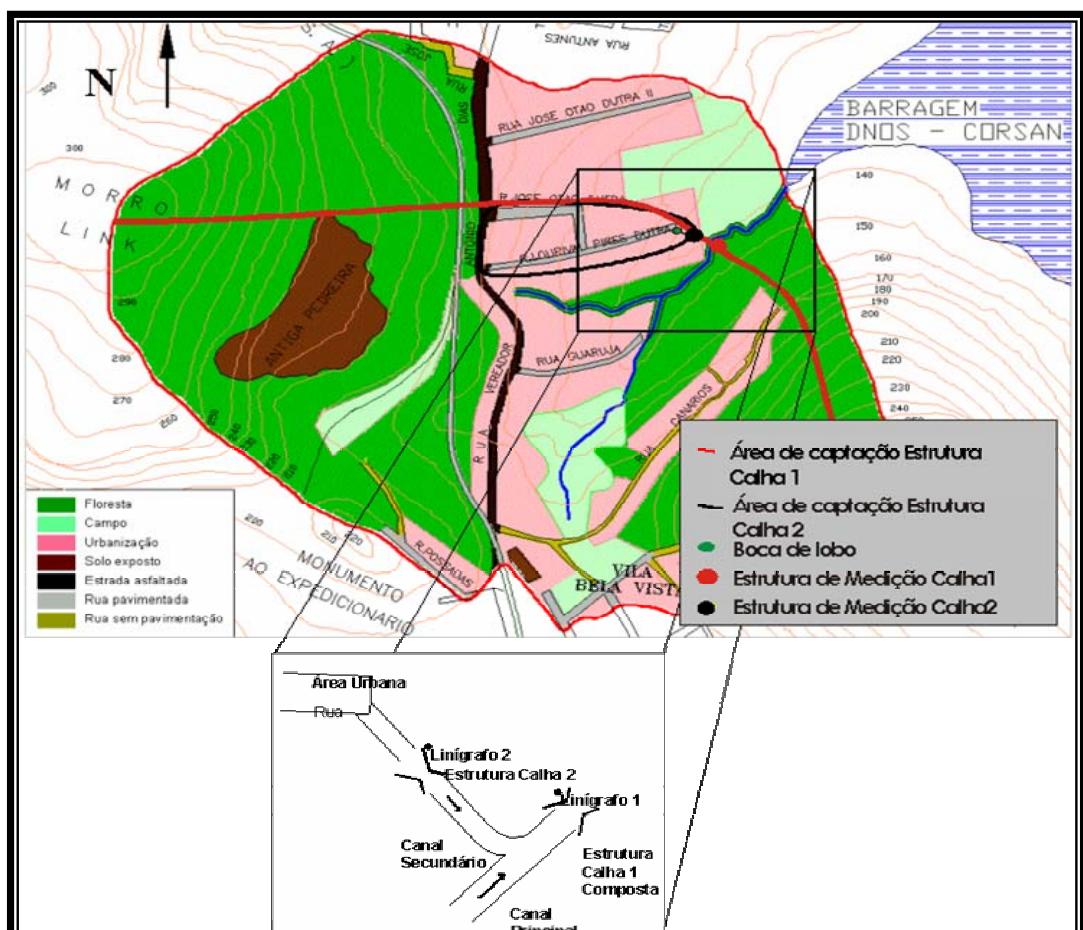


Figura 05 – Locação das estruturas de medição e as áreas de contribuição.

O monitoramento dos dados da estrutura calha (I) composta referem-se ao período de 10 de maio de 2003, a 20 de dezembro de 2003, e da estrutura calha (II) no período de 05 de junho de 2003 a 20 de dezembro de 2003.

Para o registro dos dados consecutivos da altura de lâmina d'água, utilizou-se um linígrafo eletrônico com data-logger, configurado para um intervalo de armazenamento da discretização de minuto em minuto, localizado junto as calhas.

Quanto as medidas de velocidades foi utilizado um sensor eletrônico de velocidades, configurado para fornecer o valor médio das velocidades pontuais medidas a cada 5 segundos, durante um minuto.

3.3.2- Estrutura de medição calha (I) composta

As medições nesta estrutura foram executadas de acordo a altura da lâmina d'água tendo como referência o fundo da calha:

a) Para altura da lâmina d'água ≤ 26 cm; neste caso a lâmina d'água escoa somente dentro da calha de fundo plano.

A descarga líquida foi obtida a partir de medições das velocidades médias (duas em cada ponto) a 40% da altura da lâmina d'água tendo como referência o fundo da calha. As medidas foram feitas nos pontos localizados à 1/6, 1/2 e 5/6 da seção transversal, e relacionadas com o produto de cada área de influência destes mesmos pontos, pelo método da seção média conforme metodologia descrita por (Paiva & Martins, 2001).

$$Q_T = (A_1 * V_1) + (A_2 * V_2) + (A_3 * V_3) \quad (3.2)$$

A estrutura da calha (figura 07) e (figura 08), foi construída em alvenaria com fundo em concreto. Suas dimensões seguiram esquema da calha de fundo plano proposta por Scogerboe et alli (1972), a largura da seção de entrada é de 50 cm, altura de 60 cm, e seu comprimento é de 2,00 m.

b) para altura da lâmina d'água > 26 cm; a lâmina d'água escoa pela calha e pelos vertedores laterais.

Neste caso considera-se uma seção composta com dois vertedores laterais mais a calha centralizada.

Os vertedores laterais foram construídos em madeira com larguras de 172 cm lado esquerdo e 173cm lado direito e altura de 40 cm, parede delgada com espessura de 2,58 cm.

Conforme descrito por Belinaso (2002), foi fixado um tubo de PVC rígido de diâmetro de 25 mm e uma chapa metálica em toda a sua largura, com o objetivo de garantir a ventilação da lâmina e assegurar condições de não aderência. Nas laterais foram fixadas tubos de PVC rígido de 100 mm, chumbados nas bordas na posição vertical, para que a lâmina d'água não cole nas paredes.

As descargas líquidas nos vertedores laterais foram obtidas de modo semelhante as descritas anteriormente para a calha de fundo plano. As leituras de velocidades foram feitas com as médias (duas em cada ponto) nas verticais a 40% da altura da lâmina d'água em relação a crista do vertedor; as medidas foram feitas nos pontos

localizados à 1/6, 1/2 e 5/6 em cada vertedor, e relacionadas com o produto de cada área de influência destes mesmos pontos, pelo método da seção média (figura 06).

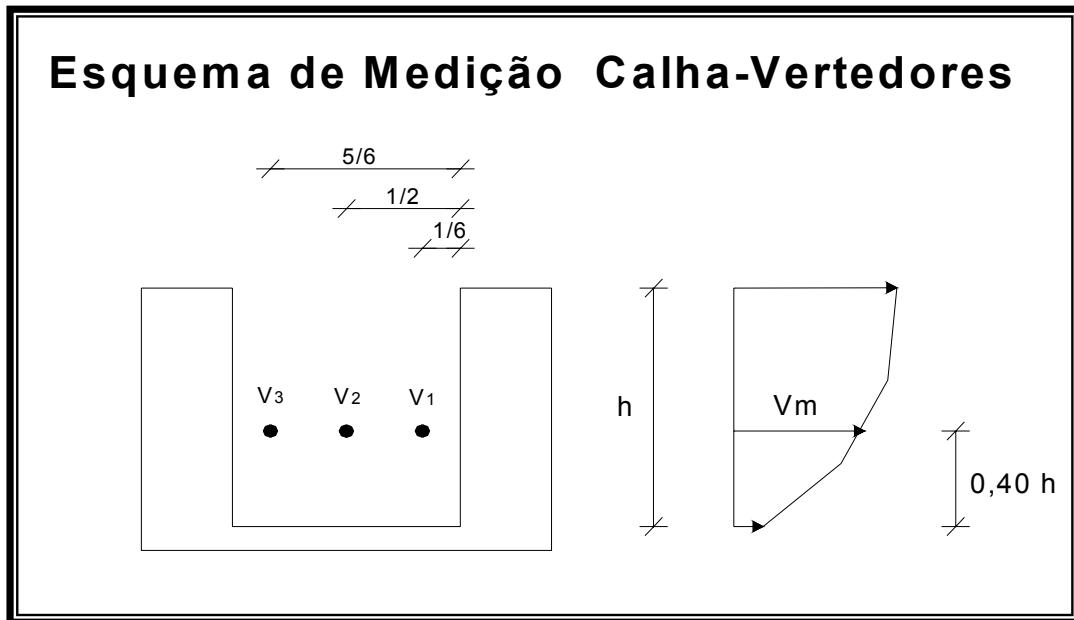


Figura 06 – Esquema de medição das calhas e vertedores.

Desde modo obteve-se a descarga líquida total da seção de medição através do somatório de todas as vazões, dos dois vertedores mais a calha.

$$Q_T = Q_{v1} + Q_{c1} + Q_{v2} \quad (3.3)$$

$$Q_{v1} = (A_1 * V_1) + (A_2 * V_2) + (A_3 * V_3) \quad (3.4)$$

$$Q_{v2} = (A_1 * V_1) + (A_2 * V_2) + (A_3 * V_3) \quad (3.5)$$

$$Q_{c1} = (A_1 * V_1) + (A_2 * V_2) + (A_3 * V_3) \quad (3.6)$$

Onde:

Q_T = descarga líquida total;

Q_{v1} = descarga líquida total vertedor 1;

Q_{v2} = descarga líquida total vertedor 2;

Q_{c1} = descarga líquida total calha 1;

Q_1 = descarga líquida na vertical 1;

Q_2 = descarga líquida na vertical 2;

Q_3 = descarga líquida na vertical 3;

A_1 = área da vertical 1;

A_2 = área da vertical 2;

A_3 = área da vertical 3;

V_1 = velocidade da vertical 1;

V_2 = velocidade da vertical 2;

V_3 = velocidade da vertical 3.



Figura 07 – Estrutura de medição calha (I) composta.

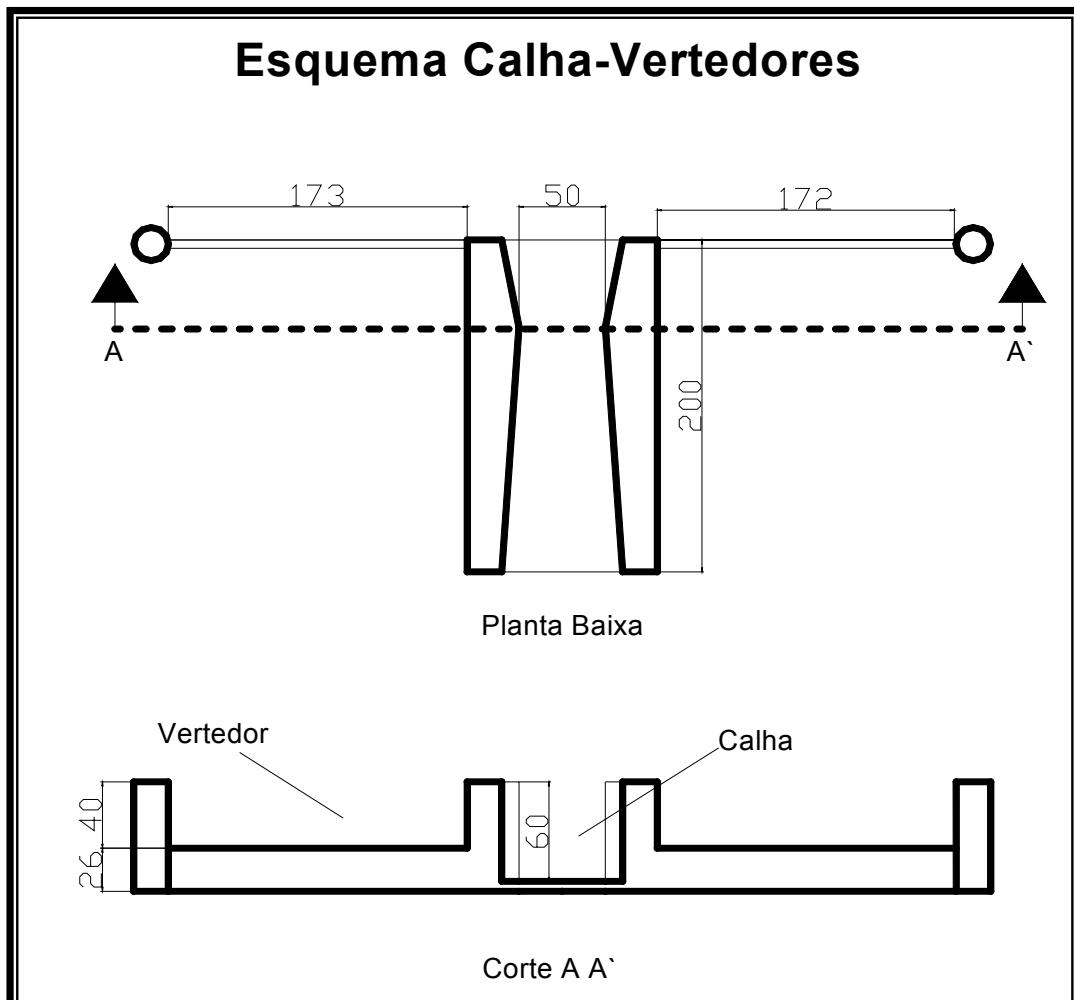


Figura 08 – Esquema de funcionamento da estrutura de medição calha (I) composta.

3.3.3 – Estrutura de medição da calha (II)

Estes dados foram determinados de modo semelhante aos descritos anteriormente no item (a) da **estrutura de medição calha (I) composta**, sendo que a calha (II) (figura 09), tem as mesmas características e dimensões da calha (I).



Figura 09 – Estrutura de medição calha (II).

A descarga líquida foi obtida através de medições de velocidades médias (três em cada ponto) nas verticais a 40% da altura da lâmina d'água em relação ao fundo da calha, localizadas à 1/6, 1/2 e 5/6 da seção transversal, pelo produto de cada área de influência destes mesmos pontos, pelo método da seção média conforme metodologia descrita por (Paiva & Martins, 2001) (figura 05).

$$Q_T = (A_1 * V_1) + (A_2 * V_2) + (A_3 * V_3) \quad (3.7)$$

Onde

Q_T = descarga líquida total calha 2;

A_1 = área da vertical 1;

A_2 = área da vertical 2;

A_3 = área da vertical 3;

V_1 = velocidade da vertical 1;

V_2 = velocidade da vertical 2;

V_3 = velocidade da vertical 3.

3.3.4– Curva chave das descargas líquidas

As curvas chave das descargas líquidas tanto para a estrutura de medição calha(I) composta como para calha (II), foram obtidas através de medidas das velocidades médias do escoamento transformadas em vazões, e das alturas das lâminas d'água correspondentes.

Para estrutura de medição calha (I) foram elaboradas 5 curvas chave sendo que;

- 1)Calha, com 9 pares de lâmina d'água-vazão;
- 2)Vertedor esquerdo, com 12 pares de lâmina d'água-vazão;
- 3)Vertedor direito, com 12 pares de lâmina d'água-vazão;
- 4)Vertedores esquerdo e direito;
- 5)Vertedores esquerdo, direito e calha;

Para a estrutura de medição calha (II) foi elaborada 1 curva chave para a calha com 33 pares de lâmina d'água-vazão.

As planilhas de medição das lâminas d'água-vazão encontram-se no (anexo A) (quadros 01 e 02).

3.4-Medidas hidrosedimentométricas

3.4.1 – Determinação das descargas sólidas

As descargas sólidas tanto de sedimentos em suspensão como de sedimentos de fundo, foram medidas e quantificadas juntamente com as descargas líquidas.

Os procedimentos das medições das descargas sólidas nas estruturas de medição calha (I) composta e na estrutura de medição calha (II), foram semelhantes.

3.4.1.1 – Sedimentos em suspensão

As medidas dos sedimentos em suspensão foram feitas com o objetivo de determinar a concentração média de sedimentos em suspensão na seção.

3.4.1.1.1- Equipamentos utilizados

Para as amostragens de sedimentos em suspensão nas estruturas calha (I) composta e calha (II), foi utilizado o amostrador de fluxo ascendente (US-U-59) (figura 10). Este amostrador foi adaptado de maneira conveniente para uma melhor utilização nas seções de medições acima citadas.

De acordo com Carvalho (1994), este amostrador consiste em uma garrafa com tubos em sifão, um para admissão da amostra e outro para saída do ar. São usados em cheias rápidas e em cursos d'água intermitentes, especialmente em locais remotos ou de difícil acesso. O amostrador é instalado em nível pré-determinado, num suporte vertical, de preferência numa posição perto ou no centro do curso d'água.

As aberturas dos tubos deverão ficar orientadas contra a corrente, sendo que um ou mais amostradores podem ser montados, um acima

do outro numa mesma vertical, para coleta em diversos níveis selecionados.

A forma de sifão da tubulação e o posicionamento dos locais de saída de ar em sentido contra-corrente a 3 cm acima do sifão de tomada da amostra, são adotados com o objetivo de evitar a recirculação da mistura água e sedimento, através da garrafa, quando o equipamento estiver submerso, Umezawa (1979).

Na estação fluvio-sedimentométrica Sítio do Tio Pedro os amostradores de sedimentos em suspensão (US-U-59), foram montados diferentemente entre as estruturas de medição calha (I) composta e calha (II).

a)calha (I) composta; os amostradores foram fixados verticalmente em uma coluna de madeira com quatro pontos de coleta. Cada ponto de coleta é constituído por uma garrafa padrão com capacidade de 500ml de vidro, situados à 17cm, 25,5cm, 33,5cm, 47cm do nível zero da referência ou seja o fundo da calha.

A viga de madeira com os amostradores foi localizada ao lado direito da calha de medição tendo como referência à vista frontal.
b)calha (II); nesta estrutura de medição os amostradores (US-U-59), foram afixados verticalmente em duas colunas de madeira contendo dois pontos de coleta em cada coluna, com garrafas padrão com volume de 500ml de vidro situadas à 4cm, 14cm, na coluna do lado direito, e 8,5cm, 19cm na coluna do lado esquerdo, tendo como referência o nível zero, ou seja o fundo da calha.

As colunas estão localizadas uma de cada lado em relação a calha, com o objetivo de não interferir no escoamento.

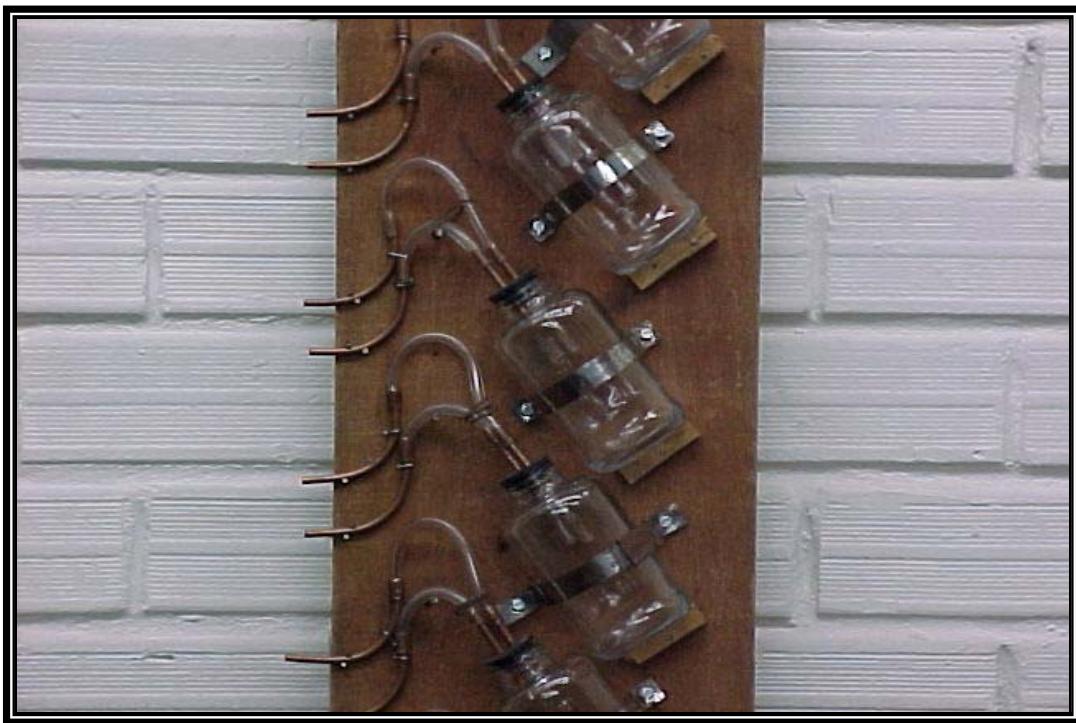


Figura 10 – Amostrador US-U-59 (ANA).

3.4.1.1.2 – Curva chave dos sedimentos em suspensão

As curvas chave dos sedimentos em suspensão foram obtidas através da relação das descargas líquidas (Q_l) e as descargas sólidas (Q_{ss}); Para a execução da representação gráfica foram determinadas a concentração média de 27 amostras para a estrutura calha (I) e 32 amostras para a estrutura calha (II), correspondentes as cotas das amostras coletadas.

3.4.1.2- Sedimentos de fundo

Para a determinação das descargas sólidas (Qsf) dos sedimentos transportados por arraste de fundo foram selecionados 9 eventos nos

períodos de cheias, e 8 nos períodos de estiagem. Foi dada especial atenção aos eventos em que os dados e as amostras fossem representativas, e que não houvessem apresentado problemas em suas coletas.

3.4.1.2.1- Equipamentos utilizados

Na estrutura de medição calha (I) composta foram utilizados o amostrador do tipo Helley-Smith (US-BL-84) (figura 11), modelo 8030 proposto por Emmett (1981) e o amostrador tipo fossa de sedimento modelo proposto por Waslenchuk (1976) (figura 12) para coleta das amostras de material de fundo.

O amostrador Helley-Smith é um aperfeiçoamento do amostrador Arnhem, tipo diferença de pressão. A seção de entrada mede 7,62 x 7,62cm e a abertura que segue foi aumentada para 15,2 x 15,2cm. O sedimento de arrasto fica contido numa saca de náilon de 46cm de comprimento com malhas de abertura de 0,25mm, fixada com um anel de borracha na abertura. A eficiência de amostragem é de 100% para areia grossa e pedregulho, com material do leito de 0,5 a 16mm.

Pode ser usado em rios com velocidades menores que 3m/s, Carvalho (1994).



Figura 11 – Amostrador (Helleys-Smith) em operação.

O amostrador Waslenchuk, é um amostrador do tipo fenda ou poço, é um medidor direto de descarga de arrasto, usando estruturas fixas, portáteis e removíveis, colocadas na seção transversal do leito em estudo.

Este amostrador consiste de uma estrutura em forma de cunha-moldada e uma tela de malha fixa. A forma do amostrador permite que o mesmo seja facilmente empurrado para dentro do curso d'água. Os amostradores constam de uma entrada e uma saída; na saída está instalado uma tela confeccionada com tecido de aço inox, com malha 325, abertura 0,042mm, que permite a coleta de material até a granulometria correspondente a areia muito fina.



Figura 12 – Amostrador (Waslenchuk) em operação.

3.4.1.2.2 – Curva chave dos sedimentos de fundo

As curvas chaves dos sedimentos de fundo foram obtidas através do material coletado pelos amostradores Halley-Smith para os períodos de cheia em 9 eventos selecionados, a partir da relação da descarga líquida (Q_l) medida em campo e da descarga sólida (Q_{sf}).

Para o período de estiagem foram selecionados 8 eventos através do material coletado pelos amostradores Waslenchuk, no qual relacionou-se os dados da descarga líquida (Q_l) medida em campo e da descarga sólida (Q_{sf}).

3.4.1.3- Sedimentos produzidos pela enxurrada

A determinação dos sedimentos transportados e produzidos pela enxurrada foi feita a partir de 7 eventos selecionados para os períodos de cheias, sendo que, não houve transporte de sedimentos nos períodos de estiagem. Os eventos selecionados foram aqueles que não apresentaram problemas em suas medições e coletas e que tiveram duração de um dia, devido ao tipo de amostradores utilizados (Fossa de Sedimentos).

3.4.1.3.1- Equipamentos utilizados

Na estrutura de medição calha (II) foram utilizados amostradores tipo fossa de sedimentos (figuras 13 e 14) adaptado e desenvolvido para as condições de uso do local.

Os amostradores foram instalados na seção transversal do córrego, a 2 metros da entrada calha (II). Foram executados de modo a reter os sedimentos transportados pela enxurrada.

O conjunto dos amostradores ficou localizado no leito, um ao lado do outro para coletar todo sedimento passante; o conjunto continha ainda duas proteções laterais que obrigava toda a descarga sólida e líquida a passar pela estrutura.

Cada amostrador foi feito em madeira com alças de metal em suas extremidades para facilitar sua retirada, suas dimensões eram de 12cm de largura por 25cm de profundidade e 100cm de comprimento.

Foi deixado um compartimento localizado imediatamente após os amostradores, com largura total da seção transversal com mesma profundidade e comprimento para reter o excesso de material.



Figura 13 – Amostradores tipo Fossa de Sedimentos em operação.

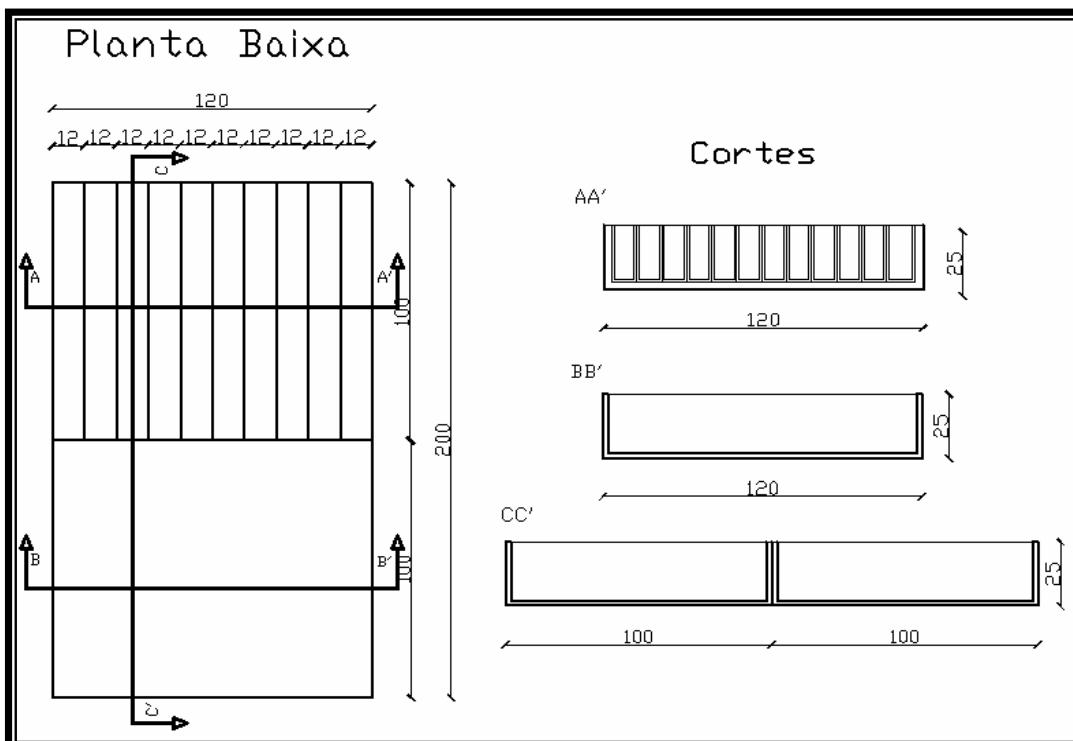


Figura 14 – Esquema com as dimensões do amostrador tipo fossa de sedimentos da estrutura de medição calha (II).

3.4.1.3.2 - Curva chave dos sedimentos da enxurrada

A curva chave dos sedimentos produzidos e transportados pela enxurrada foi feita a partir da descarga líquida (Q_l) medida em campo, e pela descarga sólida (Q_{ss}) do material coletado pelos amostradores do tipo fossa de sedimentos. Para a composição dos dados foram selecionados 7 eventos.

3.4.2 – Sedimentos totais

Para a totalização dos sedimentos dos eventos selecionados na estrutura de medição calha (I) composta, foi considerada a soma dos

sedimentos em suspensão e dos sedimentos transportados por arraste de fundo em todos os níveis de lâmina d'água através dos sedimentogramas.

Para a totalização dos sedimentos na estrutura de medição calha (II), foi considerada a soma dos sedimentos totais produzidos e coletados pela enxurrada no final de cada evento, e a integralização em todos os níveis de lâmina d'água dos sedimentos em suspensão; através dos sedimentogramas dos eventos correspondentes.

3.4.2.1 – Curva chave dos sedimentos totais

A elaboração das curvas chave para as estruturas de medição calha (I) composta e calha (II), foi feita através da relação da totalização dos sedimentos (Q_{st}) e das descargas líquidas totais (Q_l) para cada evento correspondente.

3.4.2.2 – Sedimentogramas

Para a estrutura de medição calha (I) composta os sedimentogramas foram feitos a partir da integralização dos dados dos sedimentos transportados em suspensão e por arraste de fundo, discretizados de minuto em minuto através das curvas chave em todos os níveis de lâmina d'água com as vazões correspondentes para cada um dos eventos selecionados.

Os sedimentogramas da estrutura de medição calha II foram integralizados apenas os dados dos sedimentos em suspensão, devido

as amostras dos sedimentos transportados pela enxurrada serem coletados na sua totalidade no final de cada evento.

3.5- Amostragens e análise dos sedimentos

3.5.1 – Sedimentos em suspensão

As amostras coletadas da variação de concentração dos sedimentos em suspensão foram obtidas de modo que fossem representativas na seção de medição, para tanto foram coletadas criteriosamente, os amostradores foram posicionadas em pontos pré-estabelecidos tanto na vertical como transversalmente ao escoamento. Foram consideradas amostras em eventos nos quais não houve registros com problemas em suas coletas, sendo que só foi utilizado amostradores que tinham enchimento mínimo de 2/3 do volume total da garrafa.

As análises das amostras coletadas foram executadas no laboratório de Hidrologia e Sedimentologia do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria.

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão utilizou-se o método da filtragem e pesagem conforme metodologia de Carvalho et alli (2000).

3.5.2 – Sedimentos de fundo e da enxurrada

As medidas do material de fundo da estrutura de medição calha (I) composta, e do material produzido pela enxurrada da estrutura de medição calha (II), tiveram como objetivo quantificar as descargas sólidas, bem como determinar a caracterização granulométrica dos sedimentos transportados.

Na estrutura calha (I) composta em eventos chuvosos foi utilizado o amostrador Helleys-Smith (US-BL-84), modelo 8030, e em períodos de estiagem os amostradores Waslenchuk..

O amostrador Helleys-Smith quando utilizado é colocado no centro do curso d'água, fixado no leito em local escolhido estrategicamente. Através do suporte no topo da armação do amostrador pode-se manuseá-lo e posicioná-lo adequadamente. O material de fundo se aloja na saca de amostragem que está fixada na abertura do bocal através de uma anel de borracha com três presilhas parafusadas, que posteriormente é retirada para a coleta das amostras e subsequente análise em laboratório.

Os amostradores Waslenchuck conforme descrito por Belinaso (2002), são colocados de forma que a tela esteja nivelada com a superfície de fundo. São colocadas transversalmente ao curso d'água retendo a carga sólida do leito, e de forma que os lados estejam na vertical e paralelas com a direção da corrente do curso d'água.

Após um período previamente estabelecido (48 horas), foi retirado os amostradores com o material para análise.

Na estrutura de medição calha (II), foi utilizado para eventos chuvosos os amostradores tipo fossa de sedimentos.

Depois da ocorrência de cada evento chuvoso são retirados os amostradores manualmente um após o outro através dos puxadores ou alças de metal em suas extremidades. É coletado e quantificado todo o material existente em seu interior, com posterior envio das amostras para análise em laboratório.

As amostras dos sedimentos da enxurrada foram coletadas de modo criterioso e o mais representativo possível com aproximadamente 2,5Kg de material, devidamente identificados e embalados em sacos plásticos para cada tipo de amostrador em cada evento.

As análises e a caracterização das amostras dos sedimentos, para a estrutura de medição calha (I) composta como para a estrutura calha (II) dos amostradores, Helleys-Smith (US BL-84) modelo 8030, Waslenchuk e Fossa de Sedimentos, foram executadas no laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria através de determinação da distribuição granulométrica pelo método de peneiramento e o de sedimentação, de acordo com a Norma Técnica NBR 7181/84.

3.6 – Determinação do volume superficial escoado e da produção de sedimentos

A determinação do volume superficial escoado de cada evento selecionado foi feita a partir da confecção dos hidrogramas

individuais, com a separação do escoamento superficial do escoamento básico.

A separação dos escoamentos seguiu-se a metodologia proposta por Wilken (1978), para a definição dos pontos **S**, **C** e **A**.

Com os volumes superficiais definidos, tanto para a estrutura de medição calha (I) como para a estrutura de medição calha (II), foram relacionados os valores dos volumes superficiais escoados com as descargas sólidas totais correspondentes aos eventos selecionados.

3.6.1 - Estimativa da produção de sedimentos através das curvas chave do volume superficial escoado

Os resultados para a obtenção da produção, do transporte, e do aporte de sedimentos, foram baseados na confecção das curvas chave das estruturas de medição calha (I) composta e calha (II).

Para a estrutura de medição calha (I) composta foram determinados o volume superficial escoado e a vazão de pico através dos hidrogramas, e as descargas sólidas totais a partir dos sedimentogramas.

Para a estrutura de medição calha (II) a representação gráfica foi feita baseada nos hidrogramas, mais os sedimentogramas dos sedimentos em suspensão, e dos sedimentos transportados pela enxurrada.

As equações correspondentes das curvas chave foram obtidas a partir do produto entre o volume superficial escoado e a vazão de

pico, pela descarga sólida total; e do volume superficial escoado pela descarga sólida total transportada nos eventos.

3.7 – Relação entre a estimativa de produção dos sedimentos das áreas urbanas e em urbanização

Para uma melhor compreensão deste trabalho, foi feita uma análise da relação da produção e do transporte de sedimentos na área urbana e em urbanização da bacia em estudo, bem como um comparativo quantitativo com outros estudos no que se refere ao transporte e a produção de sedimentos em regiões com estágios semelhantes de urbanização.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização geral da bacia hidrográfica

4.1.1 - Solos

A seguir são apresentados a identificação e a distribuição das unidades pedológicas de solo existentes na bacia hidrográfica estudada;

Quadro 01 – Identificação dos solos na bacia

Identificação dos Solos na Bacia	Área (m ²)	Área (%)
a) Podzólico Bruno- Acinzentado Álico (PB _{al})	298.862,75	55,60
b) Solo Litólico Eutrófico Relêvo Forte Ondulado (Re ₃)	102.866,47	19,14
c) Solo Litólico Eutrófico- Cambissolo - Colúvios (Re-C-Co)	135.758,78	25,26
d) Solo Litólico Eutrófico Relêvo Montanhoso (Re ₄)	0	0
e) Cambissolo Eutrófico e Distrófico (C _I)	0	0
f) Divisor de á agua da bacia	0	0
Área total	537.488,00	100,00

Fonte Azolin & Mutti (1988).

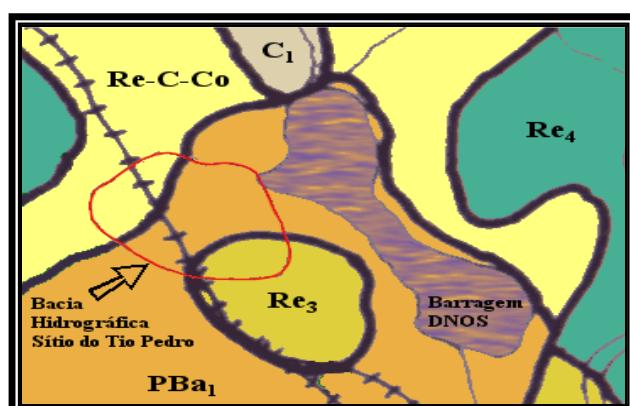


Figura 15 – Unidades pedológicas de solo.

4.1.2 – Uso e cobertura do solo

O uso e cobertura do solo, bem como a localização das áreas estudadas está disposta conforme (figura 16).

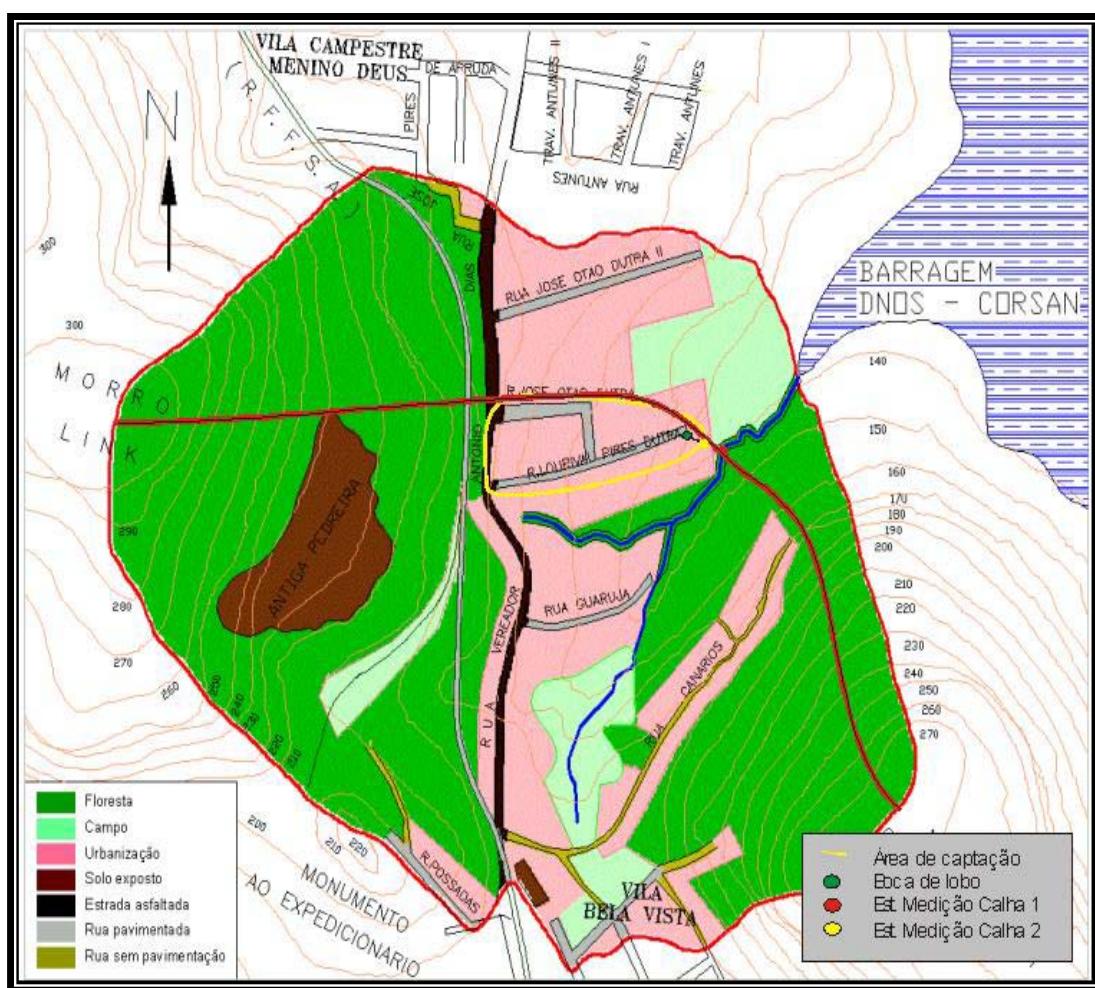


Figura 16 – Uso e cobertura do solo. (Fonte, Belinaso 2002).

4.1.3 – Características físicas

As características físicas da bacia em estudo determinada por Belinaso (2002) são apresentadas no (quadro 02).

Quadro 02 – Características físicas da bacia estudada.

Características Físicas da Bacia Hidrográfica		
Área	0,530	(Km ²)
Perímetro	2,750	(Km)
Comprimento do rio principal	0,890	(Km)
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,050	
Coeficiente de forma (Kf)	0,660	
Declividade média	26,800	(%)
Declividade média ponderada do rio principal	0,063	(m/m)
Índice de declividade de Roche (Ip)	0,194	
Densidade de drenagem	1,672	(Km/Km)
Comprimento da rede de drenagem	0,920	(Km)
Ordem dos cursos d'água	2 ^a	Ordem
Altitude máxima	305,000	(m)
Altitude mediana	187,780	(m)
Altitude média	201,080	(m)
Altitude mínima	130,000	(m)
Diferença de cotas	175,000	(m)
Extensão média do escoamento superficial	149,630	(m)
Tempo de concentração	6,870	(min)
Elevação média	201,080	(m)
Perfil do rio principal		
Declividade S1	0,100	(m/m)
Declividade S2	0,072	(m/m)
Declividade S3	0,082	(m/m)

(Fonte, Belinaso 2002)

4.2 - Determinação e caracterização das medidas pluviométricas

Os dados de precipitação foram obtidos através do pluviômetro instalado junto à área em estudo (figura 16).

O (quadro 03) apresenta as precipitações discriminadas correspondentes aos eventos selecionados, os hidrogramas dos eventos são apresentados (figuras 57 a 71).

A maior precipitação do período foi de 139,260 mm registrada em 15/12/03, enquanto que a menor precipitação foi de 14,260 mm ocorrida no evento de 05/08/03. A precipitação média registrada nos eventos selecionados foi de 56,596 mm.

Quadro 03 – Precipitações totais ocorridas durante os eventos selecionados.

Dados das Precipitações Totais		
Evento	Precipitações (mm)	Calhas
22/05/03	32.610	1
16/06/03	51.110	1 e 2
21/06/03	59.660	1
15/07/03	28.310	1
24/07/03	15.930	1
05/08/03	14.260	1
21/09/03	114.926	2
24/09/03	30.500	1
08/10/03	32.950	2
25e26/10/03	126.250	2
31/10/03	32.960	2
11/12/03	87.570	1 e 2
15/12/03	139.260	2
	735.746	
Prec. Média	56.596	

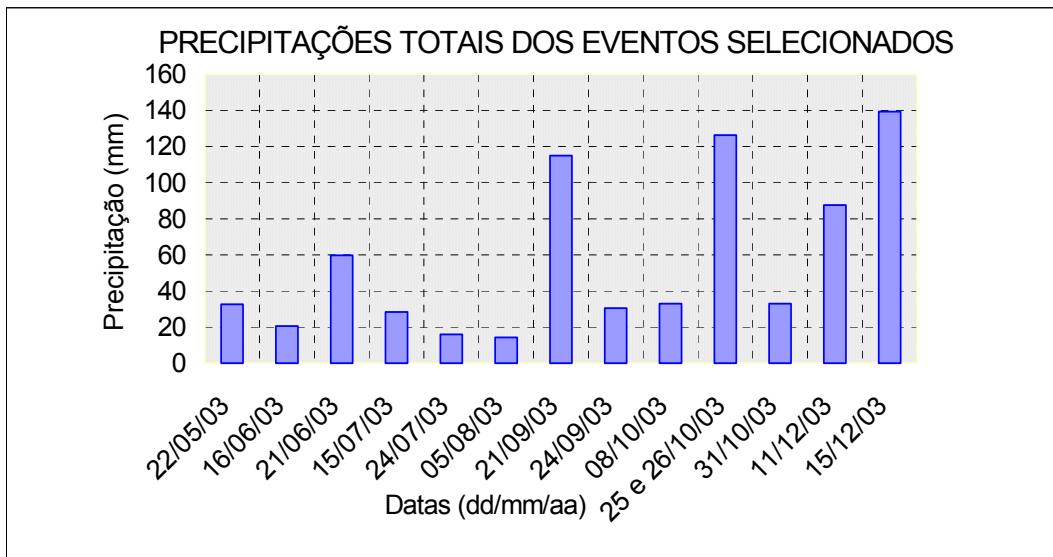


Figura 17 – Gráfico das precipitações totais nos eventos selecionados.

4.3 - Medidas hidráulicas

4.3.1 – Determinação das descargas líquidas

A determinação das descargas líquidas foi feita a partir da velocidade e profundidade da lâmina d'água medidas, que são apresentadas nas planilhas de medição (quadros 49 a 53) do anexo B.

4.3.2 – Estrutura de medição da seção calha I

Para a elaboração da curva chave da estrutura de medição calha I foram utilizadas 9 medidas de vazões para a calha, e de 12 medidas para cada vertedor.

4.3.2.1 – Curvas chave da estrutura de medição calha I

Foram elaboradas curvas chaves e calculados os coeficientes de correlação. A equação (4.7) representa a curva chave da calha (quadro 04) e (figura 18), a equação (4.8) representa a curva chave do vertedor do lado esquerdo (quadro 05) e (figura 19), a equação (4.9) representa o vertedor do lado direito (quadro 06) e (figura 20). Os dois vertedores em conjunto são representados pela equação (4.10) (quadro 08) e (figura 21), e para a atuação simultânea dos vertedores e da calha com lámina d'água acima de 26 cm equação (4.11) (quadro 08) e (figura 22). A curva chave total (quadro 07) e (figura 23), foi resultante da composição da equação (4.7) e da equação (4.11).

Quadro 04 – Dados para elaboração da curva chave da calha I.

Calha I		
Evento	Lâmina d' água	Vazão
data	(cm)	(l/s)
22/05/03	13,50	32,800
08/07/03	6,00	7,551
08/07/03	8,00	14,082
08/07/03	10,50	21,319
22/05/03	18,00	56,051
11/12/03	23,50	79,210
22/05/03	27,00	96,274
11/12/03	27,50	99,203
11/12/03	30,00	122,724

Quadro 05 – Dados para elaboração da curva chave do vertedor esquerdo

Vertedor Lado Esquerdo		
Evento	Lâmina d'água	Vazão
data	(cm)	(l/s)
08/07/03	7,50	35,515
15/07/03	8,00	41,231
15/07/03	8,00	43,249
22/05/03	8,50	52,336
22/05/03	10,00	63,292
16/06/03	11,00	76,999
16/06/03	15,00	136,560
22/05/03	18,50	189,424
22/05/03	21,50	251,079
11/12/03	23,50	298,551
16/06/03	34,50	521,963
11/12/03	38,50	617,575

Quadro 06– Dados para elaboração da curva chave do vertedor direito.

Vertedor Lado Direito		
Evento data	Lâmina d' água (cm)	Vazão (l/s)
16/06/03	6,00	25,047
15/07/03	6,00	26,154
22/05/03	6,00	24,943
08/07/03	6,50	30,432
15/07/03	9,00	52,568
16/06/03	11,50	87,461
22/05/03	14,50	122,233
22/05/03	15,00	138,470
11/12/03	16,50	164,495
22/05/03	21,00	237,086
16/06/03	22,50	264,659
11/12/03	32,00	470,321

Quadro 07 – Dados para elaboração da curva chave calculada e da equação composta.

Vertedores/Calha I		
Lâmina d'água (cm)	Calculada Vertores/calha Vazão (l/s)	Curva chave Vertores/calha Vazão (l/s)
5,00	5,755	5,755
10,00	18,404	18,404
15,00	36,329	36,329
20,00	58,857	58,857
25,00	85,573	85,573
30,00	140,893	152,020
35,00	250,046	248,389
40,00	401,189	380,052
45,00	589,569	553,055
50,00	812,283	773,590
55,00	1067,276	1047,974
60,00	1352,976	1382,645
65,00	1668,117	1784,151

Quadro 08 – Dados para elaboração da curva chave dos dois vertedores, e da calha e vertedores para lâmina d'água maiores que 26cm.

Vertedores Esquerdo/Direito/ Calha I para lâminas d'água > 26cm					
Lâmina d'água (cm)	Calha I Vazão (l/s)	Vert Esq Vazão (l/s)	Vert Dir Vazão (l/s)	Vertedores Vazão (l/s)	Vertores/calha Vazão (l/s)
30,00	116,182	11,986	12,724	24,711	140,893
35,00	150,460	46,294	53,291	99,586	250,046
40,00	188,229	96,665	116,296	212,961	401,189
45,00	229,340	160,791	199,438	360,229	589,569
50,00	273,668	237,312	301,303	538,615	812,283
55,00	321,105	325,288	420,883	746,171	1067,276
60,00	371,558	424,011	557,407	981,418	1352,976
65,00	424,942	532,924	710,252	1243,176	1668,117

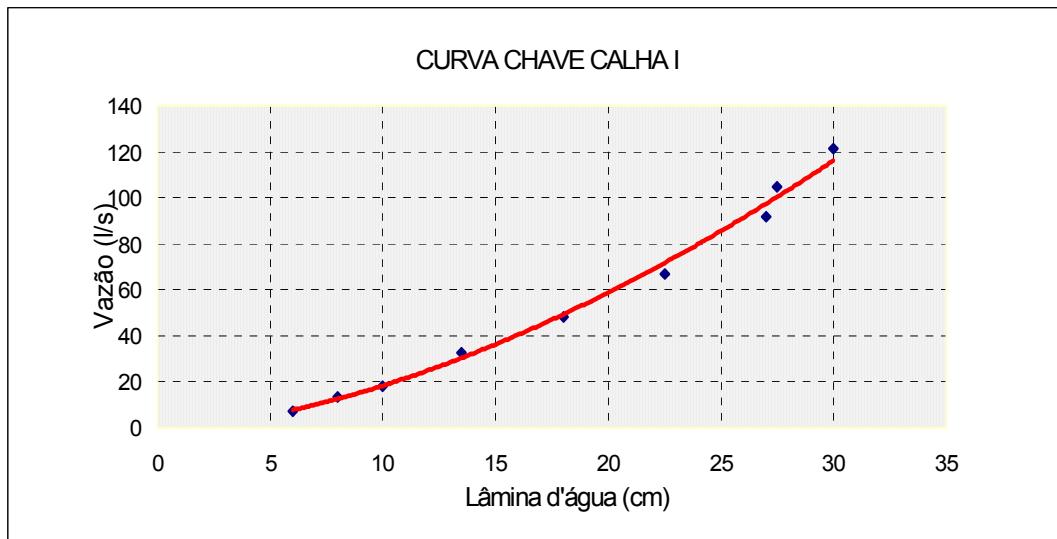


Figura 18 – Curva chave da calha I

$$Q(l/s) = 0,387(h)^{1,6772} \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,9964$$

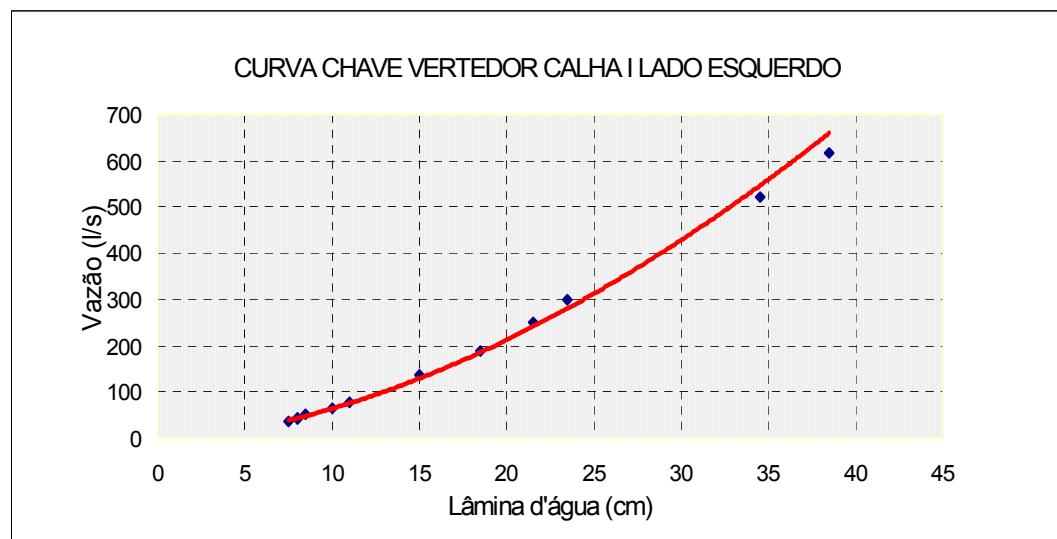


Figura 19 – Curva chave do vertedor do lado esquerdo.

$$Q(l/s) = 1,1898(h-26)^{1,7309} \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,9971$$

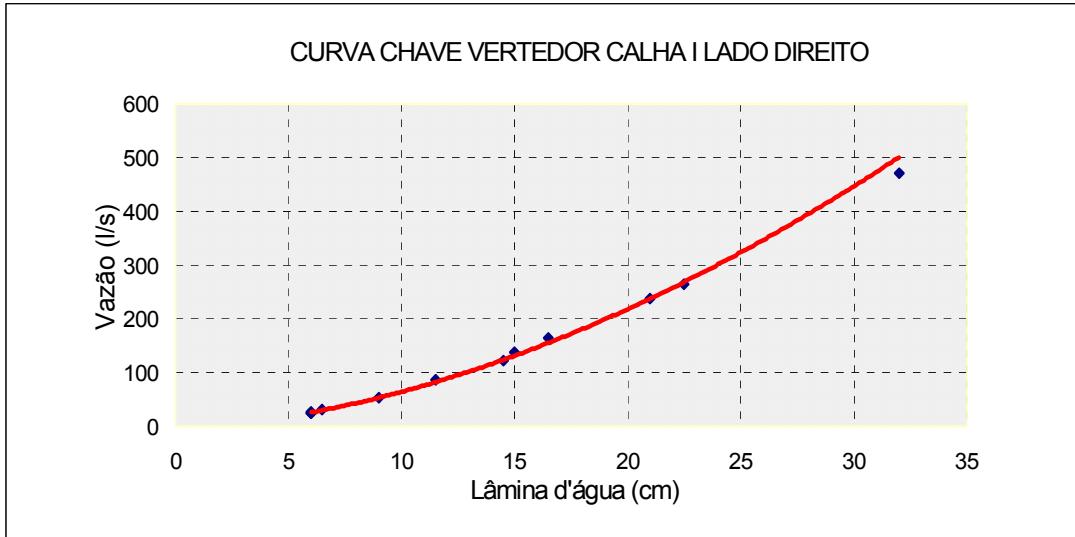


Figura 20 – Curva chave do vertedor do lado direito.

$$Q(l/s) = 1,997(h-26)^{1,7662} \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,9985$$

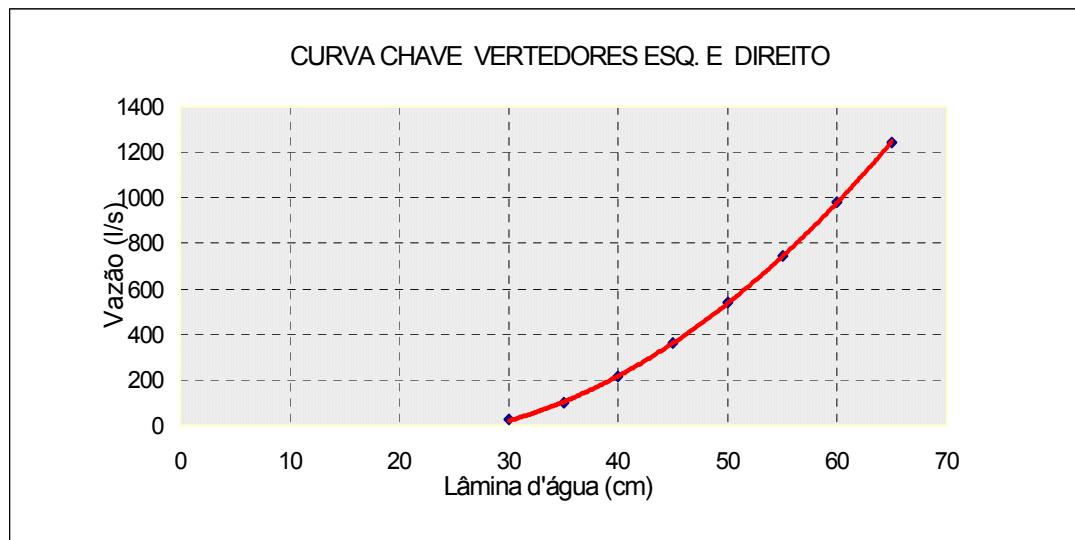


Figura 21 – Curva chave vertedores esquerdo e direito.

$$Q(l/s) = 0,6154(h-26)^2 - 23,422(h-26) + 169,18 \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,9999$$

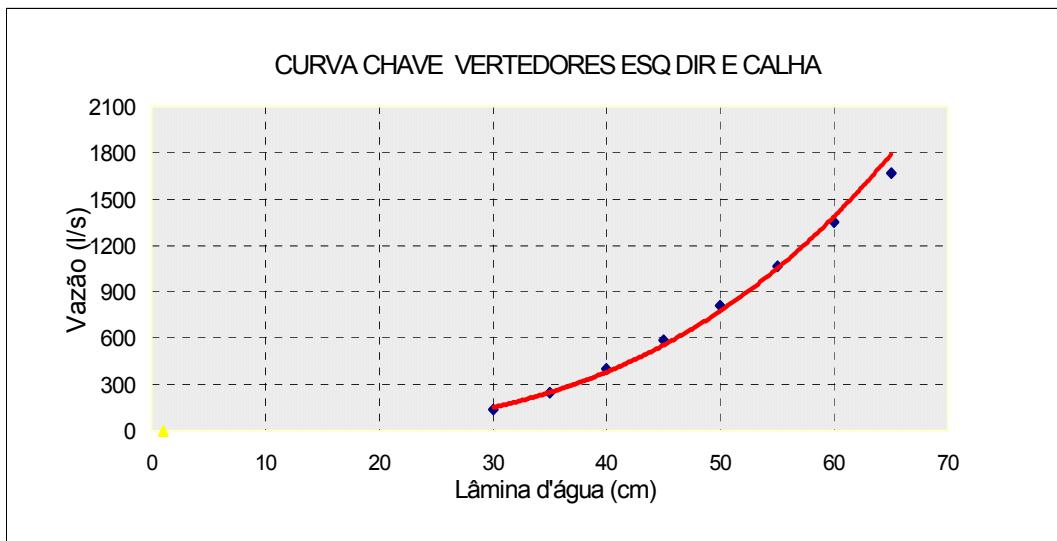


Figura 22 – Curva chave, vertedores e calha para lâminas d'água >26cm.

$$Q(l/s) = 0,003(h)^{3,1851} \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0,9960$$

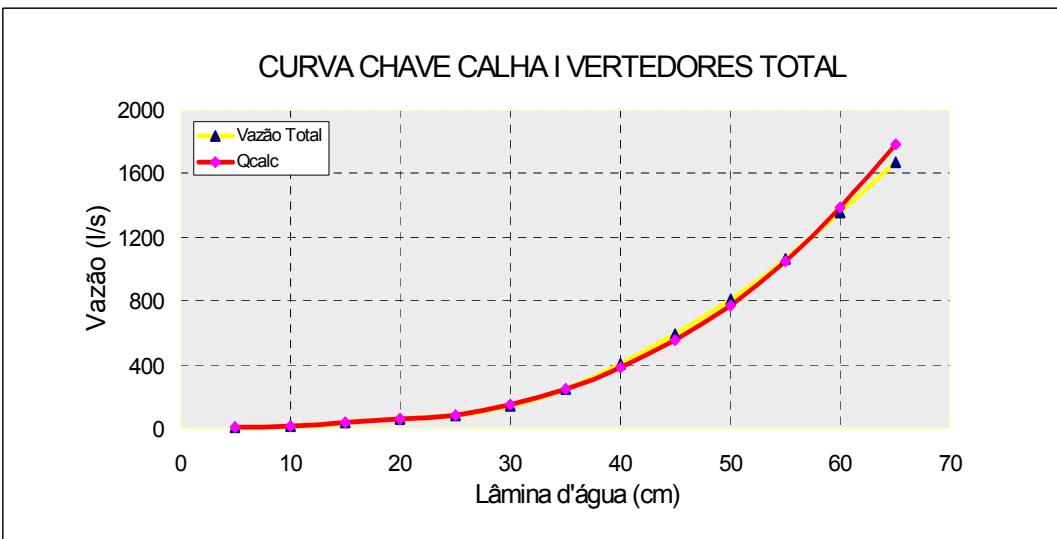


Figura 23 – Curva da equação composta para lâminas d'água.

$$\text{p/ } L \leq 26\text{cm } Q(l/s) = 0,387(h)^{1,6772} \quad \text{p/ } L > 26 \text{ cm } Q(l/s) = 0,003(h)^{3,1851}$$

4.3.3 – Estrutura de medição da seção calha II

Os dados de vazão da estrutura de medição calha II foram obtidos através de 33 pares de lâmina d'água-vazão medidos em campo que são apresentados no (quadro 09).

4.3.3.1- Curva chave da seção calha II

A elaboração da curva chave da calha II (quadro 09) e (figura 24) foi feita de modo semelhante aos da calha I.

Quadro 09 – Dados para elaboração da curva chave da calha II.

Calha II					
Evento data	Lâmina d'ág (cm)	Vazão (l/s)	Evento data	Lâmina d'ág (cm)	Vazão (l/s)
05/11/03	5,50	6,234	25/10/03	14,00	36,804
08/10/03	6,00	7,091	08/10/03	15,00	39,349
25/10/03	6,50	7,877	25/10/03	15,50	42,013
11/12/03	6,50	7,779	11/12/03	16,50	46,154
08/07/03	7,00	8,670	25/10/03	17,00	55,261
08/07/03	7,00	8,786	25/10/03	17,50	58,257
08/10/03	7,00	9,101	11/12/03	18,00	57,941
05/11/03	7,50	9,114	08/07/03	18,50	57,423
25/10/03	8,00	12,682	11/12/03	22,00	72,504
05/11/03	8,00	13,496	11/12/03	23,50	79,876
25/10/03	10,00	19,403	16/06/03	26,00	89,587
11/12/03	11,00	22,921	11/12/03	26,50	97,627
08/10/03	11,50	23,349	11/12/03	28,50	109,604
25/10/03	12,00	26,865	16/06/03	31,00	135,548
08/10/03	12,50	28,401	16/06/03	36,00	167,133
25/10/03	13,00	29,017	16/06/03	40,50	201,460
08/07/03	14,00	35,847			

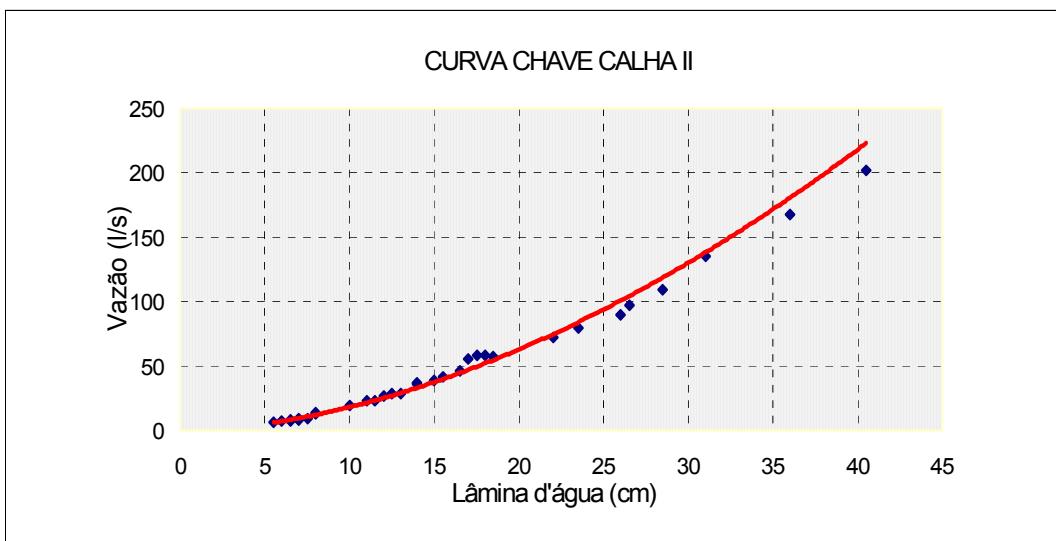


Figura 24 – Curva chave da calha II.

$$Q(l/s) = 0,2944(h)^{1,7912} \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0,9933$$

4.4– Medidas hidrosedimentométricas

4.4.1 – Determinação das descargas sólidas

A determinação das descargas sólidas foi feita de modo semelhante tanto para a estrutura de medição calha I, como para a estrutura de medição calha II.

4.4.1.1 – Sedimentos em suspensão

As descargas dos sedimentos em suspensão foi determinada a partir das concentrações médias dos sedimentos transportados e coletados nos amostradores em níveis pré estabelecidos pela equação;

$$Q_{(ss)} = 0,864 * (Q_l) * c \quad (4.13)$$

Onde;

$Q_{(ss)}$ = descarga sólida em (ton/dia);

Q_l = descarga líquida em (m^3/s);

c = concentração em (mg/l).

4.4.1.1.1- Curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha I

Para a confecção da curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha I (quadro 10) e (figura 25), foram selecionados 9 eventos com 27 amostras coletadas.

Quadro 10 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos em suspensão da calha I.

Sedimentos em Suspensão Calha I (US-U-59)					
		Descarga Sólida nos diversos níveis			
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Evento	0,170 (m)	0,255 (m)	0,330 (m)	0,470 (m)	
05/08/03	0,938	1,355	10,518	-	
24/07/03	2,155	5,706	11,870	-	
22/05/03	3,688	10,662	8,784	-	
21/06/03	4,926	8,290	8,588	-	
24/09/03	1,309	8,393	10,611	-	
16/06/03	3,703	7,213	10,201	-	
25/10/03	2,743	4,798	7,385	-	
15/07/03	4,546	7,201	8,718	-	
11/12/03	7,470	10,492	7,114	-	
Desc. Sólida Total	31,478	64,109	83,789		
Desc. Sólida Média (ton/dia)	3,498	7,123	9,310		
Desc. Líquida (m³/s)	0,0448	0,0885	0,1363		

4.4.1.1.2 – Curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha II

Para a elaboração da curva chave dos sedimentos em suspensão da estrutura calha II foram selecionados 10 eventos (quadro11) e (figura 26) com 32 amostras coletadas.

Quadro 11 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos em suspensão da calha II.

Sedimentos em Suspensão Calha II (US-U-59)				
		Descarga Sólida nos diversos níveis		
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Evento	0,045 (m)	0,085 (m)	0,140 (m)	0,190 (m)
05/06/03	0,775	2,314	-	-
08/10/03	0,209	0,878	2,827	-
11/12/03	0,406	1,035	2,172	-
05/11/03	0,409	0,860	2,630	-
16/06/03	1,258	3,012	7,984	18,019
21/09/03	0,713	1,397	3,797	-
31/10/03	1,002	2,756	2,547	-
15/12/03	0,273	1,899	7,441	13,679
25e26/10/03	0,866	2,256	3,275	4,092
08/07/03	0,266	0,795	1,747	-
Desc. Sólida Total	6,176	17,201	34,419	35,790
Desc. Sólida Média(ton/dia)	0,618	1,720	3,824	11,930
Desc. Líquida (m³/s)	0,0043	0,0136	0,0332	0,0574

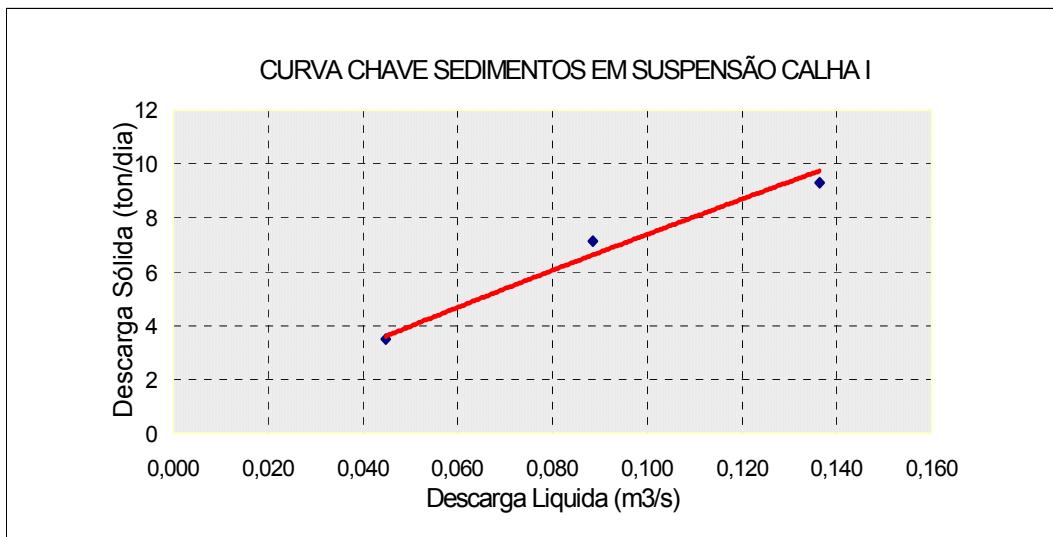


Figura 25 – Curva média dos sedimentos em suspensão da calha I.

$$Q_{ss} = 57,934(Q_l)^{0,8948} \quad (4.14)$$

$$R^2 = 0,9837$$

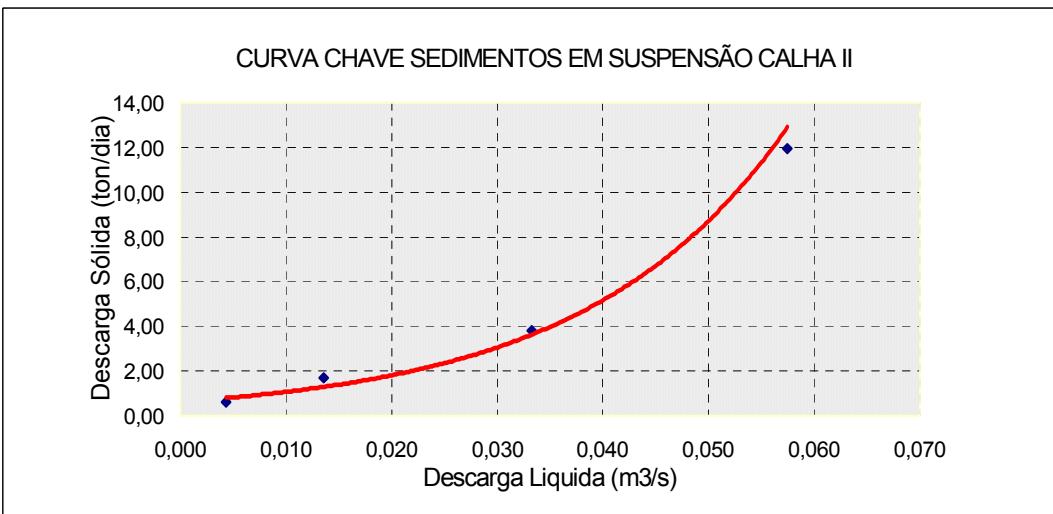


Figura 26 – Curva média dos sedimentos em suspensão da calha II.

$$Q_{ss} = 206,38(Q_l)^{1,0903} \quad (4.15)$$

$$R^2 = 0,9638$$

4.4.1.2 – Sedimentos de fundo

Para a determinação da descarga sólida dos sedimentos transportados por arraste de fundo na estrutura calha I, as medições foram feitas nos períodos de estiagem e de cheias.

4.4.1.2.1 – Curva chave dos sedimentos de fundo da estrutura calha I

A elaboração das equações das curvas chave de sedimentos transportados por arraste de fundo foi feita a partir de amostras de 8 eventos (quadro 12) e (figura 27) para o período de estiagem através dos amostradores (Waslenchuk), e amostras de 9 eventos (quadro 13) e (figura 28) para os períodos de cheia com o amostrador (Holley Smith).

Quadro 12 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos de fundo com o amostrador Waslenchuk.

Dados para Elaboração da Curva Chave de Sed. de Fundo					
Evento (Data)	Cota média L.d'água(cm)	L.d'água(m)	Q(m ³ /s)	SED (ton/dia)	Amostrador
20a 22/07	5,15	0,051	0,0060	0,017	Waslenchuk
01a 03/09	4,00	0,040	0,0040	0,005	Waslenchuk
06a 08/12	5,70	0,057	0,0072	0,023	Waslenchuk
02a 04/08	4,40	0,044	0,0046	0,009	Waslenchuk
07a 09/06	6,15	0,061	0,0081	0,026	Waslenchuk
08a 10/11	4,95	0,049	0,0057	0,012	Waslenchuk
14a 16/08	3,80	0,038	0,0036	0,006	Waslenchuk
19a 21/08	3,60	0,036	0,0033	0,004	Waslenchuk

Quadro 13 – Dados para elaboração da curva chave dos sedimentos de fundo com o amostrador Helleys Smith.

Dados para Elaboração da Curva Chave de Sed. de Fundo					
Evento (Data)	Cota média L.d'água(cm)	L.d'água(m)	Q(m ³ /s)	SED (ton/dia)	Amostrador
22/05/03	30,25	0,303	0,1561	0,890	HS
16/06/03	38,75	0,388	0,3435	1,686	HS
08/07/03	39,75	0,398	0,3725	1,916	HS
11/12/03	44,25	0,443	0,5242	3,092	HS
21/06/03	32,50	0,305	0,1962	0,931	HS
15/07/03	32,50	0,325	0,1962	0,985	HS
24/09/03	12,66	0,127	0,0273	0,290	HS
05/08/03	14,94	0,149	0,0361	0,189	HS
24/07/03	14,20	0,142	0,0331	0,567	HS

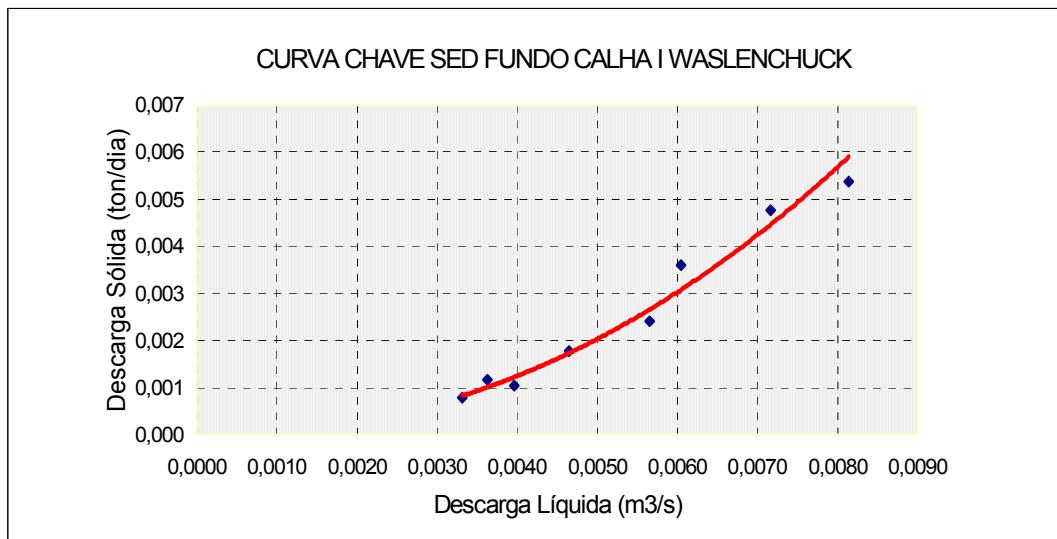


Figura 27 – Curva chave dos sedimentos de fundo da calha I.

$$Q_{sf} = 219,49(Q_l)^{2,1874} \quad (4.16)$$

$$R^2 = 0,9756$$

Para $(Q_l) \leq 0,035(\text{m}^3/\text{s})$ ou $h_{(\text{médio})} \leq 0,075(\text{m})$

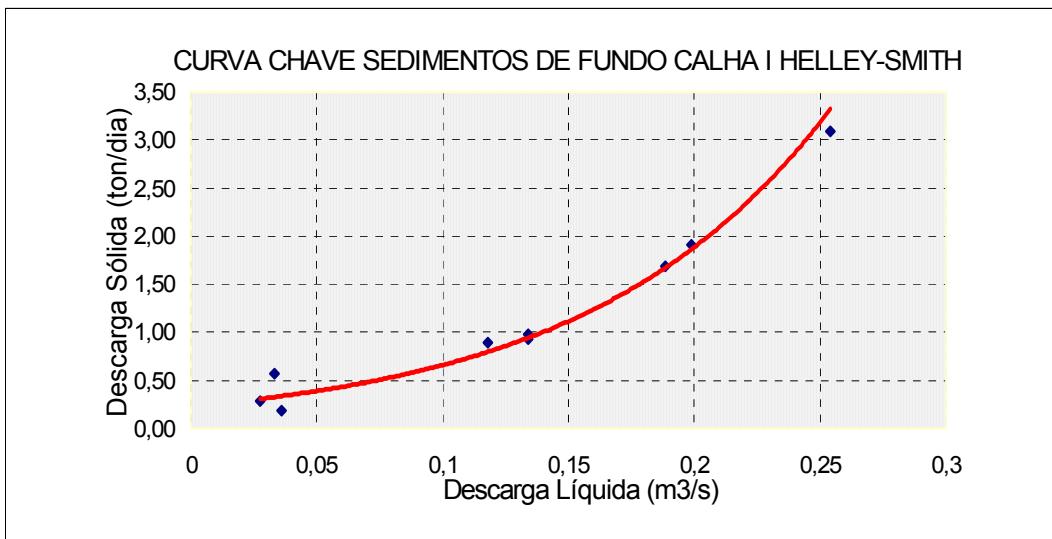


Figura 28 – curva chave dos sedimentos de fundo da calha I.

$$Q_{sf} = 0,2316 \exp^{10,488(Q_l)} \quad (4.17)$$

$$R^2 = 0,8967$$

Para $(Q_l) \geq 0,035(m^3/s)$ ou $h_{(médio)} \geq 0,075(m)$

4.4.1.2.2 – Curva chave dos sedimentos coletados pelos amostradores tipo fossa de sedimentos da estrutura calha II.

A elaboração da curva chave dos sedimentos produzidos e transportados pela enxurrada da área urbana foi feita através de amostras coletadas em 7 eventos selecionados e apresentados no (quadro 14) e (figura 29).

Quadro 14 – dados para elaboração da curva chave dos sedimentos produzidos pela enxurrada da calha II.

Dados para Elaboração da Curva Chave dos Sedimentos da enxurrada		
Evento	Volume (m ³)	P. Sed. (ton)
21/09/03	73,631	0,550
08/10/03	23,674	0,399
25e26/10/03	132,712	0,624
31/10/03	75,069	0,599
16/06/03	139,161	0,684
11/12/03	98,083	0,674
15/12/03	227,577	0,729

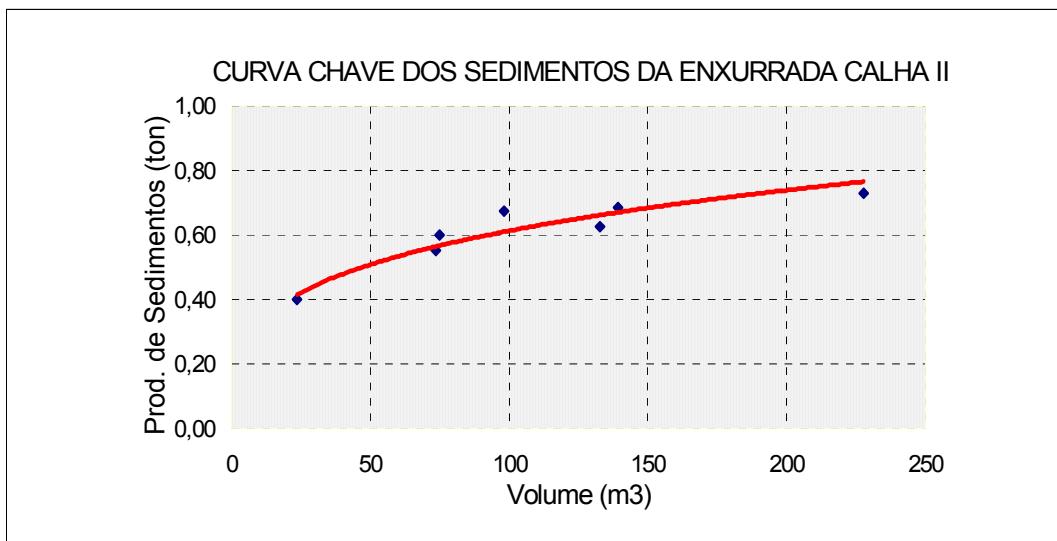


Figura 29 – curva chave dos sedimentos produzidos pela enxurrada da calha II.

$$Q_{se} = 0,177(\text{Vol})^{0,2698} \quad (4.18)$$

$$R^2 = 0,9115$$

4.4.1.3 – Sedimentos totais

A totalização dos sedimentos foi feita através da integralização dos dados dos sedimentos transportados em suspensão e por arraste de fundo na estrutura de medição calha I, e dos sedimentos transportados em suspensão e produzidos pela enxurrada da estrutura de medição calha II.

4.4.1.3.1 – Curva chave dos sedimentos totais da estrutura calha I

A curva chave dos sedimentos totais (quadro 15) e (figura 30), foi elaborada através de 8 eventos medidos.

Quadro 15 – dados para elaboração da descarga líquida total pela descarga sólida total da calha I.

Dados para Elaboração da Curva Chave da Descarga Líquida Total pela Descarga Sólida Total da Calha I.				
Evento	Desc. Liquida (m ³)	Sed.de Fundo (ton)	Sed. em Susp. (ton)	Desc. Sólida (ton)
Data				
15/07/03	2419,848	0,364	2,205	2,569
22/05/03	1840,157	1,153	1,600	2,753
24/09/03	1707,047	0,345	1,570	1,916
11/12/03	21722,446	7,616	15,523	23,129
21/06/03	2493,548	0,435	2,289	2,724
16/06/03	6526,845	1,767	5,182	6,949
05/08/03	825,589	0,258	0,870	1,128
24/07/03	1507,112	0,284	1,492	1,776

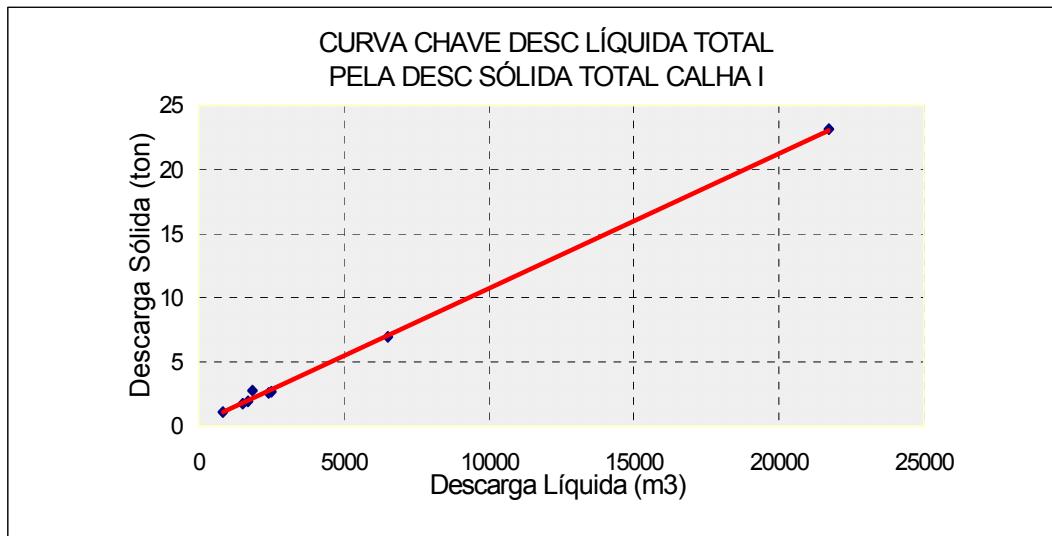


Figura 30 – curva chave dos sedimentos totais da calha I.

$$Q_{st} = 0,0011(Q_l) + 0,2347 \quad (4.19)$$

$$R^2 = 0,9988$$

4.4.1.3.2 – Curva chave dos sedimentos totais da estrutura calha II

Para a confecção da curva chave dos sedimentos totais da estrutura de medição calha II foram selecionados 7 eventos (quadro 16) e (figura 31).

Quadro 16 – dados para elaboração da descarga líquida total pela descarga sólida total da calha II.

Dados para Elaboração da Curva Chave da Descarga Líquida Total pela Descarga Sólida Total da Calha II				
	Desc. Liquida	Sed. Enxurrada	Sed. Susp.	Desc. Sólida
Evento	(m ³)	(ton)	(ton)	(ton)
08/10/03	90,503	0,398	0,136	0,534
11/12/03	372,255	0,674	0,647	1,321
16/06/03	532,000	0,683	0,908	1,591
21/09/03	281,116	0,550	0,432	0,982
31/10/03	286,990	0,599	0,435	1,034
15/12/03	869,944	0,728	1,471	2,199
25e26/10/03	507,474	0,624	0,856	1,480

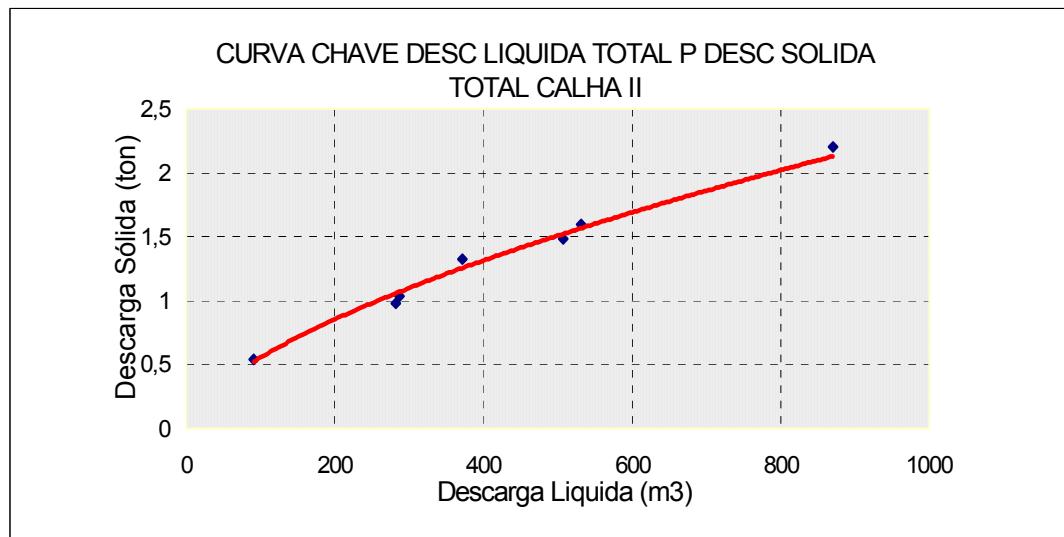


Figura 31 – curva chave dos sedimentos totais da calha II.

$$Q_{st} = 0,032(Q_l)^{0,6202} \quad (4.20)$$

$$R^2 = 0,9895$$

4.4.2 – Sedimentogramas

Os sedimentogramas (figuras de 33 a 48) foram feitos a partir da integralização dos dados (tabelas de 16 a 30) (Anexo A), dos sedimentos transportados nas estruturas de medições, discretizados de minuto em minuto em todos os níveis de lâmina d’água, com suas vazões correspondentes para cada um dos eventos selecionados.

Nos sedimentogramas da estrutura de medição calha II foram integralizados apenas os dados dos sedimentos em suspensão, devido as amostras dos sedimentos transportados pela enxurrada serem coletados na sua totalidade no final de cada evento.

Para a estrutura de medição calha I foram feitos ajustes nos eventos de 11/12/03 e 16/06/03 para as curvas chave dos sedimentos de fundo com lâminas d’água superior a 50 cm. Para a confecção das curvas de ajuste e as equações correspondentes foram adotados os dados das curvas anteriores com tendência de subida da onda de cheia nos intervalos (quadro 17) e (figuras 32 e 33).

Quadro 17 – Dados para elaboração das curvas de ajuste dos eventos de 11/12/03 e 16/06/03 da calha I.

Curva de Ajuste do Evento de 16/06/03		Curva de Ajuste do Evento de 11/12/03	
Vazão (m³/s)	Sed. (ton/min)	Vazão (m³/s)	Sed. (ton/min)
0,0101	0,0002	0,1670	0,0009
0,0104	0,0002	0,2575	0,0024
0,0104	0,0002	0,2965	0,0036
0,0104	0,0002	0,2669	0,0026
0,0104	0,0002	0,2669	0,0026
0,0104	0,0002	0,2741	0,0029
0,0114	0,0002	0,2864	0,0032
0,0116	0,0002	0,3042	0,0039
0,0116	0,0002	0,3228	0,0047
0,0116	0,0002	0,3478	0,0062
0,0116	0,0002	0,3954	0,0102
0,0116	0,0002	0,4439	0,0169
0,0121	0,0002	0,4892	0,0272
0,0129	0,0002		
0,0166	0,0002		
0,0209	0,0002		
0,0257	0,0002		
0,0312	0,0002		
0,0367	0,0002		
0,0470	0,0003		

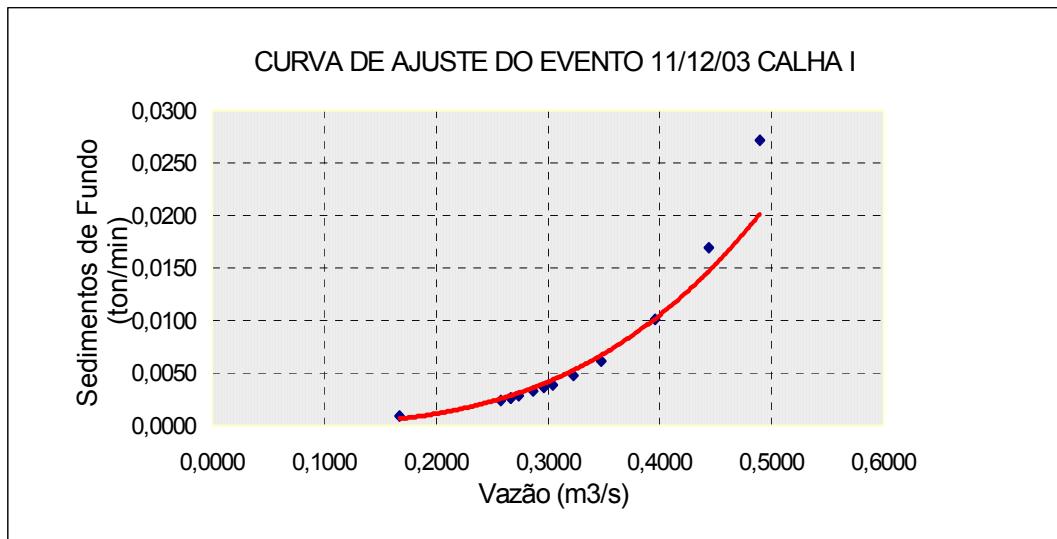


Figura 32 – curva de ajuste do evento de 11/12/03 da calha I.

$$Q_{sf} = 0,2011(Q_l)^{3,219} \quad (4.21)$$

$$R^2 = 0,9653$$

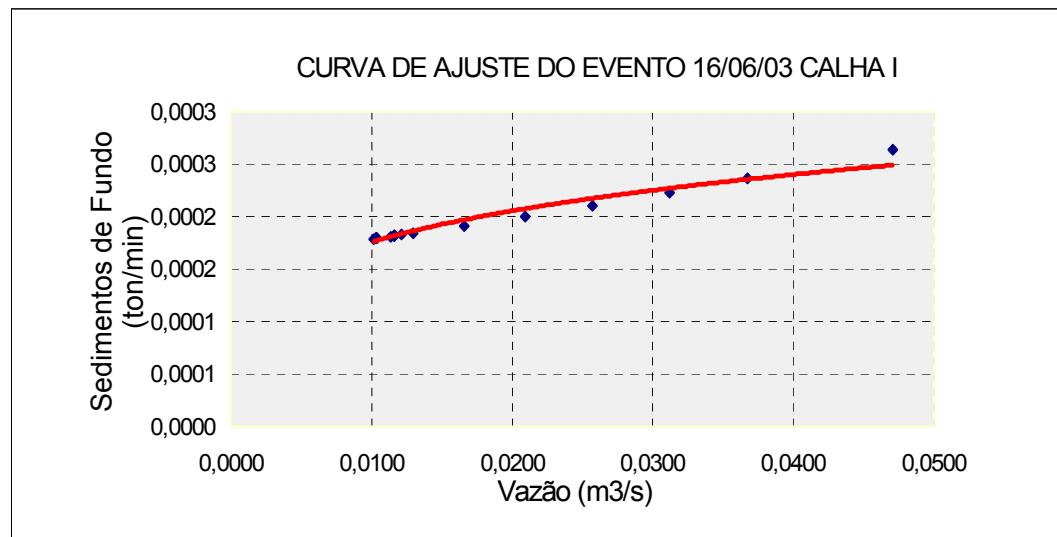


Figura 33 – curva de ajuste do evento de 16/06/03 da calha I.

$$Q_{sf} = 0,0005(Q_l)^{0,2246} \quad (4.22)$$

$$R^2 = 0,9653$$

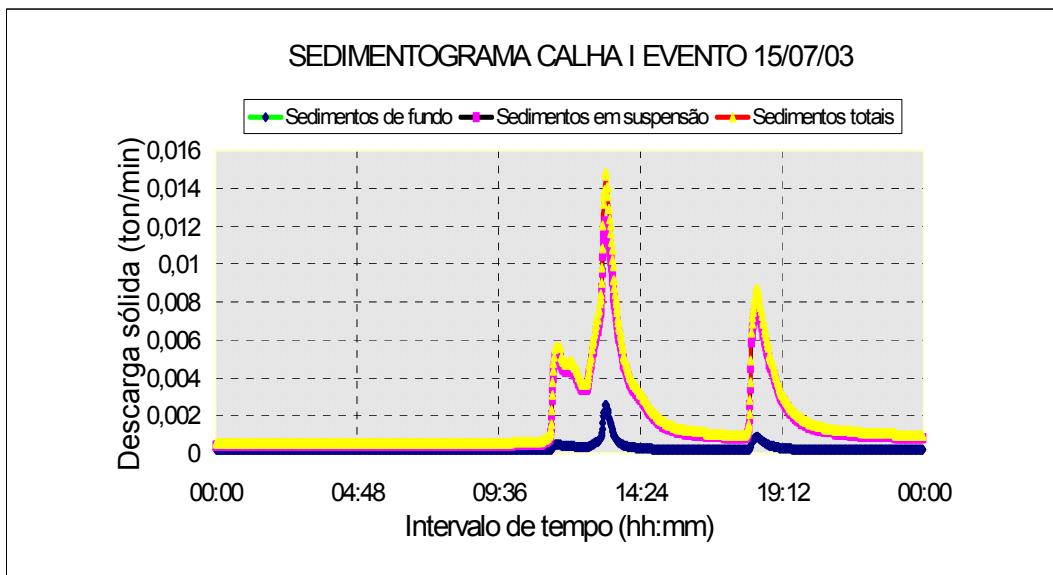


Figura 34 – sedimentograma da calha I do evento de 15/07/03.

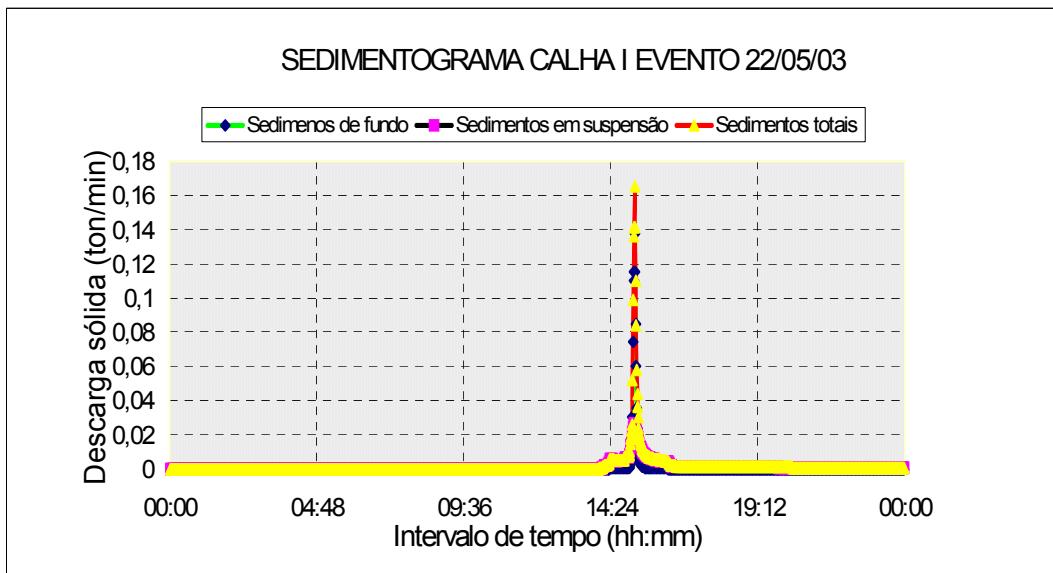


Figura 35 – sedimentograma da calha I do evento de 22/05/03.

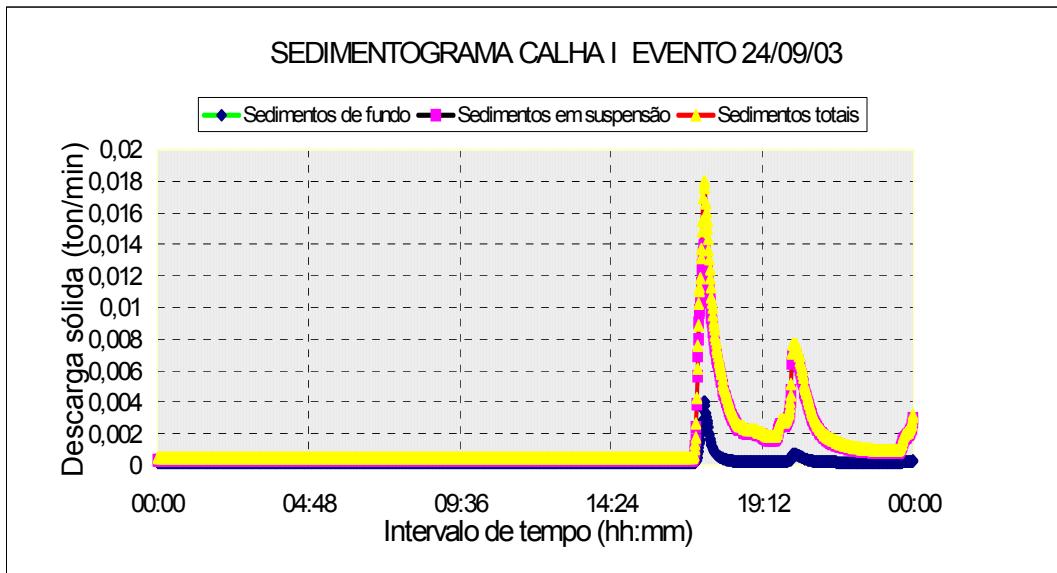


Figura 36 – sedimentograma da calha I do evento de 24/09/03.

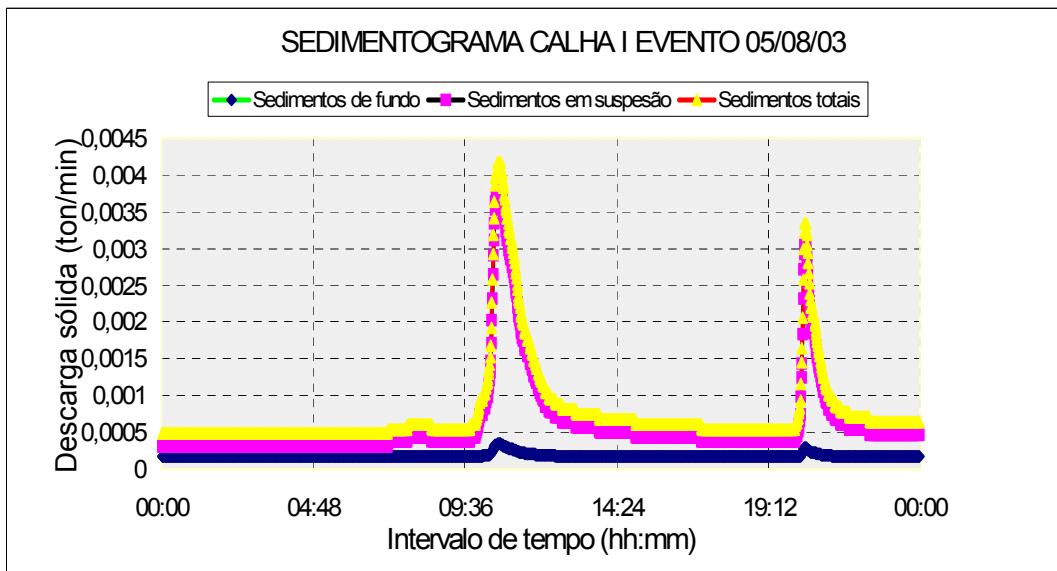


Figura 37 – sedimentograma da calha I do evento de 05/08/03.

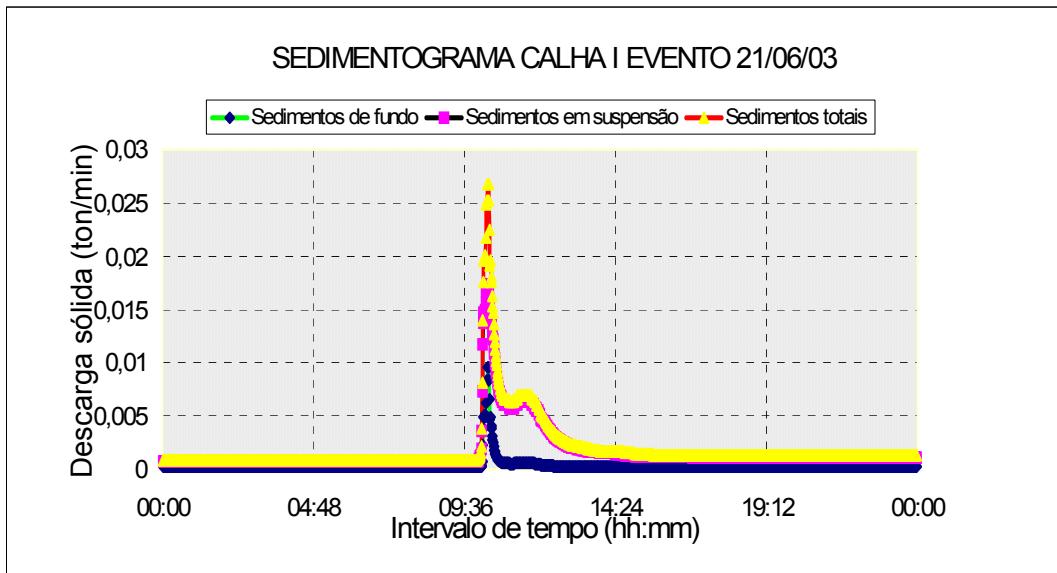


Figura 38 – sedimentograma da calha I do evento 21/06/03.

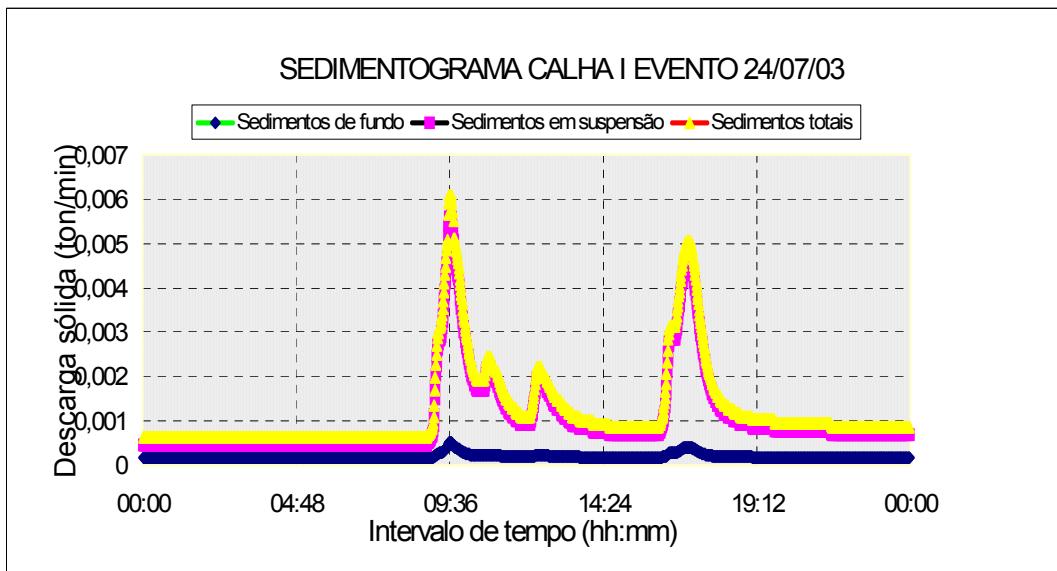


Figura 39 – sedimentograma da calha I do evento 24/07/03.

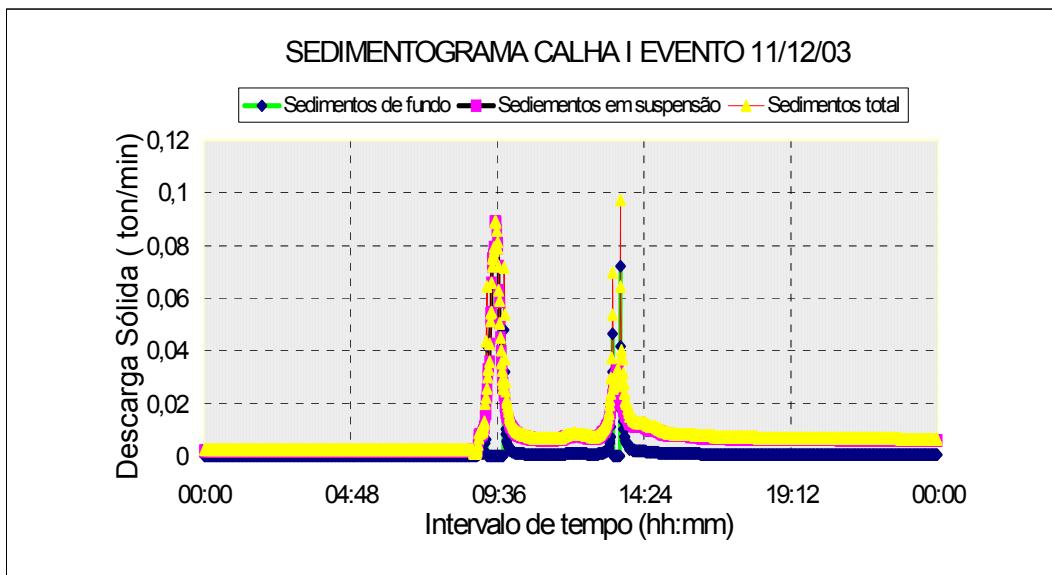


Figura 40 – sedimentograma da calha I do evento 11/12/03.

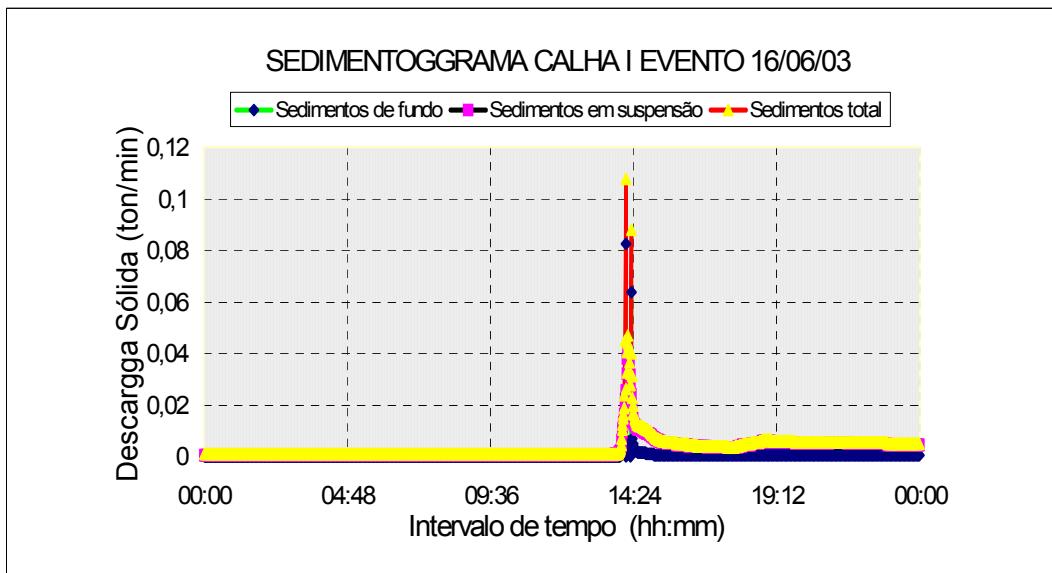


Figura 41 – sedimentograma da calha I do evento 16/06/03.

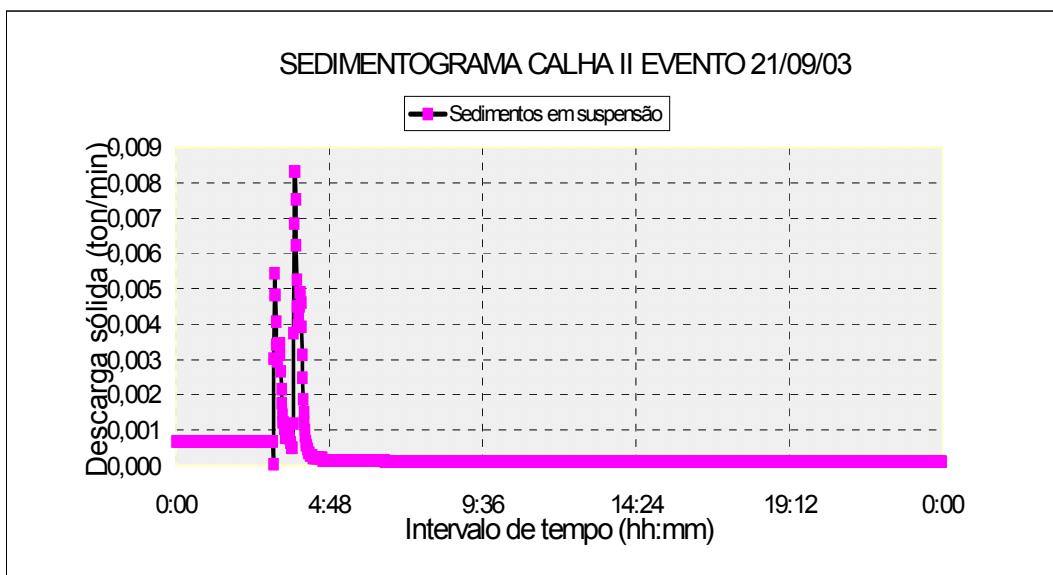


Figura 42 – sedimentograma da calha II do evento de 21/09/03.

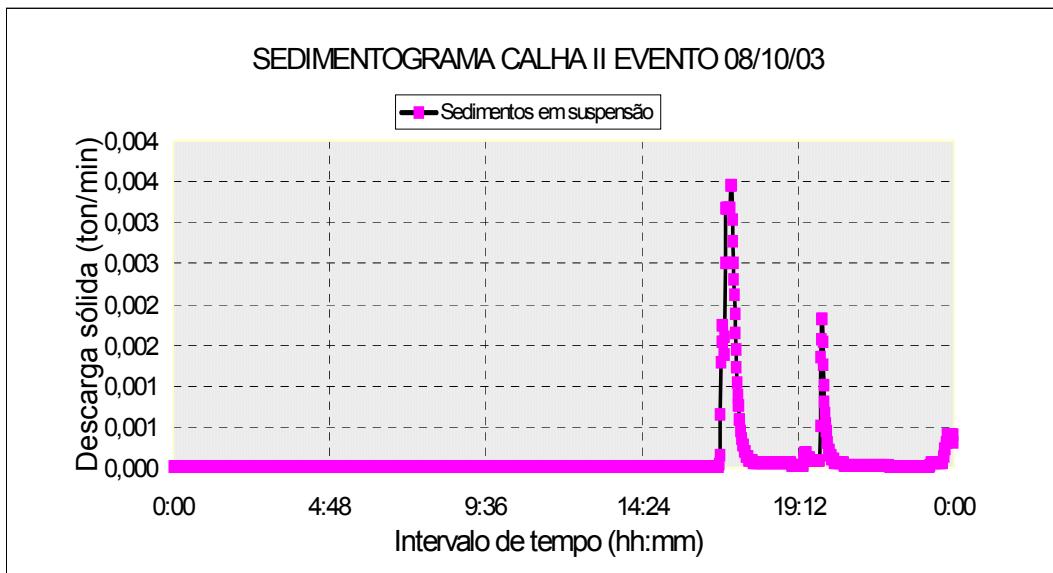


Figura 43 – sedimentograma da calha II do evento de 08/10/03.

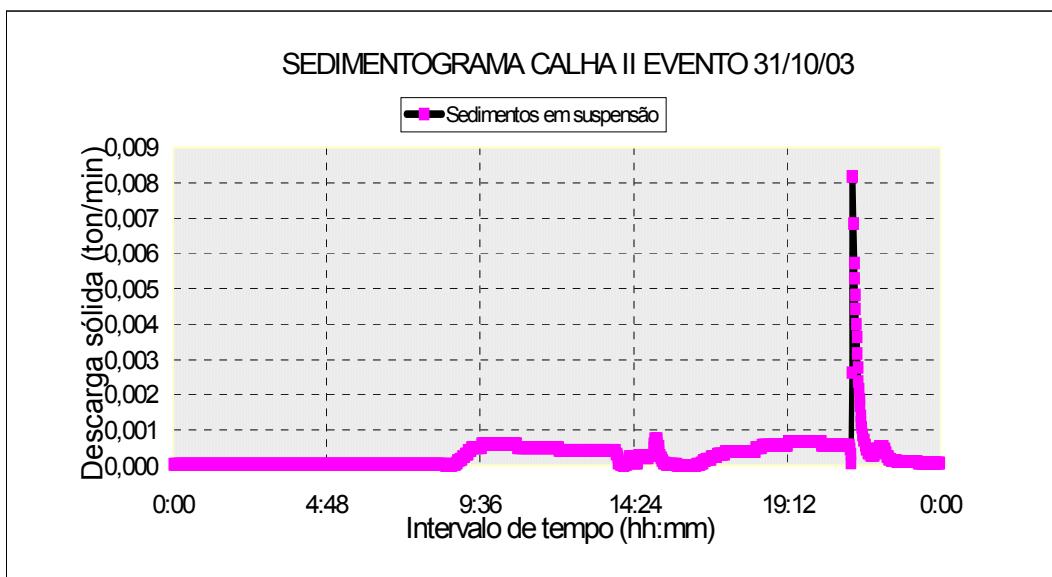


Figura 44 – sedimentograma da calha II do evento de 31/10/03.

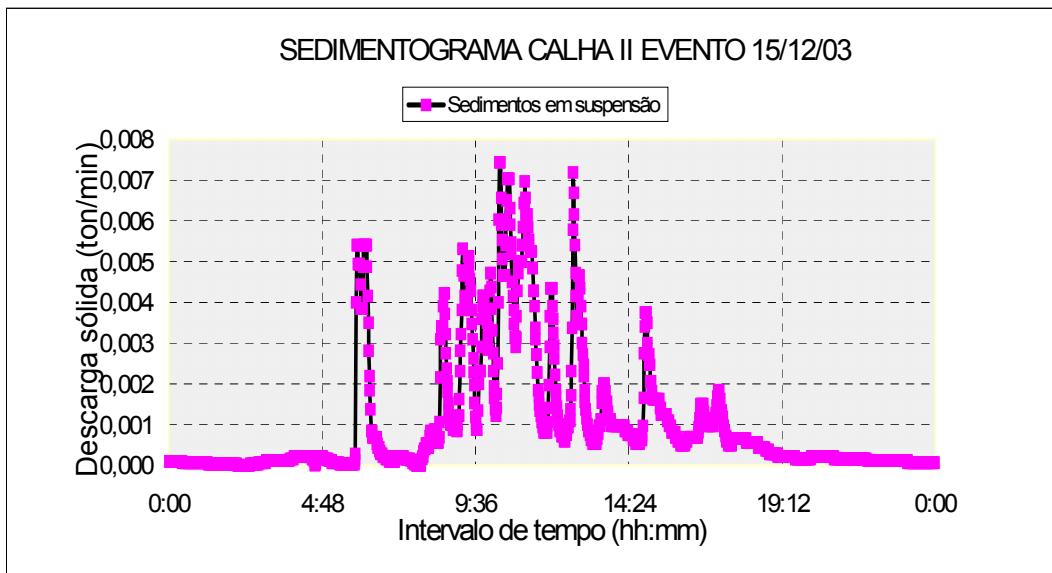


Figura 45 – sedimentograma da calha II do evento de 15/12/03.

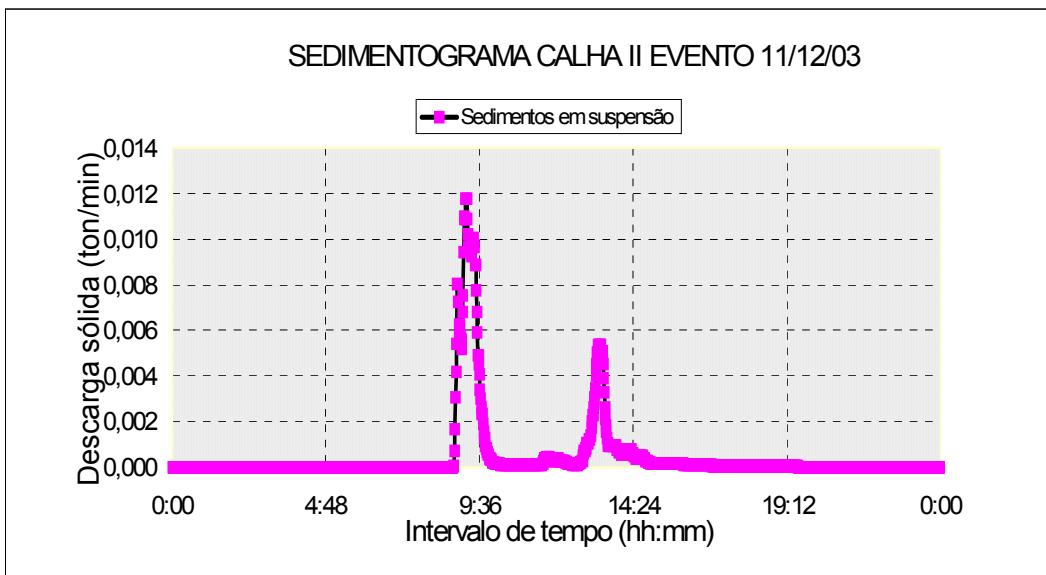


Figura 46 – sedimentograma da calha II do evento de 11/12/03.

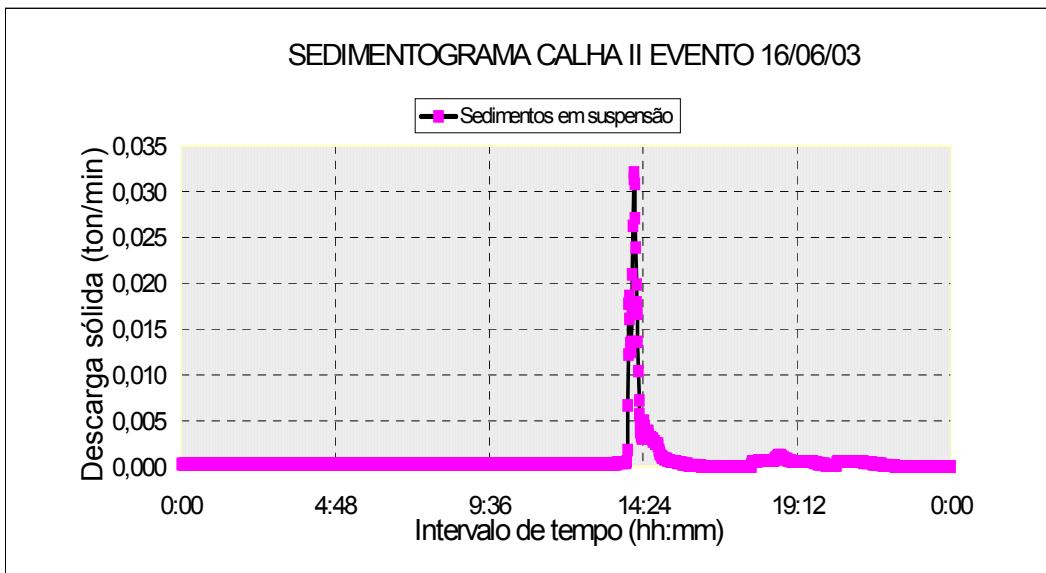


Figura 47 – sedimentograma da calha II do evento de 16/06/03.

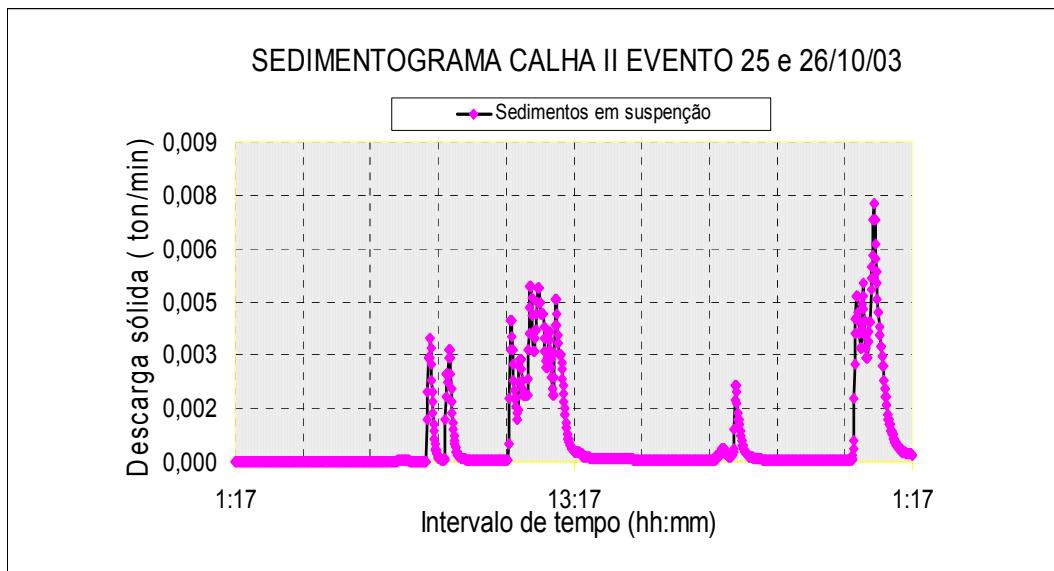


Figura 48 – sedimentograma da calha II do evento de 25 e 26/10/03.

4.5 – Amostragens e análise dos sedimentos

Os resultados das análises das amostras coletadas dos sedimentos transportados em suspensão e por arraste de fundo são apresentados a seguir.

4.5.1 – Sedimentos em suspensão

Foi determinada a concentração dos sedimentos em suspensão em (mg/l), pelos métodos da pesagem e filtragem (anexo A) (quadros 34 a 37).

Para a estrutura de medição calha (I) foram analisadas 27 amostras (quadro 18), e para a estrutura de medição calha II foram analisadas 32 amostras (quadro 19).

Quadro 18 – Amostras dos sedimentos em suspensão da calha I

Sedimentos em Suspensão Calha I (US-U-59)				
	Concentração de Sedimentos (mg/l) nos níveis			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Evento	0,170 (m)	0,255 (m)	0,330 (m)	0,470 (m)
05/08/03	306	224	1128	-
24/07/03	703	943	1273	-
22/05/03	1203	1762	942	-
21/06/03	1607	1370	921	-
24/09/03	427	1387	1138	-
16/06/03	1208	1192	1094	-
25/10/03	895	793	792	-
15/07/03	1483	1190	935	-
11/12/03	2437	1734	763	-
Total	10269	10595	8986	
Total médio	1141	1177	998	

Quadro 19 – Amostras dos sedimentos em suspensão da calha II

Sedimentos em Suspensão Calha II (US-U-59)				
	Concentração de Sedimentos (mg/l) nos níveis			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Evento	0,045 (m)	0,085 (m)	0,140 (m)	0,190 (m)
05/06/03	2601	2486	-	-
08/10/03	703	943	1243	-
11/12/03	1364	1113	955	-
05/11/03	1374	925	1156	-
16/06/03	4224	3237	3510	4584
21/09/03	2393	1501	1669	-
31/10/03	3364	2962	1120	-
15/12/03	915	2041	3271	3480
25e26/10/03	2907	2424	1440	1041
08/07/03	893	854	768	-
Total	20738	18486	15132	9105
Total médio	2074	1849	1681	3035

4.5.2 – Sedimentos de fundo

Foram determinadas as características granulométricas dos sedimentos produzidos por arraste de fundo e pela enxurrada através dos ensaios de sedimentação e peneiramento (anexo A), (quadros 38 a 48).

4.5.2.1 – Sedimentos de fundo da estrutura de medição calha I

Para a estrutura de medição calha I foram feitas 3 análises de amostras coletadas do amostrador Helle Smith (quadros 20, 21 e 22) e (figuras 49, 50 e 51), e 2 análises de amostras coletadas do amostrador Waslenchuk (quadros 23 e 24) e (figuras 52 e 53).

Quadro 20 – resultado da análise do amostrador Helle Smith no dia 08/07/03

STP I	
Helle Smith	08/07/03
Porcentagens	
Argila:	1
Silte:	5
Areia Fina:	11
Areia Média:	52
Areia Grossa:	18
Pedregulho:	13
soma	100

Quadro 21 – resultado da análise do amostrador Helle Smith no dia 11/12/03

STP I	
Helle Smith	11/12/03
Porcentagens	
Argila:	2
Silte:	8
Areia Fina:	5
Areia Média:	48
Areia Grossa:	25
Pedregulho:	12
soma	100

Quadro 22 – resultado da análise do amostrador Helley Smith no dia 16/06/03.

STP I	
Helley Smith	
16/06/03	
Porcentagens	
Argila:	4
Silte:	10
Areia Fina:	7
Areia Média:	34
Areia Grossa:	18
Pedregulho:	27
soma	100

Quadro 23 – resultado da análise do amostrador Waslenchuck no dia 02/06/03.

STP I	
Waslenchuk	
02/06/03	
Porcentagens	
Argila:	2
Silte:	9
Areia Fina:	35
Areia Média:	52
Areia Grossa:	1
Pedregulho:	1
soma	100

Quadro 24 – resultado da análise do amostrador Waslenchuck no dia 07/06/03.

STP I	
Waslenchuk	
07/06/03	
Porcentagens	
Argila:	4
Silte:	2
Areia Fina:	33
Areia Média:	59
Areia Grossa:	2
Pedregulho:	0
soma	100

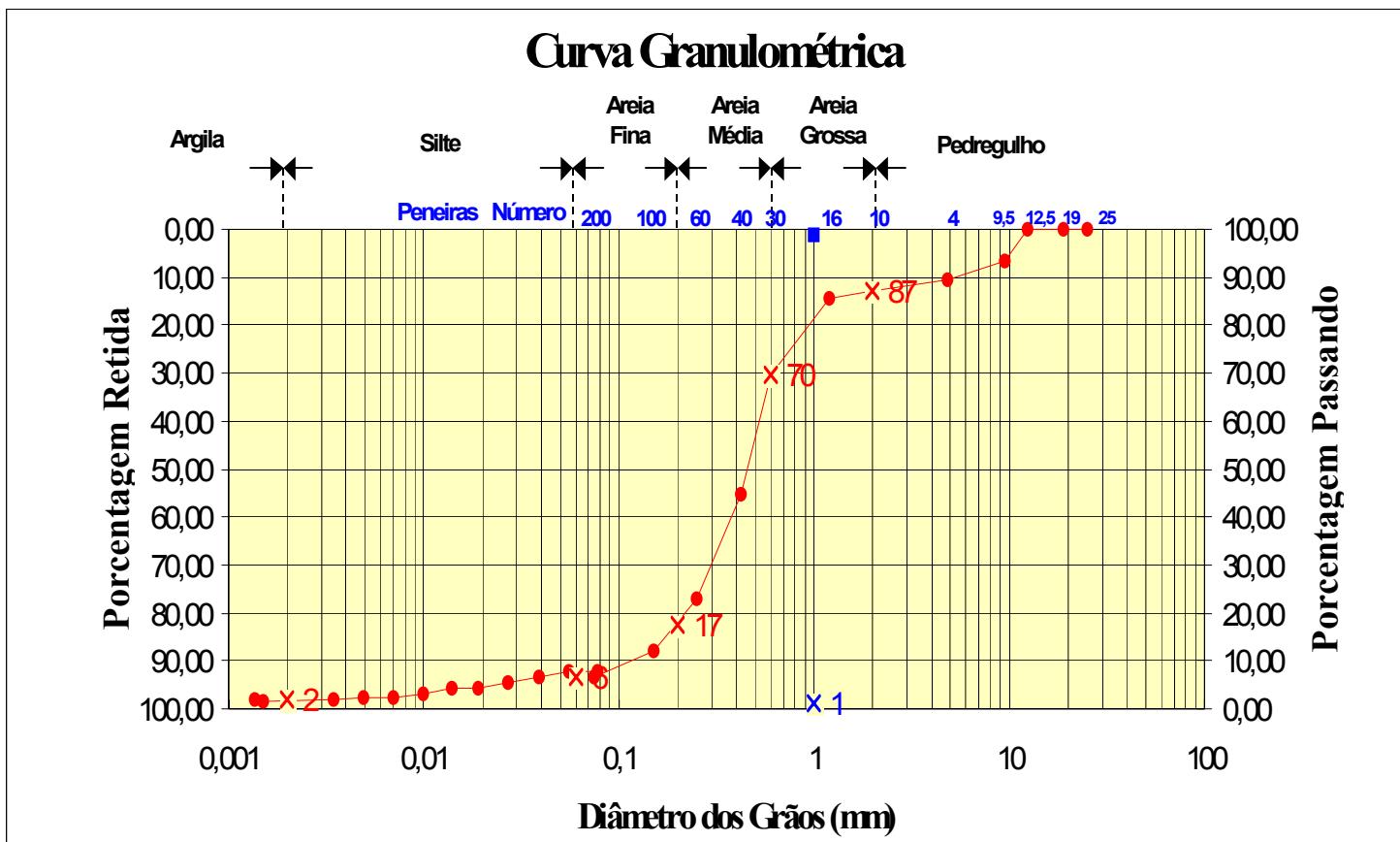


Figura 49 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do evento de 08/07/03. (amostrador Helle Smith).

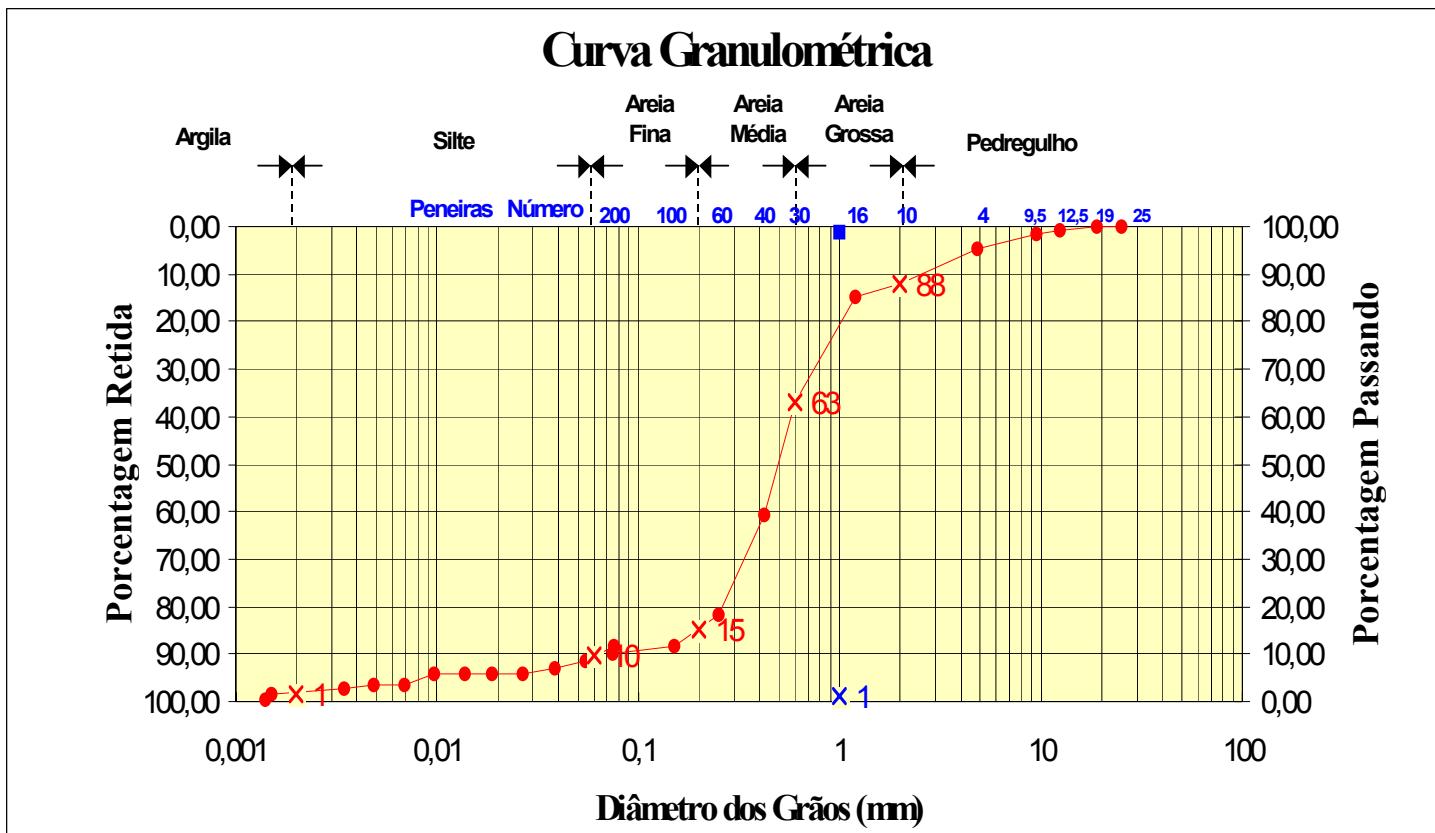


Figura 50 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do evento de 11/12/03. (amostrador Helle Smith).

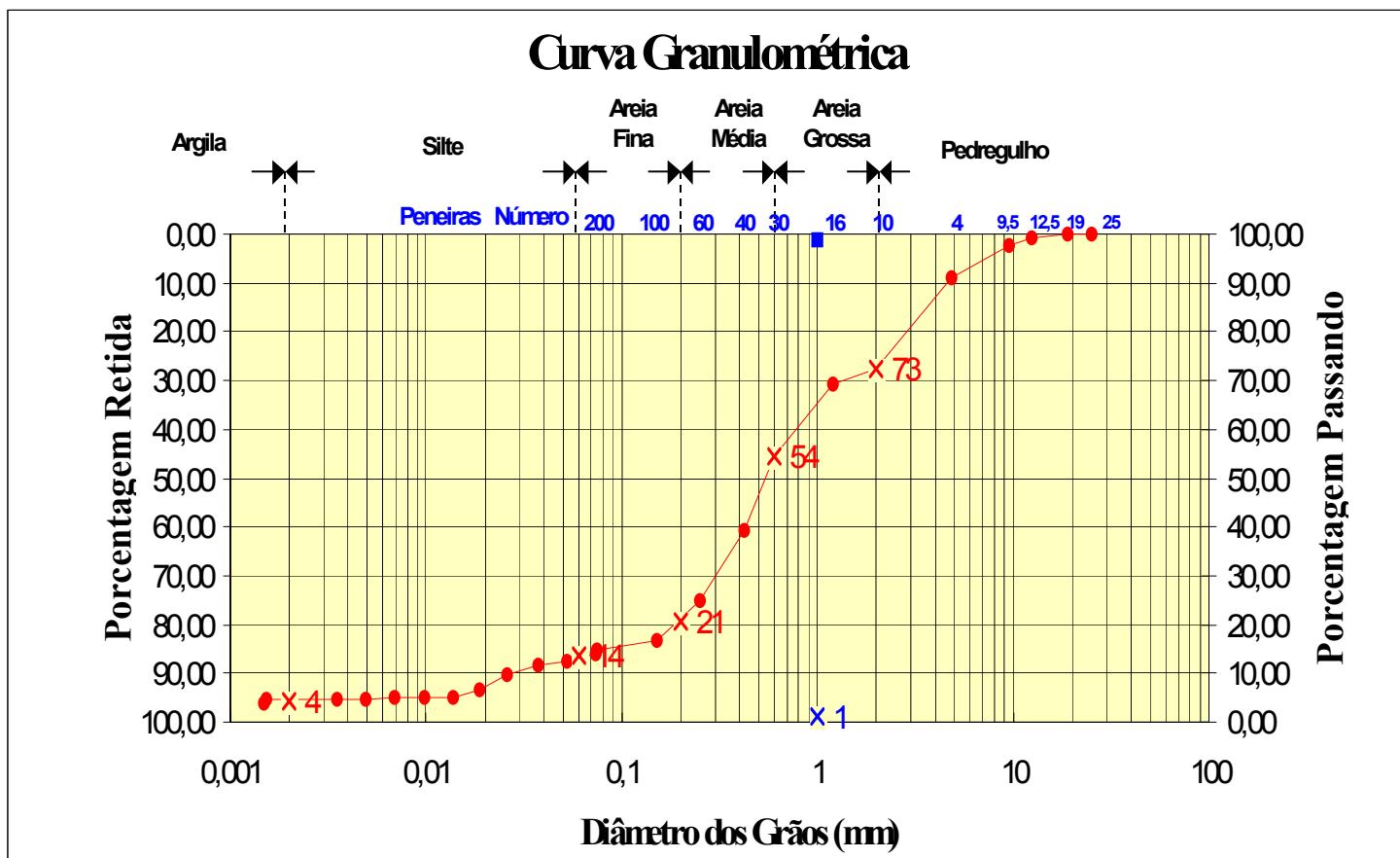


Figura 51 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do evento de 16/06/03. (amostrador Helle Smith).

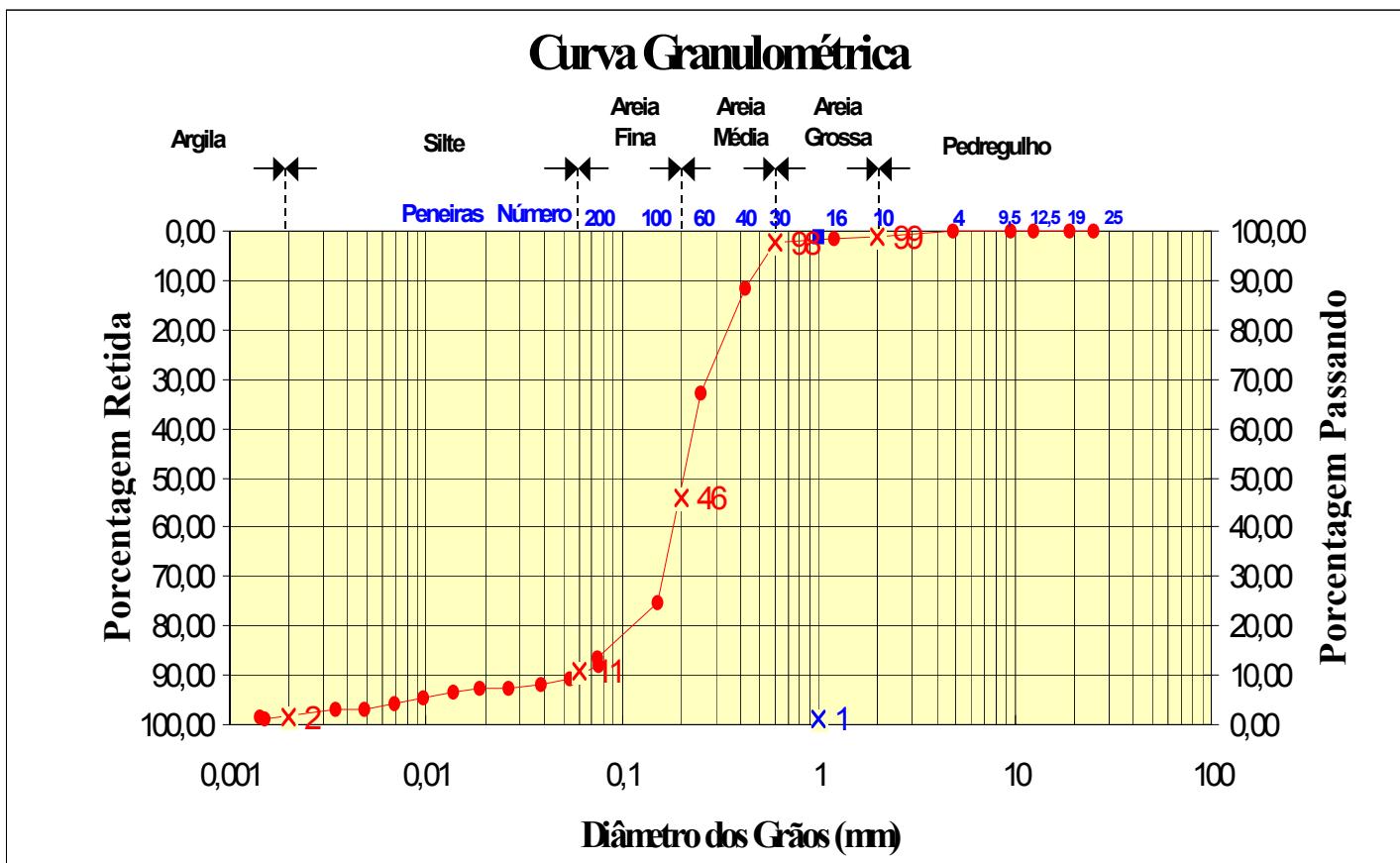


Figura 52 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do evento de 02/06/03. (amostrador Waslenschuck).

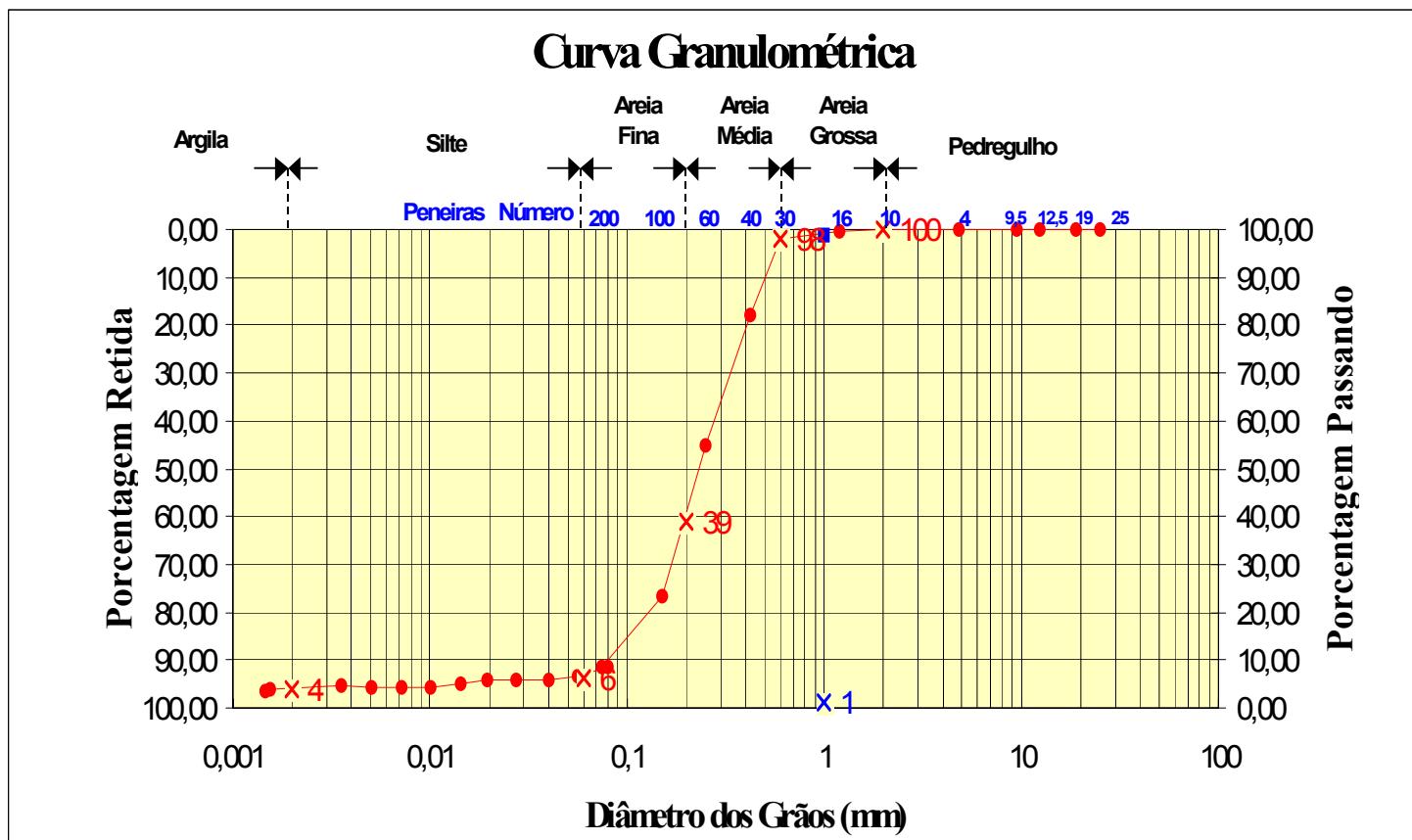


Figura 53 – Curva granulométrica dos sedimentos transportador por arraste de fundo da estrutura de medição calha I do evento 07/06/03. (amostrador Waslenchuk).

4.5.2.2 – Sedimentos da enxurrada da estrutura de medição calha II

Para a estrutura de medição calha II, foram feitas 3 análises dos amostradores (quadros 25, 26 e 27) e (figuras 54, 55 e 56).

Quadro 25 – resultado da análise do amostrador Fossa de Sed. no dia 11/12/03.

STP II	
Fossa de Sed.	11/12/03
Porcentagens	
Argila:	4
Silte:	4
Areia Fina:	6
Areia Média:	38
Areia Grossa:	21
Pedregulho:	27
soma	100

Quadro 26 – resultado da análise do amostrador Fossa de Sed. no dia 15/12/03.

STP II	
Fossa de Sed.	15/12/03
Porcentagens	
Argila:	2
Silte:	8
Areia Fina:	4
Areia Média:	50
Areia Grossa:	25
Pedregulho:	11
soma	100

Quadro 27 – resultado da análise do amostrador fossa de Sedimentos no dia 25e26/10/03.

STP II	
Fossa de Sed.	25e26/10/03
Porcentagens	
Argila:	4
Silte:	4
Areia Fina:	6
Areia Média:	37
Areia Grossa:	22
Pedregulho:	27
soma	100

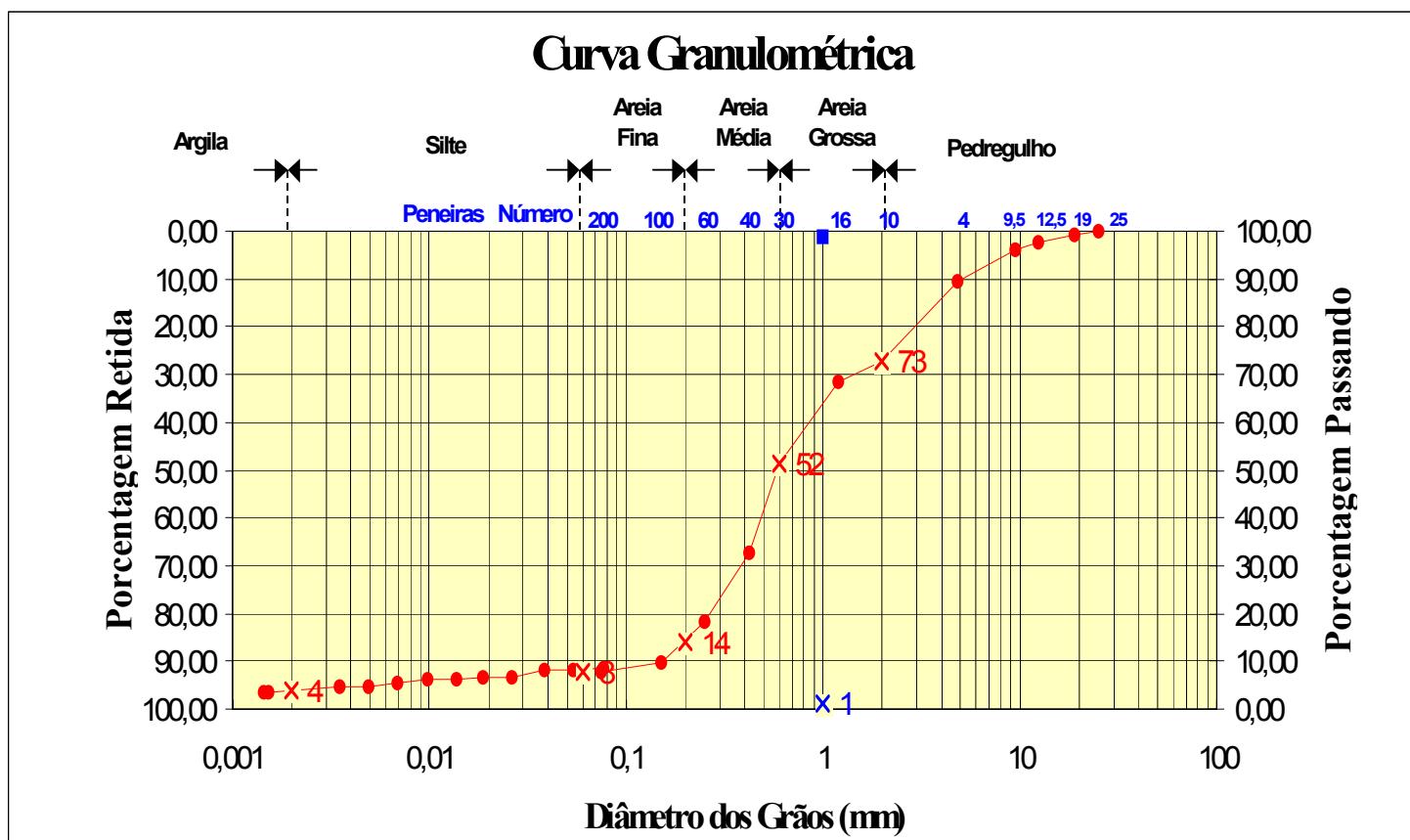


Figura 54 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela enxurrada da estrutura de medição calha II do evento 11/12/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).

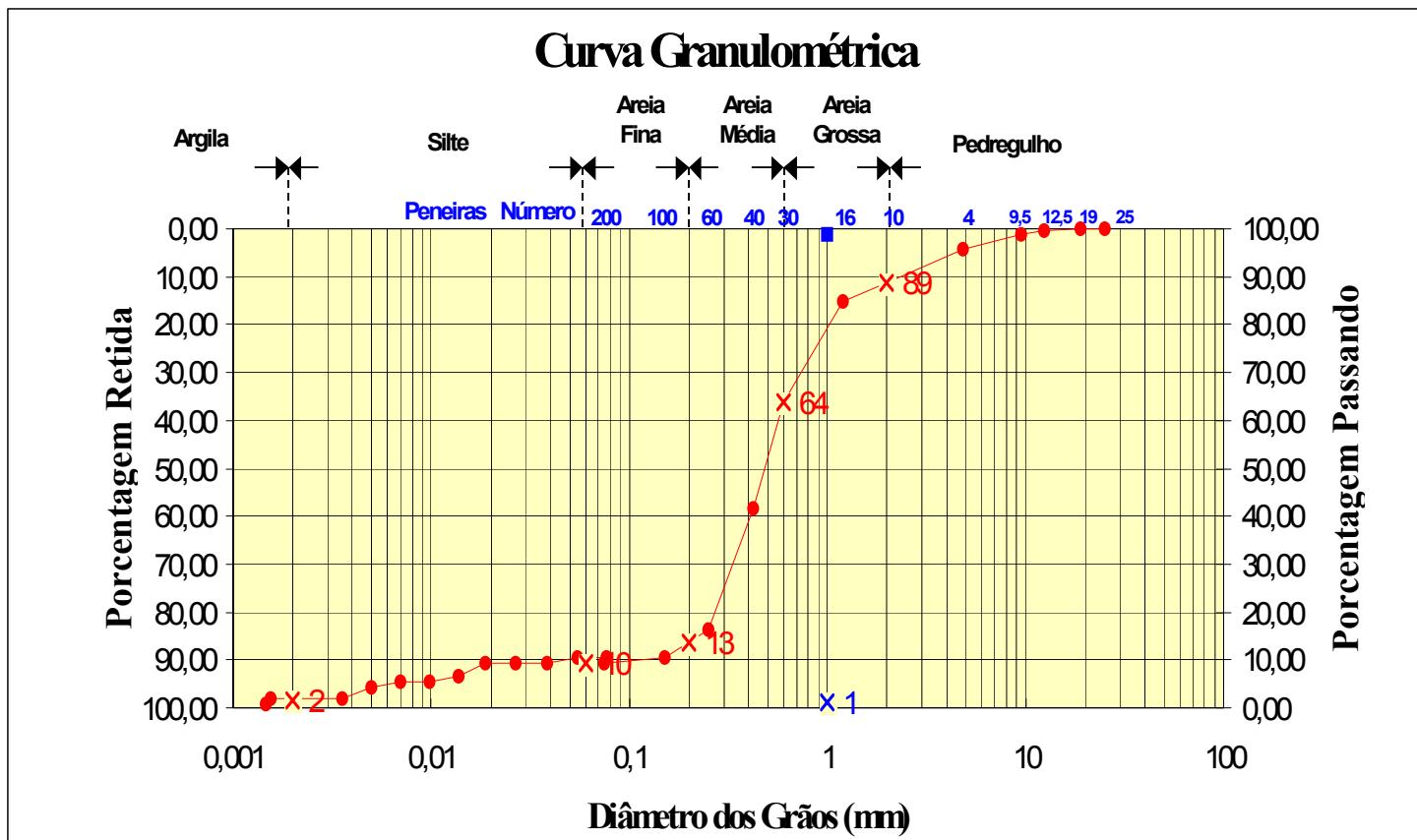


Figura 55 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela enxurrada da estrutura de medição calha II do evento de 15/12/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).

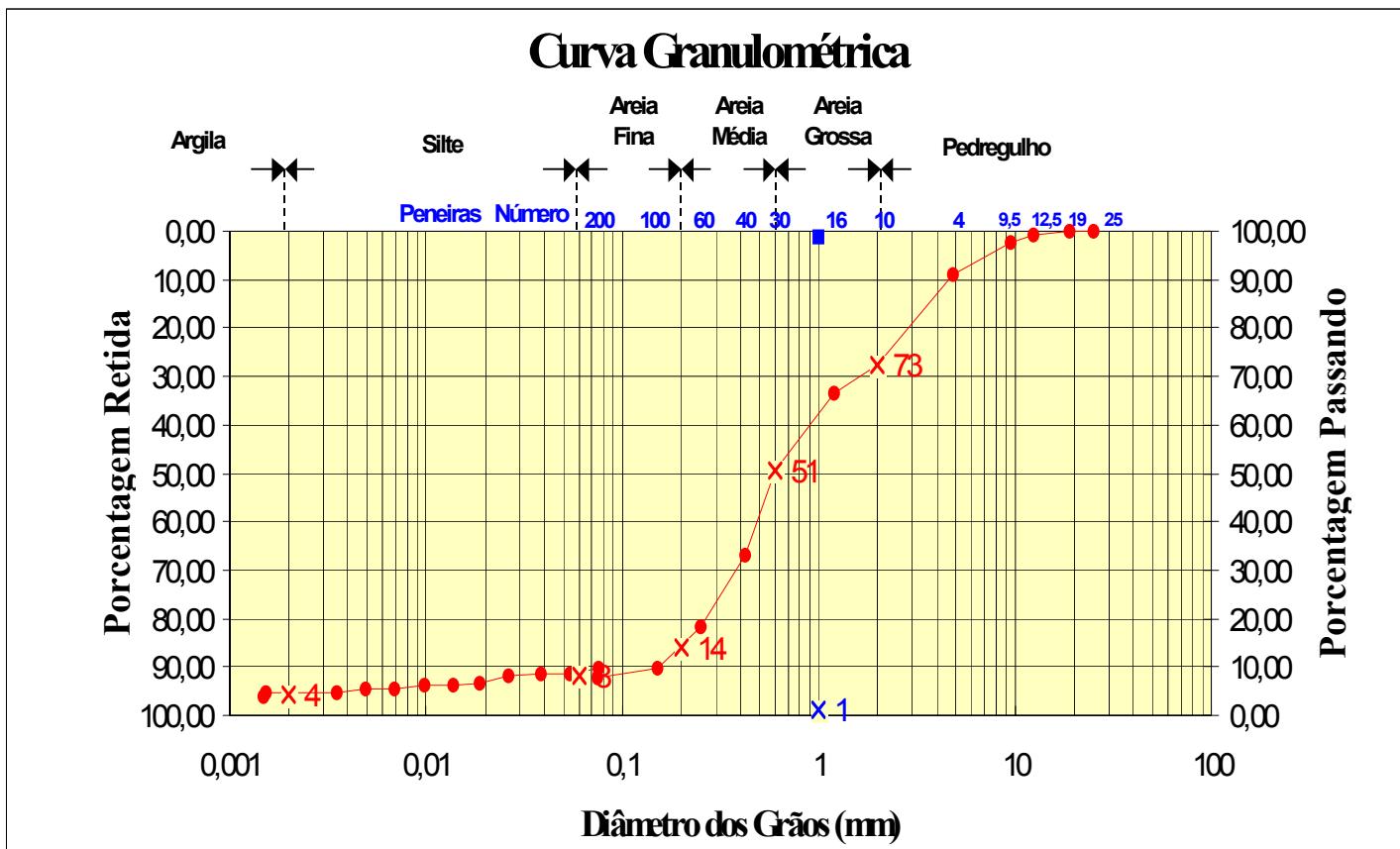


Figura 56 – Curva granulométrica dos sedimentos transportados pela enxurrada da estrutura de medição calha II do evento de 25 e 26/10/03. (amostrador Fossa de Sedimentos).

4.6 – Determinação dos parâmetros do volume superficial escoado e da produção de sedimentos

A determinação dos volumes superficiais foi obtida a partir da separação do escoamento superficial; as planilhas detalhadas contendo os valores da precipitação efetiva (Pefet), da vazão de pico (qp), e do volume superficial escoado (VOLSup) são apresentados no (anexo B), (tabelas de 16 a 30). Para os cálculos foram utilizadas as seguintes equações;

$$\text{Dif}_{(\text{Pc-Pa})} = (Q_{(\text{mc})} - Q_{(\text{ma})})/\Delta t \quad (4.23)$$

$$Q_{(\text{b})} = Q_{(\text{ma})} + \sum_{i=1}^n (Q_{(\text{ma})+1} + \text{Dif}_{(\text{Pc-Pa})}) \quad (4.24)$$

$$Q_{(\text{Si})} = \sum_{i=1}^n (Q_{(\text{ma})+1} - Q_{(\text{b})+1}) \quad (4.25)$$

$$\text{VOLSup} = \sum_{i=1}^n ((Q_{(\text{Si})} + Q_{(\text{Si})+1})/2) * \Delta t \quad (4.26)$$

$$\text{Pefet} = \text{VOLSup}/A \quad (4.27)$$

Onde;

$\text{Dif}_{(\text{Pc-Pa})}$ = diferença entre a vazão do ponto a e o ponto b;

$Q_{(\text{mc})}$ =vazão medida no ponto c;

$Q_{(\text{ma})}$ =vazão medida no ponto a;

$Q_{(\text{b})}$ =vazão de base;

$Q_{(\text{Si})}$ =escoamento superficial;

VOLSup =volume superficial escoado;

Pefet = precipitação efetiva;

A=área considerada.

Os hidrogramas correspondentes são apresentados a seguir (figuras 57 a 71).

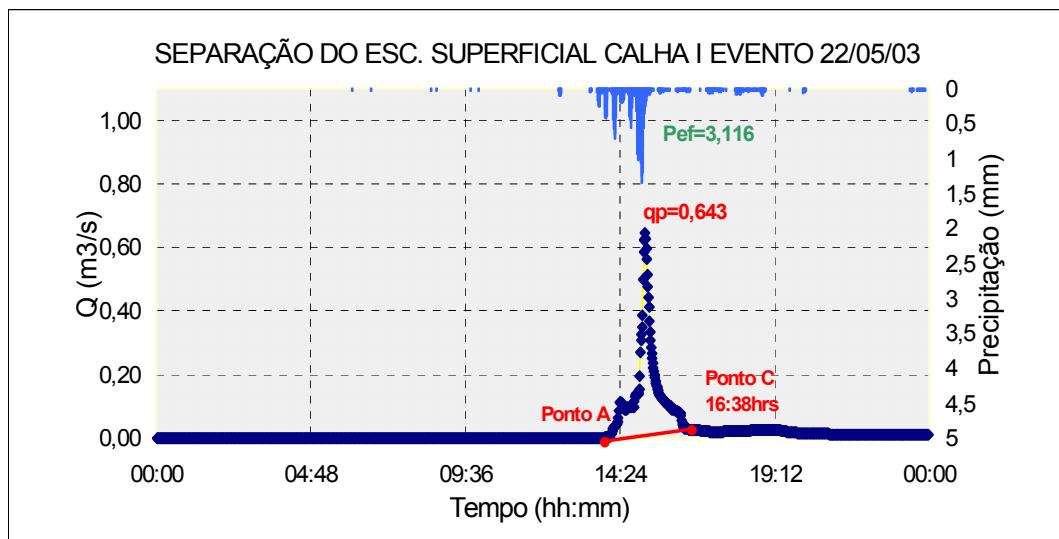


Figura 57 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 22/05/03.

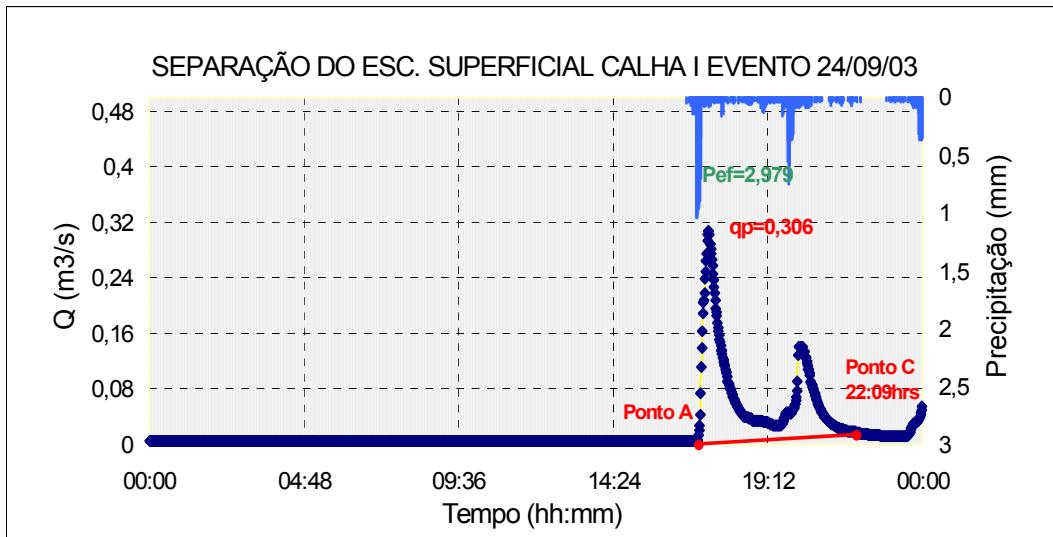


Figura 58 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 24/09/03.

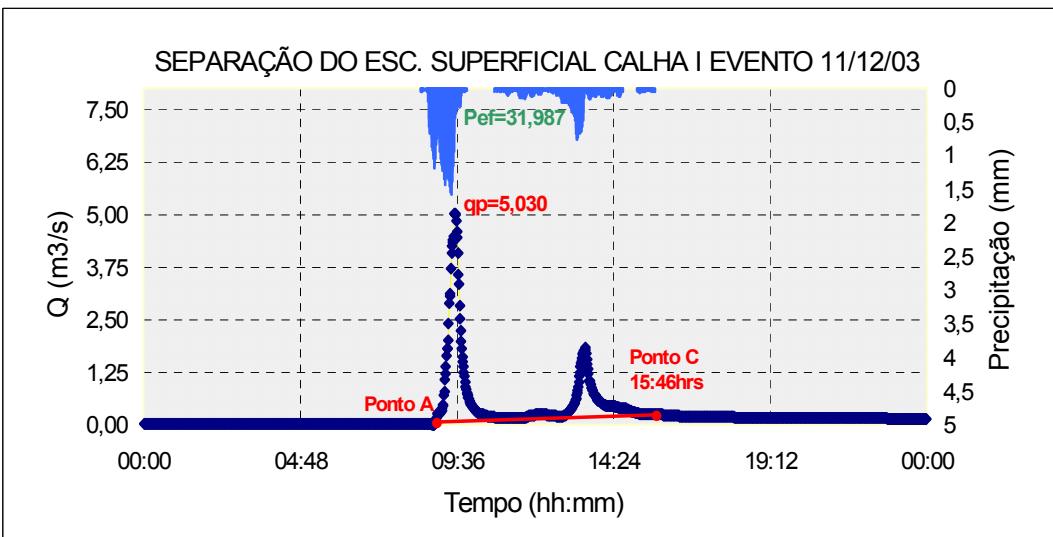


Figura 59 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 11/12/03.

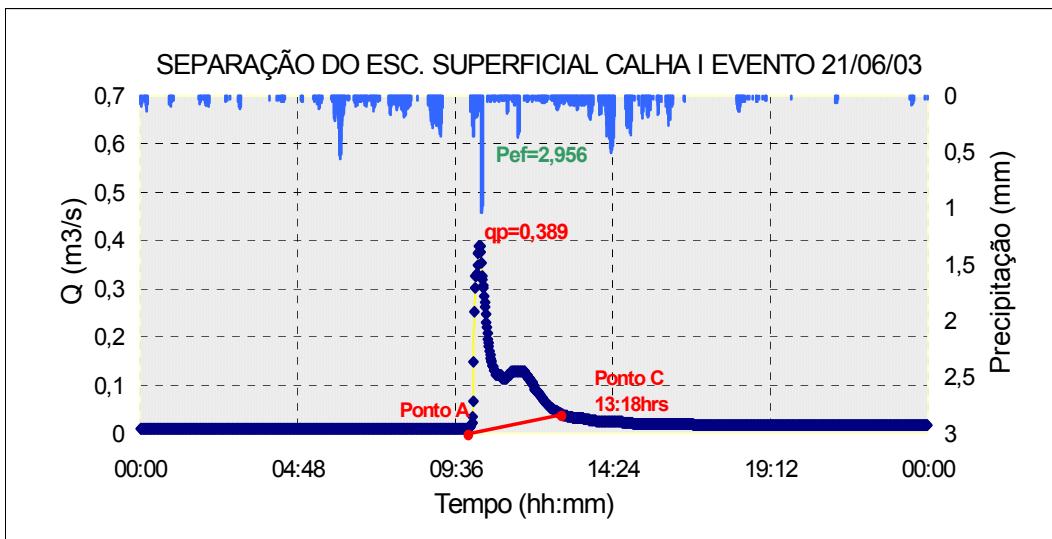


Figura 60 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 21/06/03.

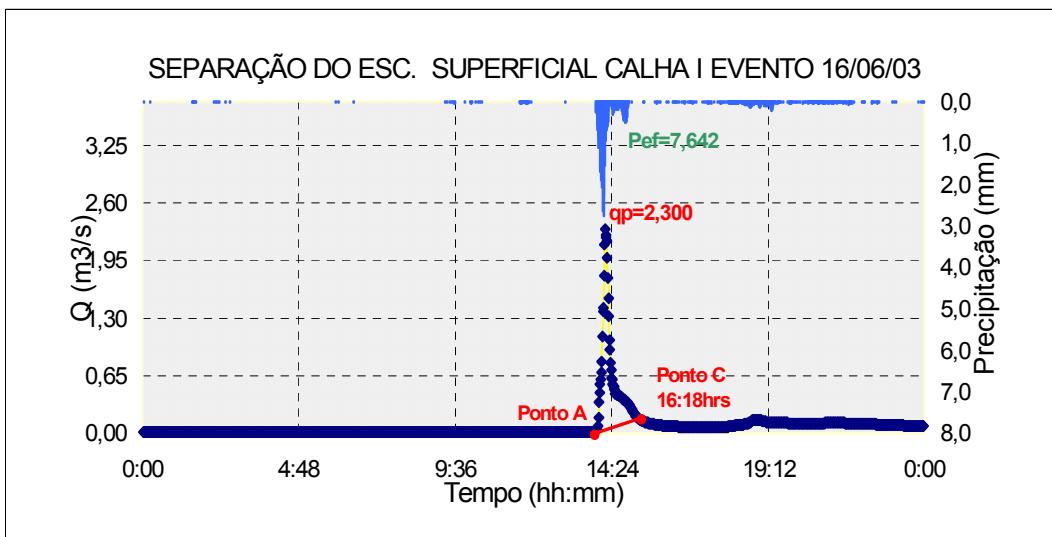


Figura 61 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 16/06/03.

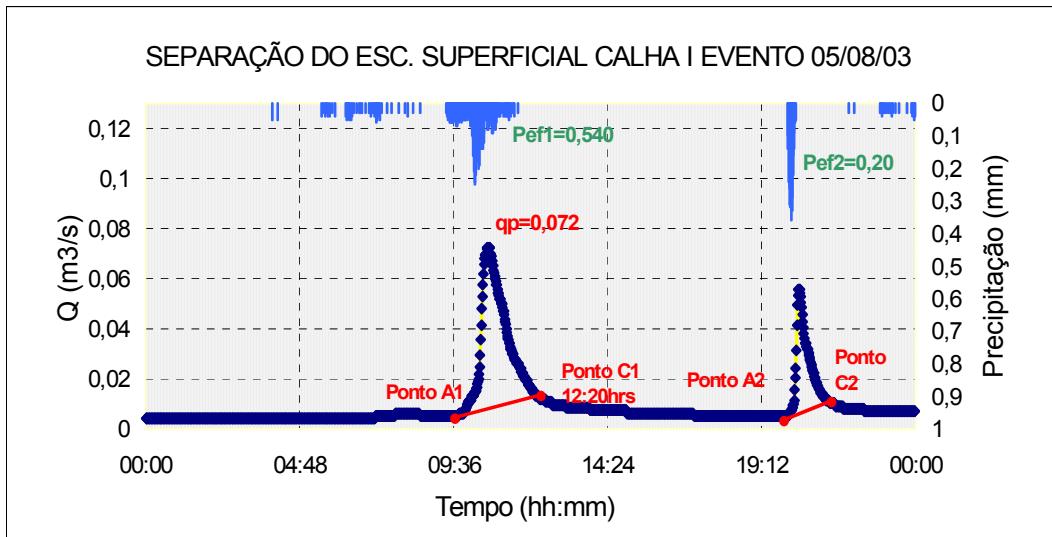


Figura 62 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 05/08/03.

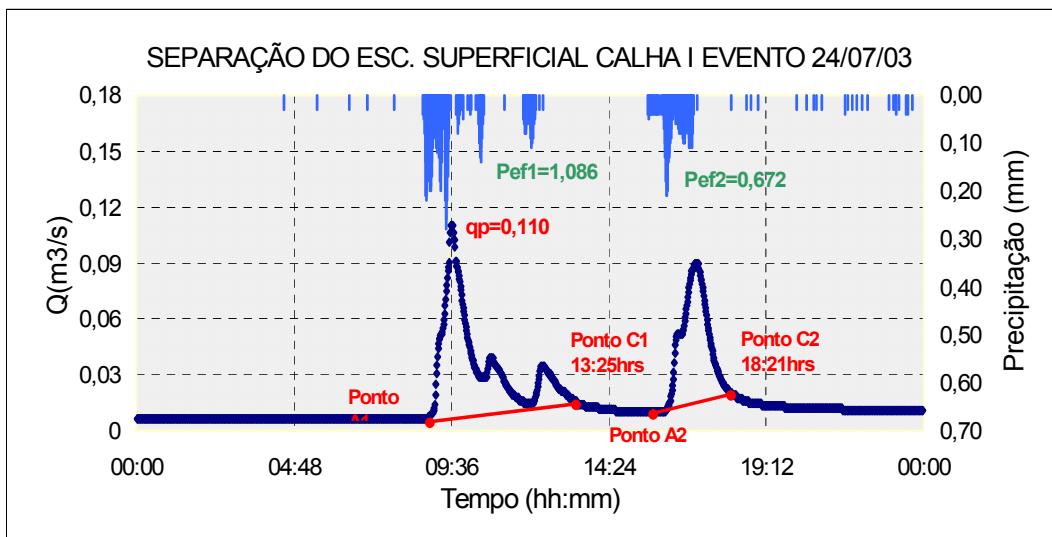


Figura 63 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 24/07/03.

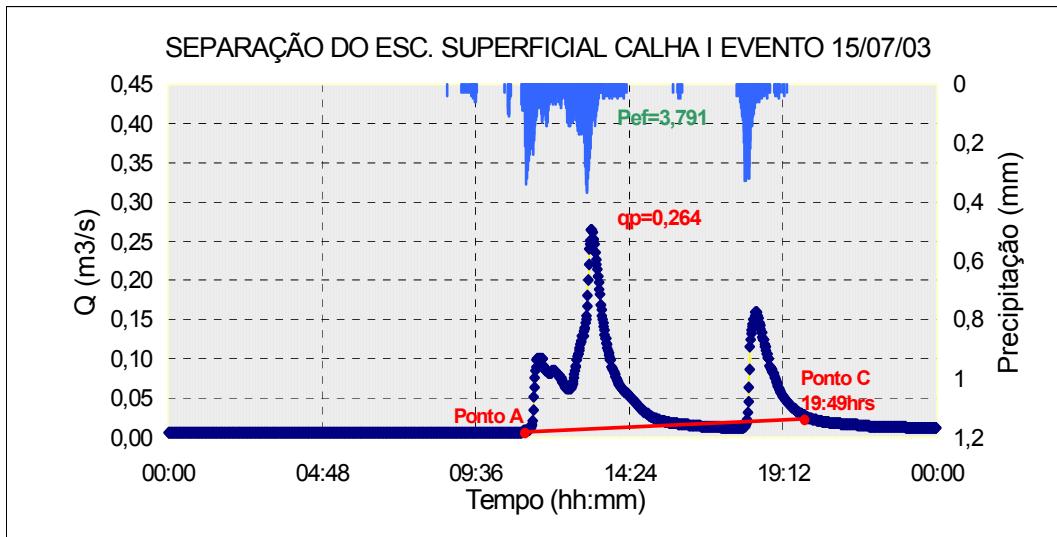


Figura 64 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha I do evento de 15/07/03.

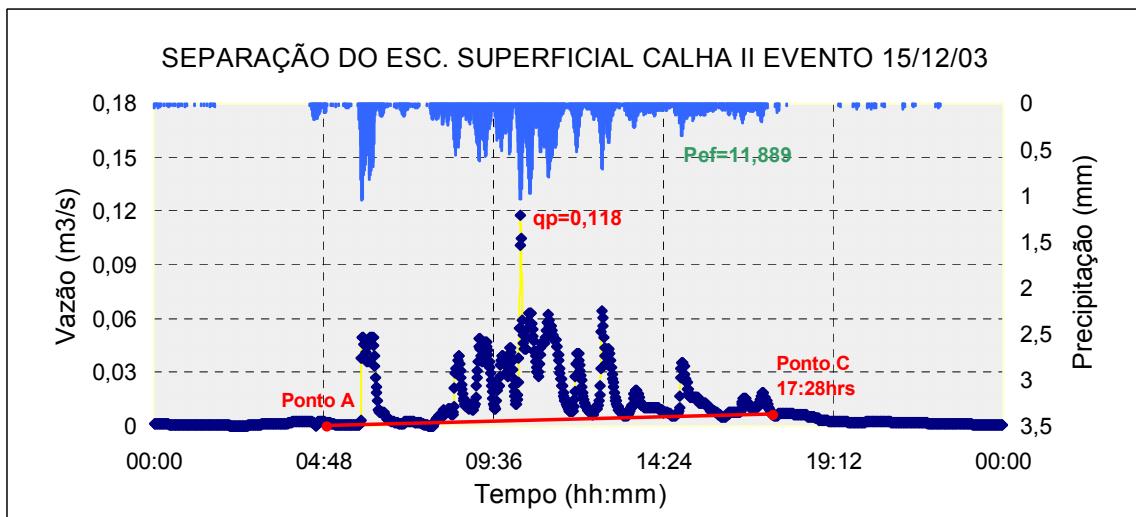


Figura 65– Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 15/12/03.

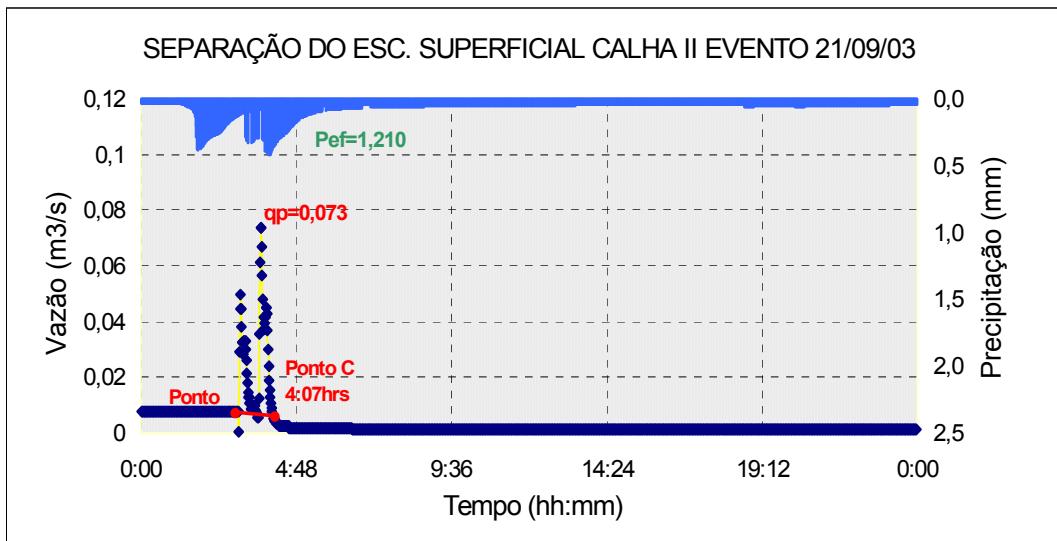


Figura 66 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 21/09/03.

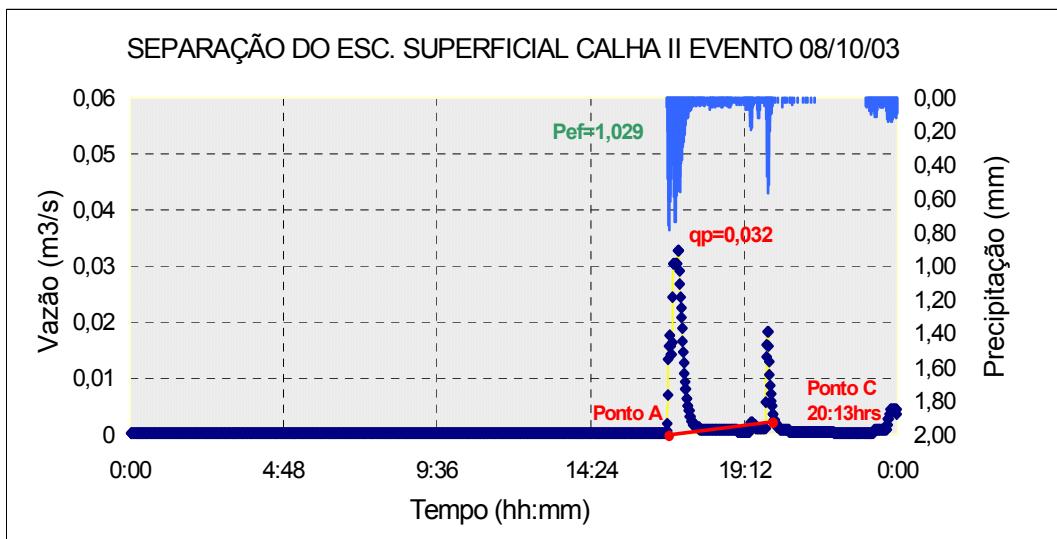


Figura 67 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 08/10/03.

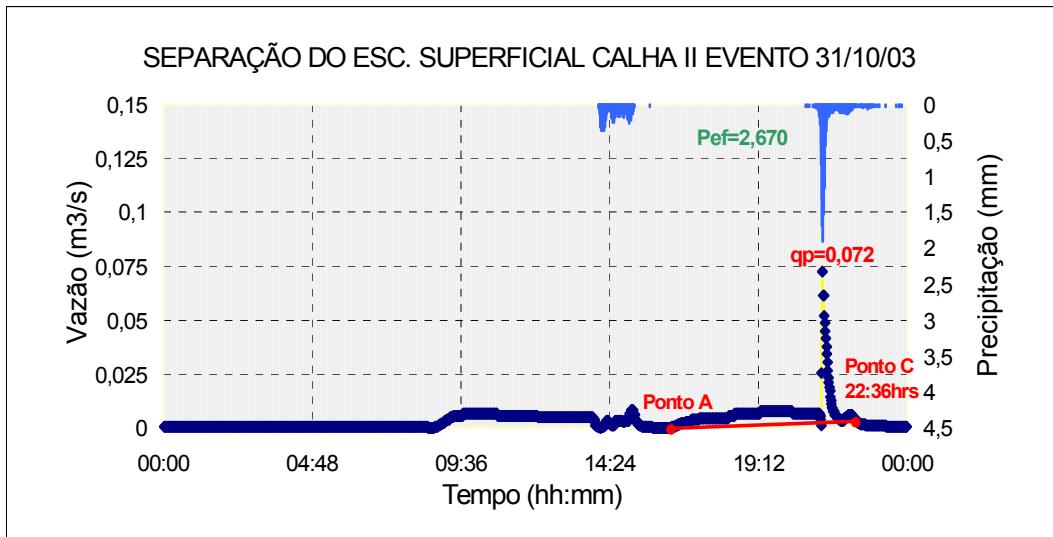


Figura 68 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 31/10/03.

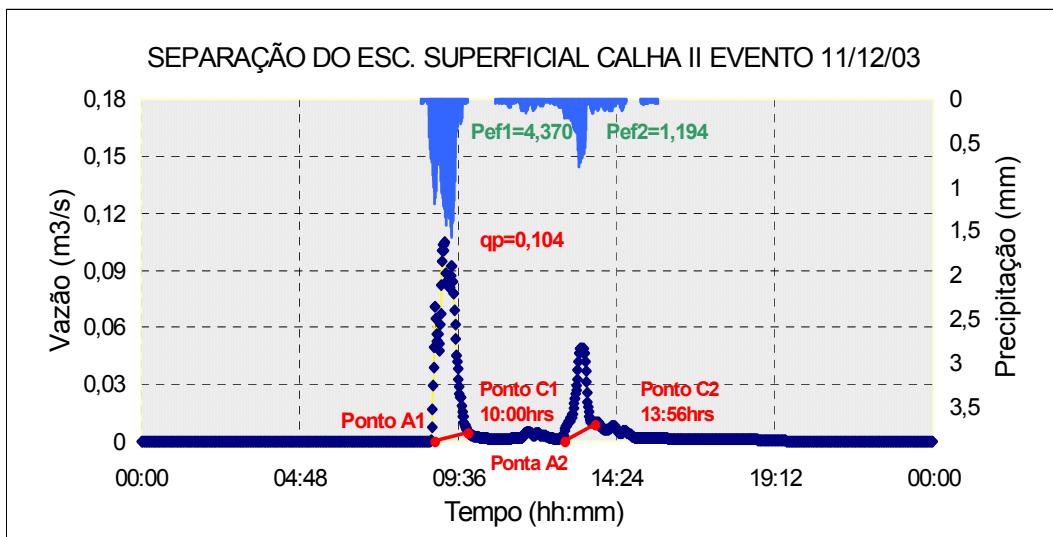


Figura 69 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 11/12/03.

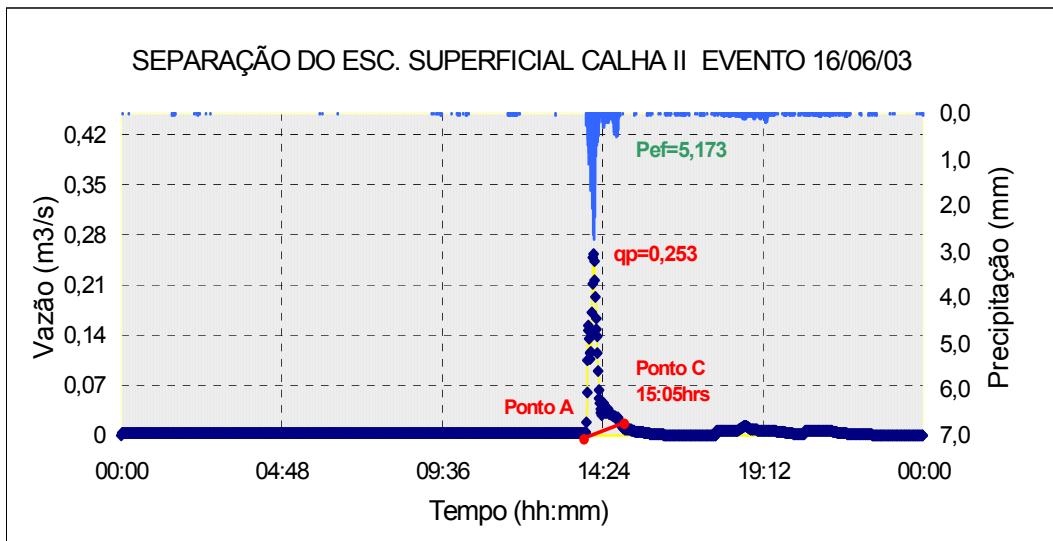


Figura 70 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 16/06/03.

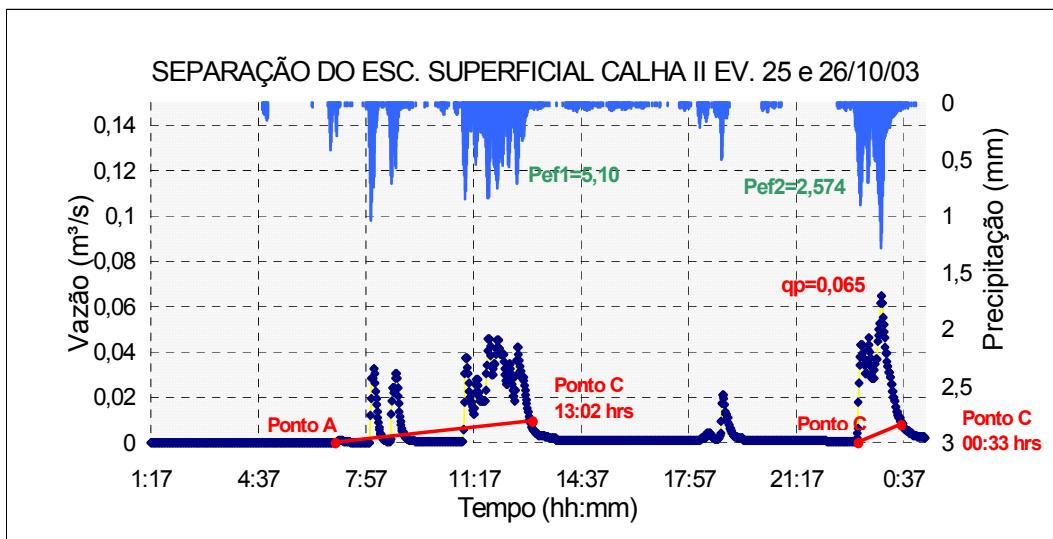


Figura 71 – Separação do escoamento superficial da estrutura de medição calha II do evento de 25 e 26/10/03.

4.6.1– Estimativa da produção de sedimentos através das curvas chave do volume superficial escoado

A produção de sedimentos medida na estrutura calha (I) foi relacionada com o produto do volume do escoamento superficial pela vazão de pico ($VOLSup * qp$), e com o volume superficial ($VOLSup$) do escoamento da área, as equações obtidas foram do tipo;

a)potencial;

$$Y = a_1(VOLSup * qp)^{b1}$$

b)linear;

$$Y = a_2(VOLSup) + b_2$$

E para a estrutura calha II as que obtiveram os melhores ajustes;

a)potencial;

$$Y = a_1(VOLSup * qp)^{b1}$$

b)Logarítmica;

$$Y = a_2 \ln(VOLSup) - b_2$$

A estimativa da produção de sedimentos foi obtida através da confecção das curvas chave para cada evento, para a estrutura de medição calha I (quadros 28 e 29) e (figuras 72 e 73), e para a estrutura de medição calha II (quadros 30 e 31) e (figuras 74 e 75).

Quadro 28 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup*qp pela produção de sedimentos da estrutura de medição calha I.

Dados para Elaboração da Curva Chave do Prod. do Volume Superficial Escoado e da Vazão de Pico pela Produção de Sedimentos Calha I.				
Evento	VOLsup*qp	Sed.de Fundo	Sed.em Susp.	Desc. Sólida
Data	(m³/s)	(ton/dia)	(ton/dia)	(ton/dia)
15/07/03	380,295	0,364	2,205	2,569
22/05/03	761,326	1,153	1,600	2,753
24/09/03	346,376	0,345	1,570	1,916
11/12/03	61139,330	7,605	15,523	23,129
21/06/03	436,935	0,435	2,289	2,724
16/06/03	6678,979	1,767	5,182	6,949
05/08/03	20,269	0,258	0,870	1,128
24/07/03	73,476	0,284	1,492	1,776

Quadro 29 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup total pela produção de sedimentos da estrutura de medição calha I.

Dados para Elaboração da Curva Chave do Volume Superficial Escoado Total pela Produção de Sedimentos do Evento Calha I.				
Evento	VOLsup	Sed.de Fundo	Sed.em Susp.	Desc. Sólida
Data	(m³)	(ton)	(ton)	(ton)
15/07/03	1440,511	0,364	2,205	2,569
22/05/03	1184,022	1,153	1,600	2,753
24/09/03	1131,948	0,345	1,570	1,916
11/12/03	12154,936	7,605	15,523	23,129
21/06/03	1123,225	0,435	2,289	2,724
16/06/03	2903,904	1,767	5,182	6,949
05/08/03	281,517	0,258	0,870	1,128
24/07/03	667,964	0,284	1,492	1,776

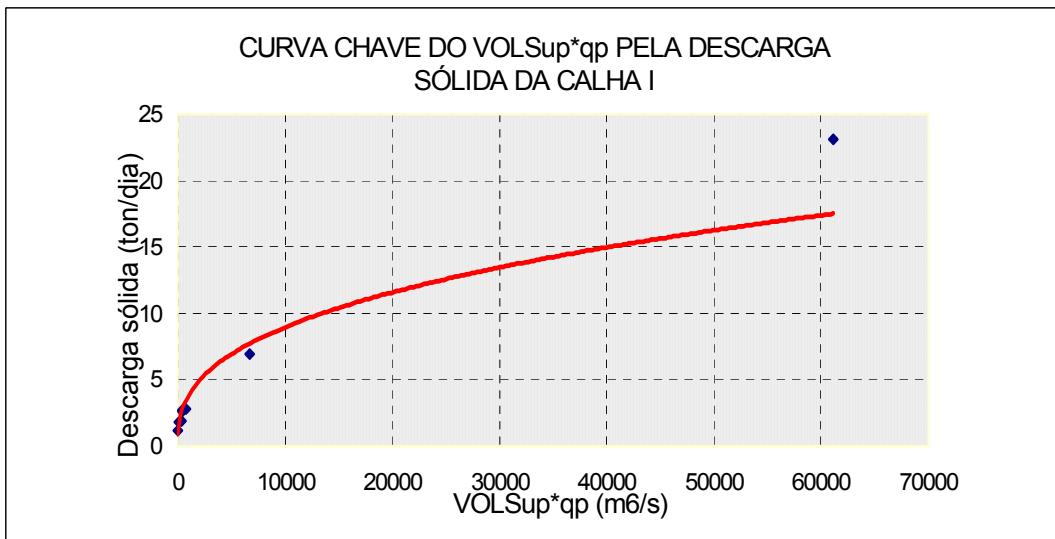


Figura 72 – Curva chave do VOLSup*qp da estrutura calha I.

$$Y = 0,2966(\text{VOLSup}^*\text{qp})^{0,371} \quad (4.28)$$

$$R^2=0,9491$$

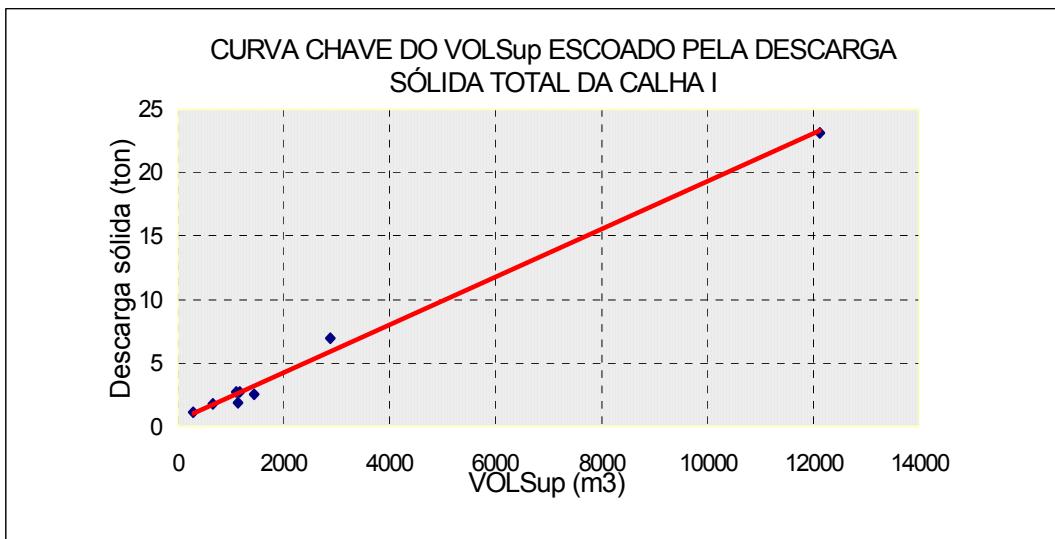


Figura 73 – Curva chave do VOLSup da estrutura calha I.

$$Y = 0,0019(\text{VOLSup}) + 0,4715 \quad (4.29)$$

$$R^2=0,9949$$

Quadro 30 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup*qp pela produção de sedimentos da estrutura de medição calha II.

Dados para Elaboração da Curva Chave do Produto do Volume Superficial Escoado e da Vazão de Pico pela Produção de Sedimentos Calha II.				
Evento	VOLsup*qp	Sed.Susp.	Sed. De Fundo	Desc. Sólida
Data	(m ³ /s)	(ton/dia)	(ton/dia)	(ton/dia)
08/10/03	1,586	0,136	0,396	0,532
11/12/03	27,880	0,647	0,674	1,321
16/06/03	63,054	0,908	0,683	1,591
21/09/03	4,255	0,432	0,550	0,982
31/10/03	9,263	0,435	0,599	1,034
15/12/03	67,592	1,471	0,728	2,199
25e26/10/03	24,041	0,856	0,624	1,480

Quadro 31 – Dados para elaboração da curva chave do VOLSup total pela produção de sedimentos da estrutura de medição calha II.

Dados para Elaboração da Curva Chave do Volume Superficial Escoado Total pela Produção de Sedimentos total no Evento Calha II.				
Evento	VOLsup	Sed.Susp.	Sed. De Fundo	Desc. Sólida
Data	(m ³)	(ton)	(ton)	(ton)
08/10/03	49,565	0,136	0,396	0,532
11/12/03	268,079	0,647	0,674	1,321
16/06/03	249,227	0,908	0,683	1,591
21/09/03	58,288	0,432	0,550	0,982
31/10/03	128,650	0,435	0,599	1,034
15/12/03	572,814	1,471	0,728	2,199
25e26/10/03	369,867	0,856	0,624	1,480

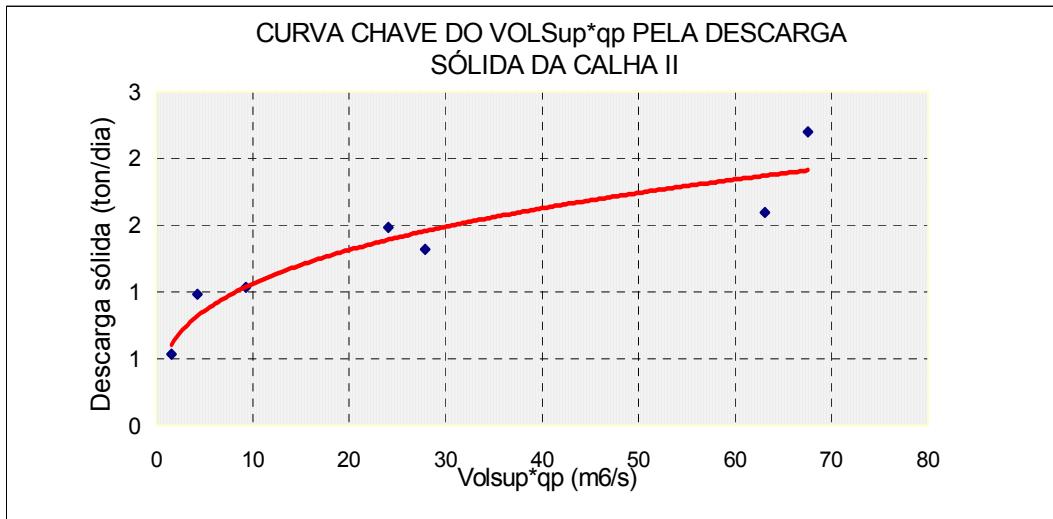


Figura 74 – Curva chave do VOLSup*qp da estrutura calhaII.

$$Y = 0,523(\text{VOLSup} \cdot qp)^{0,3073} \quad (4.30)$$

$$R^2 = 0,9110$$

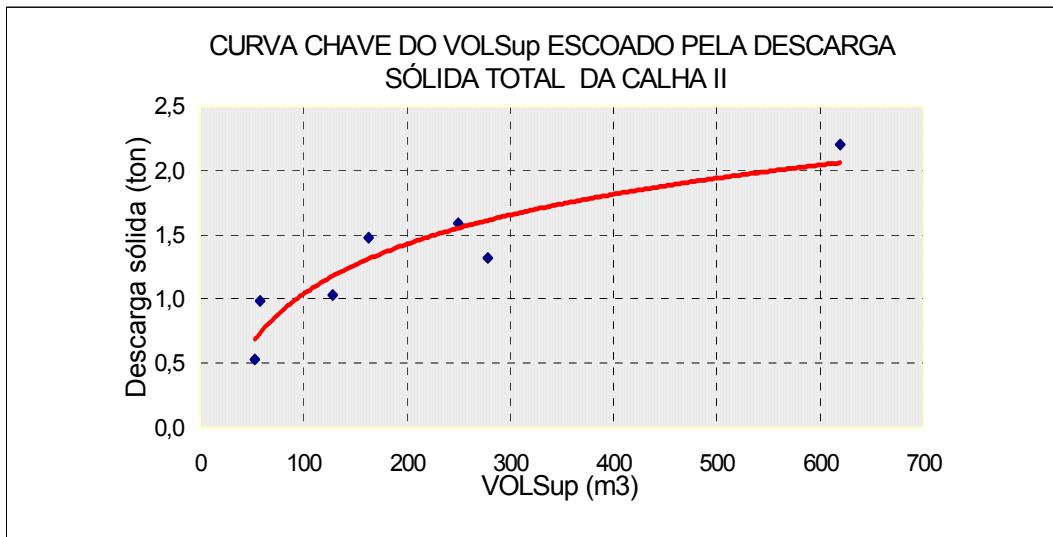


Figura 75 – Curva chave do VOLSup da estrutura calha II.

$$Y = 0,5249 \ln(\text{VOLSup}) - 1,4091 \quad (4.31)$$

$$R^2 = 0,8440$$

Onde para as curvas chave as equações em que relaciona o volume superficial escoado e a vazão de pico;

Y = estimativa de produção de sedimentos, em (ton/dia) e (ton);

VOLSup = volume de escoamento superficial, em (m³/s);

qp = vazão de pico do escoamento superficial, em (m³/s);

a e **b** = coeficientes calibrados pela bacia em estudo.

4.7 – Relação entre a estimativa de produção de sedimentos das áreas urbana e em urbanização

A partir de parâmetros próprios foi determinada a produção de sedimentos para as áreas urbana e em urbanização da bacia hidrográfica em estudo; foi feita uma análise da relação das duas áreas que compõe a bacia e de seus resultados.

A estrutura de medição calha (I) comprehende uma área de 0,38Km², cuja a produção média de sedimentos de todos eventos foi de 0,141(ton/ha.dia). O evento de 11/12/03 foi o que obteve a maior produção com 0,608 (ton/ha.dia).

Para a estrutura de medição calha (II) com área de 0,0481Km² os eventos tiveram uma produção média de sedimentos de 0,271 (ton/ha.dia), e o evento que obteve a maior produção foi o de 15/12/03 com 0,457 (ton/ha.dia).

Outra constatação feita, foi em relação a produção e o transporte de sedimentos; a estrutura de medição calha (I) teve 0,0020 toneladas por

metro cúbico de água escoada superficialmente, enquanto que a estrutura calha (II) teve 0,0053 toneladas por metro cúbico de escoamento superficial.

Os resultados obtidos para ambas as estruturas ficaram próximos aos resultados obtidos por Dawdy (1967), (quadro 34) para áreas em bairros residenciais.

Outro resultado que pode ser comparado aos obtidos pelos estudos realizados por Dawdy (1967), foi em uma área dos subúrbios de Maryland (EUA) quando foi obtida uma taxa média em um período de três anos na ordem de 467 (ton/ha), Ramos (1995).

Também foram analisados e comparados os resultados obtidos por Belinaso (2002) utilizando a (MUSLE) (quadro 32) que serão apresentados a seguir;

Quadro 32 – Dados obtidos por Belinaso (2002), observados e calculados Para a estrutura de medição calha (I).

Resultados Obtidos por (Belinaso,2002) para a estrutura de medição calha (I).					
Data do evento	PP (mm)	Qs (m ³)	qp (m ³ /s)	Y obser. (ton)	Y (musle) (ton)
20/04/01	19,120	743,370	0,775	0,996	9,413
01/06/01	36,400	2.208,330	0,939	2,840	19,275
11/07/01	73,630	7.639,520	1,576	23,533	51,622
18/07/01	14,240	1.113,750	0,895	1,811	12,794
31/08/01	51,980	2.090,880	1,120	4,487	20,636
07/09/01	15,570	4.285,580	1,675	9,806	38,646
26/09/01	37,710	2.483,400	0,823	2,706	19,118
30/09/01	96,350	2.793,340	1,568	20,222	29,308
08/10/01	15,720	1.801,040	1,576	8,550	22,983
07/11/01	33,340	1.696,690	0,511	1,326	11,824

Quadro 33 – Dados observados e calculados para a estrutura de medição calha (I).

Resultados Obtidos para a estrutura de medição Calha (I)					
Data do evento	PP (mm)	VOLSup(m ³ /s)	qp (m ³ /s)	Y obser. (ton/dia)	Y (calc.) (ton/dia)
15/07/03	28,310	1440,511	0,264	2,569	2,688
22/05/03	32,610	1184,022	0,643	2,753	3,477
24/09/03	30,500	1131,948	0,306	1,916	2,596
11/12/03	87,570	12154,936	5,030	23,129	17,697
21/06/03	59,660	1123,225	0,389	2,724	2,830
16/06/03	51,110	2903,904	2,300	6,949	7,783
05/08/03	14,260	281,517	0,072	1,128	0,906
24/07/03	15,930	667,964	0,110	1,776	1,461

Pode-se concluir que os dados obtidos através do cálculo utilizado pela (MUSLE) revela uma superestimativa de valores. Esta tendência de superestimar valores é constatada pelos estudos de Leite & Mouchel (1990).

Quadro 34 – Dados da produção de sedimentos em áreas rurais e urbanas obtidos por Dawdy (1967).

Rio e Localização	Área mi ²	Produção t/mi ² .ano	Ocupação	Área ha	Produção t/ha.dia
Watts Branch, Rock, Md	3,7	516	rural	958,300	0,005
Seneca Creek, Daw., Md	101	320	rural	26159,000	0,003
	21,3	470	rural	5516,700	0,005
Anacostia River, Col, Md	300	808	rural 1914-1943	77700,000	0,009
Gunpowder, Towson, Md	300	233	rural 1943-1961	77700,000	0,002
	80	913	rural 1933-1943	20720,000	0,010
Gunpowder Falls, H, Md	80	500	rural 1943-1961	20720,000	0,005
	817	327	rural	211603,000	0,003
Mbnocacy River, Fr., Md	72,4	207	rural	18751,600	0,002
George Cr., Franklin, Md	494	217	rural, florestada	127946,000	0,002
Conococheaque Cr., Md	0,85	15	florestada	220,150	0,000
Helton Branch, Ky					
Oregon Run, Cock., Md	0,236	72000	industrial	61,124	0,762
Johns Hopkins Univ, Md	0,0025	140000	em construção	0,648	1,481
Mnebank Run, Tow, Md	0,031	80000	comercial	8,029	0,846
Kensington, Md	0,032	121000	lot. residencial	8,288	1,280
L Barcroft, Fairfax, Va.	9,5	25000	lot. residencial	2460,500	0,264
Greensbelt Res., Md	0,83	5600	residencial	214,970	0,059
Anacostia River, Hy., Md	49,4	1200	urbano/desmento	12794,600	0,013
Anacostia River, Riv, Md	72,8	1000	urbano/desmento	18855,200	0,011
Cane Branch, Som, Ky	0,67	1147	mina superficial	173,530	0,012
Rock Creek, S. D, W.DC	62,2	1600	urbano/desmento	16109,800	0,017
Little Falls Br, Bet, Md	4,1	2320	urbano/desmento	1061,900	0,025
Gwinns Falls, Md	0,094	11300	residencial	24,346	0,120

Fonte (Ramos, 1995)

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 - Conclusões

Os estudos efetuados a partir do monitoramento das estruturas de medição calha (I) composta (em urbanização) com área de 0,380(Km²), e a estrutura calha (II) (urbana) com área de 0,0481 (Km²); nos permite concluir:

- 1) A área urbana obteve como vazão média nos eventos escolhidos 0,029 (m³/s); sendo que sua vazão de pico máxima ocorreu no evento de 16/06/03 com 0,253 (m³/s) e a menor ocorreu no evento de 08/10/03 com 0,0013 (m³/s). A área em urbanização obteve uma vazão média de 0,155 (m³/s), ocorrendo a vazão de pico máxima no evento de 11/12/03 com 5,030 (m³/s), e a menor no evento de 24/07/03 com 0,174 (m³/s). Os resultados obtidos são considerados esperados devido a área de captação da estrutura calha (I) composta ser muito maior, e ainda coletar as vazões da estrutura calha (II).
- 2) Os resultados obtidos a partir de medições das descargas líquidas e sólidas para avaliar a produção, transporte e deposição de sedimentos, nos mostrou que a produção média de sedimentos da área urbana foi de 0,271 (ton/ha.dia), enquanto que a produção média da área em urbanização foi de 0,141 (ton/ha.dia); ou seja, a área urbana produziu praticamente o dobro de sedimentos que a área em urbanização.

Outra análise que pode ser feita é referente a taxa de transporte dos sedimentos produzidos nas duas áreas através do volume superficial escoado; a área em urbanização teve 0,0020 toneladas por metro cúbico de água escoada superficialmente, enquanto que a área urbana teve 0,0053 toneladas por metro cúbico de escoamento superficial, o que conclui-se que a área urbana tem uma taxa de transporte 2,65 vezes maior que a área em urbanização.

3)A caracterização granulométrica do material produzido e transportado das áreas em estudo foi efetuada a partir das análises laboratoriais das amostras de sedimentos coletadas; pode-se concluir que para os eventos de cheias a área urbana se caracterizou por transportar sedimentos de granulometria média maior, variando entre a areia média e o pedregulho.

Para a área em urbanização houve uma variação média das amostras entre a areia fina e areia média. Nos períodos de estiagem não houve o transporte de sedimentos por parte da área urbana; entretanto na área em urbanização o transporte e a análise dos sedimentos apontaram para uma granulometria média das amostras variando entre a areia fina e média.

Finalmente pode-se concluir que para ambas as áreas os resultados das análises apontam para a produção de sedimentos de origem franco arenosa.

5.2 – Recomendações

Baseado nos resultados obtidos dos estudos realizados nas áreas urbana e em urbanização da bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro, pode-se sugerir algumas recomendações a serem implantadas para evitar e ou minimizar o transporte e o aporte de sedimentos do córrego até o reservatório do DNOS situado no exutório.

- Conter, planificar e disciplinar a ocupação urbana nas encostas da área em urbanização.
- Manter a vegetação natural (mata ciliar) intacta; nos locais onde o solo encontra-se desprotegido recompor as áreas através do plantio de árvores e a recuperação da vegetação.
- Reavaliar a drenagem da área urbana a fim de ordenar o deplúvio das águas superficiais.

6 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARAÚJO, Alex Maurício. **Evolução do processo de assoreamento em reservatório urbano.** In: CARACTERIZAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. tema 3, p. 365.

AZOLIN, Miguel A. D. & MUTTI, Luiz Severo Mugica. Relatório Técnico: **Solos da bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim.** Porto Alegre: Acordo DNOS-UFSM, 1987-1988, p. 1-20.

BELLINASO, T.B. **Monitoramento hidrosedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002. p.43,58 e 95.

BELLINAZZI Junior, R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI Neto, F. A **ocorrência de erosão urbana no Estado de São Paulo.** In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO. São Paulo: ABGE, 1981. p. 117-137.

BRANCO, Norberto. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta.**

Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998. p.7.

CANALI, Gilberto Ernesto. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981. cap.II.p.6-16.

CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbanas e periurbana do município de Franca.** (Dissertação de Mestrado FFLCH) - (USP - Universidade Federal de São Paulo) São Paulo, 2000.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. p.56-93.

CARVALHO, Newton de Oliveira; FILIZOLA Jr, Naziano Pantoja; SANTOS, Paulo Marcos Coutinho dos; et alii. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Brasília: ANEEL, 2000b. 22-23p.

EINSTEIN, H. A. **The bed-load function for sediment transportation in openchannel flows.** Washington, U.S. 1950. 78p.

EMMETT, William W. **Measurement of bed load in rivers.** In: EROSION AND SEDIMENT TRANSPORT MEASUREMENT SYMPOSIUM, 22-26 June 1981, IAHS - AISH Publication No. 133, 1981. p. 5-15.

GENOVEZ, Abel Maia. **Vazões máximas.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 3, p. 33.

KAUARK LEITE, L. A. & MOUCHEL, J. M. **Contribuição à modelagem da poluição difusa de origem agrícola. Transporte de sólidos em suspensão e de nitrogênio em pequenas bacias hidrográficas.** Revista Brasileira de Engenharia. Rio de Janeiro: 1990. 1. nº. Dez. 1990. p. 5-19.

MARTINS, Eduardo Sávio P. R. & PAIVA, João Batista Dias de. **Quantidade dos recursos hídricos.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 19, p. 533-552.

MENDONÇA, Antonio Sérgio. **Razões para a quantificação.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 3, p. 32.

MUTCHLER, C. K. & YOUNG, R. A. **Soil erosion by raindrops.** In: SEDIMENT YIELD WORSHOP. Oxford, 1975 p.113.

OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/PR.** (Tese de Doutorado – Departamento de Geografia – FFLCH/USP- Universidade Federal de São Paulo) São Paulo, 1994.211p.

PAIVA, João Batista Dias de. **Métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 12, p. 313-314.

PONTES, A. B. **Controle de erosão em áreas urbanas.** In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO. São Paulo: ABGE, 1980. Tema 3, p. 37-83.

RAMOS, Carlos Lloret. **Erosão urbana e produção de sedimentos.** In: DRENAGEM URBANA. Porto Alegre: ABRH, 1995. cap. 6, p. 241-253.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados:boçorocas.** (Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos –USC) São Carlos, 1982. 162p.

SANCHEZ, Julio E. **Fundamentos de hidrologia.** Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1987. 333p.

SILVEIRA, André Luiz L. da & SILVEIRA, Geraldo Lopes da. **Vazões mínimas.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 5, p. 125.

SILVEIRA, G. L. **Erosão de solo na região da encosta do planalto no estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982. 151p.

SKOGERBOE, Gaylord V.; BENNEL, R. S.; WALKER, W. R.
Instalation and field use of cuthroat flumes for water measurement. Water management. Technical Report n. 19. Colorado State University, 1972.

TUCCI, Carlos E. M. **Vazão máxima e hidrograma de projeto.** In: HIDROLOGIA CIÊNCIA E APLICAÇÃO. Porto Alegre: ABRH, 1993. cap. 14, p. 527.

TUCCI, Carlos E. M. **Regularização de vazões.** In: HIDROLOGIA CIÊNCIA E APLICAÇÃO. Porto Alegre: ABRH, 1993. cap. 15, p. 579.

UMEZAWA, Paulo Katsuaki. **Previsão de deplúvio (Washload) em rios de áreas elevadas.** Dissertação. (Mestrado em Hidrologia Aplicada) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979 p.12, 19 e 147.

VILLELA, Swami Marcondes. & MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada.** São Paulo : McGraw-Hill, 1975. 6p.

WASLENCZUK, Dennis G. **New diver-operated bedload sampler.** In:
JOURNAL OF THE HYDRAULICS DIVISION. 1976.
Proceedings of the ASCE, 102 v., nº HY6, June. 1976. p. 747.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial.** São
Paulo: BNH/ABES/CETESB, 1978. 148p.

ANEXOS