



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GARAPIÁ – MAQUINÉ-RS**

Gustavo Bartelli

Lajeado, junho de 2012

Gustavo Bartelli

**ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GARAPIÁ – MAQUINÉ – RS**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário Univates, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ms. Everaldo Rigelo Ferreira

Lajeado, junho de 2012

Gustavo Bartelli

**ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GARAPIÁ – MAQUINÉ – RS**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental.

Prof. Ms. Everaldo Rigelo Ferreira

UNIVATES

Prof. Ms. Henrique Carlos Fensterseifer

UNIVATES

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt

UNIVATES

Lajeado, 02 de julho de 2012

RESUMO

O levantamento de dados hidro sedimentométricos na microbacia hidrográfica do Arroio Garapiá, localizado no município de Maquiné, estado federativo do Rio Grande do Sul, Brasil, foi realizado com o objetivo de conhecer parte da dinâmica envolvida com o transporte de sedimentos em suspensão nos recursos hídricos que compõem a bacia, uma vez que não existem dados sobre o mesmo para a região. Foram encontrados ao longo de quatro campanhas de coleta, somente um grande regime de vazão. Sendo este na primeira coleta, onde o transporte total de sedimentos em suspensão foi de 994 kg/dia em trânsito para fora da bacia. As campanhas de coleta realizadas em períodos secos onde a vazão se apresentou muito baixa, o transporte de sedimentos diminuiu consideravelmente, o volume amostrado foi de 0,30 kg/dia. Esta grande variação nos regimes hídricos se deu principalmente pelas características climáticas e o baixo nível de precipitação pluviométrica no segundo bimestre do ano de 2012.

Palavras-chave: Sólidos em suspensão. bacia do Arroio Garapiá. Amostragem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuições verticais que podem ser encontradas em um curso d' água.	13
Figura 2: Amostrador de sedimento em suspensão USDH-48 (AMS-1).....	17
Figura 3: Seção submersa do ponto de coleta 1 em 17 de janeiro de 2012.....	23
Figura 4: Garrafa de armazenamento de amostras e os dados de identificação referentes.....	25
Figura 5: Amostrador de água + sedimentos em operação.....	26
Figura 6: Especificações do amostrador USDH-48.....	27
Figura 7: Materiais utilizados na garrafa do amostrador.....	28
Figura 8: Furo feito na tampa da garrafa e regulagem do ângulo necessário.....	29
Figura 9: Amostrador pronto para o uso.....	30
Figura 10: Sistema Sartorius (esquerda), filtros em estufa (direita)	31
Figura 11: Mapa geral da área de estudo.....	34
Figura 12: Mapa geológico da área de estudo.....	35
Figura 13: Mapa exploratório dos solos da bacia.....	36
Figura 14: Perfil longitudinal do arroio de primeira ordem.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Precipitação histórica e precipitação ocorrida no período do estudo.....	43
Tabela 2: Dados de velocidade e área submersa do canal em cada ponto.....	45
Tabela 3: Vazões nos pontos de coleta.....	46
Tabela 4: Concentração e razão do transporte de sólidos em suspensão ao dia.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Métodos de medição de sólidos em suspensão.	17
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEMETRS -	Centro Estadual de Meteorologia
FEPAGRO -	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
PUC/RS -	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RS -	Rio Grande do Sul
% -	Porcentagem
” -	Polegadas
o ’ ” -	Graus, minutos e segundos
A -	Área
C -	Concentração de sedimentos em suspensão por volume elementar
cm –	Centímetros
kg –	Quilograma
km –	Quilômetros
m –	Metros
ml –	Mililitro
mm –	Milímetro
µm –	Micrometro
Vm –	Velocidade Média
Vt –	Velocidade de trânsito do amostrador

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 EMBASAMENTO TEÓRICO.....	10
2.1 O ciclo das rochas.....	10
2.2 O transporte de sedimentos.....	13
2.3 A sedimentometria e a amostragem de sólidos em suspensão.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Mapeamento e caracterização física da área de estudo.....	21
3.1.1 Escolha dos pontos de coleta de dados.....	23
3.2 Levantamento dos dados hidrológicos.....	24
3.3 Coleta das amostras de água + sedimentos.....	26
3.3.1 Procedimentos para a construção do amostrador.....	28
3.4 Análise das amostras.....	32
3.5 A concentração e o cálculo do transporte total de sedimentos.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 Mapeamento e caracterização da área.....	35
4.2 Dados hidro-sedimentares.....	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos por um recurso hídrico pode ser observado cotidianamente, após eventos chuvosos, quando a água apresenta coloração mais escura. Porém levantar informações quáli-quantitativas sobre o transporte de carga sedimentar em uma bacia envolve um custo operacional bastante elevado, pois é preciso realizar amostragens em toda a vertical do canal e em diversos pontos da bacia para posterior análise em laboratório, além de empregar diversas metodologias de cálculo.

Sedimentos são partículas derivadas da rocha, ou de agentes biológicos, que podem ser transportados por um fluído. Estas partículas provém da fragmentação das rochas por processos físicos ou químicos e transportadas pela água ou pelo vento do lugar de origem até os rios e locais de deposição, ou seja, é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito (CARVALHO, 2008).

A origem dos sedimentos está relacionada com o ciclo das rochas, é formado a partir de rochas ígneas ou sedimentares que são degradadas pelos processos de intemperismo e transportadas por processos erosivos. Geralmente são carregados pelas bacias sedimentares até os rios, que por sua vez realizam várias etapas de transporte e deposição das partículas (CARVALHO, 2000; GUERRA, 1980).

A quantidade de sedimento transportada naturalmente por um recurso hídrico depende, substancialmente, da composição do leito e das características hidráulicas e geométricas do canal. Além disso as chuvas, que degradam os solos e as enxurradas que transportam os sedimentos até os recursos hídricos, são fatores importantes no processo. Assim, qualquer alteração na dinâmica natural dos processos, pode comprometer o equilíbrio dos níveis de sedimento transportado (CARVALHO, 2008; SCAPIN, 2005).

O transporte de sedimento por um recurso hídrico é um processo natural, é o principal elemento modelador das paisagens, que por sua vez pode ser acelerado pela ação antrópica desordenada, principalmente junto às margens. As alterações mais danosas ao meio ambiente são a retirada de vegetação, o manejo inadequado do solo e a urbanização (SCAPIN, 2005).

Estimativas apontam que atualmente somando a descarga sólida de todos os rios do planeta, a razão do transporte de sedimentos chega a 16 bilhões de toneladas anuais de sedimentos clásticos e 2 a 4 bilhões de toneladas anuais de material dissolvido e grande parte desta carga é associada a ação do homem sobre os recursos naturais. Estimativas apontam que antes do surgimento do homem a descarga de sedimentos variava em torno de 9 bilhões de toneladas (PRESS et al., 2006).

Pesquisas inerentes ao transporte de sedimentos são abundantes, quando relacionadas com barragens e a vida útil das mesmas, porém notou-se com a presente pesquisa, a ausência de trabalhos que analisem a dinâmica natural do transporte de sedimentos, principalmente em áreas florestais, onde a presença antrópica é pequena ou ausente.

Diante da atual realidade, onde obras de grande impacto ambiental são realizadas ignorando diversas variáveis de cada ambiente, que muitas vezes são desconsideradas pela ausência de pesquisas e informações sobre o tema, este estudo pretende:

- Promover e ampliar o conhecimento científico hidro sedimentar de pequeno porte em uma área florestal;
- Ressaltar a importância da pesquisa neste fragmento de mata.

É proposto o levantamento e análise dos dados referentes ao transporte de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica, que pode ser denominada uma microbacia, onde na maior parte da área e arredores, encontra-se composta por florestas de Mata Atlântica em bom estado de conservação. Tendo como requisitos para esta análise, cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Mapeamento e caracterização física da área de estudo;
- Escolha dos pontos de coleta de dados;
- Levantamento de dados hidrológicos;
- Coleta de amostras de água+sedimentos;
- Analisar as amostras;
- Quantificar a concentração e o transporte total de sedimentos na bacia.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Conforme descrito por Carvalho (2008), o termo sedimento refere-se a partícula depositada, quando nos referimos ao seu sentido semântico. No entanto para o propósito deste trabalho é definido sedimento, as partículas derivadas da rocha, ou de agentes biológicos, que pode ser transportada por fluído, a partícula é derivada da fragmentação das rochas por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição, ou seja é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito.

2.1 O ciclo das rochas

A cerca de 20 km abaixo da superfície terrestre está presente o magma, cuja composição contém todos os ingredientes presentes nas rochas, como silício, oxigênio, sódio, alumínio entre outros, quando este magma atinge locais mais próximos da superfície, geralmente associados a processos de vulcanismo, são formados diversos minerais que compõem uma rocha ígnea. Esta é formada pela

perda gradativa de calor dos minerais provindos do interior do planeta, chamada câmara magmática (CARVALHO et al.,2000).

Para que uma rocha ígnea formada próxima a superfície fique exposta, é preciso que haja erosão da camada superior à rocha recém-formada, o que significa muitas vezes períodos de milhões de anos. Quando na superfície a rocha encontra um ambiente que contém entre outros componentes oxigênio livre, gás carbônico e água, além de pressões e temperaturas muito inferiores às existentes no seu local de formação. Estando expostas a atmosfera e a hidrosfera, haverá uma adaptação física e química aos novos ambientes, chamada de intemperismo (CARVALHO, 2000; POPP, 1998).

O intemperismo é o processo responsável pela desagregação das rochas presentes na superfície do planeta, sendo gerados os solos e argilas. A fragmentação das rochas pode ocorrer de duas formas, pelo intemperismo físico e pelo intemperismo químico. O intemperismo físico consiste na fragmentação da rocha sem que se altere as características químicas. Por sua vez intemperismo químico atua na rocha fragmentada onde os minerais presentes são quimicamente alterados ou dissolvidos pela ação da água e do ar (PRESS et al., 2006).

Os principais fatores que governam os processos de intemperismo são o clima, a geologia, o relevo, a fauna e a flora associada. As condições climáticas são responsáveis pela variação da temperatura e distribuição das chuvas. A geologia tem interferência quanto a resistência dos diferentes tipos de rochas. O relevo implica nas condições de infiltração e drenagem das águas pluviais, enquanto a fauna e a flora associadas fornecem matéria orgânica para os processos, reações químicas e o realizam o revolvimento de materiais (TEIXEIRA et al, 2008).

O solo é composto de fragmentos de rochas e argilominerais constituídos pela matéria orgânica produzida pelos organismos presentes no ambiente e pela alteração química da rocha matriz. Sua formação é um processo de retroalimentação positiva, sendo que o solo, proveniente do intemperismo, é um agente que impulsiona o aumento do próprio intemperismo (TEIXEIRA et al., 2008)

Parte das partículas da decomposição de uma rocha (solo), são erodidos pelas chuvas e transportados até os rios, que por sua vez os transportam geralmente até os oceanos. As partículas de sedimento gradualmente são depositadas nas bacias hidrográficas e por um prazo relativamente menor nas bacias oceânicas, próximas da costa (CARVALHO ; CUNHA 1997, apud BICALHO, 2006).

A erosão é um fenômeno originado pela interação do ciclo hidrológico com o ciclo das rochas, que depende da água proveniente dos processos de precipitação e suas propriedades de fluidez, solubilidade, calor específico e dilatação (GUERRA, 1980; LEINZ, 2003; PRESS et al. 2006). A erosão pode ocorrer segundo Carvalho (2008), pela ação eólica, fluvial, hídrica superficial, em lençol, por escoamento difuso intenso ou concentrado, em ravinas, por remoção de massa, por transporte lento ou rápido de material, pela ação humana ou de animais, devida a eventos extremos e devido a sais solúveis.

Pode-se caracterizar portanto, a sedimentação, como o conjunto de processos erosivos atuantes em determinada área, abrangendo intemperismo e os demais eventos erosivos, responsáveis pela formação do solo e aporte do mesmo. O destino da sedimentação geralmente são os recursos hídricos, assim, tomando como base a medição de sólidos em um rio, pode-se estimar a ação dos processos erosivos como um todo (SCAPIN, 2005).

A sedimentação contínua pode ter como consequência o afundamento das bacias receptoras. À medida que estas áreas afundam, o ambiente onde estão os sedimentos é modificado. A pressão é aumentada, dada o contínuo despejo de sedimentos e a temperatura é elevada devido ao grau geotérmico (profundidade, na crosta terrestre, em metros, necessária para haver o aumento de temperatura em 1°C). Os sedimentos, areia e lama, desta forma, perdem água, são compactados e cimentados, formando rochas sedimentares, este processo denomina-se diagênese. À medida em que afunda, de forma gradual e contínua, a rocha atinge condições de elevada pressão e temperatura que possibilitam o processo de metamorfismo da mesma. Se o afundamento continuar, a rocha pode, finalmente, atingir um ambiente

de fusão e transformar-se em magma novamente. Esse magma pode iniciar o processo de ascensão à superfície e pela diminuição da temperatura solidificar-se, formando uma nova rocha ígnea. Essa nova rocha pode atingir a superfície, sofrer intemperismo e reiniciar o ciclo (CARVALHO et al, 2000; PRESS et al 2006).

2.2 O transporte de sedimentos

O processo de sedimentação dentro dos sistemas de água doce foram estudados sob diversos ângulos, nas margens dos recursos hídricos correntes e também em lagos. A ação mecânica da água é responsável por separar as diversas granulometrias das partículas de sedimento, constituindo um gradiente de tamanho e variando suas posições conforme a velocidade da água. Os sedimentos são constituídos de três principais componentes, matéria orgânica em diversos estágios de decomposição, minerais particulados (incluindo-se carbonatos, argilas, silicatos não argilosos) e componentes inorgânicos de origem biogênica (WETZEL, 1993).

Denomina-se sedimento, toda partícula derivada das rochas ou de materiais biológicos (matéria orgânica) capaz de ser transportada por um fluido. Originam-se da fragmentação de rochas pelos processos de intemperismo, as quais são transportadas pela água ou pelo vento do local de origem, até os rios e locais de deposição, caracterizando-se por material sólido em suspensão na água ou depositado no leito (CARVALHO et al., 2000).

O transporte de sedimentos é processado nos cursos da água, sendo que ocorre em maior quantidade nas épocas chuvosas. Cerca de 70 a 90% de todo o sedimento transportado ocorre nestes períodos, principalmente nos grandes eventos pluviométricos. A ocorrência da erosão têm papel importante nos parâmetros sedimentares, pode se processar de diversas formas e depende de muitas variáveis, sendo a principal delas a chuva (CARVALHO, 2008).

Os sedimentos transportados por um recurso hídrico podem ser classificados como transporte sedimentar em suspensão ou de tração. Os processos de tração atuam por meio de rolamento ou deslizamento o que produz seixos com arredondamento variável e areias de maior granulometria. Já nos processos de transporte de carga por suspensão, os sedimentos transportados são de baixa granulometria e não sofrem trabalhosamentos ou arredondamentos dos clastos e grãos (POPP, 1998).

A força da gravidade e a tensão de cisalhamento são os principais fatores que atuam sobre a dinâmica fluvial. A tensão de cisalhamento é decisiva para iniciar o movimento de partículas pequenas, enquanto a velocidade do fluxo tem maior influência no carregamento das partículas maiores (BARROS, 2006). Os sedimentos transportados por um curso d'água, sejam eles dissolvidos, em suspensão ou de fundo, são produtos das interações entre a massa líquida em movimento, a superfície do canal fluvial e os diferentes tipos de sedimentos transportados (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Depois de serem destacadas das suas superfícies, as partículas sólidas podem ser transportadas por longas distâncias ou serem depositadas rapidamente, dependendo das condições de fluxo do canal, do tamanho e das características de cada partícula de sedimento, constituindo as diferentes formas de transporte. O transporte de sedimentos em suspensão ocorre quando o fluxo hídrico tem capacidade energética de manter determinada partícula em suspensão, ou seja, partículas finas como silte e argila são muito mais propensas ao transporte em suspensão do que outros clastos, sendo mantidas em suspensão pela ação de turbulência do fluido (CHRISTOFOLETTI 1981).

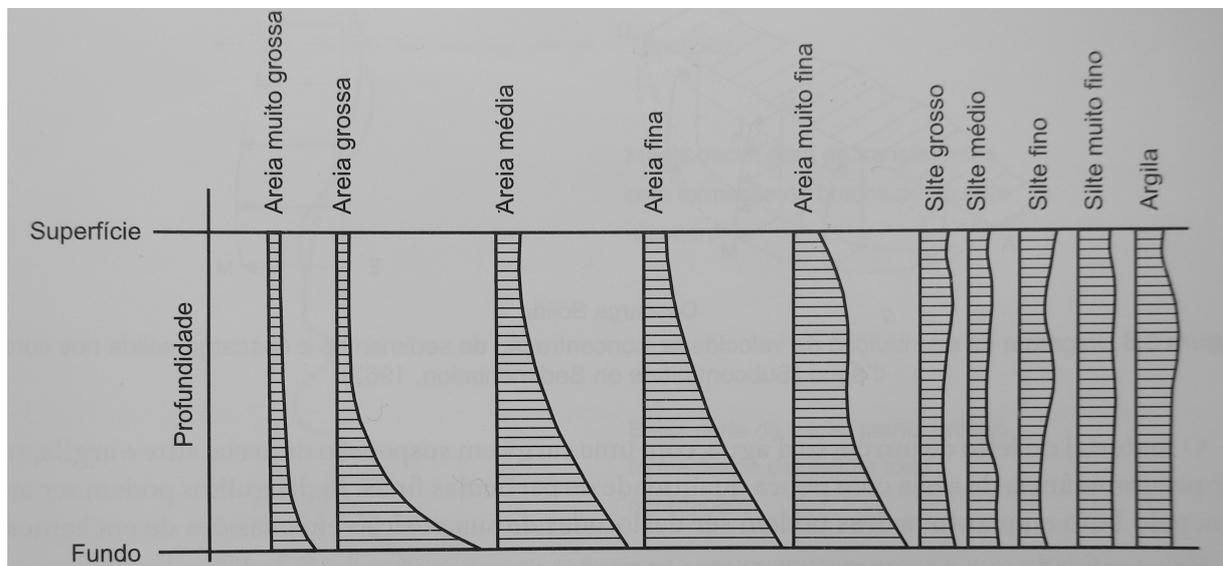
A quantidade de sedimento transportada naturalmente por um recurso hídrico depende, substancialmente, da composição do leito e das características hidráulicas e geométricas do canal. Além disso as chuvas, que degradam os solos e as enxurradas que transportam os sedimentos até os recursos hídricos, são fatores importantes no processo. Assim, qualquer alteração na dinâmica natural dos

processos, pode comprometer o equilíbrio dos níveis de sedimento transportado (CARVALHO, 2008; SCAPIN, 2005).

A natureza busca um equilíbrio estável para o rio. Quando ocorrem mudanças nas quantidades de sólidos transportados, o rio responde e reage conforme as alterações impostas. Se a carga sólida é grande, haverá a tendência de formação de depósitos, ocorrendo a aggradação do leito do rio. Pelo contrário, se a carga sólida é pequena, o rio responde com a degradação do leito (CARVALHO, 2008).

A partícula em suspensão está sujeita à ação da velocidade da corrente na direção horizontal e do seu peso. Consequentemente, a concentração do sedimento é menor próxima a superfície e maior próxima ao leito. Porém as partícula mais grossas em suspensão, que geralmente são areias, têm uma distribuição uniforme na vertical (FIGURA 1) (SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION, 1963 apud CARVALHO, 2008).

Figura 1: Distribuições verticais que podem ser encontradas em um curso d' água



Fonte: Subcommittee on Sedimentation, (1963) apud Carvalho, (2008).

Os sedimentos são transportados geralmente até as planícies de inundação, que constituem a forma mais comum de sedimentação fluvial, podendo ser encontrada em rios de todas as grandezas, onde nas enchentes, toda esta área é inundada, tornando-se o leito do rio. O estágio de margens plenas assinala a

descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação. Até atingir o estágio de margens plenas, o escoamento das águas se processa no interior do canal e originam diferentes formas topográficas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Somando a descarga de todos os rios do planeta, a razão do transporte de sedimentos chega a 16 bilhões de toneladas anuais de sedimentos clásticos e 2 a 4 bilhões de toneladas anuais de material dissolvido e grande parte desta carga é associada a ação do homem sobre os recursos naturais. Estimativas apontam que antes do surgimento do homem a descarga de sedimentos variava em torno de 9 bilhões de toneladas (PRESS et al., 2006).

Áreas desprovidas de vegetação e fisicamente degradadas, apresentam alta influência de erosão hídrica em decorrência da ação direta do impacto das gotas da chuva. Elas desagregam e transportam partículas de solo, principalmente pelo salpicamento, provocando selamento superficial do solo, diminuindo a retenção e infiltração da água aumentando o volume do escoamento superficial. A cobertura vegetal e o material orgânico no solo podem reduzir em até 90% as perdas de solo e até 62% a velocidade de uma enxurrada (SANTOS et al., 2010).

A interferência da cobertura vegetal sobre as perdas de solo, pode ser explicada pela cobertura da terra e sua capacidade de dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas do solo e conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. A cobertura do solo também representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos (SILVA et al., 2005).

Conhecendo a descarga e a concentração dos componentes orgânicos e inorgânicos de um recurso hídrico é possível estimar a carga de substâncias ou elementos. Tal carga varia no tempo e no espaço, dependendo principalmente dos períodos de vazões elevadas, em função do regime hidrológico local. Evidenciando que para o monitoramento da dinâmica sedimentar de um recurso hídrico existe a

necessidade de realizar medições em diversos períodos do ano, em função das variações climáticas (TUNDISI, 2008).

As características topográficas, geológicas, e geomorfológicas bem como o tipo de vegetação que a cobre desempenham papel essencial no comportamento hidrológico, sendo importante considerar a influência de cada um destes fatores (GARCEZ, 1988).

2.3 A sedimentometria e a amostragem de sólidos em suspensão

A sedimentometria segundo Carvalho et al (2000) é a medida da quantidade de sedimentos transportada pelos cursos da água. Existem diversas metodologias para a realização destas medidas sendo elas diretas ou indiretas (QUADRO 1), em função dos tipos de equipamentos utilizados e recursos financeiros disponíveis para a realização das medidas e demais procedimentos. A medida da descarga sólida envolve parâmetros como medida da descarga líquida, amostragem do sedimento em suspensão, amostragem do material do leito, medidas de temperatura da água, da declividade, do gradiente enérgico da linha da água e das metodologias de cálculo.

Sabe-se que na grande maioria dos rios os sedimentos em suspensão na coluna d'água constituem a maior parte dos sedimentos transportados. Determinar as concentrações de sedimentos em suspensão a partir das técnicas atualmente conhecidas envolve um custo operacional elevado (LOUREIRO, 2008).

A rede de estudos fluviométricos brasileira, no mês de abril do ano 2000 era de 1.627 postos de amostragem primária, sendo que somente em 427 deles são realizadas medidas de descarga sólida em suspensão. Devido a questões financeiras e operacionais a obtenção de dados é restrita a sólidos em suspensão e apresenta número inferior ao desejável, aliado a isso a frequência de medidas são insuficientes para o bom conhecimento do meio natural (CARVALHO et al. 2000).

Quadro 1: Métodos de medição de sólidos em suspensão.

Medição	Descrição	Equipamento ou metodologia de medida
Direta	Usa equipamentos que medem diretamente no curso d'água a concentração ou outra grandeza como a turbidez ou ultra-som.	Medidor nuclear (portátil ou fixo), Ultra-sônico ótico, Ultra-sônico Doppler de dispersão, Turbidímetro e ADCP (Doppler)
	Por acumulação do sedimento num medidor (proveta graduada)	Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta)
Indireta	Coleta de sedimento por amostragem da mistura água e sedimento, análise de concentração e granulometria e cálculos posteriores da descarga sólida	Equipamentos: de bombeamento, equipamentos que usam garrafas ou sacas, sendo pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (no Brasil usa-se principalmente a série norte-americana – U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca)
	Uso de imagens de satélite e comparação com medidas simultâneas de campo para calibragem, em grandes rios	São estabelecidas equações que correlacionam as grandezas de observação das imagens com as concentrações medidas

Fonte: Modificado de: Carvalho, (1994) apud Carvalho (2000)

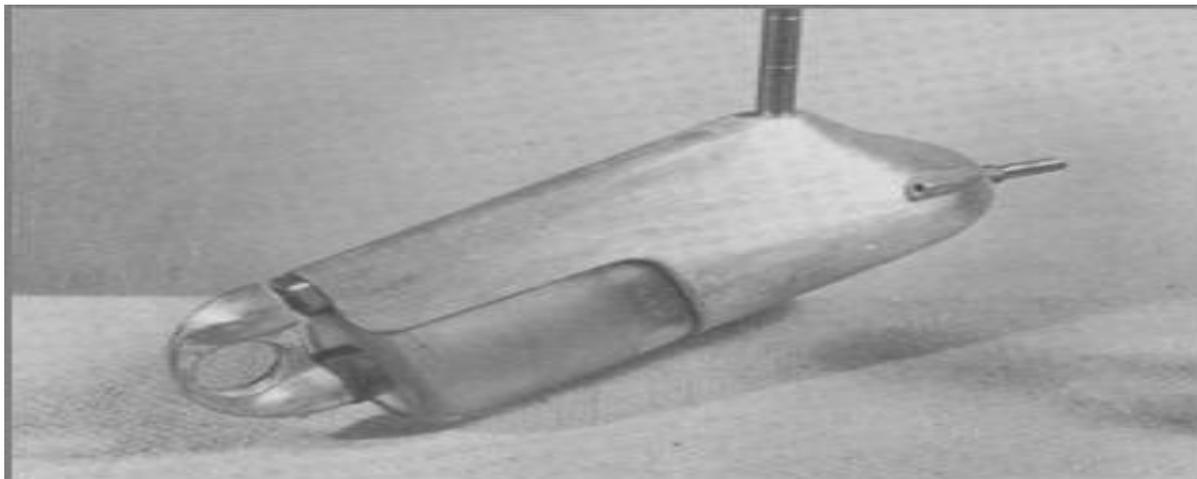
A necessidade dos dados relativos à concentração dos sedimentos em suspensão podem ser associadas a diversos tipos de estudos, em alguns casos, tais como estudos biológicos, podem requerer uma série de dados contínuos, enquanto em outros casos, são necessários apenas a coleta de dados durante os picos de vazões. Alguns projetos podem exigir a coleta e análise de amostras físicas de sedimentos para estudos de contaminantes. (LOUREIRO, 2008).

Originalmente os equipamentos da série norte americana para amostragem de sedimentos em suspensão eram construídos utilizando garrafas de 500 ml disponíveis no mercado, que seriam garrafas de leite, facilitando a sua aquisição. Porém os equipamento de fabricação nacional baseados nos amostradores acima citados não dispõem de tal simplicidade, o que eleva os custos para a realização das pesquisas relacionadas (CARVALHO, 2008).

Os equipamentos utilizados no Brasil para a amostragem de integração vertical são os amostradores USDH-48 (FIGURA 2), USDH-59, US-D-43 e US-D-49, sendo escolhidos para a utilização segundo a profundidade do leito e a velocidade da corrente onde se deseja trabalhar (CARVALHO et al, 2000). Estes amostradores

foram utilizados nos trabalhos de Bicalho (2006), Carvalho (2007) e Scapin (2005), ambos com o objetivo de determinar o transporte de carga sólida em suspensão.

Figura 2: Amostrador de sedimento em suspensão USDH-48 (AMS-1).



Fonte: Carvalho et al. (2000).

O amostrador USDH-48 é utilizado para integração vertical, coleta amostras de sólidos em suspensão em profundidades de até 2,7 m. É calibrado para um bico de ¼” e quando comparado a outros da mesma categoria é considerado um equipamento leve. É feito de alumínio em forma hidrodinâmica, usa garrafa presa por mola e haste para operação. Seu conjunto pesa cerca de 3 kg, podendo ser operado a vau, de canoa ou de pequenas pontes em rios rasos. O amostrador USDH-59 segue o mesmo princípio, porém é indicado para maiores profundidades (4,5m) e os demais amostradores citados podem ser utilizados em maiores profundidades, pois utilizam lastros para serem operados a partir de uma polia. (CARVALHO, 2008, CARVALHO et al., 2000).

Na medição indireta da descarga sólida é necessária uma amostra física, coletando-se uma mistura de água e sedimentos. A amostragem é obtida em várias verticais, procurando levar em conta a distribuição do sedimento na seção transversal, com o objetivo de representar o valor médio da concentração e granulometria dos sedimentos (CARVALHO, 1994 apud CARVALHO, 2008).

A frequência das medições de sólidos em suspensão deve ser realizada a partir de um programa a ser estabelecido de acordo com a conveniência de cada estudo. Devido a grande dispersão de valores de descarga sólida em relação a descarga líquida e o nível da água, devem ser realizadas o maior número de medições possíveis em cada posto sedimentométrico, buscando maior representatividade nas campanhas de coleta (CARVALHO, 2008).

Para coletar as amostras, deve-se saber o número de verticais que serão coletadas e as posições das mesmas. Usualmente é utilizada uma vertical no centro do canal e posteriormente são integradas para ambas as margens do canal novas verticais de amostragem. Cada amostrador, pelas suas características físicas, tem uma “profundidade não amostrada”, medida desde o bico até a base do aparelho utilizado. No processo de amostragem deve-se procurar evitar o impacto do amostrador com o leito, para que não levante sedimentos e seja comprometida a amostra (CARVALHO, 2008).

Uma medição de descarga sólida, ou amostragem de sedimentos, necessita do valor da descarga líquida, que normalmente é medida antes das amostragens de sólidos. Sendo fundamental nos métodos de integração na vertical e pontual, onde é necessário saber a velocidade da corrente (CARVALHO, 2000; LOUREIRO, 2008).

Após os procedimentos de amostragem em campo, as amostras devem ser levadas até um laboratório, onde devem ser separados os sedimento da água, com o objetivo de determinar a concentração de sedimentos contida em cada amostra. Com os dados obtidos e a os valores de vazão determinados em campo é possível determinar o transporte de carga sólida no tempo, segundo as premissas de cada pesquisa (CARVALHO, 2008; TUNDISI, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento da área de estudo e a pesquisa bibliográfica foram realizados no segundo semestre de 2011, através de visitas a campo, consulta a bases cartográfica, bibliográficas e análise de imagens de satélite. Os procedimentos de campo foram realizados nos dias 17/01, 22/02, 18/03 e 29/04 de 2012 e compreendem o levantamento de dados hidrológicos necessários para a estimativa da descarga líquida do arroio estudado e a amostragem de água + sedimentos. Após cada coleta foram feitas as análises das amostras na central analítica do Unianálises localizada no Centro Universitário Univates, campus Lajeado. Os dados referentes a análise foram utilizados a fim de calcular o transporte total de sedimentos na bacia.

3.1 Mapeamento e caracterização física da área de estudo

Com o objetivo de realizar o mapeamento da área de estudo foram utilizadas a bases cartográficas da Diretoria do Serviço Geográfico do Brasil (DSG), Ministério

do Exército Brasileiro em escala 1:50.000, Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Folha SH22- Porto Alegre), Mapa exploratório dos solos do projeto RADAM (IBGE, 1986), uma imagem de satélite obtida pelo software Google Earth versão, pontos obtidos em campo com GPS Garmin modelo nüvi 1300 e análise de campo.

Na base cartográfica do Serviço Geográfico do Exército a área de estudo está dividida entre as folhas SH–22-X-C-II-3 MI-2955/3 (Tainhas), SH–22-X-C-II-4 MI-2955/4 (Aratinga), SH–22-X-C-V-1 MI–2972/1 (Barra do Ouro) e SH–22-X-C-V-2 MI-2972/2 (Maquiné) (BRASIL 1979 , 1980), elas foram recortadas e unidas formando um novo mapa, utilizando o software Inkscape versão 0.48.1.

No software Quantum GIS, o mapa gerado a partir das cartas do Serviço Geográfico do Exército foi sobreposto com a imagem de satélite pelo Google Earth, a Carta Geológica, o Mapa exploratório dos solos e dados obtidos em campo a partir de observações e de um aparelho GPS.

Foram aplicadas transparências em algumas bases cartográficas e na sobreposição das mesmas foram unidas as informações presentes nas diversas fontes, gerando novos mapas e permitindo a obtenção de novas informações que são apresentadas nos mapas.

Os dados contemplados no novo mapeamento foram:

- Os recursos hídricos, individualizando a bacia hidrográfica a partir da linha divisora de águas;
- As cotas de altitude, partindo dos dados presentes na base cartográfica do Serviço Geográfico do Exército;
- Os domínios geológicos presentes na área;
- Os tipos de solo presentes na área;
- Alguns pontos de interferência antrópica;
- Os pontos de dados em campo;

As pesquisas bibliográficas sobre a caracterização da área de estudo foi realizada com base nos trabalhos de Vieira 2007, Becker 2002, Perotto 2007, Marcuzzo 1998 e Fleig 2008 que foram desenvolvidos na mesma região.

3.1.1 Escolha dos pontos de coleta de dados

Foram definidos três pontos para amostragem de sólidos em suspensão e levantamento de dados hidrológicos na microbacia, com o objetivo de coletar amostras em pontos onde é possível individualizar características específicas dentro da bacia. Estes pontos foram definidos com base nas informações obtidas no mapeamento (Capítulo 4.1) e análise detalhada de campo.

- O ponto de amostragem 1, localizado num afluente de primeira ordem, é o ponto de coleta de maior altitude, distante 2,98 km da nascente. Está localizado onde a vegetação é composta em sua totalidade por mata nativa e onde o arroio tem um gradiente enérgico bastante acentuado devido a sua declividade. Deverá oferecer uma amostragem do comportamento sedimentar em ambientes naturais declivosos.
- O ponto de amostragem 2, em uma drenagem de segunda ordem, situa-se a 1,45 km do primeiro ponto seguindo o curso do arroio. Este ponto recebe contribuição de mais uma ramificação da microbacia que tem sua nascente localizada junto aos campos de altitude a cerca de 4,1 km de distância. Neste ponto já existem alterações antrópicas pontuais, sendo a primeira delas numa área de 8 ha, onde o manejo do solo é dado em função do plantio direto de milho, algumas culturas sazonais e criação de animais em baixas

quantidades. Ligeiramente abaixo deste ponto existe uma casa utilizada como refúgio verde, de propriedade de ambientalistas.

- O ponto de amostragem 3, em drenagem de terceira ordem, localiza-se no ponto mais baixo da microbacia, a 3,3 km do segundo ponto de coleta, sendo que todos os cursos da água presentes na bacia de estudo vão em direção a ele. A declividade é baixa, fornecendo dados referentes a esta característica.

3.2 Levantamento dos dados hidrológicos

Entende-se que a vazão é o montante do volume de água que passa por determinada seção do rio por unidade de tempo e pode ser determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade de fluxo em um ponto, expressa conforme o Sistema Internacional (SI) em m³/s (CARVALHO, 2008).

Dadas às limitações financeiras do presente estudo, é utilizado o método do flutuador, um método bastante simplificado que consiste na medição da velocidade da corrente entre dois pontos, utilizando um objeto flutuante. A vazão líquida total é igual ao produto da área da seção, determinada com uma régua em medição manual e da velocidade da corrente, conforme a Equação 1. A otimização dos valores de velocidade se dá obtendo o valor médio de uma série de medidas. O método de medição por flutuador é suficientemente satisfatório, porém, não oferece altos níveis de precisão. (GARCEZ, 1988; FCTH, 1990 apud MAURO et al. 2004).

$$\text{Equação:} \quad Q = (C \cdot V_s) \cdot A \quad (1)$$

Sendo:

Q = Vazão (m³/s)

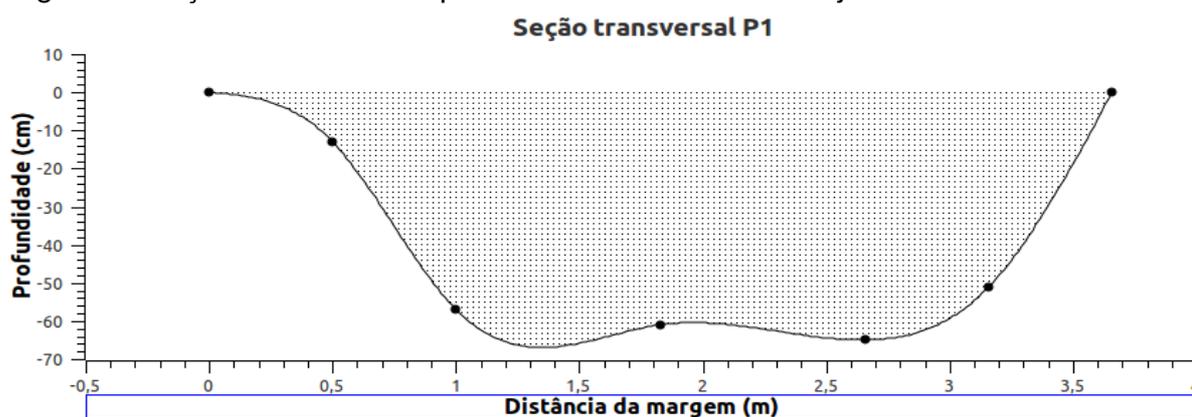
C = Constante de velocidade = 0,8

V_s = Velocidade do flutuador

A = Área da seção do rio

A área da seção do curso da água foi determinada utilizando uma régua, tomando diversas medidas de profundidade, atendendo principalmente os grandes ressaltos do canal e medindo posteriormente o diâmetro total do mesmo com uma trena. O resultado gráfico de uma das tomadas de medida é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Seção submersa do ponto de coleta 1 em 17 de janeiro de 2012



Fonte: do autor.

Paralelo às tomadas de medida de vazão acima apresentadas, foram solicitados dados pluviométricos da estação meteorológica da Fepagro Litoral Norte, junto a CemetRS. A estação está localizada nas planícies do município de Maquiné, a aproximadamente 10 km da área de estudo.

3.3 Coleta das amostras de água + sedimentos

O método de amostragem de sólidos em suspensão utilizados neste estudo e rotineiramente em trabalhos científicos é o método pontual de integração na vertical (Metodologia Clássica). Esta técnica permite a obtenção da concentração e da granulometria média na vertical do canal, permitindo a determinação da concentração média dos sólidos em suspensão. O amostrador move-se verticalmente em velocidade constante entre a superfície até poucos centímetros do leito, permitindo assim a entrada da água em velocidade praticamente idêntica a velocidade da corrente naquele ponto. Para que a velocidade de entrada da amostra seja igual a velocidade da corrente é necessário que o bico do amostrador fique na posição horizontal e o tempo de amostragem deve ser calculado conforme a Equação 2 (CARVALHO et al. 2000).

$$\text{Equação} \quad V_t = 0,4.V_m \quad (2)$$

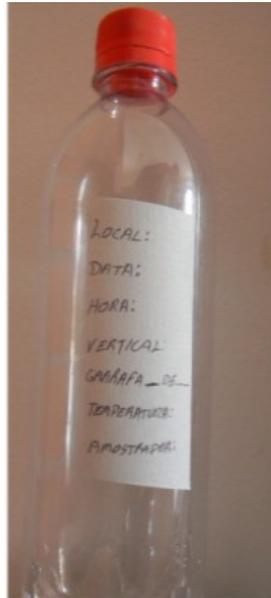
Sendo:

V_t = Velocidade máxima de trânsito do amostrador

V_m = Velocidade média da corrente na vertical de amostragem

A otimização da amostragem é de fundamental importância. Deve-se encher a garrafa o máximo possível. Considerando que ela fique inclinada, o volume total amostrado deverá conter em torno de 400 ml do total de 500ml da garrafa e poderá por vezes ultrapassar o tempo determinado na equação. Os frascos de coleta são identificados com a data, o local de coleta, a hora, a vertical amostrada, o número de verticais, a temperatura, o nome do amostrador e por fim é marcado o nível da água na garrafa (FIGURA 4) (CARVALHO et al. 2000).

Figura 4: Garrafa de armazenamento de amostras e os dados de identificação²⁷



Fonte: do autor.

Os equipamentos utilizados no Brasil para a amostragem de integração vertical são os amostradores USDH-48, USDH-59, US-D-43 e US-D-49, sendo escolhidos para a utilização segundo a profundidade do leito onde se deseja trabalhar (CARVALHO et al, 2000).

Tendo em vista a indisponibilidade de um amostrador para a realização do estudo, este foi selecionado e construído conforme as especificações presentes no Guia de Práticas Sedimentométricas de Carvalho et al (2000), distribuído pela Agência Nacional de Energia Elétrica e nas especificações apresentadas por Carvalho (2008), no livro Hidrossedimentologia Prática. A construção do equipamento é apresentada no Capítulo 3.3.1.

A campanha de amostragem dos sedimentos em suspensão foi portanto, realizada utilizando o amostrador caseiro (FIGURA 5) com volume de 0,5 litros e bico de abertura de $\frac{1}{4}$ de polegada, que segundo Carvalho et al. (2000) é utilizado para baixas velocidades de corrente. A amostragem começa na superfície do leito até 9 centímetros do fundo (limitações do amostrador), integrando a coleta a cada 2 metros a partir do centro do canal para as duas margens. Para os pontos do rio onde a largura do canal é inferior a 7 metros foram adotadas três verticais de coleta

sendo uma no centro e outras duas na distância média até a margem, para ambos os lados.

Figura 5: Amostrador de água + sedimentos em operação

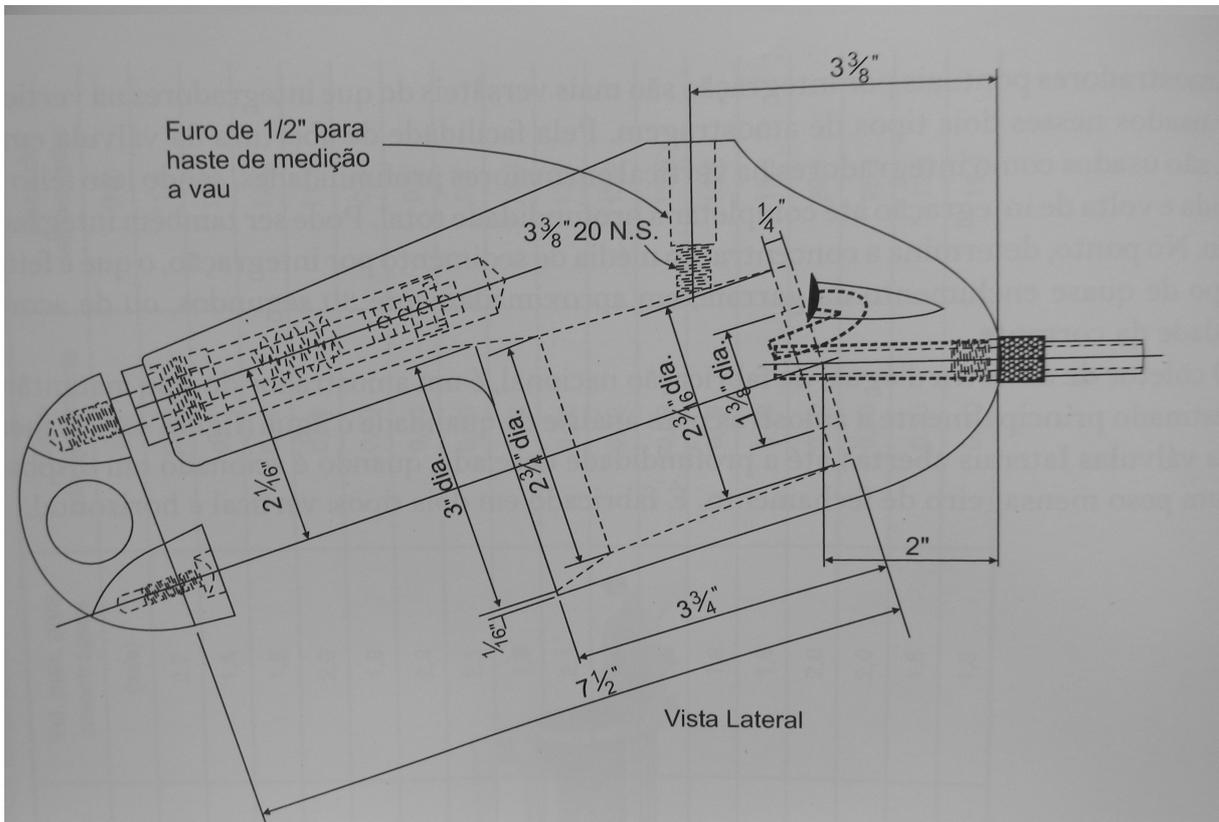


Fonte: do autor.

3.3.1 Procedimentos para a construção do amostrador

O amostrador USDH-48, indicado para pequenas profundidades, é construído em forma hidrodinâmica, tendo haste para operação em profundidades de até 2,7m e uso em coleta por integração na vertical em dois sentidos. Têm bico com diâmetro de $\frac{1}{4}$ de polegada, comprimento de 32 centímetros, distância do bico ao leito de 9 centímetros, garrafa com capacidade de 0,5 litro conforme indicado na Figura 6 (CARVALHO et al., 2000). Portanto atende as premissas necessárias para a realização do presente estudo.

Figura 6: Especificações do amostrador USDH-48



Fonte: Carvalho (2008).

Para a construção de um amostrador com as características citadas foram utilizados uma garrafa de aço inox com capacidade de 0,5 litro, um cano de cobre com diâmetro interno de $\frac{1}{4}$ de polegada, mangueira flexível com diâmetro interno de $\frac{1}{4}$ de polegada, solda plástica, suporte para caramanhola (cantil) de bicicleta, chapa metálica, barra roscada, fita de guidom de bicicleta, arruelas, porcas e parafusos para fixação (FIGURA 7).

Figura 7: Materiais utilizados na garrafa do amostrador



Fonte: do autor.

O primeiro passo para a construção do amostrador é a perfuração da tampa da garrafa, onde devem ser introduzidas a mangueira flexível e o cano de cobre, de modo que o cano de cobre fique na posição horizontal e a 9 centímetros acima da extremidade inferior do amostrador. A mangueira flexível foi inserida no mesmo furo onde é inserido o amostrador, estando posicionada em pontos mais altos do que o bico, garantindo o livre fluxo de ar, como apresenta a Figura 8.

Figura 8: Furo feito na tampa da garrafa e regulagem do ângulo

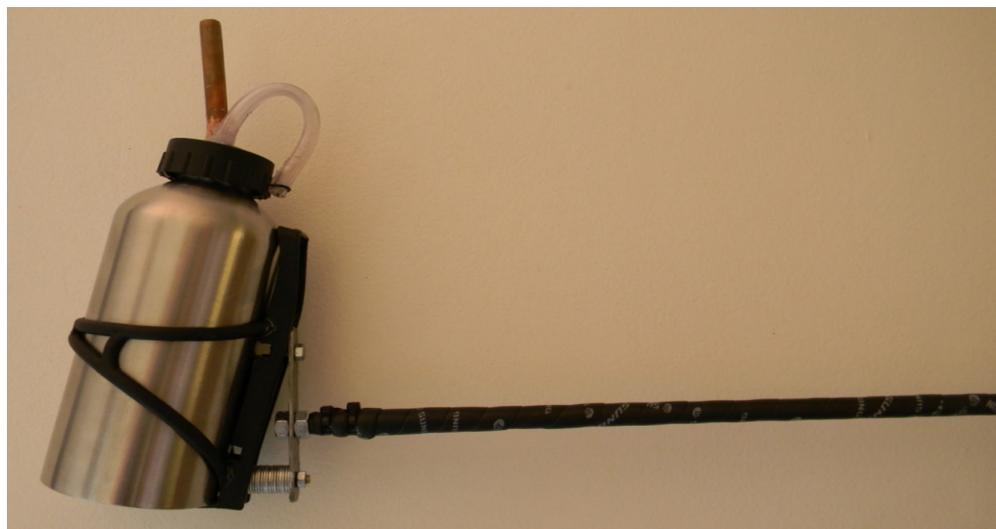


Fonte: do autor

Após estes procedimentos a garrafa do amostrador está pronta, o bico e o respiro estão posicionados, restando apenas ser feito o cabo. Para fazer o cabo é utilizado um suporte de caramanhola de bicicleta, uma chapa metálica furada, arruelas, parafusos, barra roscada, porcas e uma fita de guidon de bicicleta.

A garrafa do amostrador é inserida no suporte de caramanhola, e posteriormente o suporte é fixado à chapa metálica por meio de parafusos e regulado o ângulo horizontal do bico por meio das arruelas. Por fim, utilizando duas porcas é fixada a chapa metálica na barra roscada revestida com a fita de guidon conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Amostrador pronto para o uso



Fonte: do autor.

3.4 Análise das amostras

A análise das amostras foi realizada conforme a metodologia proposta por Carvalho (2008). Primeiramente foi realizada a filtração da água+sedimentos com o objetivo e determinar a massa de sólidos presente nas amostras.

Para a separação da água e do sedimento as amostras passaram pelo sistema de filtração a vácuo Sartorius Stedim, utilizando filtros de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm e aferido o volume líquido de cada amostra em proveta graduada. Posteriormente os filtros foram colocados em um pequeno recipiente côncavo de vidro com formato semi-circular (vidro relógio) e colocados em estufa a temperatura de 100°C por um período de uma hora, com o objetivo de eliminar toda a água presente na amostra (FIGURA 10).

Figura 10: Sistema Sartorius (esquerda), filtros em estufa (direita)



Fonte: do autor.

O peso dos filtros de acetato de celulose utilizados na filtração são submetidos a estufa antes e após a filtração. O volume de sedimentos contidos no mesmo é determinado pela diferença de massa apresentada entre o peso do papel filtro isento de umidade antes e depois da filtração, valor este obtido com o uso de uma balança analítica. O volume de sedimentos em g/l de cada amostra é obtido através da divisão da massa sólida da amostra em gramas pelo volume de água em litros.

3.5 A concentração e o cálculo do transporte total de sedimentos

A obtenção da concentração dos sedimentos contidos em cada amostra coletada é determinada em laboratório, dado pela massa total de sedimentos contidos nos filtros em gramas e o volume líquido em ml de cada amostra. O produto

da divisão da massa sólida em gramas dividido pelo volume líquido em litros, resulta na concentração de sólidos em g/l.

Para se determinar o transporte total de sedimentos em suspensão foi utilizada a metodologia simplificada de Colby (1957), utilizada nos trabalhos de Carvalho (2007) e Vanoni (1977), indicado na literatura de Carvalho (2008). Neste método utiliza-se as variáveis, tempo (s), vazão (m^3/s) e a média da concentração total do canal de sedimentos (mg/l). O produto destas três variáveis resulta no transporte de sedimentos em toneladas ao dia, conforme a Equação 3.

$$\text{Equação} \quad \quad \quad \mathbf{Q_{ss} = 86400 \times Q \times C = (\text{ton/dia})} \quad \quad \quad (3)$$

Sendo:

Q = descarga líquida em m^3/s (vazão);

C = concentração de sedimentos em mg/l;

86400 = segundos totais em 24 horas;

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

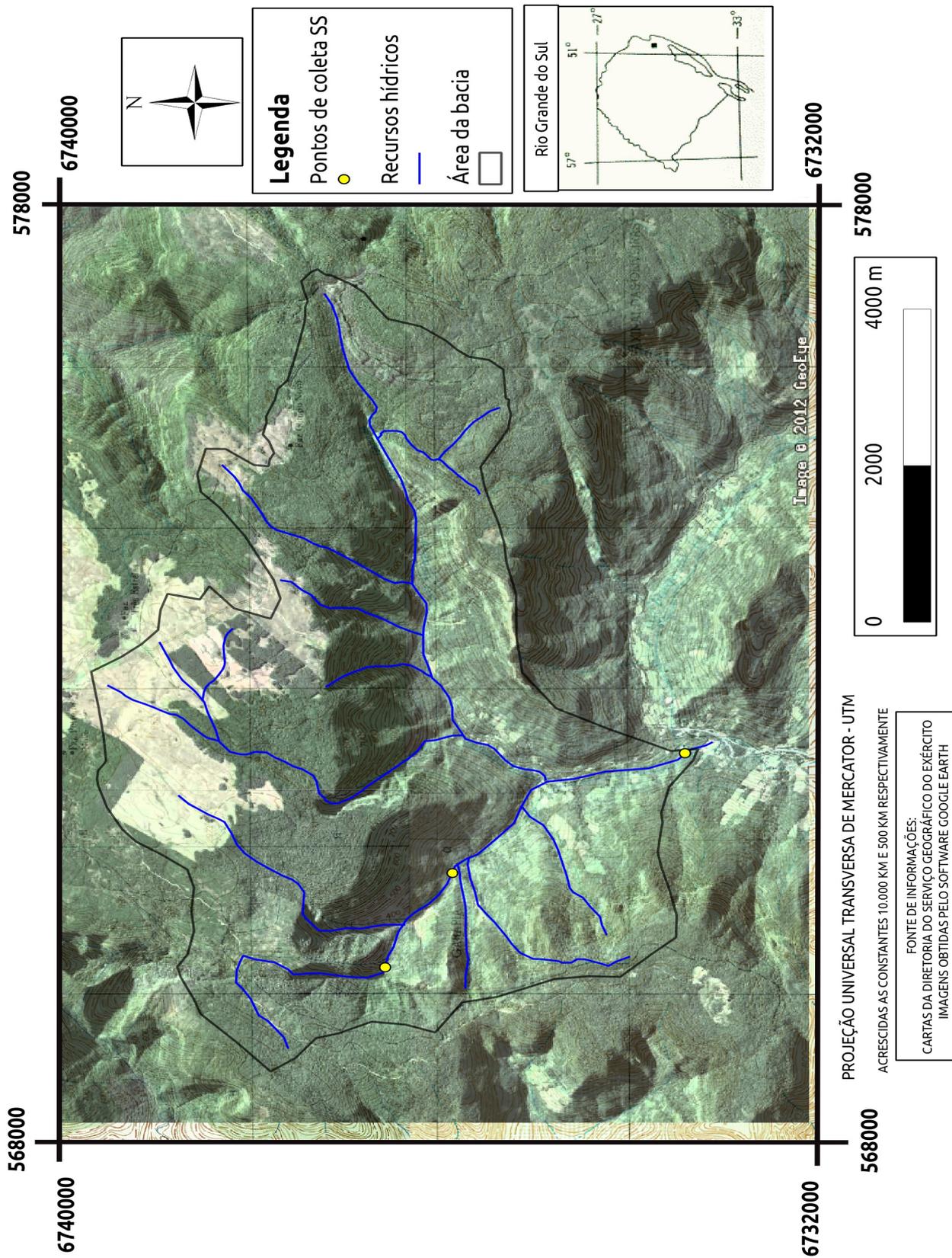
Neste capítulo são apresentadas as informações obtidas a partir da aplicação das metodologias acima descritas e as discussões pertinentes a estes resultados. O capítulo foi dividido no mapeamento e caracterização da área e nos dados hidro sedimentares.

4.1 Mapeamento e caracterização da área

Este capítulo inicia apresentando os dados cartográficos gerados no mapeamento da área e posteriormente apresentará o produto da pesquisa bibliográfica para a área de estudo e seus entornos.

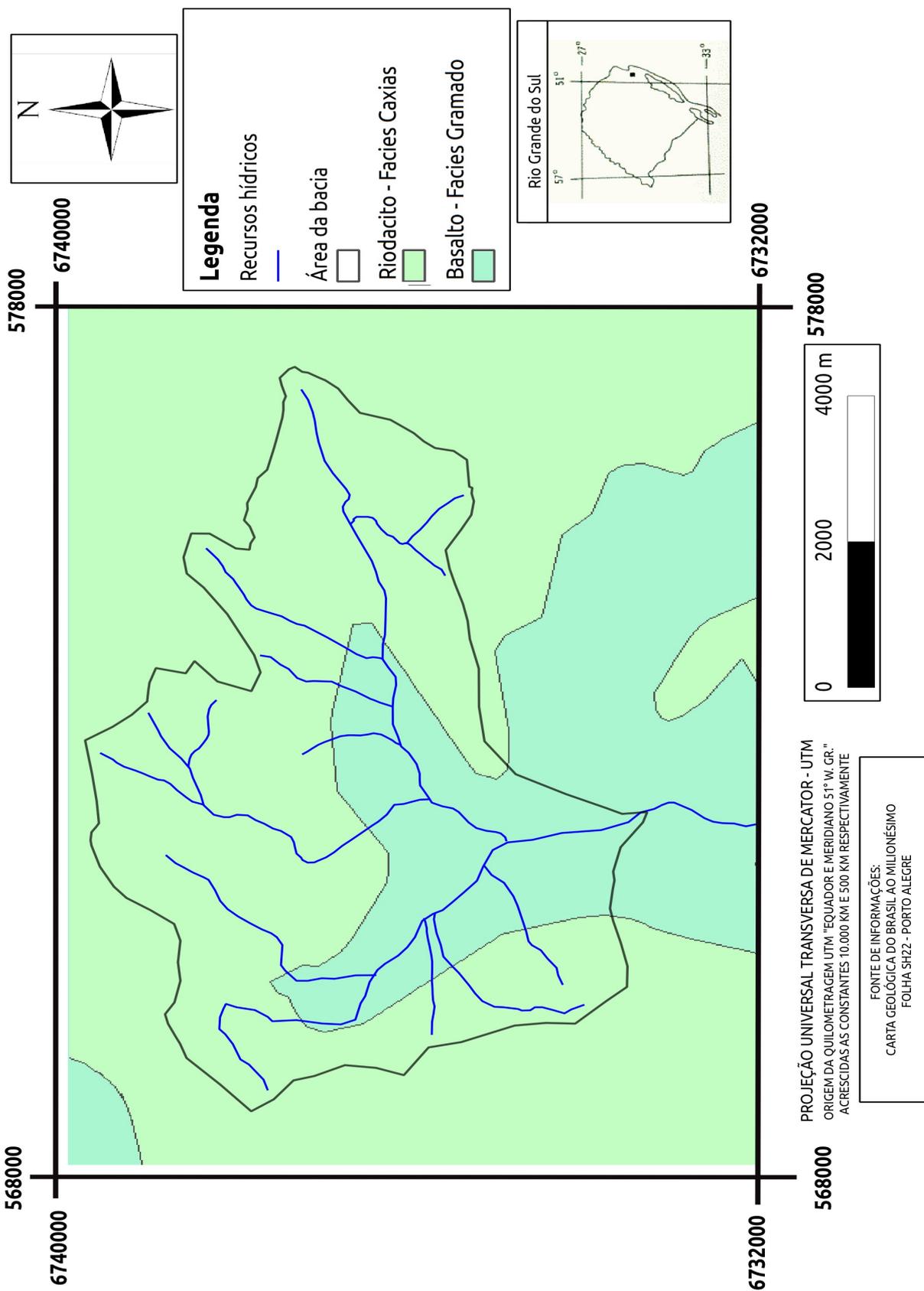
As informações obtidas com o mapeamento foram o georreferenciamento da área, a área de drenagem da bacia em estudo, a geologia, a litologia e a configuração dos recursos hídricos. Além disso parte destas informações foram tomadas como base metodológica para a escolha dos pontos de amostragem dos sedimentos em suspensão.

Os mapas gerados são apresentados nas Figuras 11, 12 e 13.



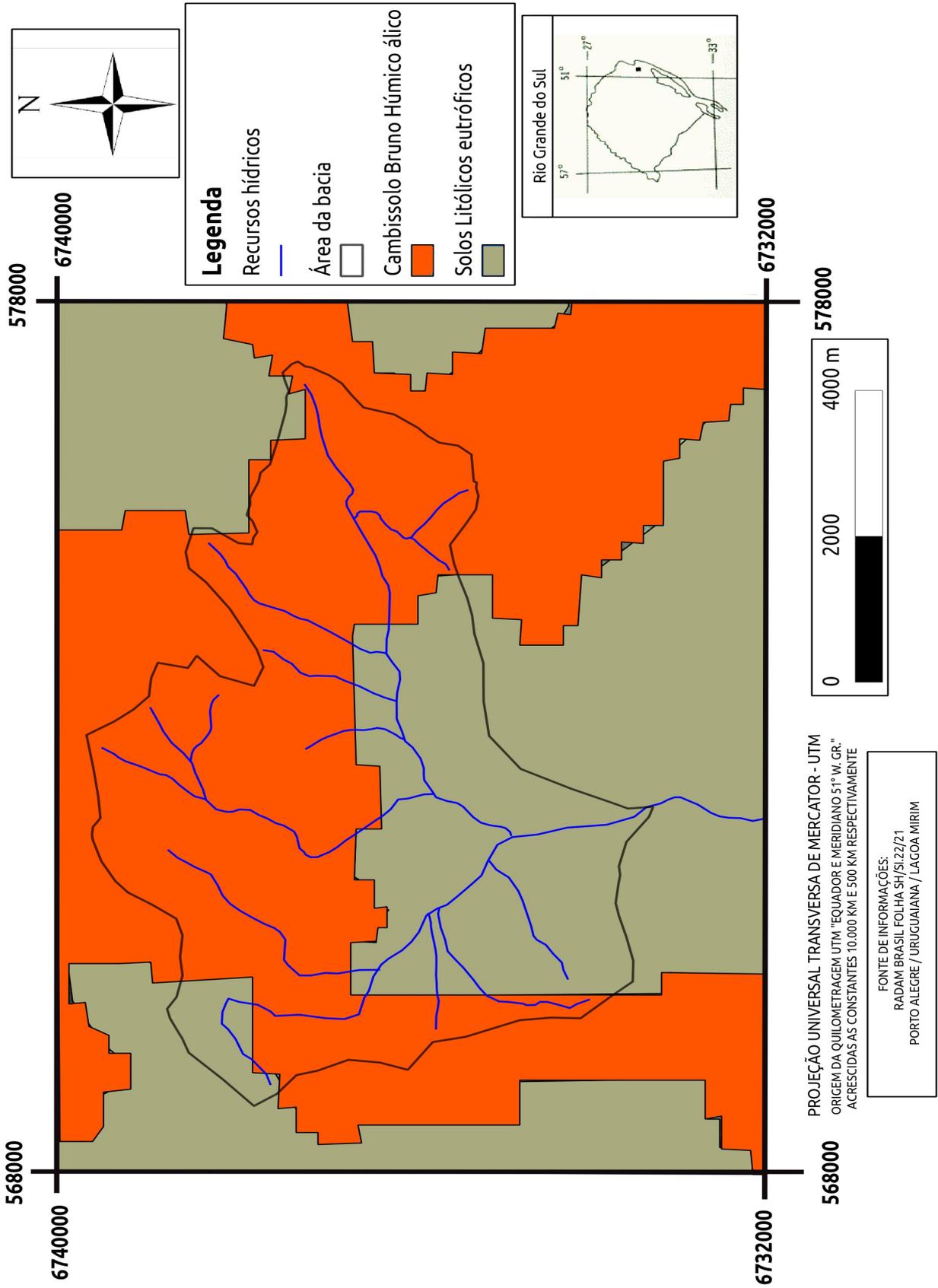
Fonte: do autor.

Figura 12: Mapa geológico da área de estudo



Fonte: do autor.

Figura 13: Mapa exploratório dos solos da bacia



Fonte: do autor.

A microbacia do Arroio Garapiá está situada na região do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, percorre uma área escarpada e íngreme chamada Serra Geral e está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Maquiné. Pertence a rede hidrográfica do rio Tramandaí, que por sua vez limita-se ao norte com o município de Torres, ao sul com os municípios de Cidreira e Pinhal, ao leste com o oceano Atlântico e a oeste com a Serra Geral. Este sistema hídrico é responsável pelo abastecimento de água de toda a região litorânea norte do estado. (MARCUIZZO, 1998; FLEIG, 2008)

A microbacia localiza-se no interior do município de Maquiné, na Linha Garapiá (Planície Litorânea) e em pequena porção territorial no município de São Francisco de Paula (Planalto Sul Brasileiro ou Planalto das Araucárias), onde estão presentes algumas nascentes.

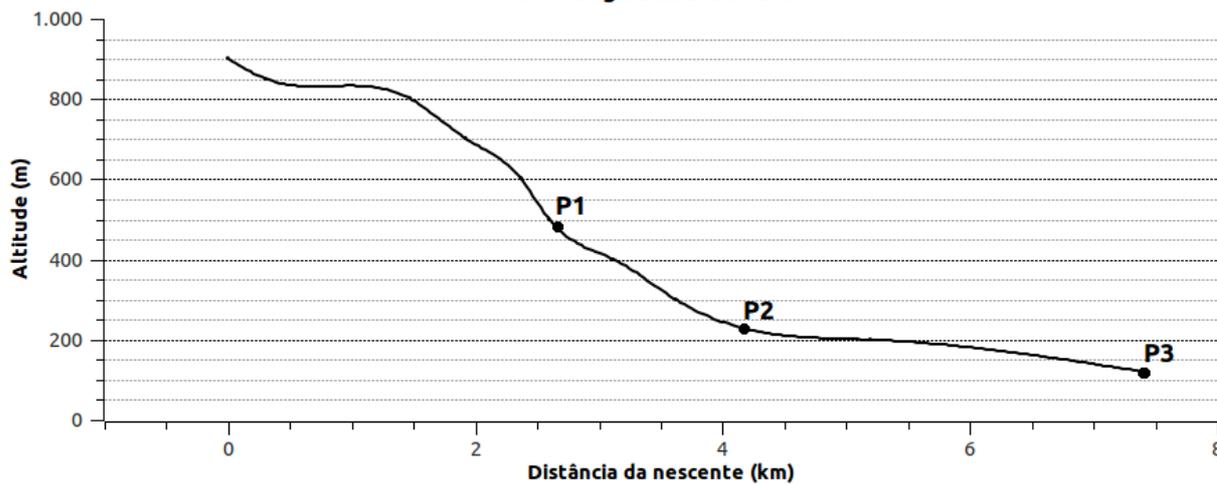
A área de estudo é referenciada pelas coordenadas E 568000 a 578000 e N 6732000 e 6740000 (fuso 22s) datum Córrego Alegre. A microbacia tem uma área de drenagem de aproximadamente 36 km² (FIGURA 11). As nascentes situadas nos pontos mais altos da bacia de drenagem estão localizadas no município de São Francisco de Paula a cerca de 935 metros de altitude e sua foz localizada no município de Maquiné, no arroio Forqueta a 129 metros. Os cursos da água percorrem um platô de rochas ígneas basálticas, com vales em forma de “V”, apresentando características típicas de rios de montanha (PEROTTO apud HORN FILHO, 1987).

Através do lineamento do curso da água de primeira ordem da bacia e as cotas de altitude do mapa é delimitado o perfil transversal do canal, que representa a declividade média do leito ao longo do trajeto percorrido pela drenagem (FIGURA 14).

Ressalta-se que o perfil longitudinal consiste em uma simplificação da trajetória do rio através das cotas de altitude, elaborado a partir das informações obtidas no mapeamento, sendo utilizado como referência para análise. Porém existem áreas com maior e menor declividade ao longo da trajetória. Em observações no campo nota-se que nas áreas mais altas da bacia existe uma

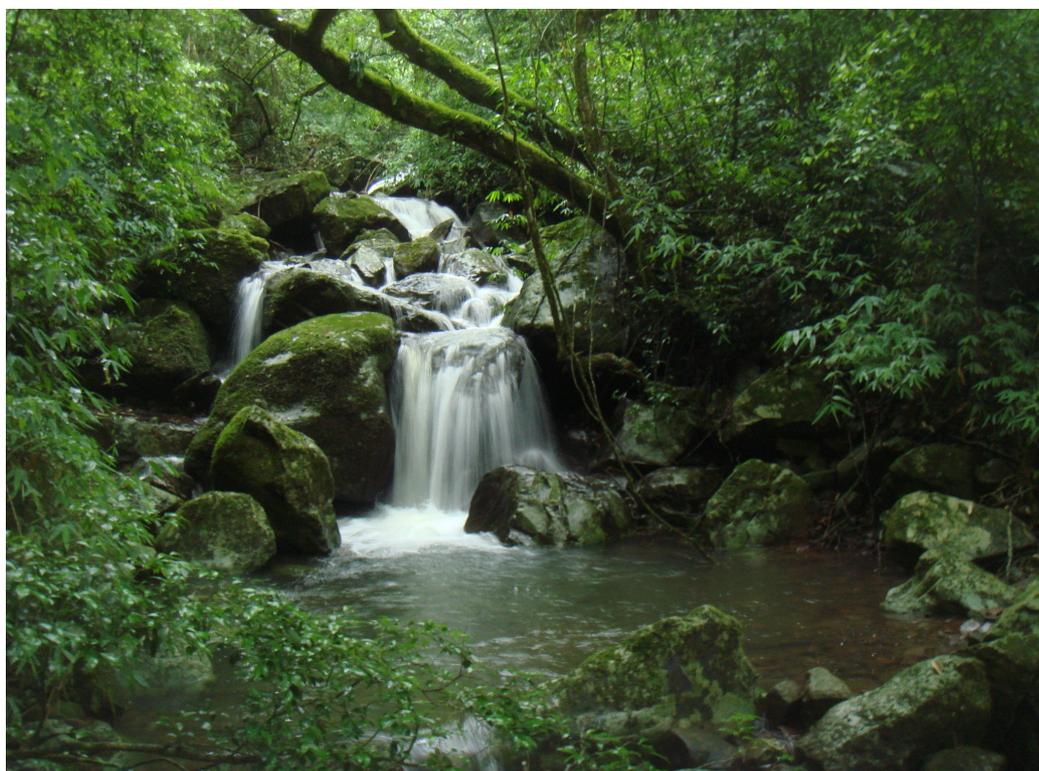
configuração semelhante a uma escada, contendo diversas quedas da água no percurso (FIGURA 15).

Figura 14: Perfil longitudinal do arroio de primeira ordem
Perfil longitudinal do canal 1



Fonte: do autor

Figura 15: Queda da água próxima ao ponto de coleta 1



Fonte: do autor.

Geologicamente a bacia situa-se sobre um enorme revestimento basáltico com camadas alternadas de basalto e riodacito denominado Serra Geral, integrante do grupo São Bento da Bacia do Paraná, que inclui arenitos fluvio-eólicos da Formação Botucatu. A formação Serra Geral surgiu no período jurássico, a cerca de 120 milhões de anos em um evento distensivo que ocasionou uma das maiores ocorrências de vulcanismo de platô identificados sobre o globo e culminou o rompimento do megacontinente Gondwana e o surgimento do Oceano Atlântico (FLEIG, 2008; ROSEINBERG, 1988).

Os domínios geológicos que cobrem a área da bacia, segundo informações levantadas no mapeamento, demonstram que 25,96 km² são cobertos pelas rochas ácidas chamadas riodacito da unidade Caxias e quase em mesma proporção por Cambissolos Bruno Húmicos Álicos. O restante, cerca de 10,04 km² são cobertos pelos basaltos da unidade Gramado e em semelhante proporção pelos solos Litólicos Eutróficos, dentro das cotas de menor altitude.

O Cambissolo Bruno Húmico álico compreende solos minerais, não hidromórficos, com presença de horizonte B incipiente sob um horizonte superficial com grande acúmulo de matéria orgânica. São solos típicos de altitude e ocupam uma grande porção do Planalto dos Campos Gerais (Planalto das Araucárias) (IBGE, 1986). Os solos Litológicos Eutróficos são constituídos da associação denominada Ciríaco-Charrua, possui solos originados a partir de rochas basálticas de origem vulcânica, com textura média, relevo montanhoso e substrato basáltico amigdalóide (IBGE 1986).

O clima da região segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfa ou subtropical úmido com verão quente. A temperatura média anual é de 19,9°C, a precipitação pluviométrica anual varia em torno de 1.731mm e apresenta distribuição bastante uniforme durante o ano. Os dados possuem origem na estação climatológica da FEPAGRO – Maquiné, localizada nas áreas planas do município, porém a suposição é de que a precipitação pluviométrica nas áreas de encosta, onde está localizada a área de estudo, seja maior (PEROTTO, 2007).

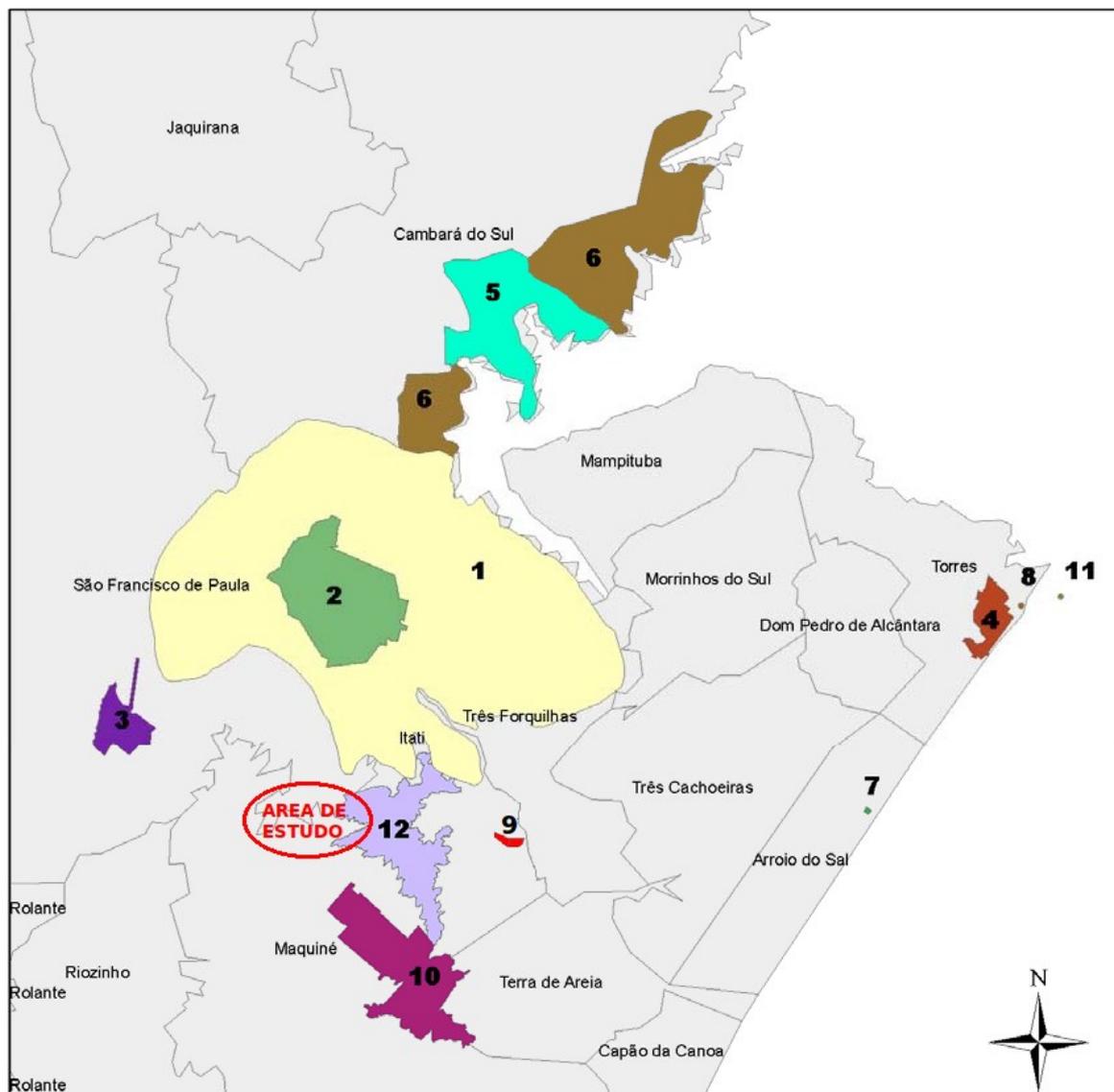
Os aspectos climáticos aliados a qualidade ambiental da região resultam em uma grande diversidade de espécies de fauna e flora. Esta região faz parte do extremo meridional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e ecossistemas associados, apresentando grandes áreas cobertas por vegetação nativa em bom estado de conservação e grandes incentivos a pesquisa científica e a conservação da natureza (BECKER, 2002).

Inserida em uma zona preservada do bioma Mata Atlântica, que foi apontado em pesquisas feitas por especialistas da *Conservation International*, como um dos 25 “Hotspots mundiais”, ou seja, uma das zonas prioritárias para conservação da biodiversidade no Planeta (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002). É classificado como o quinto bioma mais ameaçado e rico em espécies endêmicas dentre os 25 “Hotspots”. Estimativas apontam que o bioma abriga 261 espécies de mamíferos, 340 de anfíbios, 192 espécies de répteis, 1.020 espécies de aves, sendo que 578 espécies só ocorrem nesse bioma, além de 20.000 espécies de plantas vasculares, das quais 8.000 são endêmicas (VIEIRA, 2007).

Próximas a área de estudo existem diversas áreas de conservação (FIGURA 16), que geograficamente integram uma rede regional de áreas protegidas. Entre elas estão a Reserva biológica da Serra Geral, a Estação Ecológica de Aratinga, a Reserva Biológica da Mata Paludosa, a Área de Proteção Ambiental Rota do Sol, Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Parque Nacional dos Aparados da Serra e o Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata PUC/RS, na qual estão inseridas algumas nascentes da microbacia em estudo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002; VIEIRA, 2007).

Figura 16: Área de estudo e algumas unidades de conservação próximas

Algumas Unidades de Conservação do litoral norte do Estado do RS



0 2,5 5 10 15 20
km

Legenda

Unidades de Conservação

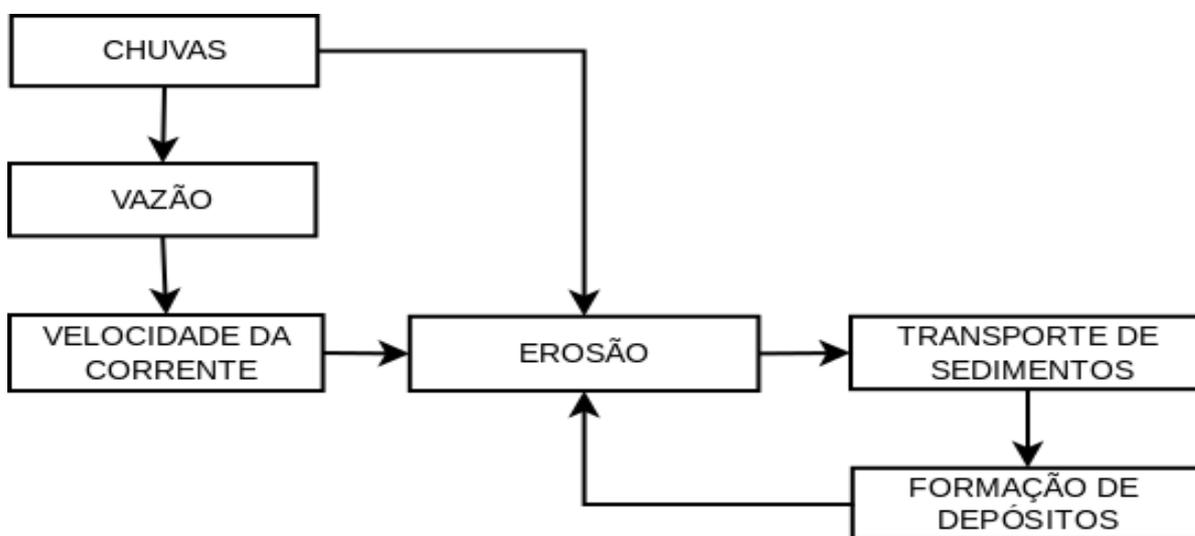
	1- APA Rota do Sol		6- Parque Nacional de Aparados da Serra
	2- Estação Ecológica Estadual Aratinga		7- Parque Natural Municipal Tupancy
	3- FLONA de São Francisco de Paula		8- Parque da Guarita
	4- Parque Estadual de Itapeva		9- Reserva Biológica Est. Mata Paludosa
	5- Parque Nacional da Serra Geral		10- Reserva Biológica da Serra Geral
			11- Reserva Ecológica da Ilha dos Lobos
			12 Pró-Mata PUC

Fonte: modificado de Vieira (2007).

4.2 Dados hidro-sedimentares

Os dados hidrológicos e sedimentares obtidos apresentam uma correlação direta entre a ocorrência de evento chuvosos, na vazão e na velocidade do fluxo hídrico do arroio, na erosão, no transporte e na deposição dos sedimentos, conforme é apresentado na Figura 17.

Figura 17: Diagrama dos processos envolvidos com o transporte de sedimentos



Fonte: do autor.

Durante o período do estudo foi observada uma grande variação nos índices pluviométrico da região onde foi realizado o estudo. Porém segundo Perotto (2007) a precipitação na região de Maquiné mantém média praticamente constante durante o ano, o que caracteriza um período atípico para a região.

A Tabela 1, apresenta a variação da precipitação ocorrida no período de estudo comparada com a média histórica da região. Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao Centro Estadual de Meteorologia e a média histórica junto ao Atlas Climático do Rio Grande do Sul.

Tabela 1: Precipitação histórica e precipitação ocorrida no período do estudo

Mês	Precipitação média	Precipitação em 2012	Varição
Janeiro	165,3	311,8	+146,5
Fevereiro	181,6	159	-22,6
Março	110,9	64	-46,9
Abril	108,5	39,3	-69,2

Fonte: CemetRS, Estação Climatológica da Fepagro Litoral Norte (Maquiné/RS).

Com base nestes dados, é possível afirmar que os regimes pluviométricos no período de estudo foram extremos. No mês de janeiro o volume de chuvas foi 88% superior a média histórica, no mês de fevereiro se manteve-se próximo dela, em março somou somente 57,7% da média e em abril diminuiu ainda mais, atingindo somente 36,2% da média. A pluviometria diária é apresentada na Figura 18.

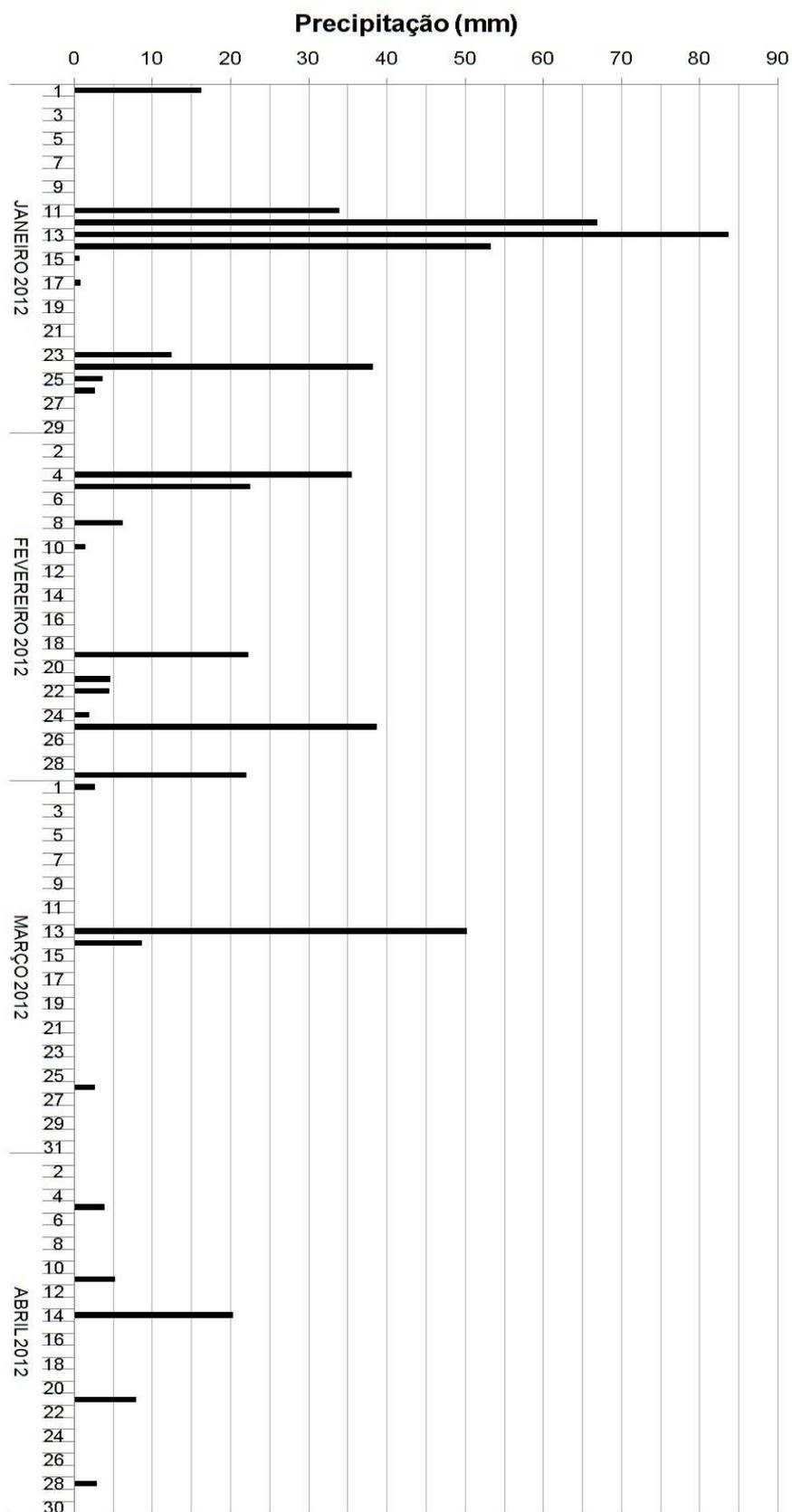
No mês de janeiro de 2012 ocorreram dois eventos chuvosos. O primeiro foi de maior proporção e acumulou 238,8mm, ocorrendo do dia 11 ao dia 17. O segundo evento, de menor intensidade, ocorreu do dia 23 ao dia 26 e acumulou 56,6mm. Ao final do primeiro evento chuvoso, no dia 17 do mês de janeiro foi realizada a primeira campanha de coleta de dados deste estudo.

A precipitação no mês de fevereiro se caracterizou por fenômenos de pequena intensidade, bastante distribuídos ao longo do mês. Foi realizada uma coleta de dados no dia 22 e nesta coleta a influência de precipitação pode ser associada com as precipitações ocorridas nos dias 19, 21 e 22 que, somadas, chegaram a 30,2mm.

A coleta de dados de março foi realizada no dia 18 sendo que neste mês houve somente um evento chuvoso significativo nos dias 13 e 14, que somaram 58,8mm dos 64mm ocorridos no mês influenciando os dados coletados no dia 18.

Para o mês de abril não foram registrados grandes eventos pluviométricos, o maior deles ocorreu no dia 14, acumulando 20,2mm. O restante do mês foi caracterizado por eventos isolados e de pouca intensidade. A coleta de dados de abril foi realizada no dia 29, tendo como influência um evento pluviométrico que somou 2,8mm no dia 28.

Figura 18: Precipitação diária para o período de estudo



Fonte de dados: CemetRS - Estação Climatológica Fepagro

Nas campanhas de coleta de dados, verificou-se que a velocidade do fluxo hídrico e a área submersa do canal em cada ponto de coleta, têm relação com a vazão e com a concentração de sedimentos amostrada. Na coleta de janeiro a velocidade média da corrente do arroio amostrada foi de 0,86 m/s. Na coleta 2 esta média caiu para 0,24 m/s, na coleta 3 caiu novamente para 0,16 e na coleta 4 foi de 0,11m/s. Estes dados evidenciam uma diminuição na força exercida pela corrente hídrica sobre o canal, e a concentração de sedimentos respondeu diminuindo as concentrações.

A Tabela 2 apresenta os dados referentes a velocidade do fluxo e a área submersa do canal nos três pontos de amostragem.

Tabela 2: Dados de velocidade e área submersa do canal em cada ponto

Campanha	Data	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3	
		Velocidade (m/s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Área (m ²)
1	17/01/12	0,44	1,29	1,06	2,62	1,13	2,31
2	22/02/12	0,06	0,61	0,15	0,42	0,42	0,51
3	18/03/12	0,04	0,70	0,08	1,38	0,37	0,33
4	29/04/12	0,005	0,46	0,04	0,11	0,28	0,03

Fonte: do autor.

O produto da multiplicação da velocidade da corrente e a área submersa do canal em um ponto é a vazão, apresentado na Tabela 3. A vazão média entre os pontos amostrados, seguindo a mesma tendência apresentada nos dados pluviométricos, de área e velocidade do canal, caiu de 1,21 m³/s na coleta de janeiro para 0,08 m³/s na coleta de fevereiro, 0,06 m³/s em março e 0,003 m³/s em abril.

Tabela 3: Vazões nos pontos de coleta

Campanha	Data	Ponto1	Ponto 2	Ponto 3
		Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
1	17/01/12	0,45	1,06	2,31
2	22/02/12	0,03	0,05	0,17
3	18/03/12	0,02	0,08	0,10
4	29/04/12	0,002	0,005	0,008

Fonte: do autor.

Os dados sedimentométricos obtidos a partir das amostras de água+sedimentos coletados em campo, segue a tendência dos regimes de vazão. A campanha de coleta 1, foi a mais significativa na concentração de sólidos por litro, seguida pela coleta 3, coleta 2 e a coleta 4 respectivamente.

A Tabela 4 apresenta a concentração e o transporte de sedimentos calculado a partir dos dados hidrológicos e da concentração de sedimentos de cada amostra.

Tabela 4: Concentração e razão do transporte de sólidos em suspensão ao dia

Campanha	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3	
	Concentração (mg/l)	Transporte (kg/dia)	Concentração (mg/l)	Transporte (kg/dia)	Concentração (mg/l)	Transporte (kg/dia)
1	4,2	164,5	5,3	485,1	5,0	994,0
2	2,2	5,6	1,4	6,0	0,9	12,7
3	3,4	7,9	2,8	19,1	2,5	21,9
4	1,1	0,2	0,6	0,2	0,5	0,3

Fonte: do autor.

Pode-se observar a partir dos dados de vazão que, quanto maior for a vazão, maior é a concentração de sedimentos por litro de água. Porém, na coleta 3 observou-se maior concentração do que é apresentado na campanha 2, com menor vazão envolvida. Estes resultados podem estar relacionados com os dados pluviométricos do dia 13 de abril que acumulou uma precipitação de 50,2 mm

seguido de 8,6 mm no dia 14 e desta data até a data da coleta de dados, dia 18, não houve precipitação.

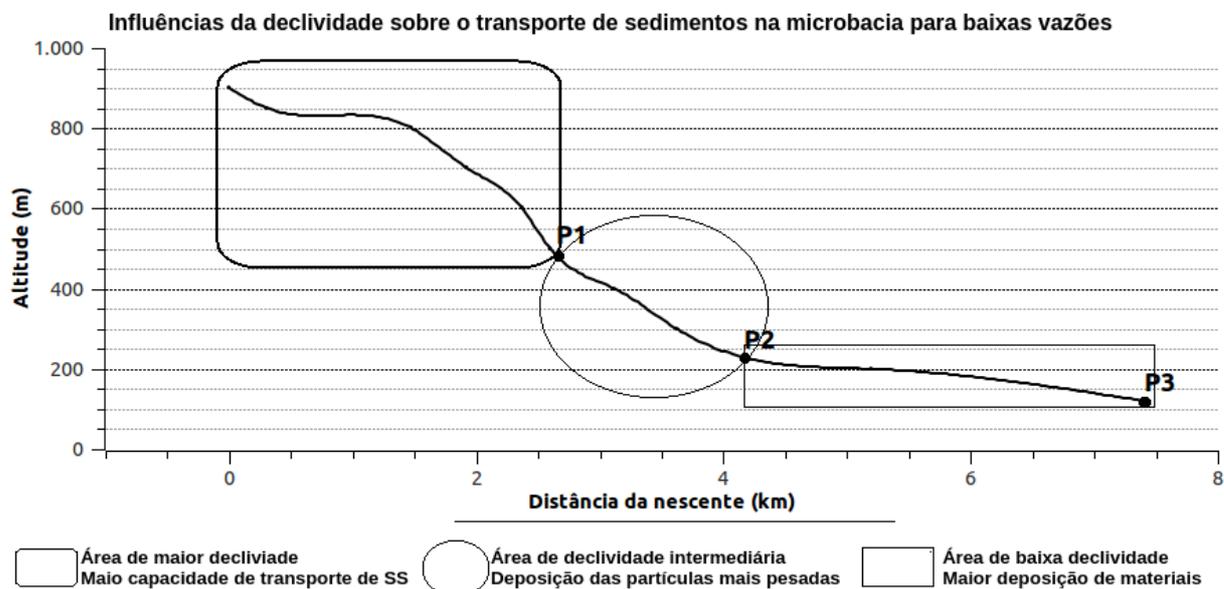
Na coleta 2, realizada em 22 de fevereiro, ocorreram eventos pluviométricos de menor intensidade. No dia 19 a precipitação foi de 22,2mm, no dia 20 foi nula, no dia 21 foi de 4,6mm e no dia da coleta 4,4mm. Porém estes fenômenos pluviométricos provavelmente não tiveram a mesma competência erosiva do que a precipitação envolvida na coleta de 13 de abril.

Ainda com base nos dados apresentados na Tabela 3, as campanhas de coleta 2, 3 e 4, que apresentavam vazões relativamente baixas, a concentração é maior no ponto de amostragem 1, seguida por uma diminuição no ponto 2 e diminuindo ainda mais no ponto 3.

No ponto de amostragem 1 o gradiente enérgico do arroio é mais alto e a tensão de cisalhamento sobre as partículas do leito é maior, o que aumenta a competência do arroio em manter e transportar partículas mais pesadas. Nota-se que no ponto 2 a concentração diminui, e se analisada a Figura 14, nota-se que também diminui o gradiente enérgico e por isso as partículas maiores tendem a se depositar, mantendo-se em suspensão, as partículas de menor granulometria. Por fim, no ponto 3, as concentrações diminuem ainda mais e podem ser relacionadas com um gradiente enérgico ainda menor, restando que, apenas as partículas mais leves, continuem em suspensão.

Com base nesta interpretação de dados foi elaborada a Figura 19, que ilustra o comportamento da concentração de sedimentos na água e o gradiente de declividade envolvido encontrado nas coletas 2, 3 e 4.

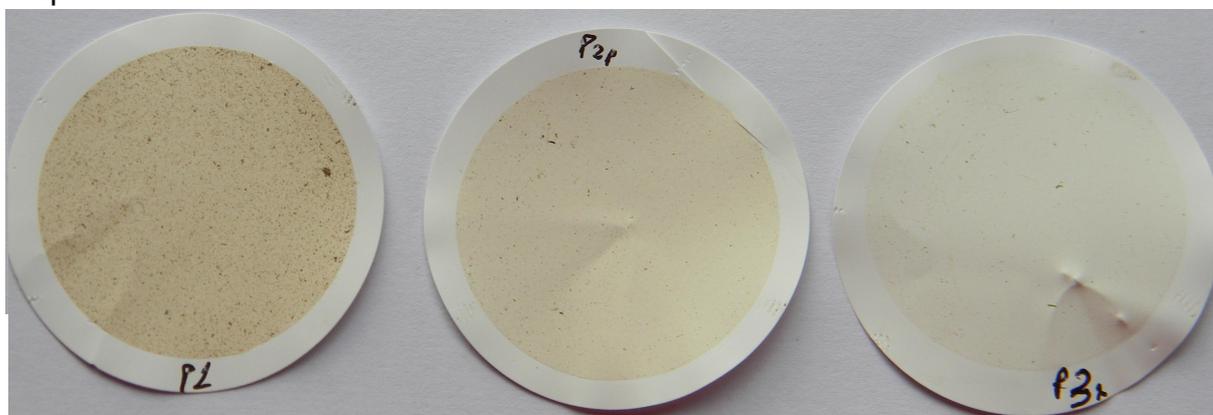
Figura 19: Influência da declividade sobre o transporte de sedimentos em baixas vazões



Fonte: do autor.

A diferença de granulometria da partículas nos diferentes pontos de coleta, amostrados na campanha de amostragem 4 pode ser observada na Figura 20, que mostra que a granulometria diminui gradualmente desde o ponto 1 até o ponto 3.

Figura 20: Filtros de análise das amostras da coleta 4, nos pontos P1, P2 e P3 respectivamente

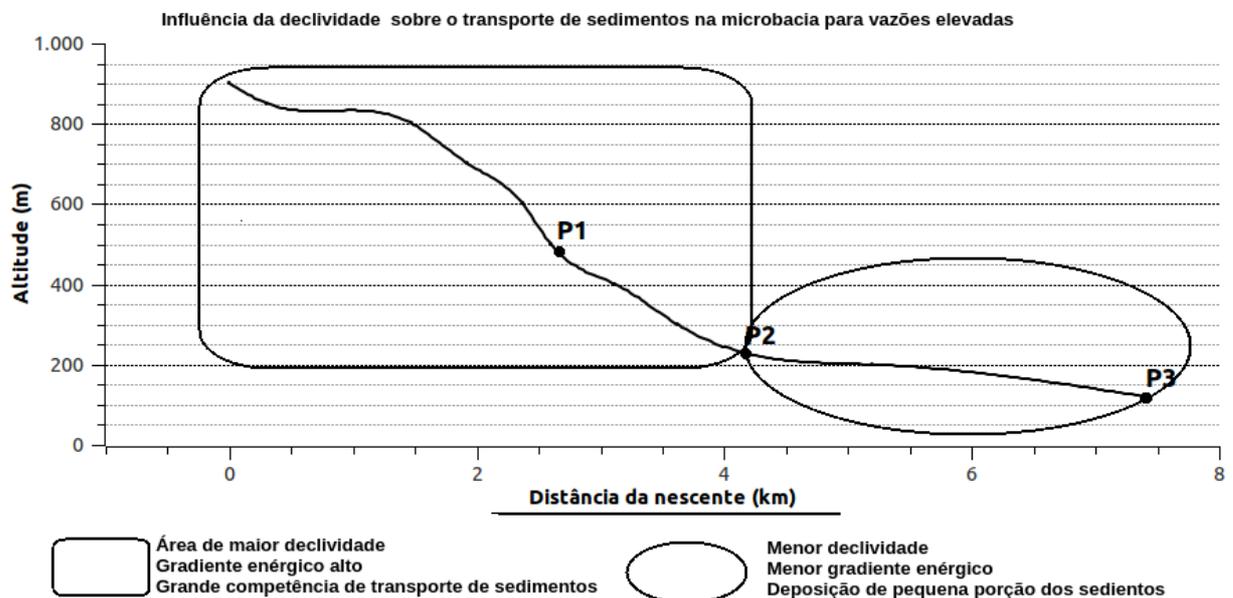


Fonte: do autor.

Quando ocorrem eventos de maior precipitação como apresentado para a campanha de amostragem 1, as vazões do arroio aumentam e conseqüentemente o gradiente enérgico da água também aumenta, aplicando maiores tensões de cisalhamento sobre as partículas. O aumento de tensão provoca a movimentação das partículas maiores, agindo sobre os depósitos de sedimentos formados nos períodos de baixa vazão, desta forma o transporte de sólidos para as áreas baixas aumenta significativamente. Outro parâmetro a ser considerado é o incremento de sedimentos trazidos pelas águas superficiais e outras drenagens para dentro do arroio.

Com base nestas informações foi elaborada a Figura 21, que apresenta o comportamento do arroio nos regimes de maior vazão.

Figura 21: Influência da declividade média sobre o transporte de sedimentos na microbacia para vazões elevadas (Coleta 1)

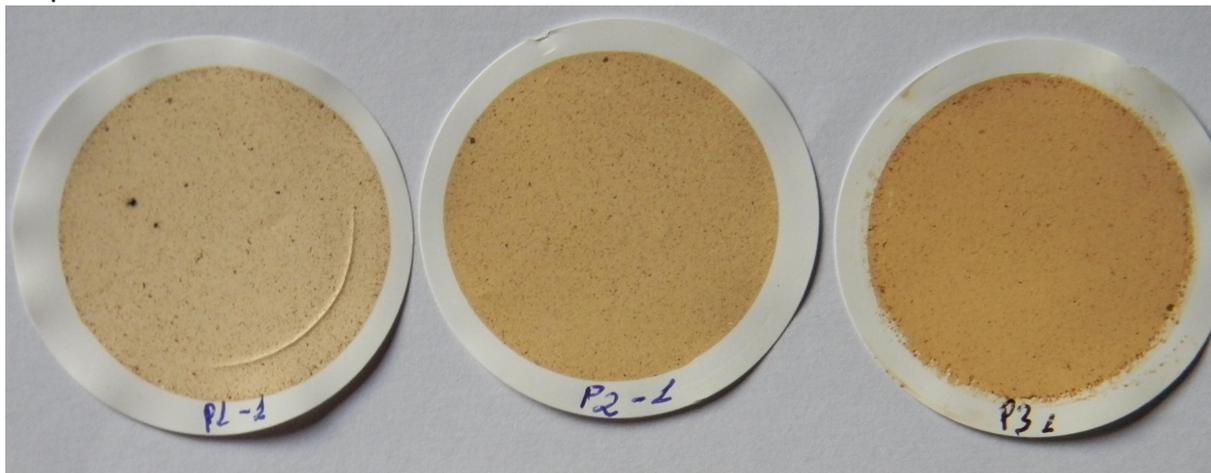


Fonte: do autor.

Também pode ser observado na Figura 22 que na campanha de amostragem 1 a granulometria dos sedimentos nos pontos de coleta não apresentam variações

significativas, evidenciando assim que estas partículas de maior granulometria foram transportadas para fora da microbacia.

Figura 22: Filtros de análise das amostras da coleta 1, nos pontos P1, P2 e P3 respectivamente

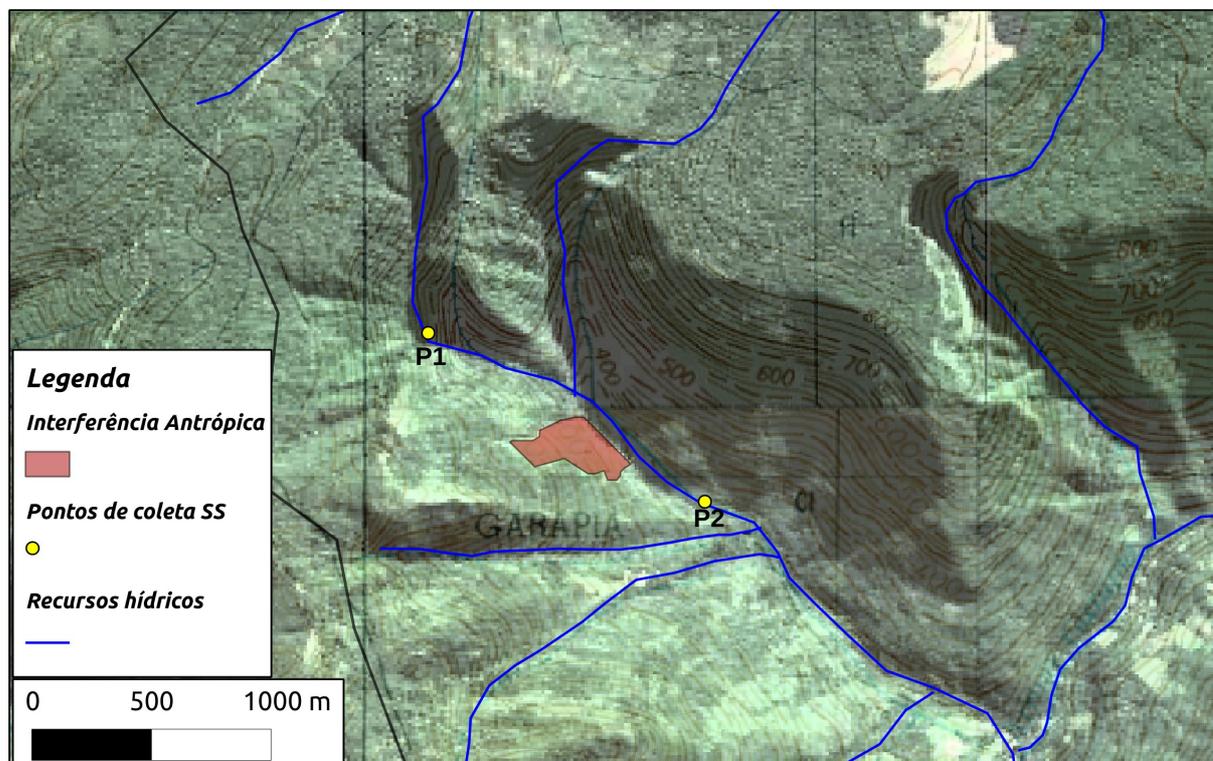


Fonte: do autor.

Ainda com relação a campanha de amostragem 1, nota-se que no ponto de coleta 2 a concentração é maior que no ponto de coleta 1. Este aumento está relacionado a erosão dos depósitos presentes no leito e no incremento de sedimentos no arroio proveniente da bacia sedimentar.

Próximo ao ponto de coleta 2, existe uma área com significativa alteração antrópica (FIGURA 23). Esta informação é levada em consideração para formular a hipótese de que a ausência de vegetação desta área pode contribuir de forma mais significativa do que a floresta no aumento da carga sólida no arroio. Porém, o presente estudo não obteve resultados que possam confirmá-la e, para tanto, são necessárias novas pesquisas e levantamentos de dados.

Figura 23: Área de alteração antrópica localizada entre os pontos de coleta 1 e 2



Fonte: do autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comprovou a eficácia da metodologia empregada, apresentando dados pertinentes com a lógica apresentada na literatura. Além disso foram utilizadas metodologias fáceis e baratas de se reproduzir, visto que o amostrador utilizado foi construído com baixíssimo custo utilizando materiais baratos e/ou reutilizados.

Na medição de vazão utilizou-se o método dos flutuadores, que é apresentado na literatura como uma alternativa para a ausência de métodos mais precisos, pois por vezes pode apresentar dados insatisfatórios. Porém, para o presente estudo, o método se apresentou bastante satisfatório, devido, talvez, às baixas vazões do arroio na maioria das campanhas de coleta realizadas, o que facilita a determinação precisa da área submersa do arroio e a otimização dos dados de velocidade pelo uso dos flutuadores.

O estudo teve êxito em apresentar parte da dinâmica envolvida com o transporte de sedimentos em uma área de Mata Atlântica preservada. Estudos deste gênero são raros na literatura, estando a maior parte envolvidos com a questão das barragens e a vida útil das mesmas.

Estudos complementares são necessários para um melhor entendimento do comportamento hidro-sedimentológico do local, porém, o prazo deste estudo teve

início e término no primeiro semestre de 2012, período caracterizado pelos baixos volumes de precipitação. Estas condições resultaram em um maior detalhamento dos regimes de baixas vazões pois somente uma campanha de amostragem, a do mês de janeiro, apresentou vazão de maior intensidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, Fernando G. **Distribuição e abundância de peixes e suas relações com características de habitat local, bacia de drenagem e posição espacial em riachos de Mata Atlântica (bacia do rio Maquiné, RS, Brasil)**. Tese de doutorado em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos (PPG-ERN/UFSCar), São Paulo . 201p. 2002.

BICALHO, Cristina C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2006.

BRASIL. Diretoria do Serviço Geográfico do Brasil. Ministério do Exército Brasileiro. Folha SH-22-X-C-II-3 MI-2955/3 – **Tainhas** – Porto Alegre – 1980.

Folha SH-22-X-C-II-4 MI-2855/4 – **Aratinga** – Porto Alegre – 1980.

Folha SH-22-X-C-V-1 MI-2972/1 – **Barra do Ouro** – Porto Alegre – 1979.

Folha SH-22-X-C-V-2 MI-2972/2 – **Maquiné** – Porto Alegre – 1979.

CARVALHO, Newton de O; JÚNIOR, Naziano P. F.; SANTOS, Paulo M. C. Dos. S.; LIMA, Jorge E. F. W. **Guia de práticas sedimentológicas**: Agência nacional de energia elétrica. Brasília, 2000.

CARVALHO, Newton de O. **Hidrossedimentologia prática**: Interciência. 2ª ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, Thiago M. **Técnicas de medição de vazão por métodos convencionais e não convencionais**: Revista Brasileira de Geografia Física, v.1 n.1 p73-84, 2008.

CHRISTOFOLLETTI, Antonio. **Geomorfologia fluvial**. Edgar Blucher. São Paulo, 1981.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha SH22 – Porto Alegre** <Disponível em www.cprm.gov.br> Acesso em 15/04/2012.

FLEIG, Mariana; GRÜNINGER, Werner; MAYER, Walter-Erich; HAMPP, Rüdiger. **Líquens da Floresta com Araucária no Rio Grande do Sul**. Pró-Mata: Guia de Campo nº3. University of Tübingen, Germany. 217p. 2008.

GARCEZ, Lucas N.; ALVAREZ, Guillermo A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GUERRA, Antônio T. **Recursos naturais do Brasil**. Ln: GUERRA Ignez A. L. T.; GUERRA Antônio. J. T. 3ed. rev. Rio de Janeiro, IBGE. 1980.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. **Sistema nacional de unidades de conservação – SNUC**. (Lei 9985/2000). Ministério do Meio Ambiente, 2002.

LEINZ, Victor; AMARAL, Sergio E. **Geologia Geral**. 14 ed. Rev. São Paulo, Companhia editora nacional, 2003.

LOUREIRO, Diego D. T. **Métodos atuais e novas tecnologias para o monitoramento do transporte de sedimentos em rios: necessidade de dados e incertezas envolvidas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MARCUZZO, Sílvia, PAGEL, Sílvia M., CHIAPPETTI, Maria I.S. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul - Situação atual ações e perspectivas**. Caderno nº 11, RBMA, Porto Alegre. 1998

MAURO, Fernando; VANZELA, Luiz S .; HERNANDEZ, Fernando B. T. **Determinação dos erros envolvidos nas medições de vazão pelo método do flutuador integrador e do vertedor triangular**. XXXIII Congresso Brasileiro de engenharia agrícola. São Pedro, SP, Brasil. 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE / SBF . **Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de áreas prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília – DF. 2002.

PEROTTO, Marco A. **A influência da legislação ambiental no uso e conservação da bacia hidrográfica do rio Maquiné (RS), no período de 1964 a 2004.**

Dissertação de mestrado – Universidade de Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

POPP, José H. **Geologia geral.** 5ed. Rio de Janeiro, LTC – Livros técnicos e científicos editora S.A. 1998.

PRESS, Frank; SIEVER, Raymond; GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para entender a Terra.** 4ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul** disponível em <<http://www.r3pb.com.br/AtlasCemetRS/#/II/>> acessado em 20 de Junho de 2012.

ROISENBERG, Ari. **Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozoico da província meridional da bacia do Parana.** Tese de doutorado, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. 1989.

SANTOS, Glênio G.; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luis F. C. de. **Chuvas intensas relacionadas a erosão hídrica.** Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. v.14, n.2, p.115-123, 2010.

SCAPIN, Juliana. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Maria. 2005.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. **Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva.** Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

TEIXEIRA, Willson; TOLEDO, Cristina M. de; FAIRCHILD, Thomas R.; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a terra.** São Paulo: Companhia editora nacional, 2008.

TUNDISI, José G. TUNDISI, Takako M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VIEIRA, Lucimar de F. S. **A leitura da paisagem com instrumento para o plano de manejo: Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa – Itati/RS** Dissertação de Mestrado – Universidade Federas do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WETZEL, Robert G.; BOAVIDA, Maria J. **Limnologia.** Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 1993.