



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**FLÁVIA OZÓRIO JOSÉ**

**ANÁLISE DO EFEITO DO RESSALTO HIDRÁULICO NA  
EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO DE CANAIS EM PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO**

**Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL**  
Orientador

Seropédica, RJ  
Novembro – 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**FLÁVIA OZÓRIO JOSÉ**

**ANÁLISE DO EFEITO DO RESSALTO HIDRÁULICO NA EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO  
DE CANAIS EM PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof. Dr. RICARDO VALCARCEL**  
Orientador

Seropédica, RJ  
Novembro, 2011

ANÁLISE DO EFEITO DO RESSALTO HIDRÁULICO NA EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO  
DE CANAIS EM PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Comissão Examinadora

Monografia aprovada em 16 de novembro de 2011.

Prof. Dr. Ricardo Valcarcel  
UFRRJ / IF / DCA  
Orientador

Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva  
UFRRJ / IT / DE  
Membro

Prof.<sup>a</sup> Msc. Erika Cortines  
UFRRJ / Instituto Três Rios  
Membro

## DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia  
à recuperação do amigo  
Gustavo Cantarino  
Barata (Kiko).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e ao meu Anjo da guarda por me iluminarem durante toda minha vida, e em especial por me darem forças neste momento tão importante. Obrigado por ter colocado as pessoas certas no meu caminho e por ter me amparado através delas.

Obrigada a minha família incrível por me manter de pé. Mãe, obrigada pela força e pelo exemplo de fé. Pai, obrigada pelo apoio e por não me deixar desistir. Irmã e Florinha obrigada por me proporcionarem momentos de muita alegria! Vocês são minha razão de viver!

Obrigada a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por me acolher e me dar a oportunidade de ser Engenheira Florestal.

Obrigada ao meu Orientador, Ricardo Valcarcel, por me orientar não só neste trabalho, mas também em todos os momentos que precisei de ajuda. Obrigada pela paciência, pela confiança e pela oportunidade de aprender. Foi com o Senhor que eu aprendi a não ser "pedra, e sim ser telhado", evitando críticas sem valor e tentando solucionar os problemas.

Obrigada a Banca examinadora por me proporcionar o privilégio de suas críticas e orientações que enriqueceram este trabalho.

Obrigada a Equipe de amigos do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, em especial aqueles que tornaram essa monografia possível, Carolina Beja, Érika Cortines, Felipe Araujo, Flávia Souza, Gilsonley Lopes, Jayme Magalhães e José Antonio.

Obrigada as minhas primas Vanessa David e Danielle Beltrão por todo o apoio, carinho e energias positivas neste momento em especial!

Obrigada aos amigos Bruna Devellard, Raphael Almeida e ao meu afilhado Felipe Devellard, por compreenderem minha ausência, me darem apoio e muitos momentos de felicidade!

Rafael Dias, obrigada por estar sempre presente em todos os momentos em que eu precisei. Serei eternamente grata a você.

Obrigada aos meus amigos da UFRRJ, em especial a Família Cevadaceae! Vocês me proporcionaram momentos que eu nunca vou esquecer! Em especial quero agradecer aos amigos Ana Helena de Souza Dias, Gabriel Marinonio, Gabriela Matias, Nathalia Silveira, Raphaeli Souza, Tammy Kozue, Vinicius Mendes e Vanessa Martins. Amo muito vocês!

Obrigada ao amigo Gustavo Cantarino Barata pelo carinho e por estar dando a todos nós um exemplo de força e vontade de viver!

Obrigada aos professores Jayme Magalhães, Rosilei Garcia e Silvia Goi, pelas caronas abençoadas, pelo carinho e pelas inúmeras risadas!

Obrigada ao amigo Willian Carvalho por me ajudar com o Auto Cad.

Professor Marcio Francelino e Kaio Gasparini, obrigada por me ajudarem com o Arc Gis!

Obrigada ao Vinicius Perrut da Divisão de Obras da Prefeitura Universitária, UFRRJ, pela atenção e auxílio para encontrar os dados que eu precisava.

Por fim, obrigada a todos que rezaram por mim para que este momento se concretizasse!

## RESUMO

Estudos sedimentológicos podem aperfeiçoar projetos de reflorestamento de mata ciliar com o objetivo de proteger e estabilizar as margens de cursos d'água. Este estudo objetiva caracterizar hidrologicamente a estabilidade dos sedimentos depositados em uma calha retificada na década de 40 a partir dos efeitos de um ressalto hidráulico por estrangulamento de seção transversal. A calha está localizada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Foram cumpridas as seguintes etapas metodológicas: a) caracterização da microbacia; b) avaliação dos critérios de retificação; c) identificação e caracterização do ressalto hidráulico; d) avaliação do efeito do ressalto hidráulico nos processos hidrossedimentológicos a montante e a jusante, tanto dentro quanto fora da calha (leito de estiagem e de cheia), e) composição de amostras (matéria orgânica, lixo e sedimentos) e análise granulométrica dos sedimentos no período de estiagem. Foram observados mais sedimentos depositados no trecho a jusante do ressalto hidráulico, indicando uma condição de ajuste entre os processos de erosão e sedimentação no período de estiagem. Em condição de leito de cheia máxima (transbordamento) foi observado que a montante do ressalto hidráulico há predomínio do assoreamento sobre erosão, assim como na deposição de matéria orgânica.

**Palavras-chave:** Ressalto hidráulico; Estabilização de margens; Hidráulica Fluvial.

## ABSTRACT

Sedimentological studies can improve projects of riparian reforestation in order to protect and stabilize riverbanks. This study aims to characterize hydrologically the stabilization of sediments deposited in a drainage channel rectified in the decade of 40 in relation to the effects of hydraulic jump by narrowing the cross section. The gutter is located in Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Were fulfilled the following methodological steps: a) characterization of the basin, b) evaluation of the mechanisms of rectification, c) identification and characterization of the hydraulic jump by narrowing the channel cross section, and d) evaluation of the effect of the hydraulic jump in hydrosedimentological processes upstream and downstream, both in and out of the gutter (bed of dry season and rainy season), e) composition of samples (organic matter, trash and sediments) and particle size analysis of sediments collected in the gutter during the dry season. Was observed more sediment deposited in the downstream of hydraulic jump indicating an adjustment between the processes of erosion and sedimentation during the dry season. In condition of bed maximum flood (overflow) was observed that in the upstream of the hydraulic jump has a predominance of sedimentation on erosion, as in the deposition of organic matter.

**Key-words:** Hydraulic jump; Margin stabilization; Fluvial process.

## SUMARIO

LISTA DE ANEXOS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Formação das calhas de drenagem.....	3
2.2. Erosão hídrica .....	3
2.3. Dinâmica da sedimentação ao longo de um rio .....	4
2.4. Banco de sedimentos .....	6
2.5. Ressalto hidráulico.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	8
3.1. Área de estudo .....	8
3.2. Retificação do córrego Açu e caracterização de sua seção transversal .....	9
3.3. Ressalto hidráulico.....	12
3.4. Metodologia.....	14
3.4.1. Caracterização do córrego Açu e de sua respectiva microbacia.....	14
3.4.2. Medição de sedimentos .....	14
3.4.2.1. Medição do banco de sedimentos dentro da calha (leito de estiagem) .....	16
3.4.2.2. Medição de sedimentos acumulados no entorno da calha (leito de cheia e/ou enxurrada).....	21
3.4.2.3. Composição das amostras coletadas dentro da calha (leito menor) e análise granulométrica dos sedimentos. ....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5. CONCLUSÕES.....	46
6. RECOMENDAÇÕES .....	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47



## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO A</b> - Perfis transversais da calha nos pontos de medição considerados nas análises estatísticas, delimitados com auxílio do software Auto Cad 2012.....	49
<b>ANEXO B</b> - Fotos da caixa de sedimentação. ....	55

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Caracterização das margens de um trecho do Rio Guandu. A: Trecho a montante do ressalto hidráulico, ocasionado por uma elevação no leito do rio, onde prevalece o processo de deposição de sedimentos, apresentando, em consequência disso, margens estabilizadas. B: Trecho a jusante do ressalto hidráulico, onde prevalecem os processos de arraste de sedimentos, apresentando, deste modo, margens erodidas. ....2
- Figura 2:** Curva de Hjulstrom, 1935 – modificado (Fonte: DURLO & SUTILI, 2005) .....6
- Figura 3:** Em azul, localização do canal retificado do córrego Açu (Fonte: GOOGLE EARTH; CAPITANO, 2008 modificado). ....8
- Figura 4:** Trecho digitalizado da “Planta Cadastral de Valas”, na qual o córrego Açu é definido como a vala “L1” (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ)..... 10
- Figura 5:** Trecho digitalizado da “Carta Planimétrica da UFRRJ e IPEACS - 1968”, a qual ilustra o sistema de distribuição de água. Em destaque aparece a Caixa Reservatório 83 (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ)... 11
- Figura 6:** Trecho digitalizado da carta “Serviço de Água e Esgoto- Registrada em 1981”, na qual estão demarcados os sistemas de água e esgoto e os canais de drenagem da antiga CNEPA. Em vermelho destaca-se a Caixa Reservatório 83 que apresenta uma possível ligação com o córrego Açu (em azul) (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ)..... 11
- Figura 7:** Dimensões da seção transversal da calha à montante (esquerda) (4698 cm<sup>2</sup>) e à jusante (direita) (14 122 cm<sup>2</sup>) do ressalto hidráulico..... 12
- Figura 8:** Planta baixa da obra “Galeria sob pista no Instituto de floresta- 1998”, referente à galeria que conformava um trecho do canal retificado do córrego Açu (Fonte: Secretaria de Obras da Prefeitura Universitária / UFRRJ). .... 13
- Figura 9:** Galeria atual do canal retificado do córrego Açu, composta por uma manilha. ...14
- Figura 10:** Vista em planta da calha retificada do córrego Açu delimitada no software Auto Cad 2012..... 15
- Figura 11:** Esquema do dimensionamento da largura total (LT) e da largura da parte central (LC) da seção transversal da calha. .... 16
- Figura 12:** Alocação dos subpontos de medição na parte central da calha, para a obtenção de sua profundidade (A1, A2 e A3), altura do banco de sedimentos (B1, B2 e B3) e nível de água (N1, N2 e N3) em cada subponto. .... 17
- Figura 13:** Medições realizadas à jusante do ressalto hidráulico com o auxílio de régua de madeira previamente graduada e estaca de madeira (150 x 1 x 1 cm), ilustrando o redimensionamento da calha (A), a coleta da altura do banco de sedimento no ponto “n” (B) e a coleta do nível d’água no ponto “n” (C). .... 18
- Figura 14:** Medições realizadas à montante do ressalto hidráulico com o auxílio de instrumento de apoio e estaca de madeira (150 x 1 x 1 cm), ilustrando o dimensionamento da calha (A) e a coleta do nível d’água o ponto “n” (B). .... 19

<b>Figura 15:</b> Perfil transversal da calha. ....	20
<b>Figura 16:</b> Vista em planta da calha do córrego Açú, com a localização dos 18 pontos selecionados para a análise. ....	20
<b>Figura 17:</b> (A) Margens/laterais da calha cobertas por sedimentos; (B) Margens livres de sedimentos. ....	21
<b>Figura 18:</b> Método do nivelamento com mangueira para a determinação do perfil do terreno no entorno da calha; (A) Coleta da altura do nível d'água em relação ao vértice da calha após estabilização do mesmo; (B) Estabilização do nível d'água; (C) Coleta da altura do nível d'água no ponto "n"; (D) Medição da distancia entre o vértice da calha e o ponto "n"; (E) Detalhe da medida da altura do nível d'água. ....	22
<b>Figura 19:</b> Ilustração do método do nivelamento com mangueira. Legenda: (En) Elevação no terreno no ponto n; (Hv) Altura da coluna d'água no vértice da calha; (Hn) Altura da coluna d'água em relação ao terreno no ponto n. ....	23
<b>Figura 20:</b> Pontos de coleta de amostras de sedimentos para análise granulométrica. ....	24
<b>Figura 21:</b> Coleta de amostra de sedimentos para análise granulométrica. (A) Material utilizado na coleta; (B e C) Coleta de amostra no vértice esquerdo; (D) Amostras coletadas dispostas em recipientes plásticos para secar ao ar livre. ....	25
<b>Figura 22:</b> Pesagem da amostra coletada em balança analítica (A) e divisão da mesma em grupos (B). ....	26
<b>Figura 23:</b> (A) Processo de destorroamento das amostras; (B) Coleta de três subamostras de 60g cada; (C) Peneiras acopladas no aparelho agitador de peneiras. ....	26
<b>Figura 24:</b> Pesagem dos sedimentos retidos em uma das peneiras em balança de precisão. ....	27
<b>Figura 25:</b> Desenvolvimento de vegetação diferenciado a montante e a jusante do ressalto hidráulico. Fotos retiradas em março de 2011, antes de efetuarem limpeza na calha. ....	29
<b>Figura 26:</b> Fotos de montante. (A) Laterais da calha cobertas por sedimentos; (B) Diques naturais. ....	30
<b>Figura 27:</b> Microbacia do córrego Açú e Modelo Digital de Elevação do terreno. ....	32
<b>Figura 28:</b> Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de volume encontrados a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5). ....	34
<b>Figura 29:</b> Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de volume de sedimentos acumulados no entorno calha, a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5). ....	36
<b>Figura 30:</b> Perfil transversal com as dimensões médias encontradas a montante (A) e a jusante (B) do ressalto hidráulico. ....	37
<b>Figura 31:</b> Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de Matéria orgânica encontrada nas amostras coletadas a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5). ....	38
<b>Figura 32:</b> Composição da fração de matéria orgânica encontrada em cada uma das amostras coletadas a montante e a jusante do ressalto hidráulico. ....	39

- Figura 33:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Argila + Silte + Areia Fina; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,211 a 0,106 mm ; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,105 a 0,053 mm ; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,052 a 0,045 mm ; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro inferior a 0,045mm. ....41
- Figura 34:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Areia Grossa; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,212 a 0,249 mm ; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,250 a 0,499 mm ; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,500 a 0,99 mm ; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 1,00 a 1,99 mm .....43
- Figura 35:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Cascalho. ; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro superior a 4,00 mm; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 3,99 a 3,35 mm; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 3,34 a 2,8 mm; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 2,79 a 2,00 mm. ....45

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> O número de <i>Froude</i> .....	7
<b>Equação 2:</b> Determinação da largura central da seção transversal d a calha. ....	17
<b>Equação 3:</b> Cálculo do volume de sedimentos encontrados em cada ponto de medição.....	20
<b>Equação 4:</b> Determinação da elevação do terreno no ponto n .....	23
<b>Equação 5:</b> Método de determinação de vazão conhecido com “área x velocidade.” .....	34
<b>Equação 6:</b> Relação entre a velocidade de fluxo a montante e a jusante do ressalto hidráulico. .....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Escala granulométrica determinada a partir da Curva de Hjulstrom, 1935 – modificado .....	4
<b>Tabela 2:</b> Especificações do conjunto de peneiras utilizadas na análise granulométrica.....	28
<b>Tabela 3:</b> Quadro comparativo de aspectos observados em montante e jusante.....	30
<b>Tabela 4:</b> Volume de sedimentos encontrados dentro da calha a montante e a jusante do ressalto hidráulico. ....	33
<b>Tabela 5:</b> Volume de sedimentos encontrados no entorno da calha a montante e a jusante do ressalto hidráulico. ....	36
<b>Tabela 6:</b> Composição das amostras de sedimentos coletadas no leito do canal. ....	38
<b>Tabela 7:</b> Resultado da análise granulométrica dos sedimentos encontrados nas amostras. ..	40

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre sedimentologia vêm se tornando cada vez mais comuns no Brasil, devido a necessidade de se compreender as relações entre água e sedimentos, para que possam ser utilizados como indicador ambiental aplicável ao planejamento ambiental. A compreensão destas relações é de grande importância, já que os fenômenos de transporte e deposição de sedimentos vêm causando problemas em todo o mundo (CARVALHO, 2008).

Segundo o mesmo autor, o transporte de sedimentos através de corpos d'água pode causar problemas como: redução da atividade fotossintética necessária a salubridade dos corpos d'água, já que os sedimentos em suspensão impedem penetração de luz; redução da qualidade da água para consumo, aumentando custos de tratamentos; redução da qualidade estética dos cursos d'água; entre outros. Já a deposição de sedimentos, entre outros problemas, acarreta a elevação do nível d'água, corrosão de turbinas, modificações do equilíbrio hidrodinâmico da calha, erosão de margens e aumento da frequência de enchentes.

Em contrapartida, os processos de transporte e deposição de sedimentos podem trazer benefícios, pois a descarga sólida reduz a velocidade da água e a erosão do talvegue, e aumenta a fertilização das zonas inundáveis e o aporte de nutrientes (CARVALHO, 2008).

Desta forma, torna-se essencial o conhecimento da dinâmica da sedimentação e de suas possíveis consequências em estudos, projetos e construção de obras fluviais, assim como na conservação de terras e de recursos hídricos, o que inclui a implementação de projetos de reflorestamento em margens de rios.

Atualmente a compreensão dos processos de sedimentação é pouco considerada na estabilização de margens de cursos d'água. Existem, neste contexto, dois modelos de ação, um que envolve a construção de obras de engenharia, através de práticas de retificação e concretagem dos leitos dos cursos d'água, e outro que tem como solução o simples reflorestamento das margens, através do plantio de mudas (DURLO & SUTILI, 2005).

O primeiro modelo certamente soluciona o problema, já que áreas urbanizadas podem produzir menos sedimentos que áreas cobertas por florestas (GREGORY & WALLING, 1985). Porém, além de ser uma prática onerosa, muitas vezes não respeita aspectos econômicos, estéticos e principalmente ecológicos, que estão intimamente ligados a vegetação (DURLO & SUTILI, 2005).

Muitos autores descrevem a importância do uso do solo e da cobertura vegetal na dinâmica hidrossedimentológica dentro de uma bacia hidrográfica. Segundo Gregory & Walling (1985), a presença de cobertura vegetal:

- ✓ interfere tanto na produção de água e de sedimentos, quanto no comportamento dos mesmos ao longo da bacia, de modo que os máximos valores de produção de sedimentos foram detectados em áreas em que toda a cobertura vegetal foi removida; e
- ✓ favorece a infiltração da água da chuva, que vai alimentar os aquíferos freáticos, e também reduz o impacto promovido pelas gotas de chuva nos solos, quebrando seus agregados, o que daria origem a partículas que iriam ser movidas pelo fluxo d'água.

Além disso, a vegetação possui características biotécnicas essenciais a estabilidade das margens dos rios. A sua presença aumenta a tensão de erosão suportada pelo substrato (FLORINETH & GERSTGRASER, 2000 *apud* DURLO & SUTILI, 2005).

O segundo modelo de estabilização de margens, relacionado ao plantio de mudas, leva em consideração todos os aspectos favoráveis da vegetação, porém ignora a importância de se compreender os processos relacionados à interação entre água, sedimentos e vegetação. Em consequência disto, projetos de restauração de matas ciliares acabam não atingindo os resultados esperados. As mudas plantadas acabam conferindo as margens, ainda instáveis, efeitos de sobrecarga e alavanca, aumentando sua instabilidade (DURLO & SUTILI, 2005).

Na Figura 1, pode-se observar que em um mesmo trecho do rio Guandu a água se comporta de forma diferenciada. A montante do ressalto (Figura 1 A), a água apresenta fluxo subcrítico e há um predomínio do processo de deposição de sedimentos, o que é indicado pelas margens que não apresentam sinais de erosão. A jusante do ressalto (Figura 1 B) ocorre uma mudança no fluxo d'água, que passa a ser supercrítico, devido à deposição de sedimentos que ocorreu a montante da ponte. Desta forma, a água retoma sua capacidade de arraste, e passa a erodir as margens (CARVALHO, 2008).



**Figura 1:** Caracterização das margens de um trecho do Rio Guandu. A: Trecho a montante do ressalto hidráulico, ocasionado por uma elevação no leito do rio, onde prevalece o processo de deposição de sedimentos, apresentando, em consequência disso, margens estabilizadas. B: Trecho a jusante do ressalto hidráulico, onde prevalecem os processos de arraste de sedimentos, apresentando, deste modo, margens erodidas.



A observação e o estudo desses processos hidrossedimentológicos é de suma importância para a escolha das áreas aonde poderão ser implementados projetos de reflorestamento, fazendo com que estes tenham maior chance de alcançar seu objetivo de proteger e estabilizar as margens de cursos d'água.

Este estudo objetivou caracterizar hidrologicamente a microbacia do córrego Açu e avaliar o efeito do ressalto hidráulico por estreitamento nos processos de erosão/sedimentação dentro da calha, assim como no aporte de matéria orgânica.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Formação das calhas de drenagem**

As interações entre água e superfície terrestre se iniciaram a partir da ocorrência de precipitações na forma de chuva. Esse fenômeno deu origem a diversos processos, dos quais podemos destacar a infiltração da água no solo, a evaporação e o empoçamento da água sobre a superfície. Este último, somado com o a energia cinética adquirida pela água em trechos de maior declive, deu origem ao escoamento superficial da água (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo Christofolletti (1981), o fluxo de água é uma das forças mais potentes do universo, tanto em energia cinética quanto no total de sedimentos transportados. Deste modo que com o passar do tempo, os canais de drenagem se aprofundavam, podendo atingir os lençóis freáticos, formando assim as calhas preferências de drenagem.

### **2.2. Erosão hídrica**

A erosão hídrica é denominada por Christofolletti (1980) como processo morfogenético pluvial. Este processo é a resultante da ação mecânica das gotas de chuva e do escoamento pluvial. O impacto das gotas de chuva no solo promove o arrancamento e o deslocamento de partículas sólidas. Esse impacto é causado pela energia cinética das gotas de chuva, que varia de acordo com a velocidade e com o seu tamanho.

O escoamento ocorre quando a quantidade de água que precipita é maior que a que infiltra, sendo este um dos processos responsáveis pelo transporte de partículas. Este tipo de transporte envolve tanto as partículas disponibilizadas pelas gotas de chuva quanto às provenientes da ação erosiva do próprio escoamento pluvial, que pode ocasionar a formação de sulcos nos terrenos por onde passa.

Este processo pode também ser chamado de erosão fluvial, quando está relacionado a escavação provocada por um curso d'água em seu próprio leito, fundo e margens. A erosão fluvial envolve os processos de corrosão, corrosão e cavitação. A corrosão é a ação de processos químicos que ocorrem quando há um contato entre a água e as rochas que compõe o leito do rio. A corrosão é o desgaste originado pelo atrito causado por partículas carregadas pelo fluxo d'água, que acabam "polindo" as rochas que afloram no canal. A cavitação ocorre

quando a força da água ocasiona a fragmentação de rochas que estão no canal, o que ocorre apenas em condições de elevadas velocidades de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1980 ; DURLO & SUTILI, 2005).

Segundo Christofolletti (1980), a erosão hídrica é a principal fonte de partículas que vão compor a descarga sólida dos rios.

### 2.3. Dinâmica da sedimentação ao longo de um rio

Ao longo dos cursos d'água os sedimentos podem sofrer os processos de transporte, decantação e consolidação, os quais serão detalhados ao longo deste tópico. (BORDAS & SEMMELMANN, 1993 *apud* DURLO & SUTILI, 2005).

Segundo Bordas & Semmelmann (1993) *apud* Durlo & Sutili (2005), para que haja disponibilização e posterior transporte de sedimentos, a força do fluxo d'água deve superar a resistência proporcionada pelo peso das partículas e pelas possíveis forças de coesão existentes entre elas. No caso de argilas e siltes, a água necessita romper a resistência conferida pelo poder de coesão. Já no caso de areais, cascalhos e seixos, não existe coesão, e, portanto, a resistência ao deslocamento depende apenas do peso das partículas. É importante ressaltar que esta classificação de partículas é feita com base nas dimensões das mesmas, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Escala granulométrica determinada a partir da Curva de Hjulstrom, 1935 – modificado

Classificação	Tamanho das partículas (mm)
Argila	< 0,002
Silte	0,002 a 0,02
Areia fina	0,02 a 0,2
Areia grossa	0,2 a 2
Cascalho	2 a 50
Seixos	>50

**Fonte:** DURLO & SUTILI, 2005.

Segundo Durlo & Sutili (2005), apesar da influencia de outras variáveis, a movimentação dos sedimentos depende basicamente da relação entre a velocidade da água e o diâmetro das partículas, podendo estas serem transportadas de três formas: dissolvidas na água, como sobrenadantes ou em suspensão.

As partículas dissolvidas na água são compostas por sais oriundos da intemperização das rochas. A deposição destas só ocorre quando atingido o ponto de saturação da água por sedimentos. Seu transporte apresenta pequena importância nos danos causados pelo

escoamento, ao contrario do transporte de materiais sobrenadantes e em suspensão, os quais serão o foco deste estudo (CHRISTOFOLETTI, 1980; DURLO & SUTILI, 2005).

Os materiais considerados sobrenadantes são compostos por resíduos vegetativos (galhos, folhas, madeira) e lixo, acumulados nas margens dos rios em períodos de estiagem. Na ocorrência de chuvas fortes estes materiais são recolhidos por enchentes que inundam as margens, e passam a ser transportados pelo fluxo d'água fluando na superfície. Ao depositarem, estes materiais podem causar entupimentos e até mesmo desvios no curso d'água (GREGORY & WALLING, 1985; DURLO & SUTILI, 2005).

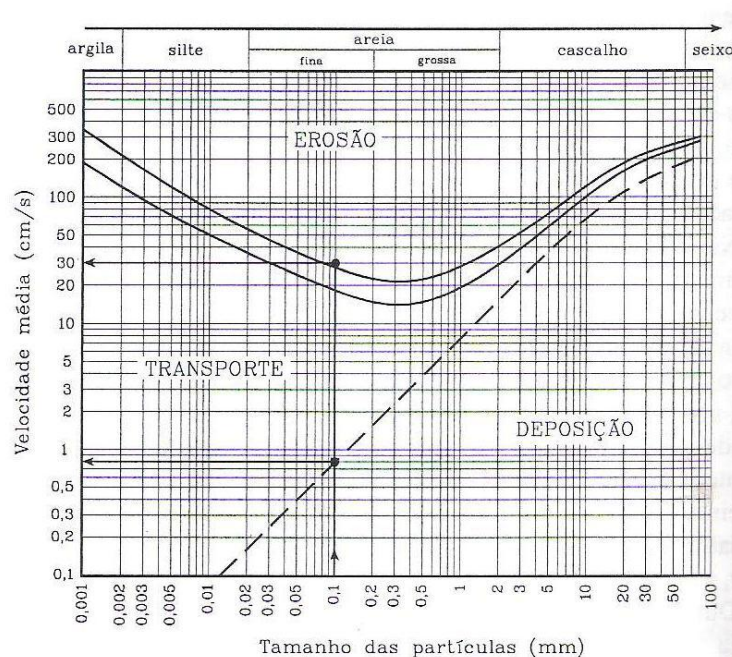
Segundo Christofolletti (1980), os materiais em suspensão são o grupo de maior importância, pois alteram as propriedades físicas da água. Dependendo das dimensões (diâmetro e peso específico) destas partículas e da velocidade da água, elas podem ser transportadas em suspensão propriamente dita ou em arraste/saltação (DURLO & SUTILI, 2005).

As partículas que compõe o material em suspensão propriamente dito são o silte e a argila, pois são carregadas na mesma velocidade com que a água se movimenta. A granulometria reduzida destas partículas permite que elas se mantenham em suspensão até o ponto em que a turbulência seja insuficiente para mantê-las em movimento. Deste modo, a deposição destas partículas ocorre em trechos de rios onde as águas são calmas e nos lagos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Partículas de maior granulometria, como areias e cascalhos, são transportadas em arraste ou saltação (rolando ou saltando no leito do rio respectivamente). Neste caso, as partículas movem-se mais lentamente que o fluxo d'água, já que se movem de maneira descontínua (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A deposição propriamente dita só ocorre quando a partícula alcança o fundo do rio e lá permanece até ser movimentada novamente (DURLO & SUTILI, 2005). De forma geral, a deposição de sedimentos ocorre quando há uma redução na capacidade ou na competência fluvial. A capacidade fluvial está relacionada a quantidade máxima de sedimentos de determinado diâmetro que o fluxo d'água pode transportar, já a competência fluvial, está relacionada ao maior diâmetro de partícula que o fluxo d'água pode transportar. A diminuição da capacidade e da competência fluvial pode ser causada por reduções na declividade e no volume de água e pelo aumento da vazão sólida (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A curva de Hjulstrom, ilustrada na Figura 2, apresenta a relação entre o tamanho das partículas e a velocidade média do fluxo d'água necessária para que ocorram os fenômenos de erosão (disponibilização da partícula), transporte e deposição.



**Figura 2:** Curva de Hjulstrom, 1935 – modificado (Fonte: DURLO & SUTILI, 2005).

Pode-se observar que partículas como argilas e siltes necessitam de velocidades de fluxo muito elevadas para erodirem, devido ao alto poder de coesão existente entre elas, e também para se manterem em movimento (transporte), mas necessitam que a água atinja velocidades muito reduzidas para depositarem. As areias (fina e grossa) necessitam de velocidades relativamente menores que as argilas e siltes para erodirem e se manterem em movimento, porém quando submetidas a pequenas reduções na velocidade da água, já depositam. Por fim, cascalhos e seixos, por apresentarem maior peso, necessitam de velocidades muito elevadas para erodirem e se manterem em movimento, porém, de maneira mais brusca que as areias, depositam quando submetidos a pequenas reduções na velocidade da água.

#### 2.4. Banco de sedimentos

Segundo Carvalho (2008), sedimentos são partículas oriundas de materiais biológicos ou de rochas fragmentadas por processos físicos e químicos, os quais podem ser transportados pela água ou pelo vento aos locais de deposição, que pode ser o leito de um rio.

Bancos de sedimentos apresentam partículas que se depositam nas planícies de inundação quando a velocidade da água é insuficiente para transportá-las ou quando o fluxo d'água já tenha atingido seu valor de saturação, que corresponde à capacidade máxima de material sólido que um fluxo pode transportar (CARVALHO, 2008).

O banco de sedimentos também é conhecido nos rios de grande porte como depósitos permanentes. Este é formado quando os sedimentos depositados sobre o leito sofrem a ação do peso da água e de seu próprio peso, permanecendo de forma aparentemente estática no tempo (CARVALHO, 2008).

## 2.5. Ressalto hidráulico

O ressalto hidráulico é um fenômeno originado a partir da modificação da seção da calha do rio, onde se observa a transição de fluxo supercrítico para um fluxo subcrítico (SHAMMAA, *et. al.*, 2008).

Segundo Silva *et. al.* (2007), as definições de fluxos supercríticos e subcríticos são feitas com base no Número de *Froude*, que representa a relação entre as forças de inércia e as forças de gravidade que atuam em um escoamento.

O número de *Froude* é calculado pela Equação 1.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

Onde:

v = Velocidade média;

g = Força da gravidade; e

L = Dimensão linear qualquer.

O fluxo é considerado supercrítico (ou torrencial) quando o número de *Froude* é superior a um, o que indica valores altos de velocidade de escoamento. Este é o caso de escoamento que pode ocorrer em corredeiras, cabeceiras de rios e a jusante de vertedores.

Já o fluxo subcrítico (ou fluvial), é representado por números de *Froude* inferiores a um, indicando valores pequenos de velocidade de escoamento em relação aos demais trechos da calha de drenagem. É o escoamento característico de planícies de inundação.

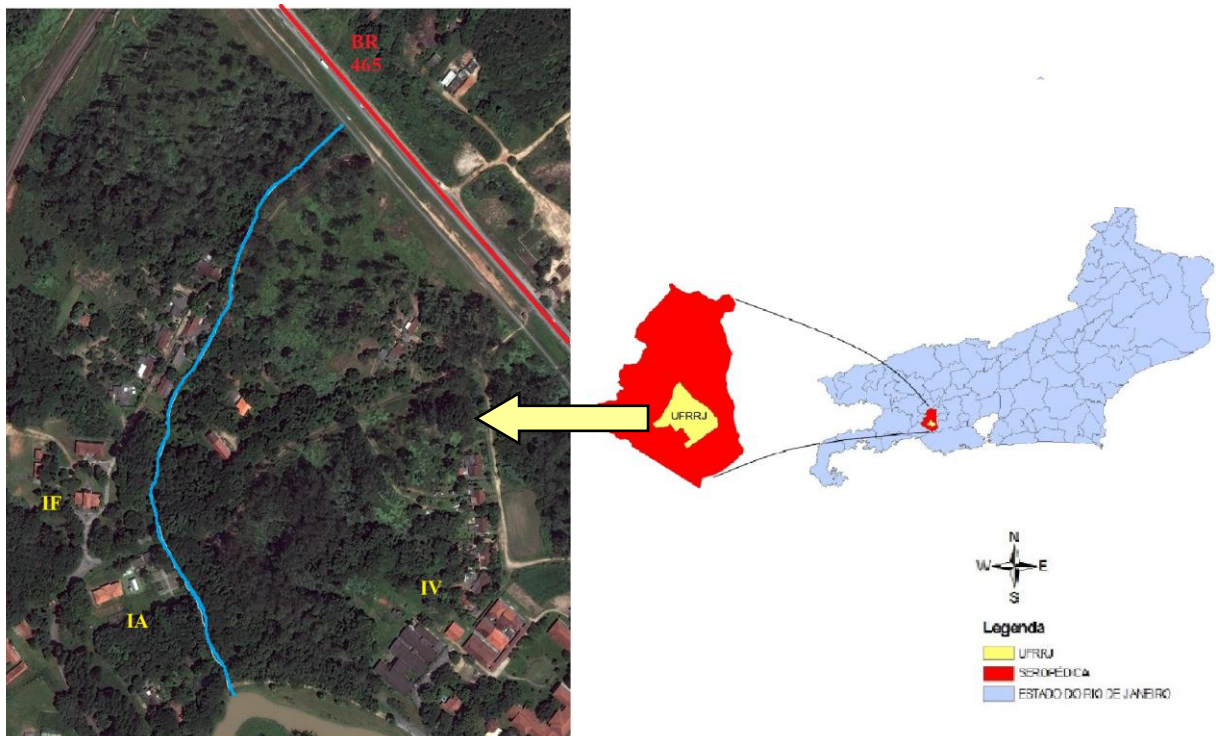
A passagem do escoamento supercrítico para subcrítico é resultante de uma súbita elevação do nível de água, e a uma consequente redução da velocidade de fluxo para uma mesma vazão, que é ocasionada por uma descontinuidade na superfície livre.

Este fenômeno ocorre em rios e tem relevância em estruturas hidráulicas (SILVA, 2007), podendo ser utilizado como meio de misturar produtos químicos, aerar fluxos e de dissipar energia ao longo destas (SHAMMAA *et al.*, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no canal retificado do córrego Açu, localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ (Figura 3).



**Figura 3:** Em azul, localização do canal retificado do córrego Açu (Fonte: GOOGLE EARTH; CAPITANO, 2008 modificado).

O município de Seropédica está entre as coordenadas 22°48'S e 43°41'W, e apresenta clima Aw de acordo com a classificação de Köppen (CARVALHO, *et. al*, 2006). O índice 'A' indica que a região apresenta clima tropical megatérmico, temperatura média do mês mais frio do ano maior que 18° C, ausência de estação invernal e forte precipitação anual. Já o índice 'w' indica a presença de chuvas de verão (METEOROLOGIA, 2008).

A região apresenta precipitação média anual de 1.213 mm, concentradas nos meses de novembro a março e temperatura média anual de 23,9° C (CARVALHO *et al.*, 2006).

Segundo Goes (1994), o município faz parte do sistema Baixada Costeira, cuja conformação foi intensamente influenciada pelo fechamento da Restinga da Marambaia. Este

fenômeno deu origem a um ambiente de baixa energia, sem a ação direta e ativa das ondas oceânicas, o que influenciou diretamente os ambientes deposicionais desta região.

Geomorfologicamente a região é marcada pela presença de cordões arenosos e lagoas assoreadas, formadas como consequência de regressões do nível do mar, que geraram sucessivos reposicionamentos da linha da costa e modificaram o aporte de sedimentos trazidos pela hoje atual bacia do rio Guandu em seu primeiro ciclo deltaico (GOES, 1994).

Os sedimentos que a compõe são considerados inconsolidados e são oriundos de sedimentação fluvial, e podem ser classificados como argilo-siltosos, argilo-arenosos, argila orgânica, silte argila, areia fluvial, areia marinha, seixos e cascalhos (GOES, 1994).

O relevo predominante é o de várzea (CAPITANO, 2008), sendo a área dividida em planície flúvio lacustre deltaica, planície flúvio marinha deltaica, planície aluvionar de cobertura, terraços, várzeas fluviais, terraço colúvio-aluvionar e colinas aplainadas.

Os solos são do tipo Planossolo, Gleissolo, Argisolo e Solos Aluviais (Neossolos Quartzarênicos e Flúvicos) (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982).

A área de estudo está situada no bioma Mata Atlântica, tendo como cobertura original a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982).

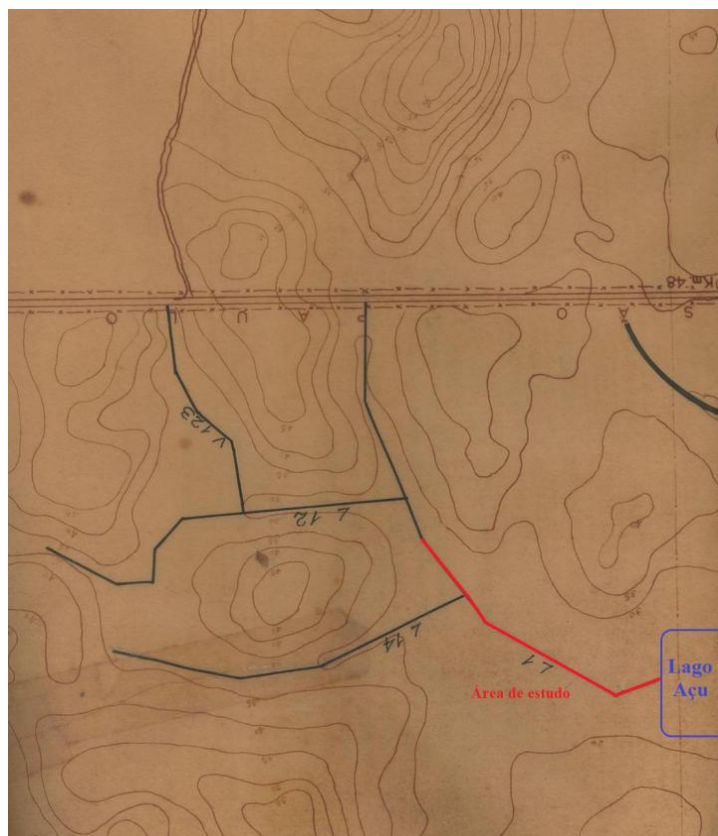
Após a abolição da escravatura na região, com a emigração dos escravos, a falta de transporte e a insalubridade, as plantações na região desapareceram e as terras foram abandonadas tal qual se encontravam.

Como consequência, os canais e rios que cortavam sua baixada continuaram sendo obstruídos pelos sedimentos oriundos dos processos erosivos naturais e antrópicos, o que, ao longo do tempo, a transformou em uma área brejosa, com pequenas lagoas e ampla proliferação de vetores de doenças propagadas por insetos, tornando-a uma região ainda mais favorável ao alastramento da malária, doença que paralisou durante muito tempo o desenvolvimento econômico da região.

Em 1938, iniciaram-se as obras de construção do Centro Nacional de Estudos e Pesquisas Agronômicas, onde funciona atualmente a UFRRJ (PORTAL SEROPÉDICA, 2011). Acredita-se que nesta época é que foram construídas as drenagens na área de estudo.

### **3.2. Retificação do córrego Açú e caracterização de sua seção transversal**

O córrego Açú está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, e tem como exutório o Lago Açú (Figura 4).

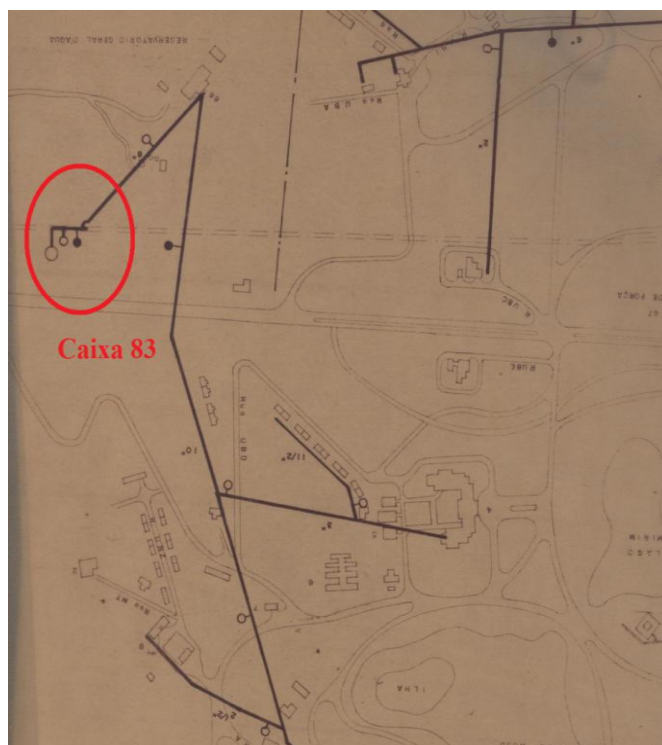


**Figura 4:** Trecho digitalizado da “Planta Cadastral de Valas”, na qual o córrego Açú é definido como a vala “L1” (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ).

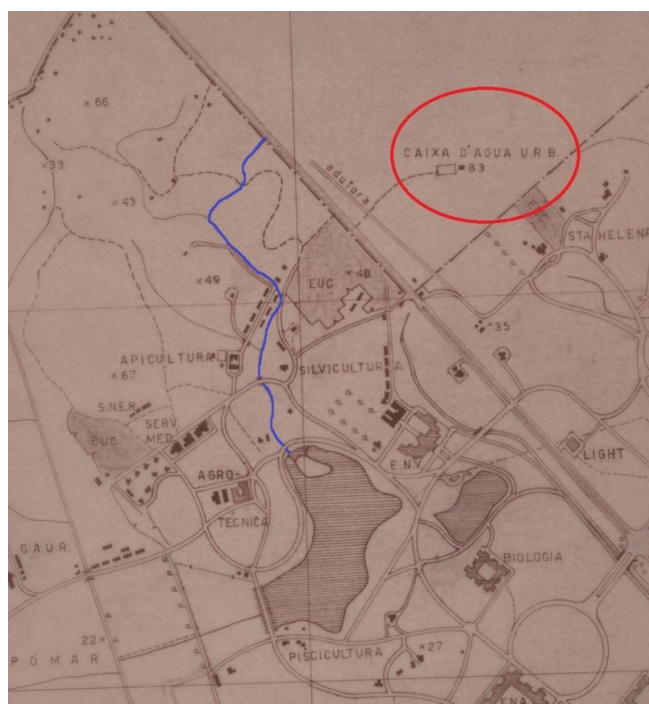
Com base em cartas disponibilizadas pela Divisão de Obras da Prefeitura Universitária da UFRRJ, a retificação do córrego Açú ocorreu ainda na vigência do Centro Nacional de Estudos e Pesquisas Agronômicas (CNEPA), por volta dos anos 50 (Figura 4).

Supõe-se que o córrego era utilizado como meio de escoar a água excedente da Caixa/Reservatório d’água 83 (Figura 5), que abastecia parte das instalações prediais da antiga CNEPA (Figura 6).





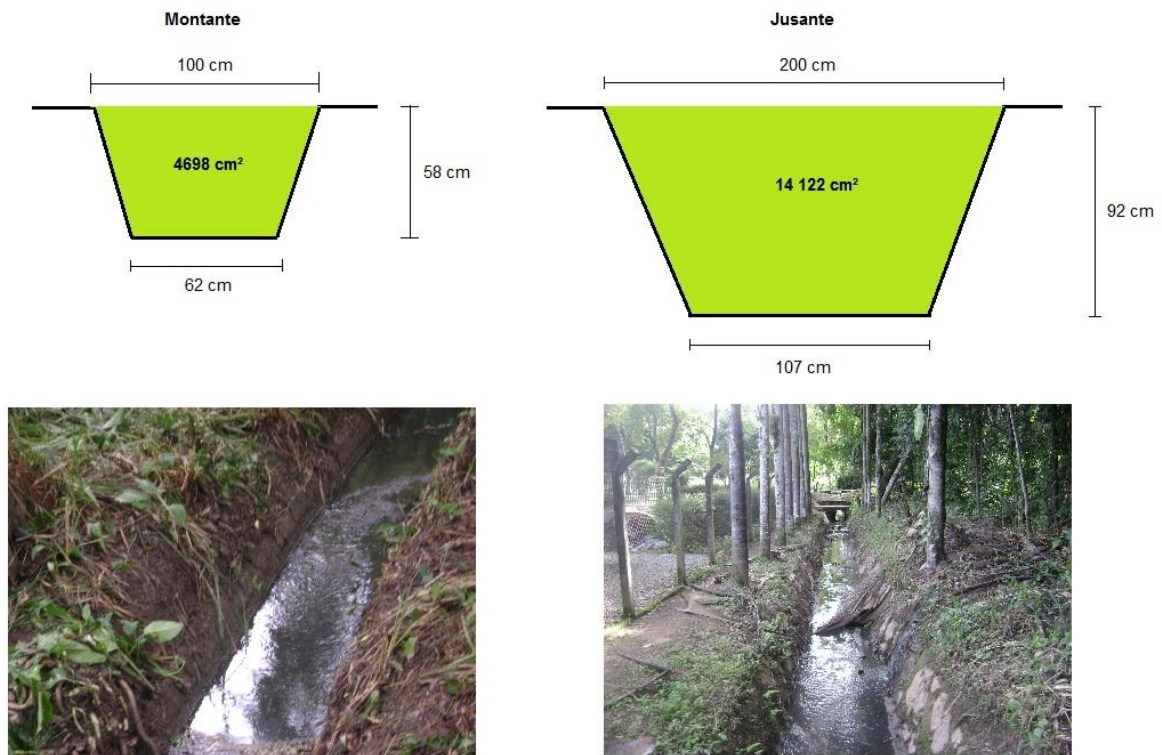
**Figura 5:** Trecho digitalizado da “Carta Planimétrica da UFRRJ e IPEACS - 1968”, a qual ilustra o sistema de distribuição de água. Em destaque aparece a Caixa Reservatório 83 (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ).



**Figura 6:** Trecho digitalizado da carta “Serviço de Água e Esgoto- Registrada em 1981”, na qual estão demarcados os sistemas de água e esgoto e os canais de drenagem da antiga

CNEPA. Em vermelho destaca-se a Caixa Reservatório 83 que apresenta uma possível ligação com o córrego Açu (em azul) (Fonte: Divisão de Obras / Prefeitura Universitária - UFRRJ).

A retificação do córrego Açu foi feita utilizando-se pedras argamassadas, conferindo a calha um formato trapezoidal. As seções transversais da calha apresentam diferentes dimensões a montante e a jusante da manilha como pode ser observado na Figura 7.



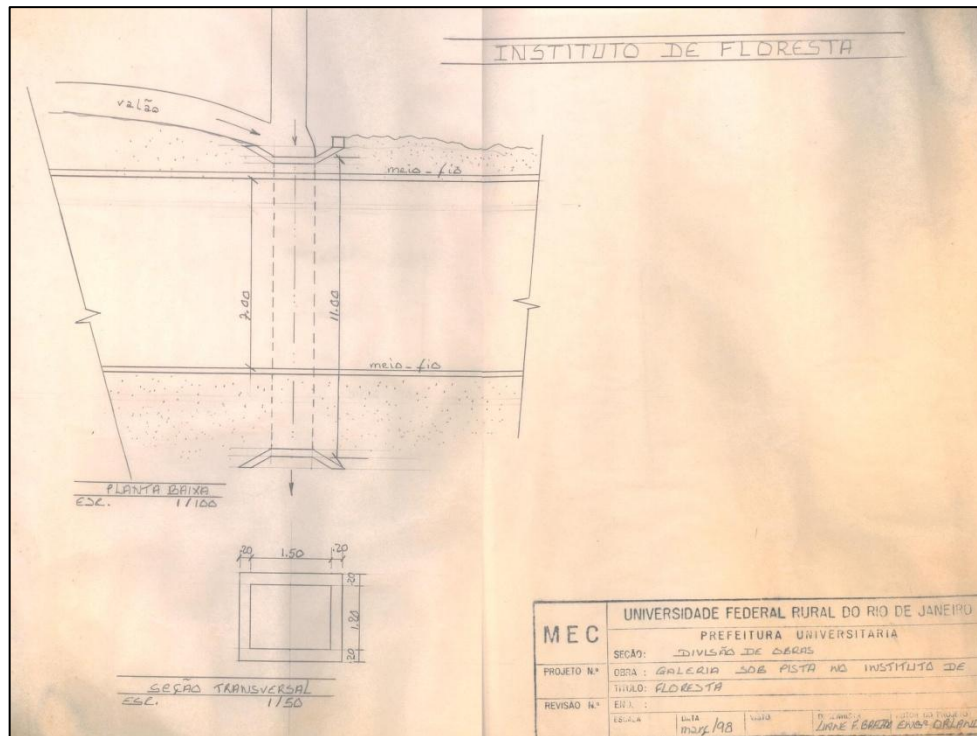
**Figura 7:** Dimensões da seção transversal da calha à montante (esquerda) (4698 cm<sup>2</sup>) e à jusante (direita) (14 122 cm<sup>2</sup>) do ressalto hidráulico.

O trecho estudado encontra-se próximo ao Instituto de Florestas da UFRRJ, e apresenta 250m extensão, contados a partir do exutório.

### 3.3. Ressalto hidráulico

O ressalto hidráulico no córrego Açu é gerado a partir de uma manilha de 1m de diâmetro (0,78 m<sup>2</sup> de seção transversal), disposta sob estrada com linha de drenagem de 12 m de comprimento. Ela promove o estreitamento da seção transversal de montante para jusante em dias de enxurradas, que podem gerar modificações nos equilíbrios dinâmicos da hidráulica fluvial e afetar a estabilização dos sedimentos acumulados nas margens, assim como a alternância entre processos de erosão e sedimentação do perímetro molhado.

Antes da instalação da manilha, havia apenas uma galeria sob a estrada (Figura 8), que apresentava seção quadrangular, com 1,50 x 1,20 m de dimensão e 1,8 m<sup>2</sup> de área, o que permitia o livre escoamento da água através da calha sem o estreitamento da seção transversal.



**Figura 8:** Planta baixa da obra “Galeria sob pista no Instituto de floresta- 1998”, referente à galeria que conformava um trecho do canal retificado do córrego Açu (Fonte: Secretaria de Obras da Prefeitura Universitária / UFRRJ).

Com a instalação da manilha (Figura 9), ocorreu o estreitamento da seção transversal, pois esta passou a apresentar 1m de largura (diâmetro) e 0,78 m<sup>2</sup>, resultando em uma menor área disponível para o escoamento da água.



**Figura 9:** Galeria atual do canal retificado do córrego Açu, composta por uma manilha.

### **3.4. Metodologia**

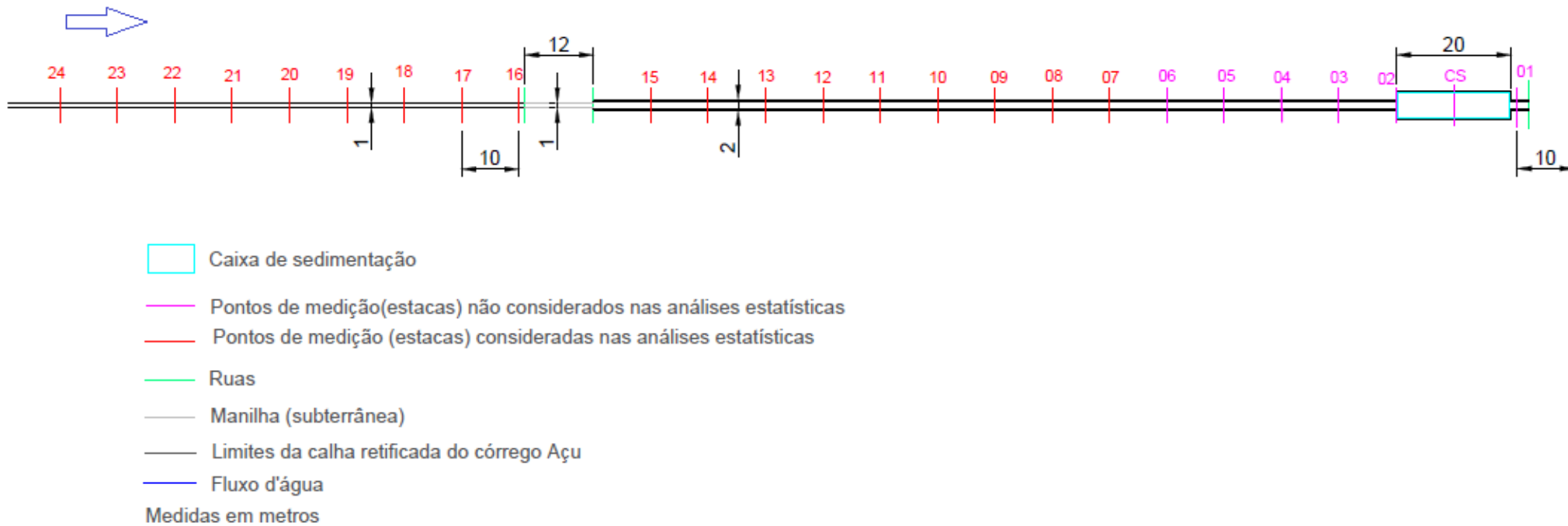
#### **3.4.1. Caracterização do córrego Açu e de sua respectiva microbacia**

A caracterização da microbacia utilizou como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) (IBGE, 2011) com escala 1:25.000. Os dados hidrográficos foram retirados da carta da extinta Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana (FUNDREM) com escala 1:10.000, cedidas pela Fundação CEPERJ. A articulação da base cartográfica e a delimitação da microbacia foi feita com o auxílio do software ArcMap 9.3, envolvendo os seguintes aspectos: a) definição das zonas hidrográficas da microbacia; b) espacialização da declividade; c) determinação de fatores morfométricos da calha e da microbacia do córrego Açu.

A confirmação dos dados foi obtida por meio de observações de campo, baseadas em bioindicadores constituídos pela vegetação (diversidade de espécies, tipo de vegetação, caducifolia) e pelo hidromorfismo dos solos.

#### **3.4.2. Medição de sedimentos**

Foram alocados 25 pontos de medição com o auxílio de uma trena, dispostos de 10 em 10 m a partir do exutório, exceto quando havia algum impedimento físico para a medição (neste caso os pontos eram instalados o mais próximo possível), os quais foram identificados com estacas de madeira numeradas. Foram instalados 15 pontos de medição a jusante, totalizando 150 m de trecho do córrego e, a montante, 09 pontos totalizando 90m. Ao total, o trecho estudado, compreendeu aproximadamente 240m (Figura 10).

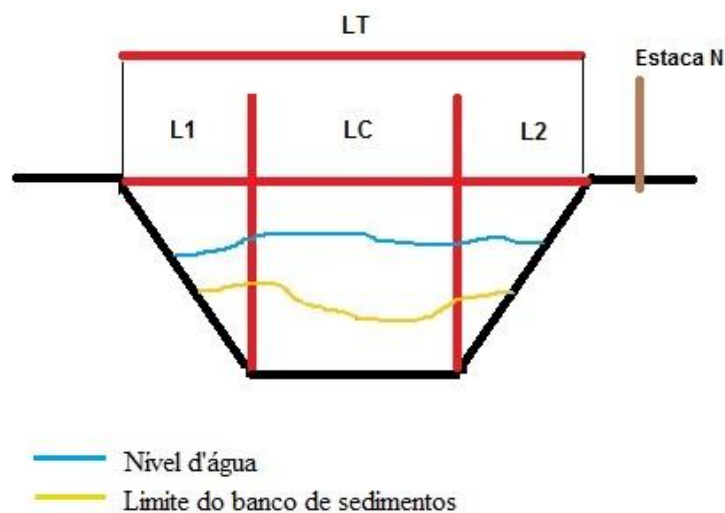


**Figura 10:** Vista em planta da calha retificada do córrego Açú delimitada no software Auto Cad 2012.

Em cada ponto foi mensurada a altura (cm) dos bancos de sedimentos presentes dentro e no entorno da calha no momento da coleta. Foram identificados graficamente os perfis transversais dentro da calha (leito de estiagem), cheia media e extraordinária, a partir dos quais foi feita a leitura da capacidade de arraste de sedimentos do escoamento direto e sua dinâmica momentânea, avaliando o volume de sedimentos acumulados nos trechos a montante e a jusante do ressalto hidráulico.

Em cada ponto de medição foi determinada (Figura 11):

- ✓ A profundidade média do canal (a partir das profundidades encontradas em cada subponto de medição);
- ✓ L1: largura da margem direita;
- ✓ L2: largura da margem esquerda;
- ✓ LT: largura total da calha;
- ✓ LC: largura da parte central do leito de estiagem ( $LC = LT - (L1 + L2)$ ); e
- ✓ Presença ou ausência de vegetação no banco de sedimentos.

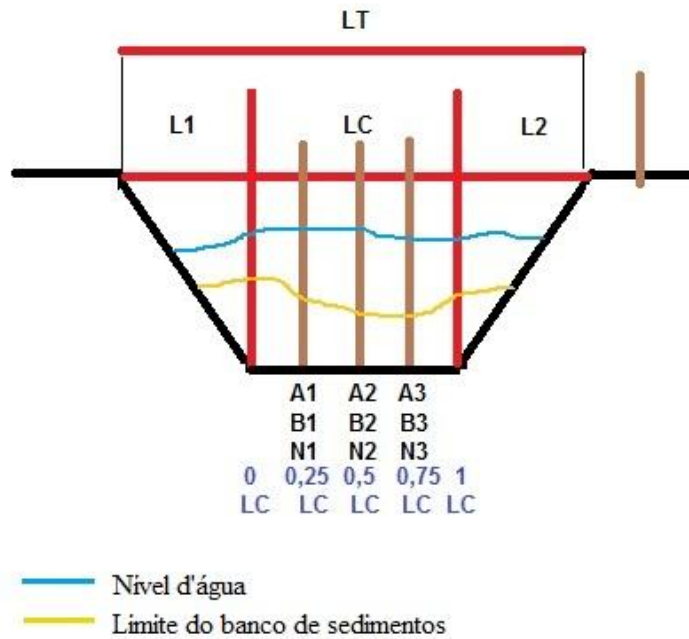


**Figura 11:** Esquema do dimensionamento da largura total (LT) e da largura da parte central (LC) da seção transversal da calha.

Os dados eram anotados em planilhas de campo e posteriormente, plotados no Software Microsoft Excel 2007.

#### 3.4.2.1. Medição do banco de sedimentos dentro da calha (leito de estiagem)

No leito de estiagem foram alocados três subpontos de medição em sua parte central (Figura 12), onde, em geral, a velocidade da água é maior, devido ao efeito de condução das suas margens (NETTO & ALVAREZ, 1982).



**Figura 12:** Alocação dos subpontos de medição na parte central da calha, para a obtenção de sua profundidade (A1, A2 e A3), altura do banco de sedimentos (B1, B2 e B3) e nível de água (N1, N2 e N3) em cada subponto.

A determinação do trecho central da calha foi feita a partir da determinação de L1 e L2, sendo:

$$LC = LT - (L1 + L2) \quad (2)$$

Conforme a Figura 12, LC foi dividido em quatro partes iguais, para alocação de três subpontos de medição.

Em cada subponto foram coletadas as seguintes informações:

- B<sub>n</sub>: altura do banco de sedimentos no ponto “n”(cm);
- N<sub>n</sub>: nível de água no ponto “n”(cm);
- A<sub>n</sub>: profundidade da calha no ponto “n” (cm); e
- presença ou ausência de vegetação.



**Figura 13:** Medições realizadas à jusante do ressalto hidráulico com o auxílio de régua de madeira previamente graduada e estaca de madeira (150 x 1 x 1 cm), ilustrando o redimensionamento da calha (A), a coleta da altura do banco de sedimento no ponto “n” (B) e a coleta do nível d’água no ponto “n” (C).

No trecho à jusante do ressalto, as medições foram realizadas com o auxílio de régua de madeira confeccionada no Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, que apresentava as medidas de L1, L2, LC e os três subpontos de medição já demarcados. Esta demarcação foi feita através de uma medição prévia das dimensões da calha, realizada com o auxílio de estacas de madeira (150 x 1 x 1 cm) e uma trena.

Nos pontos, em que as dimensões da calha e a da régua não coincidiam, foram repetidas as medições.

Para iniciar as medições, em cada ponto, instalou-se a régua graduada apoiando-a na margem da calha e analisou-se a necessidade de redimensionamento da mesma. Depois, com o auxílio de estacas de madeira (150 x 1 x 1 cm), que foram fincadas nos três subpontos centrais marcados na régua, e um metro expedito, determinou-se  $B_n$ ,  $N_n$  e  $A_n$ . (Figura 13).





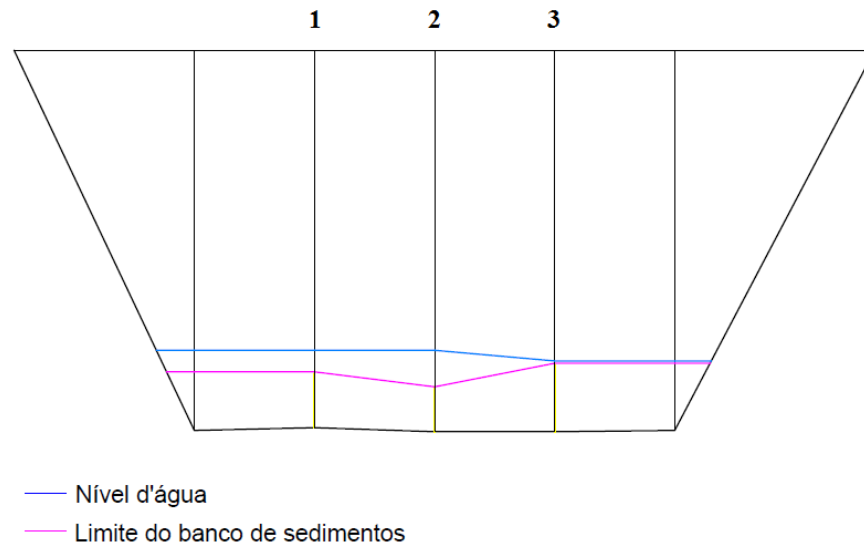
**Figura 14:** Medições realizadas à montante do ressalto hidráulico com o auxílio de instrumento de apoio e estaca de madeira (150 x 1 x 1 cm), ilustrando o dimensionamento da calha (A) e a coleta do nível d'água o ponto “n” (B).

No trecho a montante do ressalto, por apresentar dimensões variadas, houve a necessidade de dimensionar L1, L2, LC e os subpontos em todos os pontos de medição.

Foi confeccionado um gabarito de apoio composto por duas estacas, uma fita métrica (150 cm) e cinco grampos, que auxiliavam na marcação dos limites de L1 e L2, e dos subpontos de medição. Para utilizá-lo bastava fincar uma estaca de cada lado da margem. Com um barbante marcava-se a margem da calha, que serviria de referência na mensuração de  $B_n$ ,  $N_n$  e  $A_n$ . Com estacas de madeira (150 x 1 x 1 cm), localizava-se L1 e L2. Posteriormente, da mesma forma realizada à jusante do ressalto, determinava-se os três subpontos de medição (Figura 14).

Feito isso, com o auxílio de estacas de madeira (150 x 1 x 1 cm), que eram fincadas nos três subpontos centrais previamente marcados na fita métrica, e um metro expedito, determinava-se  $B_n$ ,  $N_n$  e  $A_n$ .

A partir das medições, foram delimitados os perfis transversais da calha e a área ocupada pelo banco de sedimentos em cada um dos 25 pontos de medição representantes dos trechos de montante e jusante, utilizando o software Auto CAD 2012 (Figura 15).



**Figura 15:** Perfil transversal da calha.

Considerando um valor de 1 m de extensão, pôde-se determinar o volume ( $m^3$ ) dos bancos de sedimentos, conforme a equação abaixo:

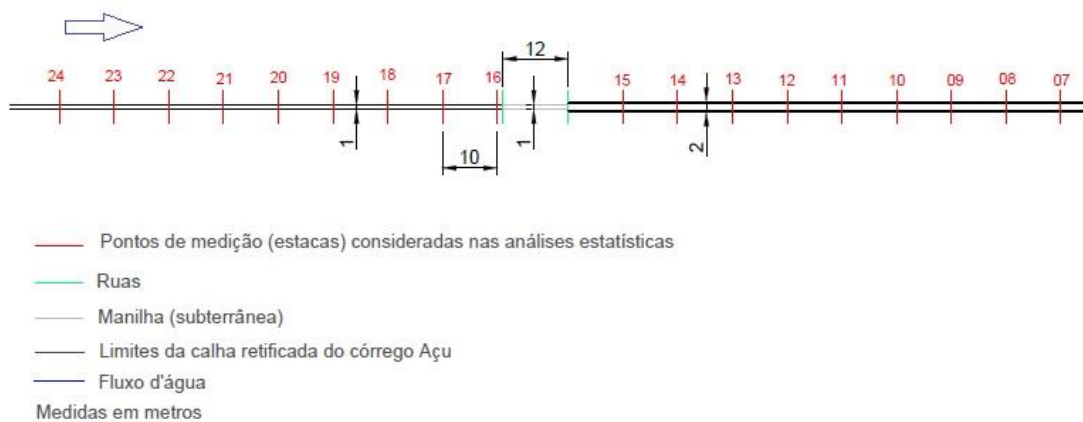
$$V_n (m^3) = A_n (m^2) * 1 (m) \quad (3)$$

Onde:

$V_n$ = Volume de sedimentos no ponto n ( $m^3$ ); e

$A_n$ = Área ocupada por sedimentos no ponto n ( $m^2$ ).

Foram utilizados nove pontos mensurados a montante e a jusante, para facilitar a análise estatística pareada dos efeitos do ressalto hidráulico nos trechos a montante e a jusante (Figura 16).



**Figura 16:** Vista em planta da calha do córrego Açú, com a localização dos 18 pontos selecionados para a análise.

A diferença entre o volume encontrado dentro da calha a montante e a jusante do ressalto hidráulico foi analisada pelo Teste T, realizado com o auxílio do software GraphPad Prism 5.

Não foram realizadas medições diretas do volume de sedimentos acumulados nas laterais da calha, apenas foi registrada, através de observação visual e fotografias, a presença ou ausência de sedimentos nas mesmas (Figura 17).



**Figura 17:** (A) Margens/laterais da calha cobertas por sedimentos; (B) Margens livres de sedimentos.

#### **3.4.2.2. Medição de sedimentos acumulados no entorno da calha (leito de cheia e/ou enxurrada)**

A medição da altura do banco de sedimentos no entorno da calha foi feita com o auxílio do método do nivelamento com mangueira. Este método é baseado no princípio dos vasos comunicantes de Pascal e na lei de Stevin que relaciona pressão e colunas de água de diferentes superfícies.

Foram feitas medições nas duas margens da calha em todos os pontos medidos anteriormente (exceto na caixa de sedimentação). As medições incorporaram os leitos de inundações das cheias extraordinárias, e foi considerado como de até dois metros horizontais o leito de cheias e/ou enxurradas. Foram identificados os pontos baixos e altos do terreno.

Para a realização do método foi necessário:

- ✓ uma mangueira transparente de 15 mm e 4 m de comprimento;
- ✓ duas estacas de madeira de 1,5 m de altura, que serviram de apoio para as duas pontas da mangueira, facilitando a fixação de uma ponta e o deslocamento da outra;
- ✓ água para preencher a mangueira;
- ✓ metro expedito para medir a altura do nível de água; e
- ✓ dois operadores.

Para dar início a aplicação do método preencheu-se a mangueira com água até que ficassem aproximadamente 30 cm sem água nas duas pontas, evitando assim possíveis transbordamentos. A água foi colocada lentamente para que não houvesse a formação de bolhas, que acabariam alterando o resultado do nivelamento.

Depois do preenchimento, em cima do vértice da calha, uniram-se as duas pontas da mangueira (Figura 18 A) e aguardou-se a estabilização do nível de água, para a posterior medição da altura da mesma em relação ao vértice (Figura 18 B).

A medida do nível de água no vértice da calha serviu de referencia para as demais medições feitas ao longo dos dois metros da respectiva margem.

Para as demais medições, foi fixada uma das pontas da mangueira no vértice da calha com o auxílio de uma estaca de madeira. A outra ponta era deslocada por um ajudante para os subpontos, onde observava-se uma alteração no terreno, até atingir 2 metros de distância da calha, como ilustrado na Figura 18 C.

Em cada um desses subpontos era anotada a altura do nível d'água (cm) em relação ao terreno e a distância entre o subponto e a calha (cm) (Figura 18 D).



**Figura 18:** Método do nivelamento com mangueira para a determinação do perfil do terreno no entorno da calha; (A) Coleta da altura do nível d'água em relação ao vértice da calha após estabilização do mesmo; (B) Estabilização do nível d'água; (C) Coleta da altura do nível d'água no ponto “n”; (D) Medição da distancia entre o vértice da calha e o ponto “n”; (E) Detalhe da medida da altura do nível d'água.

Através da subtração entre os valores de altura do nível de água encontrados no vértice e nos demais pontos, foram obtidas as variações de elevação no terreno (Equação 4) (Figura 19).

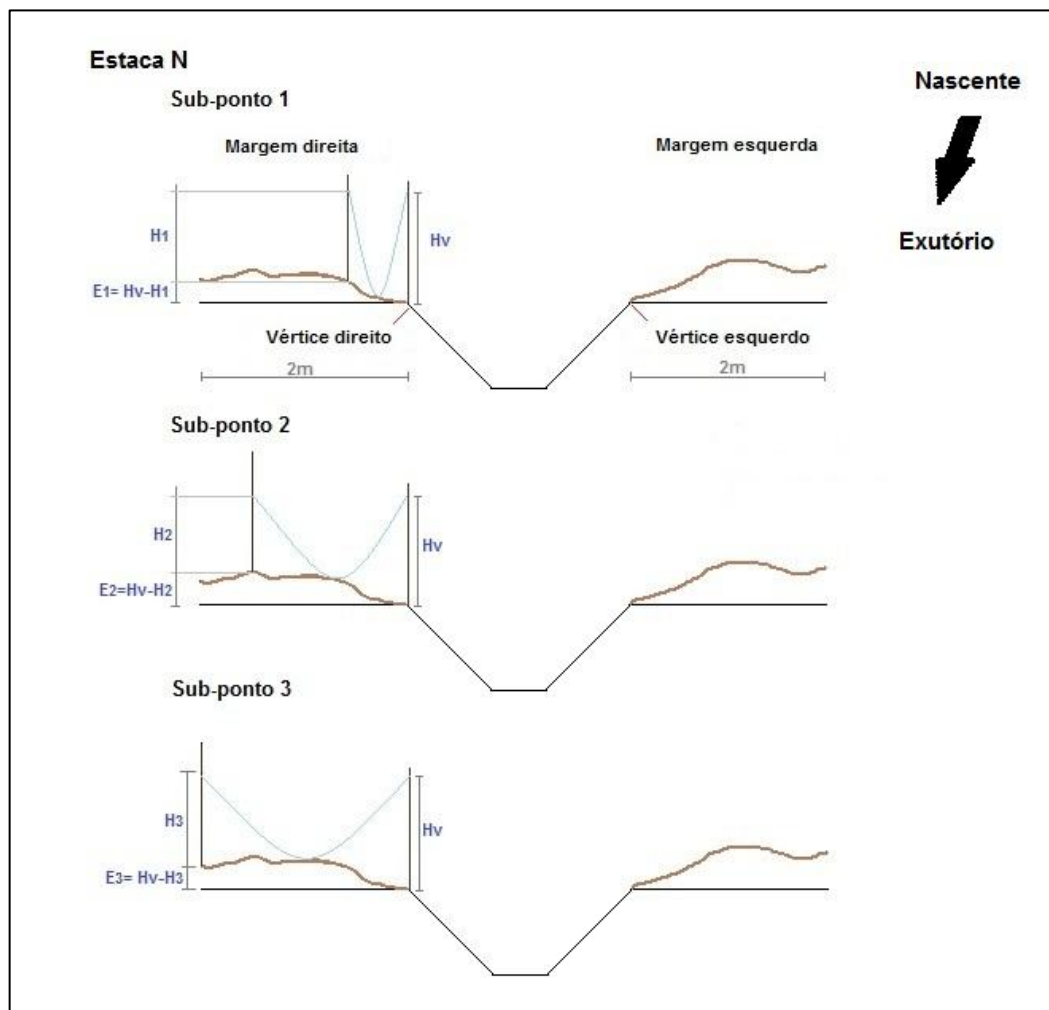
$$En = Hv - Hn \quad (4)$$

Onde:

En: Elevação no terreno no ponto n;

Hv: Altura da coluna d'água no vértice da calha;

Hn: Altura da coluna d'água em relação ao terreno no ponto n .



**Figura 19:** Ilustração do método do nivelamento com mangueira. Legenda: ( $E_n$ ) Elevação no terreno no ponto  $n$ ; ( $H_v$ ) Altura da coluna d'água no vértice da calha; ( $H_n$ ) Altura da coluna d'água em relação ao terreno no ponto  $n$ .

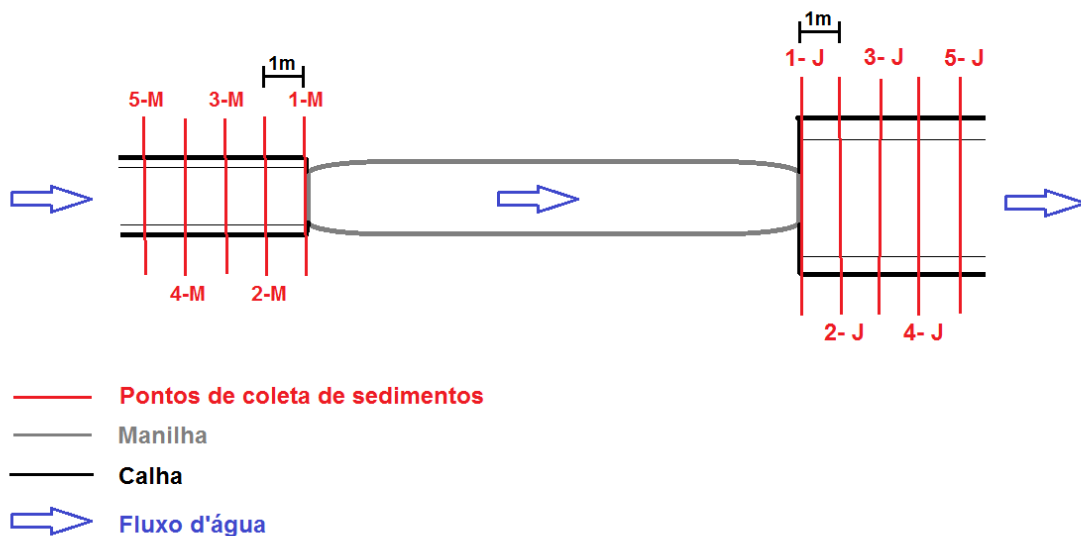
Os valores de elevação do terreno foram plotados no software Auto Cad 2012, onde foi possível determinar a área ocupada pelos sedimentos acumulados no entorno da calha. Considerando uma extensão de 1m pode-se determinar o volume de sedimentos acumulados, conforme a Equação 3.

A diferença entre os valores de volume de sedimentos encontrados no entorno da calha, a montante e a jusante, foi analisada através de Teste T, realizado com o auxílio do software GraphPad Prism 5.

### 3.4.2.3. Composição das amostras coletadas dentro da calha (leito menor) e análise granulométrica dos sedimentos

Para esta análise foram coletadas 10 amostras de sedimentos, sendo 05 amostras de montante e 05 de jusante, todas coletadas em período de estiagem.

As primeiras amostras de montante (1-M) e jusante (1- J) foram retiradas da entrada e da saída manilha respectivamente. As demais amostras equidistavam um metro, contados a partir de 1-M e 1- J (Figura 20).



**Figura 20:** Pontos de coleta de amostras de sedimentos para análise granulométrica.

Cada amostra era composta por sedimentos retirados de três pontos: vértice direito, vértice esquerdo e meio da calha. Estas foram coletadas com o auxílio de uma enxadinha, e posteriormente colocadas em sacos plásticos etiquetados (Figura 21). Cada amostra foi disposta em um recipiente plástico para secar ao ar livre (Figura 21 D), e posteriormente colocadas em estufa a 60°C por 24 horas.



**Figura 21:** Coleta de amostra de sedimentos para análise granulométrica. (A) Material utilizado na coleta; (B e C) Coleta de amostra no vértice esquerdo; (D) Amostras coletadas dispostas em recipientes plásticos para secar ao ar livre.

Depois de seca, cada amostra foi pesada em balança e, em seguida, dividida em cinco grupos (Figura 22):

- ✓ Sedimentos propriamente ditos;
- ✓ Matéria orgânica- Folhas;
- ✓ Matéria orgânica- Galhos;
- ✓ Matéria orgânica não identificada (MO NI); e
- ✓ Lixo inorgânico (sacos plásticos, vidro, alumínio, entre outras).

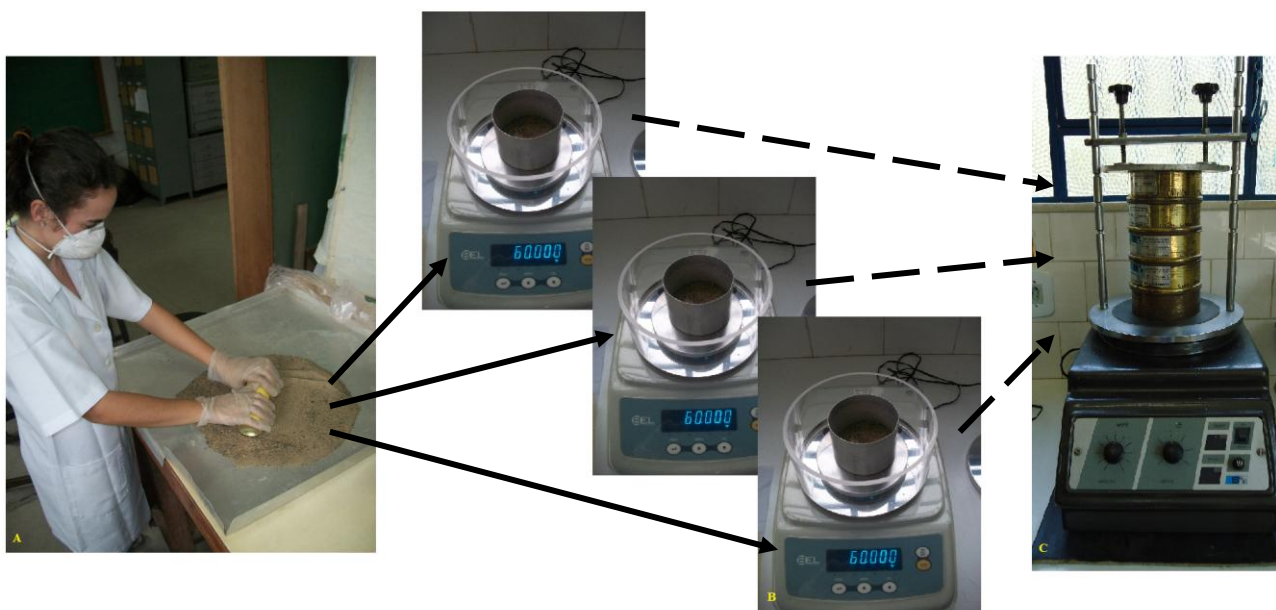
Cada grupo foi quantificado através de pesagem.

Para fins de análise os grupos “Matéria orgânica- Folhas” e “ Matéria orgânica- Galhos” foram posteriormente fundidos em um só grupo.



**Figura 22:** Pesagem da amostra coletada em balança analítica (A) e divisão da mesma em grupos (B).

Os sedimentos encontrados em cada amostra coletada passaram por um processo de destorroamento, para eliminar torrões remanescentes que poderiam interferir no resultado da análise granulométrica. Do material destorroadado, foram retiradas três subamostras de 60g cada (Figura 23). Esta quantidade foi determinada seguindo as orientações do manual do equipamento utilizado na análise granulométrica.



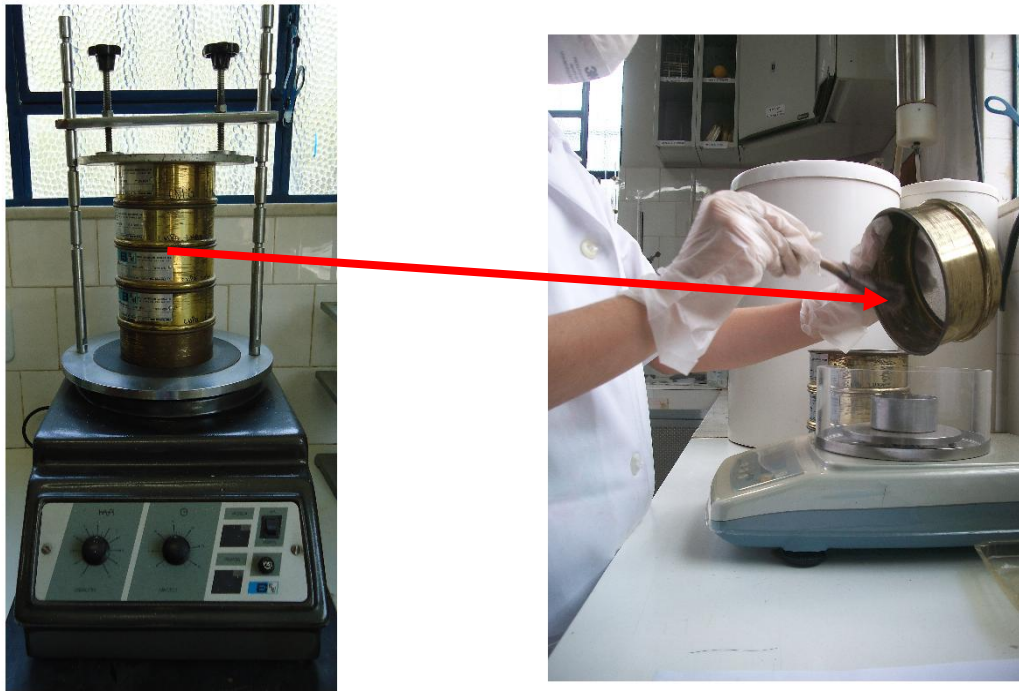
**Figura 23:** (A) Processo de destorroadamento das amostras; (B) Coleta de três subamostras de 60g cada; (C) Peneiras acopladas no aparelho agitador de peneiras.

A granulometria dos sedimentos foi determinada através de 11 peneiras (Tabela 2) acopladas, e um agitador de peneiras da (Agitador Bertel) (Figura 23 C).



O agitador de peneiras foi calibrado para que cada subamostra fosse submetida a 07 vibrações/minuto durante um período de 25 minutos, seguindo as especificações dadas pelo manual do equipamento.

Em seguida, o material retido nas peneiras foi quantificado através de pesagem em balança de precisão 0,001g (modelo Mark 500/ Classe II da Bel Engineering) (Figura 24).



**Figura 24:** Pesagem dos sedimentos retidos em uma das peneiras em balança de precisão.

Conforme a Tabela 2 as frações de sedimentos retidas em cada peneira foram agrupadas de acordo com a classificação dos sedimentos, conforme suas dimensões, especificadas na curva de Hjulstrom. Desta forma, foi possível dividir os sedimentos em três grupos:

- ✓ Argila + Silte + Areia fina;
- ✓ Areia grossa; e
- ✓ Cascalho.

**Tabela 2:** Especificações do conjunto de peneiras utilizadas na análise granulométrica

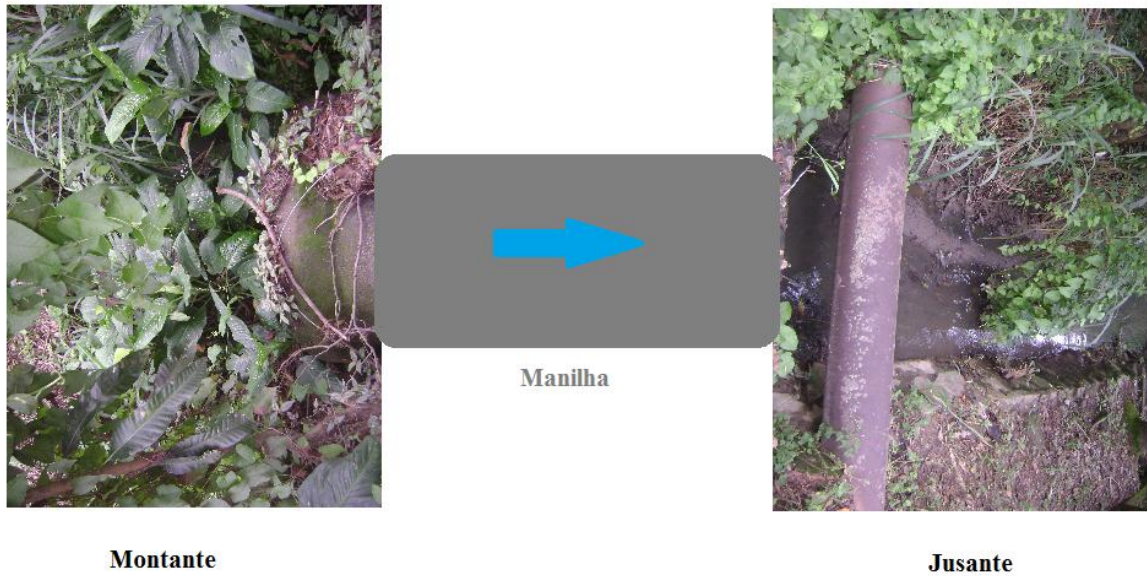
ABNT/ASTM	TYLER/MESH	Diâmetro da partícula (mm)	Classificação
25*	<325*	<0,045*	Argila + Silte + Areia Fina
325	325	0,045	
270	270	0,053	
140	150	0,106	
70	65	0,212	Areia Grossa
60	60	0,250	
35	32	0,500	
18	16	1,00	
10	9	2,00	Cascalho
7	7	2,80	
6	6	3,35	
5	5	4,00	

A diferença entre a quantidade (gramas) de cada fração de sedimento encontrada nas amostras coletadas a montante e a jusante, foi analisada através do Teste T, ou do Teste de Mann-Whitney (quando os dados não atendiam as exigências do teste T), realizados com o auxílio do software GraphPad Prism 5.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No início do planejamento deste estudo se trabalhava com a hipótese de que a calha, que corta o acesso ao Instituto de Florestas, tivesse seção transversal uniforme, tanto a montante como a jusante da manilha, pois o trecho a montante apresentava extensa e densa vegetação, impedindo a sua visualização (Figura 25). Uma das alternativas contempladas na proposta de trabalho envolvia a análise desta vegetação e de sua fixação no terreno, como mecanismo de estabilização de banco de sedimentos.

Antes do início das medições, funcionários o Setor de Conservação da UFRRJ fizeram uma limpeza drástica na calha a montante da manilha, suprimindo arbustos que dificultavam o escoamento da água. Desta forma, foi descartada a idéia de analisar a vegetação, porém foi possível identificar que existiam diferenças entre as dimensões das seções a montante e a jusante da manilha.



**Figura 25:** Desenvolvimento de vegetação diferenciado a montante e a jusante do ressalto hidráulico. Fotos retiradas em março de 2011, antes de efetuarem limpeza na calha.

Durante as medições foi possível fazer análises qualitativas e registros fotográficos de alguns aspectos, como a resistência do banco de sedimentos ao pisoteio, presença de diques naturais, raízes nas laterais da calha (indicativo da vegetação que estava se desenvolvendo antes da limpeza da calha), com objetivo de contrastar as observações feitas a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Tabela 3).

**Tabela 3:** Quadro comparativo de aspectos observados em montante e jusante.

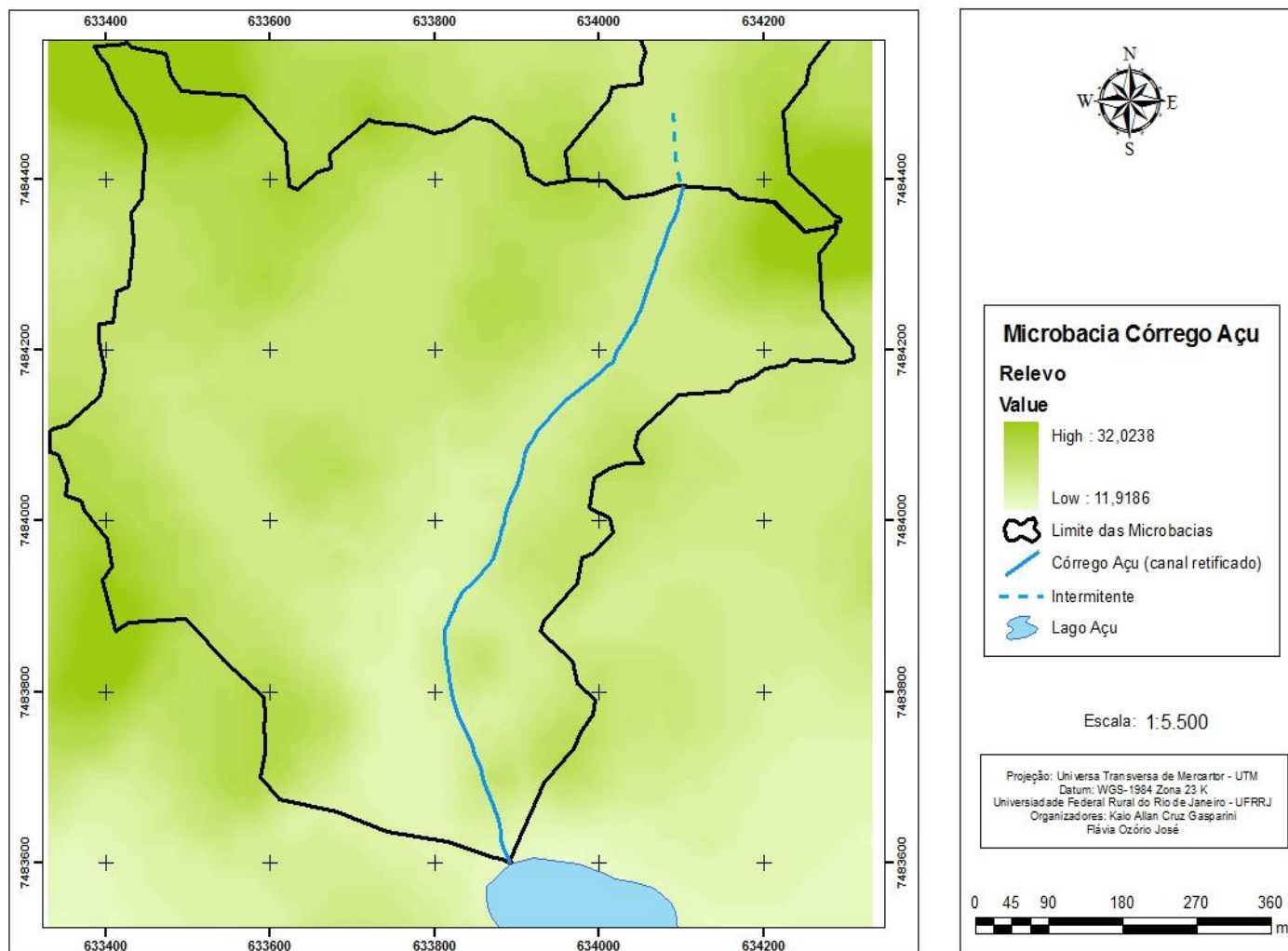
À montante do ressalto	À jusante do ressalto
Banco de sedimentos depositado no talvegue está mais resistente ao pisoteio (não afunda). Os sedimentos estão provavelmente estabilizados.	Banco de sedimentos depositado no talvegue está fofo (afunda ao pisar). Sedimentos temporários, não estabilizados.
Presença de dois diques naturais com desenvolvimento de (a velocidade da água permitiu o acúmulo de galhos e folhagens transversalmente a calha) (Figura 26 B).	Ausência de diques naturais.
Lateral da calha coberta por sedimentos em diversos pontos, principalmente no lado direito (Figura 26 A).	Lateral da calha coberta por sedimentos apenas na caixa de sedimentação (Anexo B).
Presença de raízes nas laterais da calha em diversos pontos de medição.	Presença de raízes nas laterais da calha e vegetação apenas na caixa de sedimentação (Anexo B).
Vegetação ripária no entorno da calha <b>em seis dos nove pontos de medição.</b>	Vegetação ripária no entorno da calha <b>em dois dos 16 pontos de medição.</b>



**Figura 26:** Fotos de montante. (A) Laterais da calha cobertas por sedimentos; (B) Diques naturais.

A microbacia apresentava originalmente 58,3 hectares (Figura 27), sendo que, atualmente apresenta 52 hectares, devido à construção do dique, que serve de base para rodovia BR-465. As altitudes mínimas e máximas da microbacia são respectivamente 11 e 32 m.s.n.m, as quais indicam relevo plano, com marcada influencia de áreas de várzeas, que segundo Christofolletti (1980), são as formas mais comuns de acumular sedimentos fluviais.

O MDE permite identificar que a retificação do córrego foi feita de modo a constituir o traçado do curso em locais altos, provavelmente com objetivo de facilitar mecanização das operações de dragagem. O curso do canal tem 990 metros de extensão, sendo que os 90 metros iniciais foram suprimidos a partir da construção do dique, sendo seu fluxo desviado para outra microbacia. A declividade média do córrego é de 0,3%.

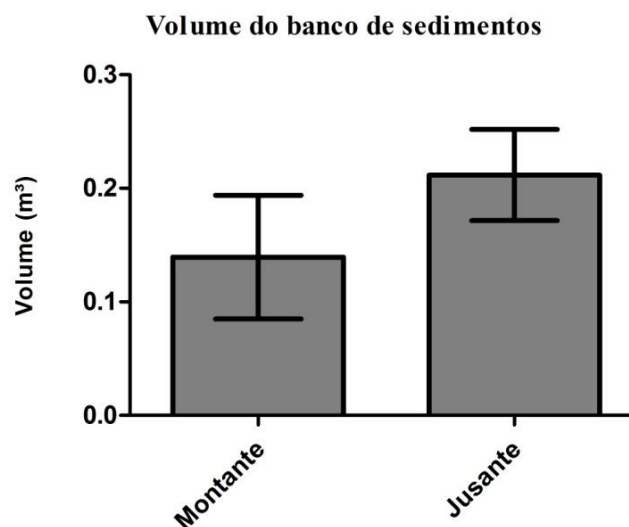


**Figura 27:** Microbacia do córrego Açu e Modelo Digital de Elevação do terreno.

As análises relacionadas ao volume de sedimentos encontrados dentro da calha (leito de estiagem) a montante e a jusante do ressalto hidráulico, conferido pela manilha, indicaram diferenças estatisticamente significativas, sendo que o menor volume de sedimentos foi encontrado a montante do ressalto (Tabela 4) (Figura 28).

**Tabela 4:** Volume de sedimentos encontrados dentro da calha a montante e a jusante do ressalto hidráulico.

<b>Volume de sedimentos (m<sup>3</sup>)</b>		
<b>Trecho</b>	<b>Ponto</b>	<b>Talvegue</b>
<b>Montante</b>	24	0,114
	23	0,2369
	22	0,1164
	21	0,1223
	20	0,1182
	19	0,1601
	18	0,054
	17	0,1261
	16	0,2065
<b>Jusante</b>	15	0,2744
	14	0,185
	13	0,2248
	12	0,2272
	11	0,2223
	10	0,2427
	9	0,2197
	8	0,163
	7	0,1462



**Figura 28:** Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de volume encontrados a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5).

Devido ao efeito do ressalto hidráulico na indução dos processos de sedimentação das descargas sólidas, se esperava um resultado distinto ao encontrado, porém isto pode ser justificar no fato de que a coleta de dados foi realizada durante período de estiagem, no qual há menor volume de sedimentos arrastados e, principalmente, erodidos dentro da bacia (Gregory & Walling, 1985). Além disso, a vazão nestes períodos de estiagem é reduzida e, portanto, existe uma menor influência do estreitamento da manilha no escoamento da água. Neste caso, existem três momentos hidráulicos distintos ocorrendo, um a montante da manilha (velocidade da água reduzida), outro logo na saída da manilha (velocidade levemente maior) e outro em um trecho mais a jusante da manilha (velocidade da água é menor em relação a montante).

O fato de haver um maior volume de sedimentos a jusante pode ser explicado através do método de medição de vazão conhecido como “área x velocidade” (SILVA, *et. al*, 2007), que determina a vazão através da Equação 5.

$$Q = v * a \quad (5)$$

Onde:

Q: Vazão (m³/s);

v: velocidade média de fluxo (m/s); e

a: área da seção transversal calha (m²).

A área das seções transversais de montante e jusante são diferentes, sendo a área da seção transversal de jusante quase 3 vezes maior do que a área de montante. Como resultado,



para uma mesma vazão, a velocidade da água em jusante é proporcionalmente menor que a montante. Portanto, durante os períodos de estiagem, a velocidade da água em jusante será relativamente menor, reduzindo assim a capacidade de arraste da água neste trecho. Este fator faz com que temporariamente a deposição de sedimentos seja relativamente maior em jusante.

$$\begin{aligned}
 Q_{jusante} &= Q_{montante} \\
 v_j * a_j &= v_m * a_m \\
 v_j * (3 * a_m) &= v_m * a_m \\
 v_j * 3 &= v_m \\
 v_j &= \frac{v_m}{3}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Onde:

$Q_j$  : vazão de água em jusante;

$Q_m$  : vazão de água em montante;

$v_j$  : velocidade de fluxo em jusante;

$v_m$  : velocidade de fluxo em montante;

$a_j$  : área da seção transversal calha em jusante; e

$a_m$ : área da seção transversal calha em montante.

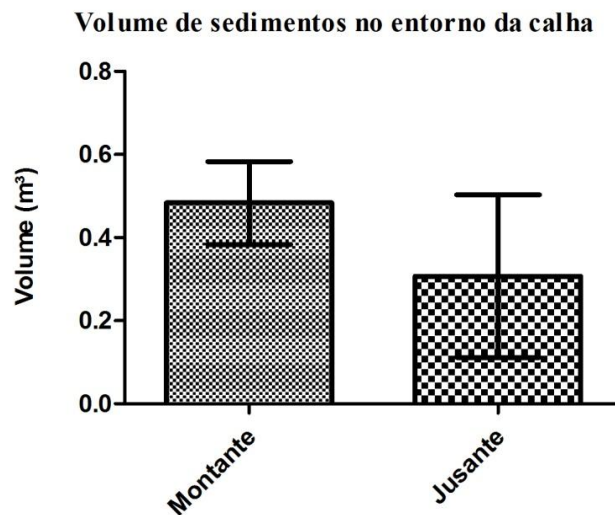
A partir de observação visual dos sedimentos acumulados nas paredes laterais da calha, pode-se avaliar que em nenhum dos 15 pontos de medição instalados a jusante do ressalto havia presença de sedimentos cobrindo as margens da calha, exceto na caixa de sedimentação. A montante do ressalto, em 8 dos 9 pontos de medição instalados, pelo menos uma das margens estavam cobertas por sedimentos lavados.

A ocorrência destes sedimentos nas laterais da calha é decorrente das enxurradas que ocorreram antes da coleta de dados. Estas chuvas fizeram com que houvesse um aumento na vazão de água e na quantidade de sedimentos carregados pelo córrego Açú. A ação do ressalto hidráulico favoreceu a redução da velocidade da água, e a conseqüente redução da capacidade de arraste da água a montante, permitindo a deposição e permanência de sedimentos nas margens.

O resultado das análises feitas nos sedimentos acumulados no entorno da calha (leito de cheia e/ou enxurrada) (Tabela 5) (Figura 29), demonstraram que existe diferença significativa entre volumes de sedimentos acumulados a montante e a jusante do ressalto hidráulico. Este fator evidencia que o efeito da inundação provocada pelo estrangulamento de seção existe, e é uma importante variável a ser considerada em projetos de recuperação de mata ciliar e de seus efeitos funcionais, já que nos trechos a montante haveria um predomínio dos processos de sedimentação em relação aos processos erosivos. Este fator favoreceria a sobrevivência e o desenvolvimento da vegetação implantada em projetos de restauração, garantindo assim um maior sucesso na estabilização das margens.

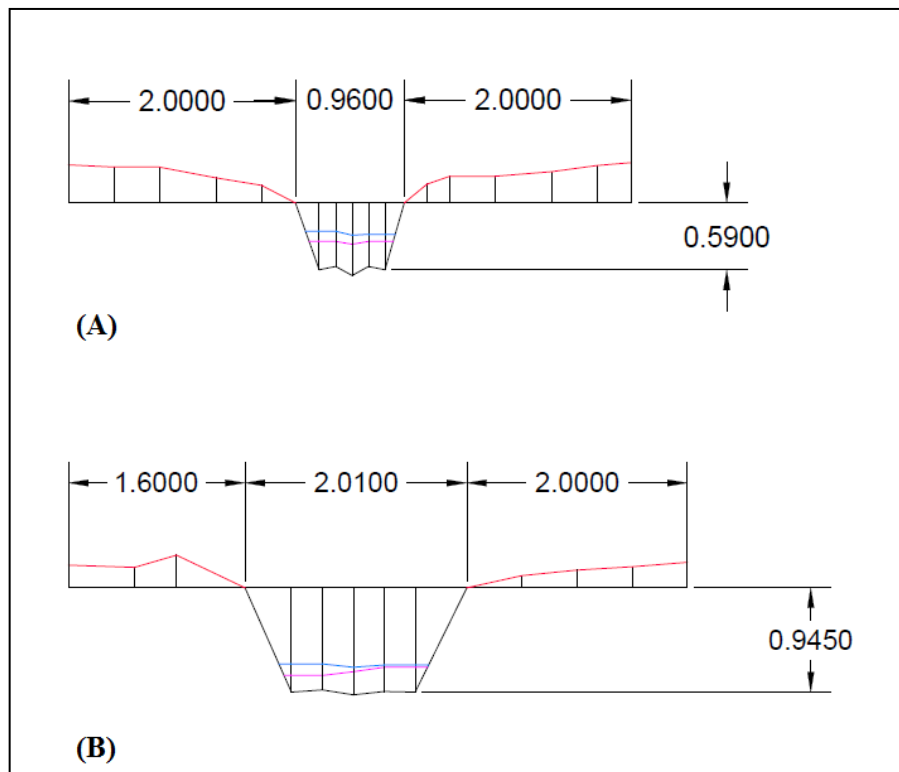
**Tabela 5:** Volume de sedimentos encontrados no entorno da calha a montante e a jusante do ressalto hidráulico.

Trecho	Ponto	Volume de sedimentos no entorno (m <sup>3</sup> )	
		Direita	Esquerda
Montante	24	0,4178	0,3467
	23	0,2812	0,5053
	22	0,394	0,4445
	21	0,463	0,6025
	20	0,5667	0,399
	19	0,488	0,5017
	18	0,5337	0,6452
	17	0,539	0,455
	16	0,4555	0,6623
Jusante	15	0,1469	0,7873
	14	0,1002	0,4625
	13	0,2624	0,6625
	12	0,2996	0,2875
	11	0,1635	0,3923
	10	0,3629	0,092
	9	0,206	0,1725
	8	0,5364	0,2061
	7	0,2432	0,1464



**Figura 29:** Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de volume de sedimentos acumulados no entorno calha, a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5).

O maior volume médio de sedimentos foi encontrado a montante do ressalto hidráulico, indicando que neste trecho, em períodos de enxurrada, a vazão do escoamento é maior do que a vazão que a calha pode comportar, ocasionando transbordamentos com maior frequência e intensidade. O transbordamento faz com que haja um aumento relativo na seção transversal da calha, o que resulta em uma menor velocidade de fluxo e em uma conseqüente menor capacidade de arraste de sedimentos, favorecendo a sua deposição no entorno da calha. Os perfis transversais médios dos sedimentos acumulados no entorno da calha a montante e a jusante (Figura 30) evidenciam graficamente a diferença dos processos de sedimentação. Os perfis transversais encontrados em nos pontos de medição considerados nas análises encontram-se no Anexo A.



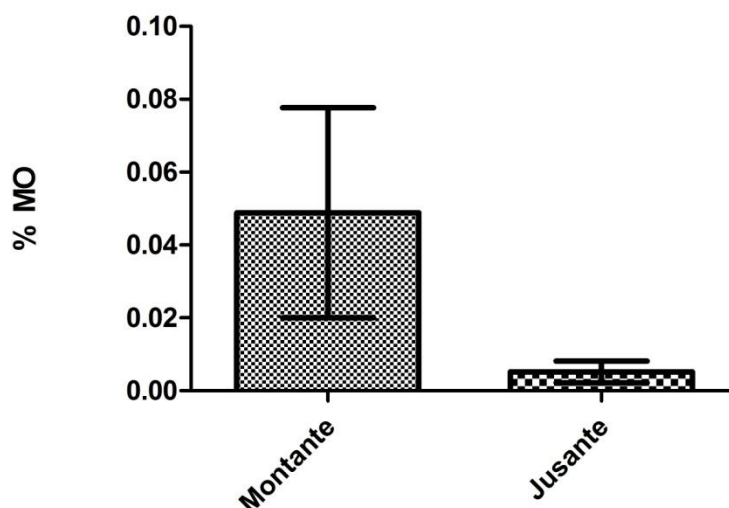
**Figura 30:** Perfil transversal com as dimensões médias encontradas a montante (A) e a jusante (B) do ressalto hidráulico.

De acordo com as análises feitas a partir das amostras coletadas dentro da calha, pode-se observar que estas apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação à matéria orgânica encontrada a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Tabela 6) (Figura 31). O maior teor de matéria orgânica foi encontrado nas amostras coletadas a montante do ressalto. Este fato se deve a menor capacidade de arraste em períodos de estiagens (relativamente menor neste trecho), o que permite a formação de pequenos diques naturais, compostos por galhos, troncos, entres outros materiais, que fazem com que a matéria orgânica sobrenadante fique retida a montante do ressalto.

**Tabela 6:** Composição das amostras de sedimentos coletadas no leito do canal.

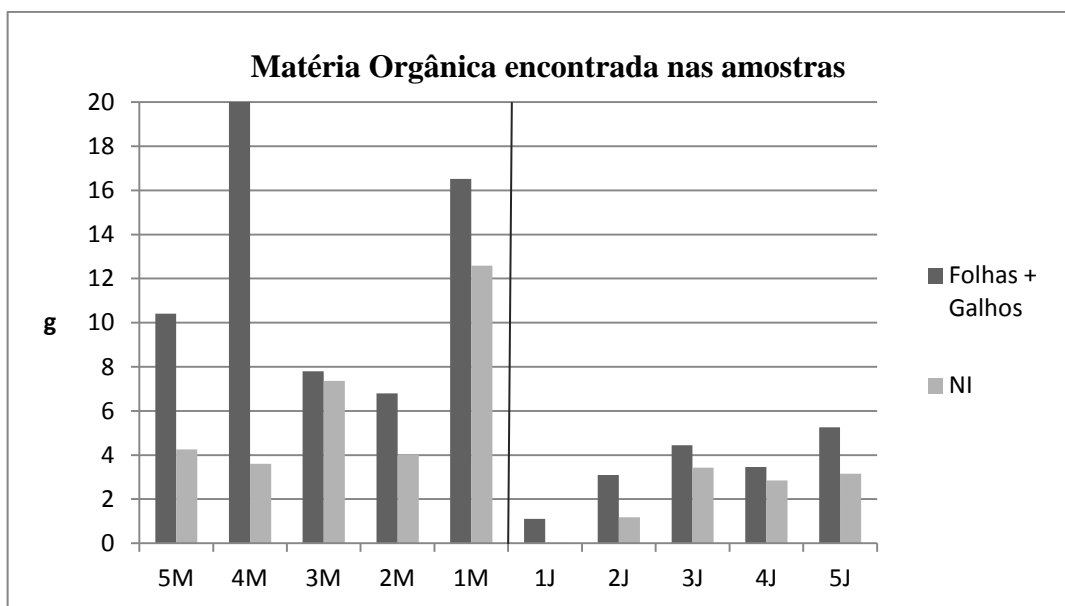
Composição das amostras (g)							
Ponto	Folhas	Galhos	MO NI	MO total	Lixo	Sedimentos	Peso Total
5M	9,10	1,30	4,25	14,66	0,11	495,45	510,21
4M	18,45	3,45	3,60	25,49	0,00	307,06	332,55
3M	6,28	1,52	7,36	15,15	0,20	170,92	186,27
2M	6,39	0,41	4,03	10,83	4,55	625,92	641,29
1M	12,28	4,25	12,58	29,11	1,95	681,35	712,41
1J	0,18	0,93	0,02	1,12	0,02	930,60	931,74
2J	2,48	0,61	1,18	4,27	0,59	1161,13	1165,99
3J	3,79	0,66	3,42	7,86	0,05	858,17	866,09
4J	1,39	2,07	2,84	6,30	0,07	1125,03	1131,40
5J	3,82	1,44	3,15	8,40	1,08	1288,27	1297,75

**Teor de Matéria orgânica encontrada nas amostras**



**Figura 31:** Gráfico de médias e desvio padrão encontrados a partir de Teste T feito com base nos dados de Matéria orgânica encontrada nas amostras coletadas a montante e a jusante do ressalto hidráulico (Software: GraphPad Prism 5).

Através da Figura 32 pode-se observar que a matéria orgânica encontrada nas amostras coletadas em montante foram compostas por uma fração maior de galhos e folhas, em relação a fração de matéria orgânica não identificada, o que indica um menor nível de degradação destes materiais, reforçando a idéia de que a montante as forças de erosão e deterioração são menores, devido a uma menor velocidade de fluxo de água, resultante da ação do ressalto hidráulico.



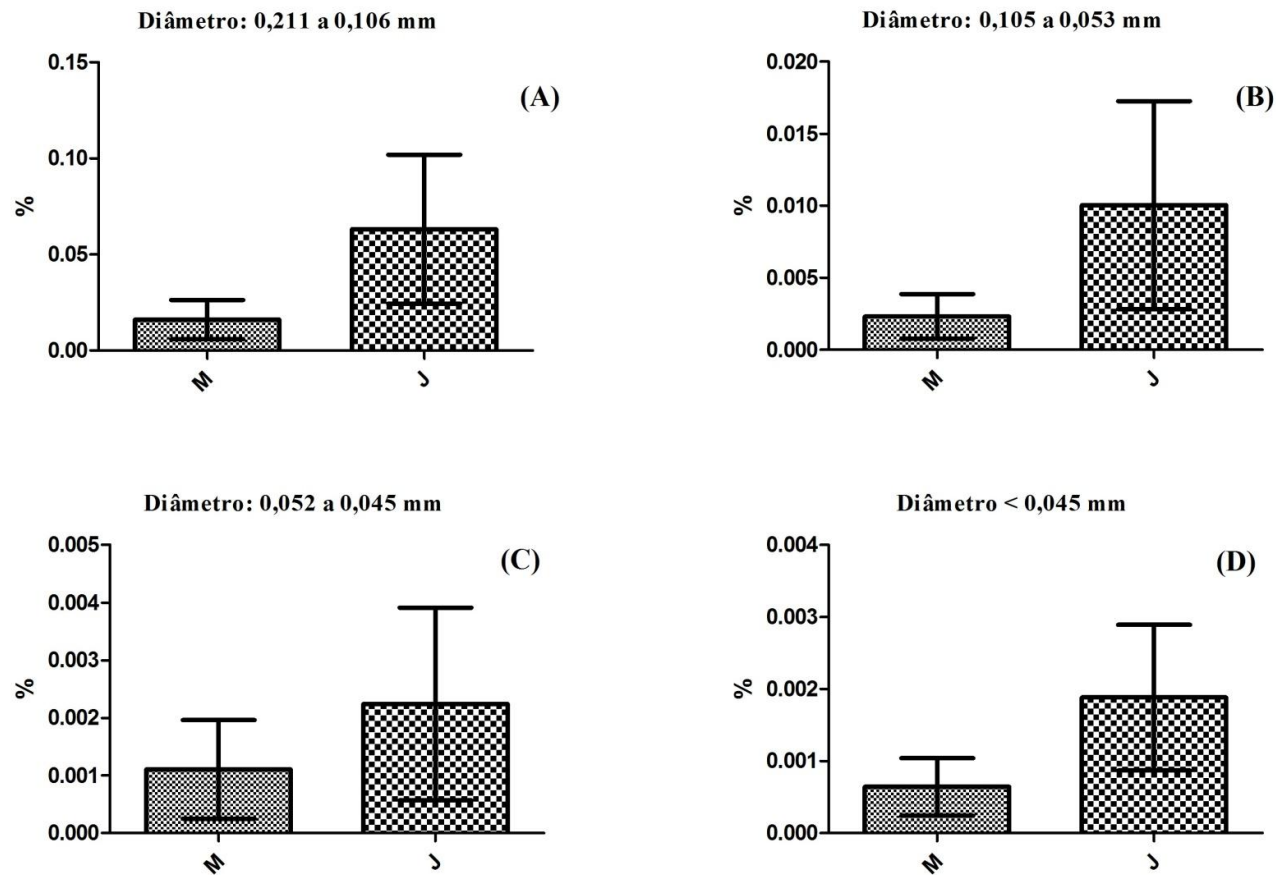
**Figura 32:** Composição da fração de matéria orgânica encontrada em cada uma das amostras coletadas a montante e a jusante do ressalto hidráulico.

As diferenças encontradas na análise granulométrica dos sedimentos coletados a montante e a jusante do ressalto hidráulico variaram de acordo com a classificação dos sedimentos (Tabela 7). Na fração Argila + Silte + Areia Fina, que englobam os sedimentos de menor granulometria, foram encontradas diferenças significativas em três das quatro frações comparadas, sendo que a maior quantidade de sedimentos desta categoria foi encontrada nas amostras coletadas a jusante (Figura 33).

**Tabela 7:** Resultado da análise granulométrica dos sedimentos encontrados nas amostras.

<b>Granulometria (g / Amostras de 60g)</b>			
<b>Ponto</b>	<b>Argila + Silte + Areia Fina</b>	<b>Areia Grossa</b>	<b>Cascalhos</b>
<b>5M</b>	0,47	47,43	<b>11,97</b>
<b>4M</b>	2,07	51,02	6,87
<b>3M</b>	1,72	49,21	5,94
<b>2M</b>	1,28	40,83	<b>17,63</b>
<b>1M</b>	0,40	53,07	6,36
<b>1J</b>	2,15	51,81	4,99
<b>2J</b>	2,31	55,08	2,30
<b>3J</b>	3,19	52,59	3,92
<b>4J</b>	7,91	55,87	0,90
<b>5J</b>	7,64	50,00	1,72

### Classificação: Argila + Silte + Areia Fina



**Figura 33:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Argila + Silte + Areia Fina; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,211 a 0,106 mm ; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,105 a 0,053 mm ; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,052 a 0,045 mm ; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro inferior a 0,045mm.

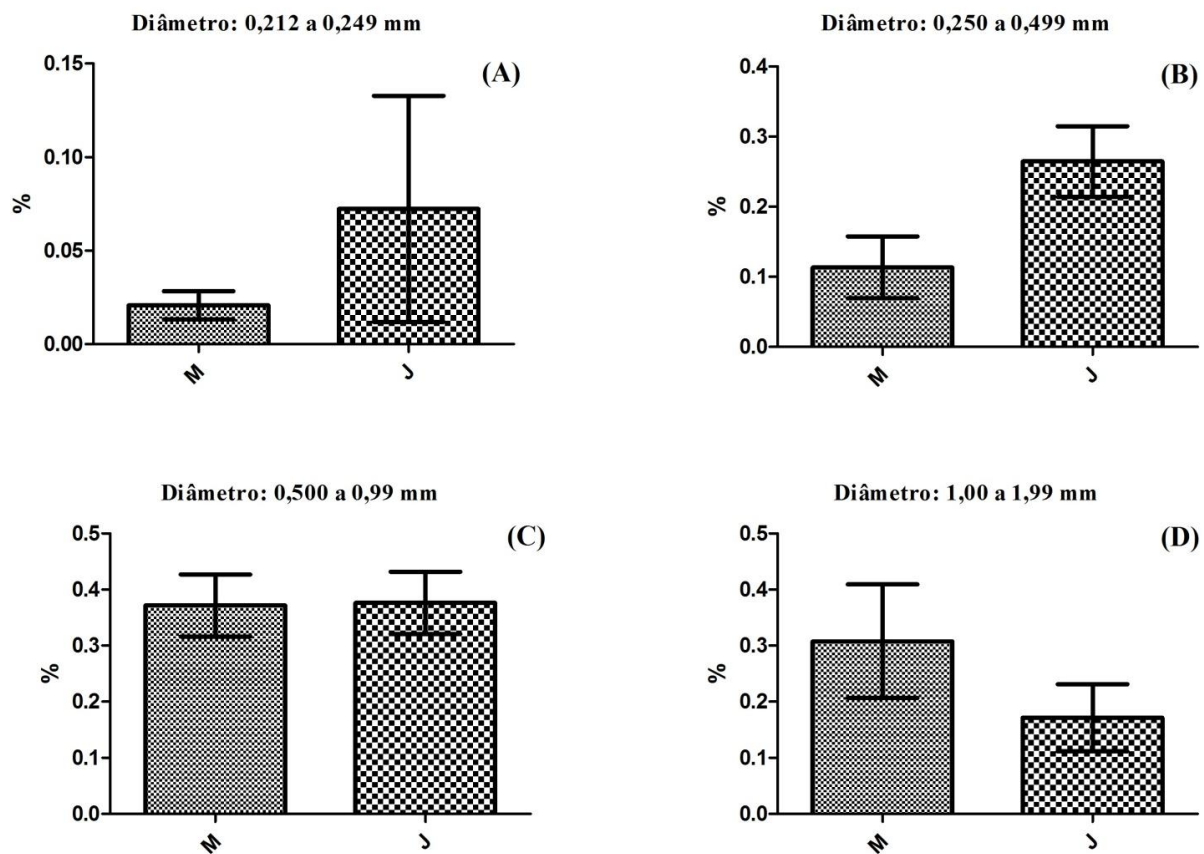
Este resultado pode ser explicado com base na relação encontrada na Equação 6, onde se concluiu que, em períodos de estiagem, a velocidade da água no trecho a jusante era 3 vezes menor do que a velocidade da água no trecho a montante do ressalto. Este fator favorece a deposição temporária das partículas de menor granulometria no trecho a jusante do ressalto, valendo ressaltar que provavelmente, na próxima chuva forte, estes sedimentos serão carreados em direção ao exutório.

Na fração denominada Areia Grossa (Figura 34), existe diferença significativa em duas das quatro frações comparadas. A primeira fração que apresenta diferença significativa é referente à peneira ABNT/ASTM 18, a qual retém os sedimentos de maior diâmetro deste grupo. Neste caso, a maior quantidade de sedimentos desta dimensão foi encontrada a montante do ressalto, o que indica que os sedimentos mais grosseiros ficam retidos neste trecho, devido à ocorrência de uma menor capacidade de arraste.

A outra fração que apresentou diferença significativa foi a referente a peneira ABNT/ASTM 70, a qual retém os menores sedimentos desta fração. Neste caso, foram encontrados maiores valores a jusante do ressalto, reforçando a hipótese de que os sedimentos mais finos acabam depositando temporariamente a jusante em períodos de estiagem.



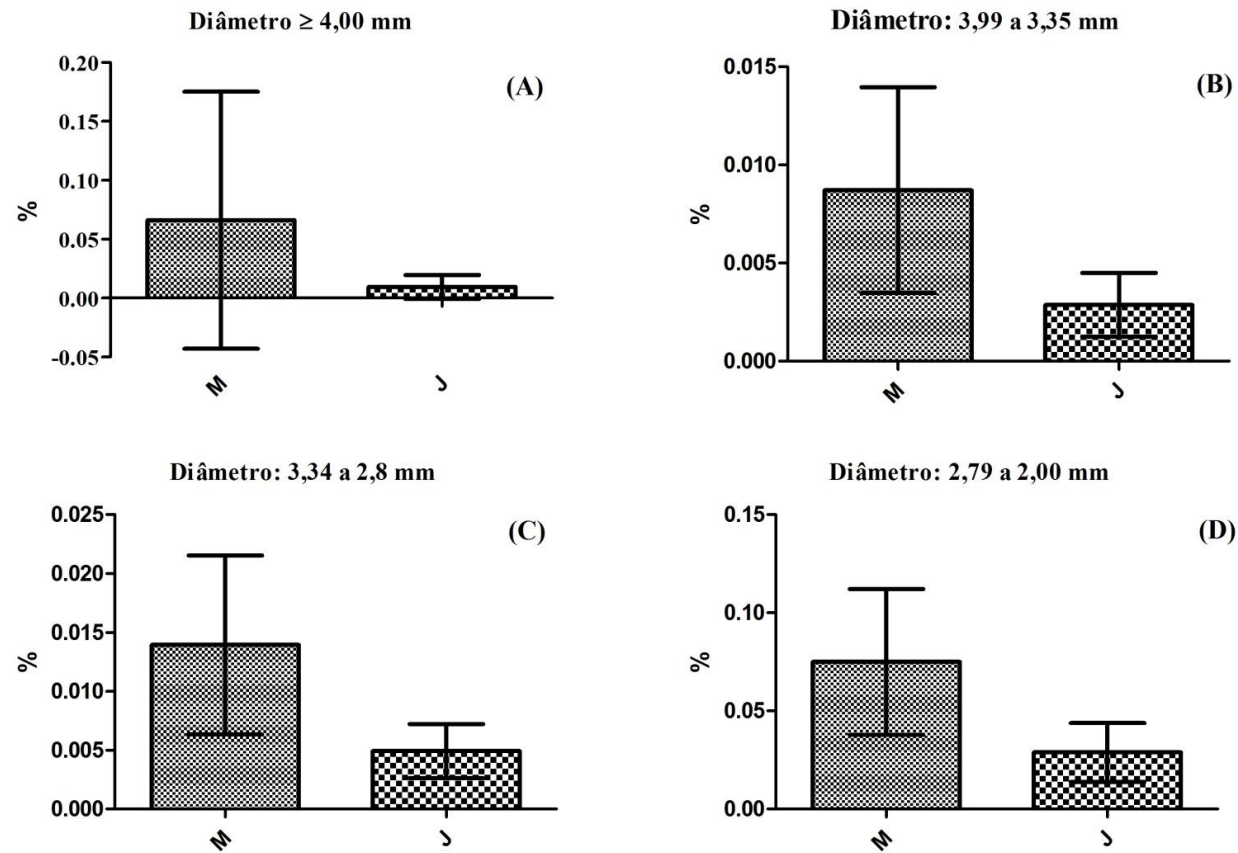
### Classificação: Areia Grossa



**Figura 34:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Areia Grossa; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,212 a 0,249 mm ; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,250 a 0,499 mm ; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 0,500 a 0,99 mm ; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 1,00 a 1,99 mm .

Por fim, na fração Cascalho, que engloba os sedimentos de maior granulometria, foram encontradas diferenças significativas em três das quatro frações analisadas neste grupo. Os gráficos (Figura 35) demonstram que existe uma maior deposição de sedimentos grosseiros no trecho a montante do ressalto hidráulico, o que reforça a hipótese de que existe uma menor capacidade de arraste da água neste trecho. O único gráfico em que o teste T não confirmou diferença significativa entre montante e jusante foi o referente à peneira ABNT/ASTM 5, devido ao elevado valor de desvio padrão encontrado nestas amostras. Porém, ainda observa-se neste gráfico uma tendência a deposição de sedimentos grosseiros no trecho a montante do ressalto.

### Classificação: Cascalho



**Figura 35:** Gráficos de médias e desvio padrão encontrados no Teste T realizado utilizando os dados dos sedimentos que compõe a fração Cascalho. ; (A) Gráfico referente às partículas com diâmetro superior a 4,00 mm; (B) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 3,99 a 3,35 mm; (C) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 3,34 a 2,8 mm; (D) Gráfico referente às partículas com diâmetro entre 2,79 a 2,00 mm.

## **5. CONCLUSÕES**

O canal foi retificado em uma condição de maior declividade que a natural, havendo modificações nos processos de erosão e sedimentação. Após a retificação, o canal passou a apresentar declividade igual 0,3%.

O trecho do Córrego Açu que apresentou mais sedimentação no período de estiagem foi o trecho a jusante do ressalto hidráulico, indicando uma condição de ajuste entre os processos de erosão e sedimentação neste período.

Em condição de leito de cheia máxima (transbordamento) foi observado que a montante do ressalto hidráulico há predomínio do assoreamento sobre erosão, assim como na deposição de matéria orgânica.

O efeito do ressalto hidráulico é mais expressivo, portanto, em períodos chuvosos.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

Projetos de restauração de matas ciliares com objetivo de estabilização de margens devem levar em consideração os processos hidrossedimentológicos, como erosão e sedimentação nas calhas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPITANO, R. C. **Proposta de Delimitação da Reserva Legal e Implantação da Área de Servidão Florestal no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008, 28p.

CARVALHO, D.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.; COSTA, J.; CRUZ, F. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, vol.14, n.2, p.108-116, 2006.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** 2. ed. Rio de Janeiro. Interciência, 2008, 599p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo. Editora Blucher, 1980, 188p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981, 313p.

DURLO, M.A.; SUTILI, F.J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água.** 1. ed. Porto Alegre. EST Edições, 2005, 189p.

GOES, M. H. **Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São Paulo, 1994, 529p.

GREGORY, K.L.; WALLING, D.E. **Drainage Basin from and Process: a geomorphological approach.** London. Edward Arnold, 1985, 458p.

IBGE. **Geociências** Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#geociencias](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#geociencias) acessado em 20 de agosto de 2011.

METEOROLOGIA. **Classificação climática de Koppen.** Disponível em: <http://meteo12.nforum.biz/t17-classificacao-climatica-de-koppen> acessado em 18 de setembro de 2011.

NETTO, A.; ALVAREZ, G. **Manual de hidráulica** 7. ed., vol. II, . São Paulo. Editora Edgard Blucher, 1982, 578p.

PORTAL SEROPÉDICA. **Histórico de Seropédica** . Disponível em : [http://www.portalseropedica.com/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54:historico-de-seropedica&catid=48:historico&Itemid=74](http://www.portalseropedica.com/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=54:historico-de-seropedica&catid=48:historico&Itemid=74) acessado em 31 de agosto de 2011.

SHAMMAA, M.T.; HASHEM, M.; KARKURI, H. M. Estimation of hydraulic jump location using numerical simulation. Twelfth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt. **Anais.** 2008, p. 291-304.

SILVA, R.C.V.; MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G. **Hidráulica Fluvial.** 2. ed. Rio de Janeiro. COPPE / UFRJ, 2007, 306p.

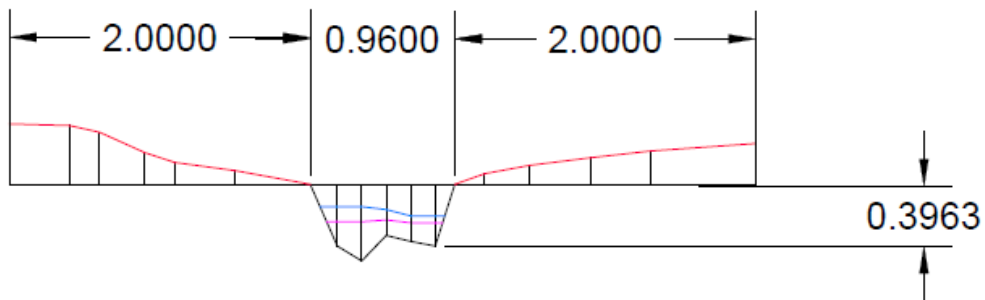
VELOSO, P. H.; FILHO, L. G. Fitogeografia Brasileira. Salvador: **Boletim Técnico.** (Projeto Radam Brasil). n.1, 1982, 85p.

## **ANEXOS**

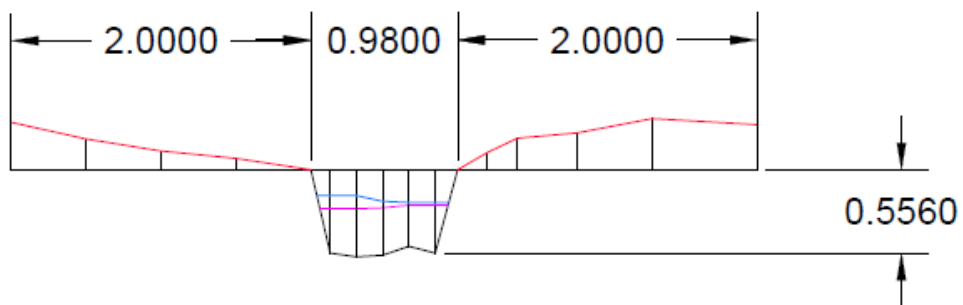
**ANEXO A** - Perfis transversais da calha nos pontos de medição considerados nas análises estatísticas, delimitados com auxílio do software Auto Cad 2012.

**MONTANTE**

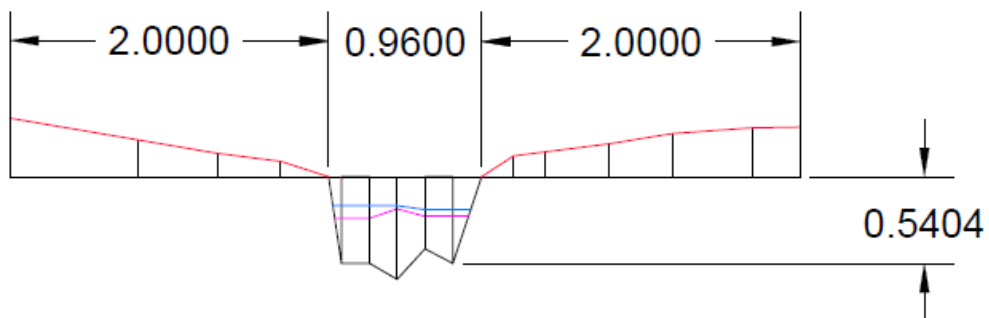
**Estaca 24:**



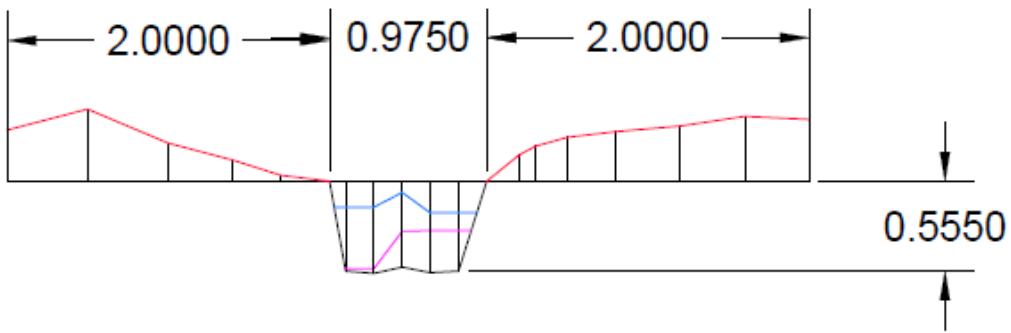
**Estaca 23:**



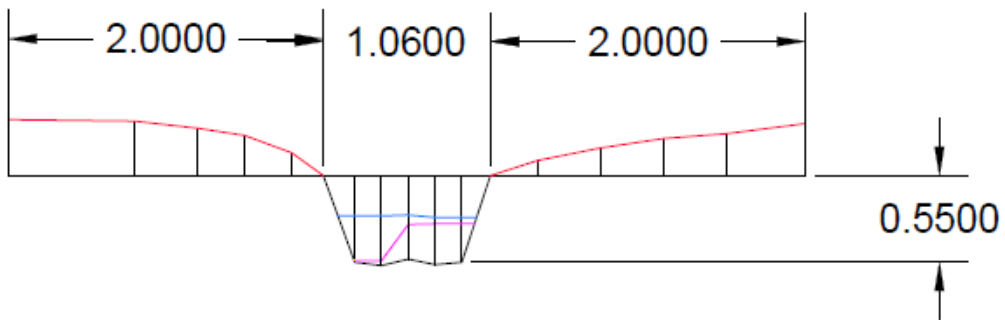
**Estaca 22:**



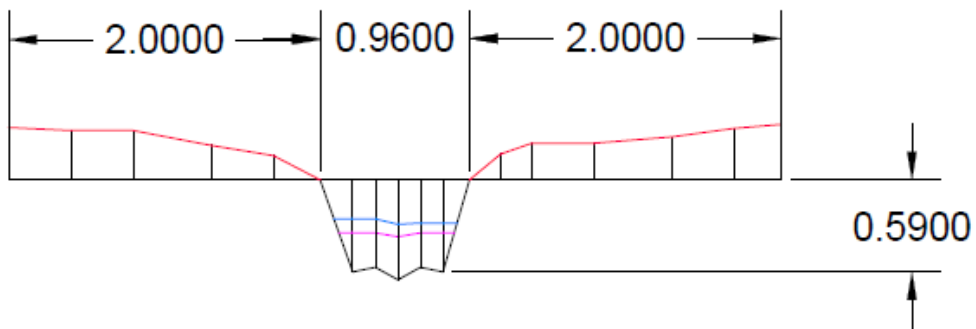
**Estaca 21:**



**Estaca 20:**

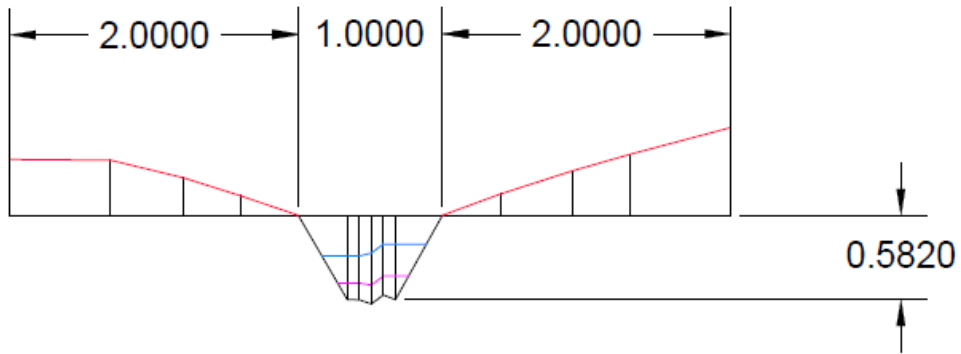


**Estaca 19:**

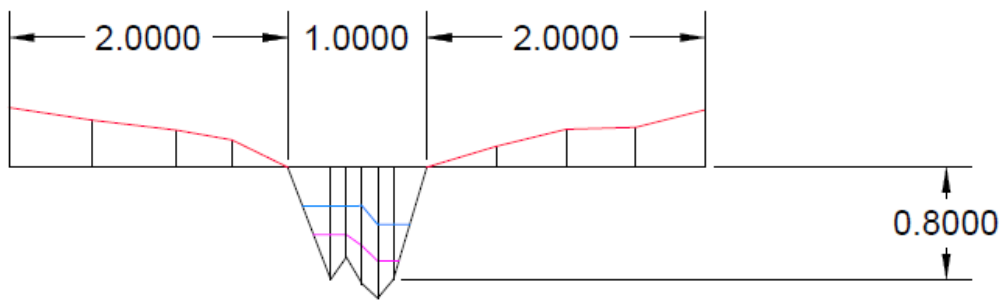




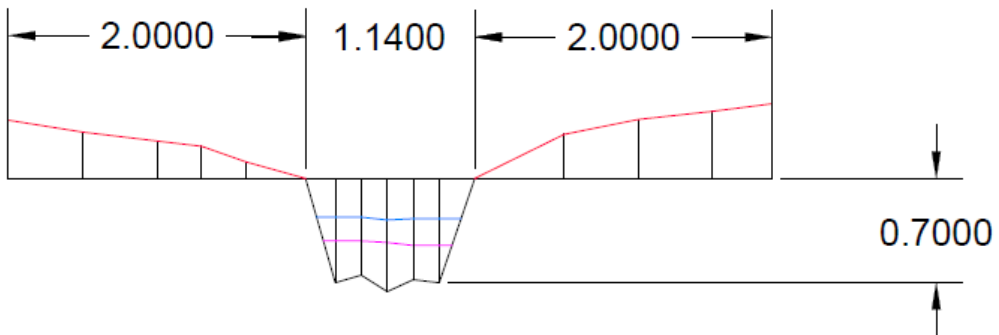
**Estaca 18:**



**Estaca 17:**

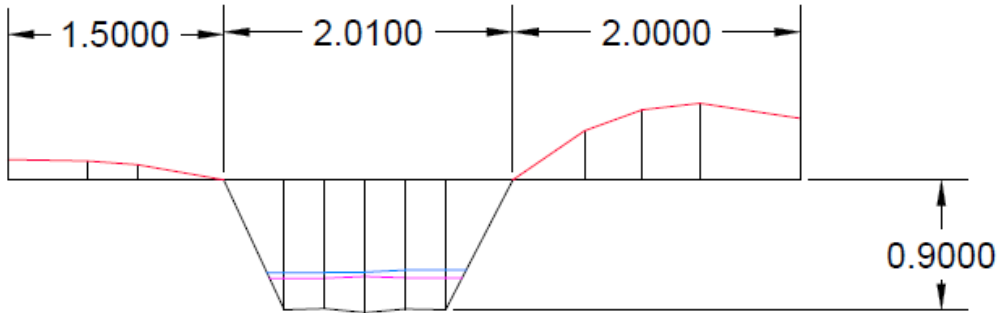


**Estaca 16:**

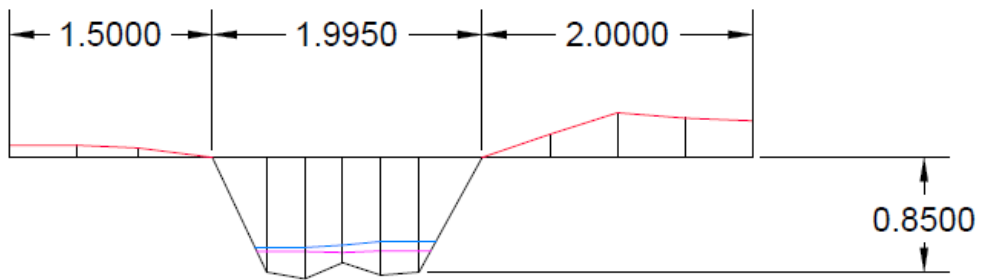


**JUSANTE**

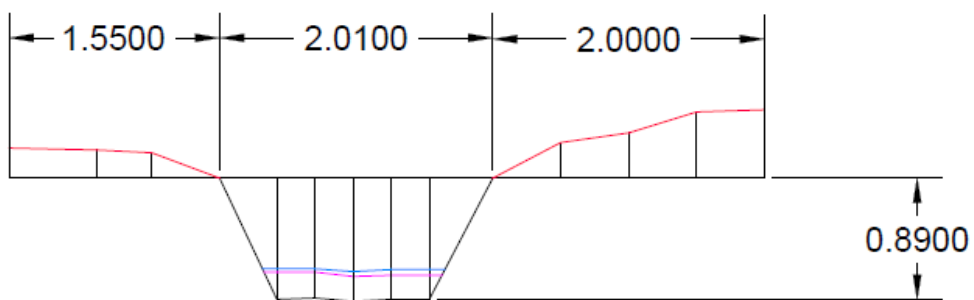
**Estaca 15:**



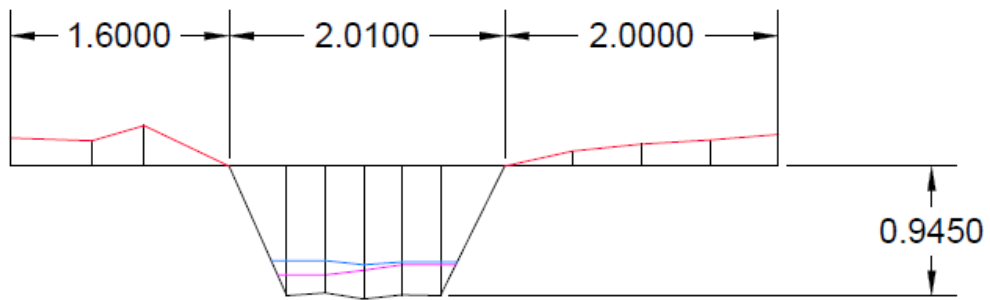
**Estaca 14:**



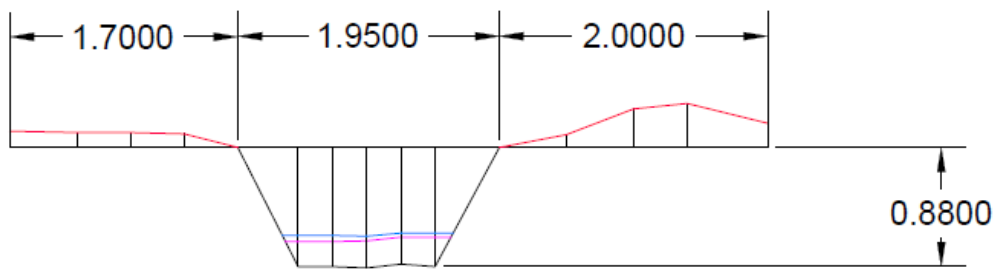
**Estaca 13:**



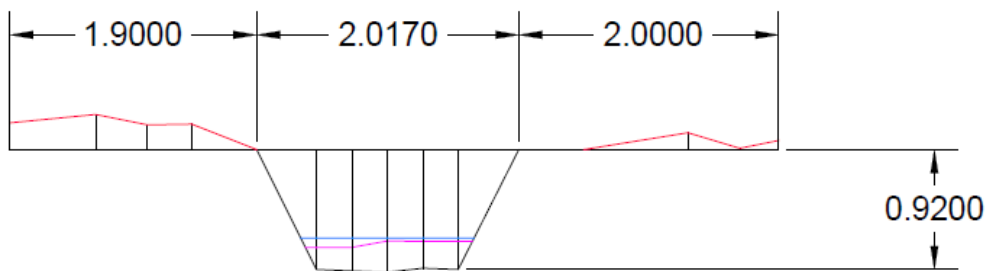
**Estaca 12:**



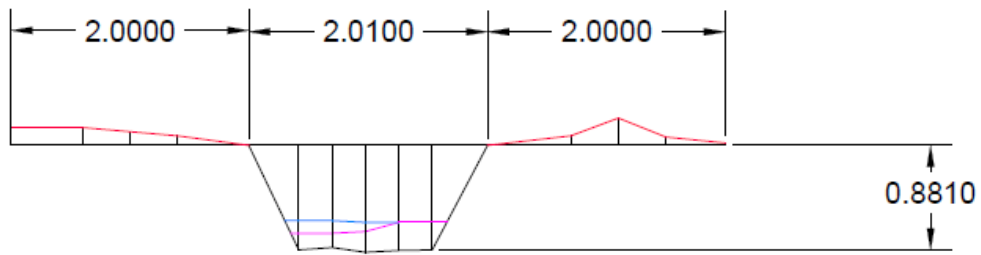
**Estaca 11:**



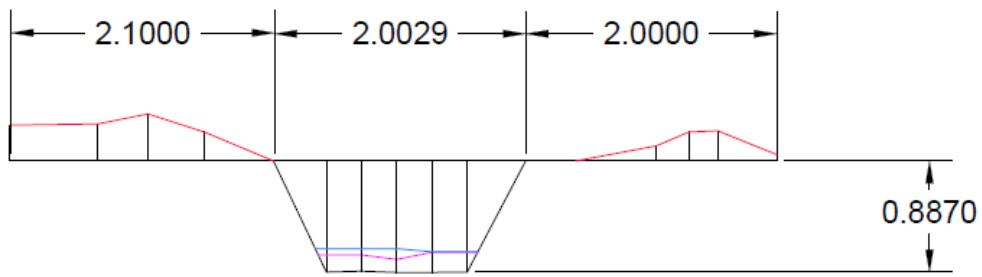
**Estaca 10:**



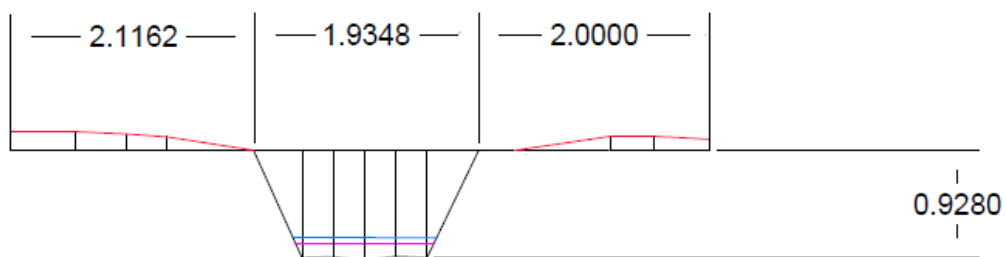
**Estaca 09:**



**Estaca 08:**



**Estaca 07:**



**Legenda:**

- Sedimentos acumulados no entorno da calha
- Nível d'água
- Banco de sedimentos no talvegue da calha

Medidas em metros.

**ANEXO B - Fotos da caixa de sedimentação.**

Figura 01: Caixa de sedimentação após corte de vegetação em maio de 2011.



— Delimitação aproximada da caixa de sedimentação

Figura 02: Caixa de sedimentação ocupada por vegetação em outubro de 2011.

