



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Andrea Saraiva de Oliveira

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E A CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS NO SEDIMENTO E NA ÁGUA: BACIA DO RIO PITIMBU**

Natal/RN
2012

Andrea Saraiva de Oliveira

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E A CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS NO SEDIMENTO E NA ÁGUA: BACIA DO RIO PITIMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Lucio Flavio Ferreira Moreira

Natal/RN
2012

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Oliveira, Andrea Saraiva de.

Uso e ocupação do solo e a concentração de metais pesados no sedimento e na água: bacia do rio Pitumbu. / Andrea Saraiva de Oliveira. – Natal, RN, 2012.

75 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Lucio Flavio Ferreira Moreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Sedimento – Rio Pitumbu – Natal(RN) - Dissertação. 2. Metais pesados - Dissertação. 3. Urbanização – Rio Pitumbu - Dissertação. I. Moreira, Lucio Flavio Ferreira. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.3.051(813.2)

ANDREA SARAIVA DE OLIVEIRA

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E A CONCENTRAÇÃO DE METAIS
PESADOS NO SEDIMENTO E NA ÁGUA: BACIA DO RIO
PITIMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Lucio Flavio Ferreira Moreira – Orientador

Dr. Manoel Lucas Filho – Examinador UFRN

Dr. Cristiano Poletto – Examinador UFPR

Natal, 31 de agosto de 2012

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele nada disso seria possível.

À minha família, pelo apoio prestado em todos os momentos difíceis.

A minha tia Maria Fátima Oliveira Costa, pelos seus cuidados e amor.

A meu companheiro Jairo dos Santos Ferreira pelo apoio e paciência nas horas difíceis.

Aos meus irmãos Francisco Gustavo Saraiva de Oliveira, Maria de Fátima Saraiva de Oliveira, Maria Heloisa Araújo da Silva, Anne Caroline de Oliveira Costa e Carla Samily de Oliveira Costa.

Aos companheiros de mestrado.

Ao meu orientador Dr. Lucio Flavio Ferreira Moreira.

E a todos que de certa forma, ajudaram na realização desta pesquisa.

RESUMO

A expansão acelerada dos centros urbanos tem produzido impactos importantes nos recursos hídricos. As regiões urbanas carecem de estrutura político-institucional capaz de suprir as demandas ambientais e os efeitos produzidos pelo uso e ocupação do solo nos recursos hídricos. Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos do uso e ocupação do solo na concentração de metais pesados em sedimento e na água. A metodologia utilizada incluiu a coleta de amostras da água e sedimento do leito em 8 seções ao longo da calha fluvial. As amostras foram submetidas à análise laboratorial para detectar a concentração de metais pesados na água e sedimento, além de fósforo total na água. Foram analisadas as concentrações de Al, Cu, Pb, Cd, Fe, Ni e Zn. Após serem submetidas à digestão ácida (método 3050B), as concentrações foram medidas por espectrometria de emissão atômica por chama (ICP-FLAA). Os resultados das análises foram comparados com normativas de referência, sendo que essas normas tem o intuito de avaliar os riscos de substâncias tóxicas no sedimento e na água em programas de gestão. As normativas de referência utilizadas neste trabalho foram: a) Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE,1993); b) Ministry of Housing Spatial Planning and Environment. (VROM, 2000); c) Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999); d) United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1977); e) Resolução Conama n° 344/2004; f) Resolução Conama n° 357/2005. As altas concentrações de Ferro ($38750 \mu\text{g.g}^{-1}$), Chumbo ($1100 \mu\text{g.g}^{-1}$), Níquel ($100 \mu\text{g.g}^{-1}$) e Zinco ($180 \mu\text{g.g}^{-1}$) detectados nos sedimentos, confirmam o estado de degradação do sistema aquático por metais pesados. As concentrações de Ferro ($1,08 \text{ mg.L}^{-1}$), Alumínio ($0,6 \text{ mg.L}^{-1}$) e Fósforo ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) presentes na água, encontram-se fora dos padrões estabelecidos para água de consumo humano.

Palavras-Chaves: sedimento, metais pesados, urbanização.

ABSTRACT

The accelerated growth of urban regions have produced relevant effects on water resources. Urban regions need an adequate institutional structure that can be able to face environmental demands and the adverse effects of land use on water resources. This study aims at analysing land use effects on heavy metals concentration in sediments and water, as well as making a comparative analysis involving water physical-chemical parameters. Applied methodology included both in loco water parameters measurement and water and bed sediment sampling at 8 sections along the fluvial system. Sample analysis was performed in laboratory in order to measure heavy metal concentrations. It was measured metal concentrations of Al, Cu, Pb, Cd, Fe, Ni and Zn. Once the samples were subjected to acid digestion (method 3050B), concentration values were measured by using atomic absorption spectrometry by flame (ICP-FLAA). The analysis results were compared with normative reference, these standards is intended to assess the risks of toxic substances in sediment and water management programs. The normative reference used in this work were: a) Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE, 1993) b) Normative Netherlands (VROM, 2000); c) Normative Canadian (CCME, 1999); d) United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1977), e) CONAMA Resolution No. 344/2004; f) CONAMA Resolution No. 357/2005. The high concentrations of iron ($38,750 \text{ mg.g}^{-1}$), Lead (1100 mg.g^{-1}), Nickel ($100 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$) and zinc ($180 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$) detected sediments confirm the state of degradation of the aquatic system. Iron concentrations (1.08 mg.L^{-1}), Aluminum (0.6 mg.L^{-1}) and phosphorus (0.05 mg.L^{-1}) present in the water are outside the established standards for human consumption.

Key Words: sediment, heavy metals, urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bacia do Pirangi e suas Sub Bacias.....	19
Figura 2	Precipitações médias no município de Natal.....	21
Figura 3	Geomorfologia da Bacia do Pitimbu.....	23
Figura 4	Solos da Bacia do Pitimbu.....	25
Figura 5	Construções de condomínios residenciais, posto de gasolina e cemitério próximo à margem do Rio Pitimbu.....	31
Figura 6	Pontos de coleta.....	34
Figura 7	Sequência metodológica da digestão ácida do sedimento.....	35
Figura 8	Mapa de uso e ocupação do solo na BHRP.....	41
Figura 9	Região onde foi implantado o CIA/RN, ano de 2003.....	42
Figura 10	Região onde foi implantado o CIA/RN, ano de 2010.....	43
Figura 11	O rio Pitimbu antes da construção da ponte, ano de 2009.....	43
Figura 12	O rio Pitimbu depois da construção da ponte, ano de 2012.....	44
Figura 13	Início da expansão em Parnamirim, ano de 2003.....	44
Figura 14	Início da expansão em Parnamirim, ano de 2010.....	45
Figura 15	Concentração de Chumbo ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do CCME, 1999.....	47
Figura 16	Concentração de Zinco ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do CCME, 1999..	47
Figura 17	Concentração de Alumínio (mg.L^{-1}) em 8 amostras de águas fluviais. Os valores de referência são do CCME (1999) e CONAMA (2004).....	48
Figura 18	Concentração de Ferro (mg.L^{-1}) em 8 amostras de águas fluviais. Os valores de referência são do CCME (1999) e CONAMA (2004).....	48
Figura 19	Concentração de Ferro ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são da USEPA, 1977.	49
Figura 20	Concentração de Zinco ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE, 1993; VROM, 2000; CONAMA, 2004 USEPA, 1977.....	50
Figura 21	Concentração de Chumbo ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE, 1993; VROM, 2000; CONAMA, 2004 USEPA, 1977.....	50
Figura 22	Concentração de Níquel ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE, 1993; VROM, 2000; CONAMA, 2004 USEPA, 1977.....	51
Figura 23	Concentração de Fósforo Total (mg.L^{-1}) em 8 amostras de água.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Fonte de contaminantes em depositados de estradas.....	8
Tabela 2	Elementos químicos metálicos e seus efeitos na saúde e o meio ambiente.....	11
Tabela 3	Normativa Canadense para o sedimento (concentração em $\mu\text{g. kg}^{-1}$) e água de consumo.....	13
Tabela 4	Normativa para classificação de poluição dos sedimentos desenvolvida pela USEPA (concentração total em $\mu\text{g.kg}^{-1}$).....	13
Tabela 5	Normativa da qualidade de sedimento do Ontario Ministry of the Environment and Energy (concentração total em $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de peso seco).....	14
Tabela 6	Valores de referência para sedimentos ($\mu\text{g kg}^{-1}$) estabelecido pela Resolução CONAMA n° 344/2001.....	14
Tabela 7	Normativa Holandesa para concentrações totais de metais ($\mu\text{g g}^{-1}$) contidas em sedimentos, com valores de referência limite e de intervenção.....	15
Tabela 8	Localização dos pontos de amostragem.....	33
Tabela 9	Uso e ocupação do solo na bacia de estudo.....	40
Tabela 10	Concentração dos metais no sedimento ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e na água (mg.L^{-1}).....	46
Tabela 11	Concentração de Fósforo Total na água (mg.L^{-1}).....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	Prata
Al	Alumínio
APHA	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater
As	Arsênio
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CATRE	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
Cd	Cádmio
CIA/RN	Centro Avançado Industrial do Rio Grande do Norte
Cl	Cloro
CLBI	Centro de Lançamento da Barreira do Inferno
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Eh	Potencial Redox
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
EPA	Environmental Protection Agency
Fe	Ferro
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
LARHISA	Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Mn	Manganês
Na	Sódio
Ni	Níquel
OMEE	Ontario Ministry of the Environment and Energy
Pb	Chumbo
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
ph	Potencial Hidrogeniônico
Se	Selênio
SERHID	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

Sn	Estanho
SQG	Resolução Normativa da Qualidade do Sedimento
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USEPA	United States Environmental Protection Agency
Zn	Zinco
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1	Desenvolvimento urbano	04
2.1.1	Impactos devido ao escoamento pluvial em bacias urbanas	05
2.2	Fontes de sedimento em bacias urbanas	05
2.3	Metais Pesados	08
2.3.1	Metais pesados em sistemas aquáticos	09
2.4	Valores de referência - Guidelinesl	12
2.5	Fósforo em águas superficiais	15
3	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	18
3.1	Localização geográfica	18
3.2	Clima	20
3.2.1	Temperatura	20
3.2.2	Regime pluviométrico	20
3.2.3	Ventos.....	21
3.3	Geologia.....	21
3.4	Geomorfologia	22
3.5	Solos	24
3.6	Hidrologia	26
3.7	Vegetação	28
3.8	Uso e ocupação do solo	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Área de estudo	33
4.2	Metais pesado no sedimento	33
4.2.1	Coleta e preparo das amostras	33
4.2.2	Digestão ácida e análise do sedimento	35
4.3	Metais pesado na água	36
4.4	Fósforo na água	36
4.5	Uso e ocupação do solo	36

5	RESULTADOS	40
5.1	Uso e ocupação dos solo	40
5.2	Metais pesado no sedimento e na água	45
5.3	Fósforo Total	51
6	DISCUSSÃO	53
7	CONCLUSÕES	55
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a expansão das regiões metropolitanas no Brasil tem produzido impactos importantes no ecossistema aquático e nos recursos hídricos. Diversas formas de uso e ocupação do solo na bacia num processo crescente e desordenado vêm, ao longo dos anos, promovendo a deterioração da qualidade da água, com riscos para a qualidade de vida e saúde da população. Em algumas regiões metropolitanas, a ocupação desordenada tem alcançado áreas de preservação dos mananciais de abastecimento público.

Esse quadro se insere num contexto de crescimento da atividade econômica na região associada à fragilidade institucional dos órgãos públicos de controle ambiental. Vale mencionar as pressões decorrentes da demanda habitacional e melhoria da renda da população. O contexto sócio econômico aponta para a necessidade de que sejam adotadas políticas inovadoras de defesa e proteção do patrimônio ambiental.

O desenvolvimento urbano no Brasil tem se caracterizado pela expansão irregular da periferia com pouca obediência da regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. Um dos resultados desse processo de desenvolvimento urbano descontrolado é o comprometimento da sustentabilidade hídrica das cidades onde essas áreas de desenvolvimento encontram-se sobre áreas de mananciais de abastecimento (TUCCI, 2007).

As atividades antropogênicas produzem efeitos nocivos no ecossistema fluvial. Substâncias químicas, quando lançadas no sistema, são capazes de produzir contaminação e degradação do ecossistema aquático e da água. Essas substâncias podem se agregar ao sedimento fluvial e se acumularem ao longo do tempo. Dessa forma, o sedimento funciona como reservatório de contaminantes, que podem entrar na cadeia alimentar dos organismos. O sedimento é um importante elemento do ecossistema aquático, sendo o habitat de diversas espécies. A exposição desses organismos às substâncias tóxicas representa um importante risco na medida em que contamina a água. A presença dessas substâncias reflete o histórico da contaminação na bacia, associada aos diversos tipos de atividade humana (TAYLOR, 2007).

Situada na região metropolitana da cidade de Natal, a bacia hidrográfica do rio Pitimbu (BHRP) tem importância estratégica e fundamental na medida em que constitui o único manancial superficial de abastecimento humano. A água bruta extraída diretamente da calha fluvial abastece aproximadamente 30% da população da zona sul da cidade com uma vazão de $0,722 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Estudos anteriores associam o descontrole no uso e ocupação do solo na BHRP a uma série de impactos negativos na água e no ecossistema fluvial (BORGES, 2002; SANTOS *et al.*, 2002; KOBAYASHI *et al.*, 2010; FERREIRA & SILVA 2009). Dentre os fatores responsáveis pelos impactos, vale citar os seguintes: a) ausência de infraestrutura de saneamento em áreas próximas da calha fluvial, sujeitas à implantação de condomínios residenciais. O adensamento dessas áreas e o uso de fossa séptica e sumidouro nesses empreendimentos tem resultado num aumento expressivo da carga poluidora difusa; b) implantação de obras viárias que cruzam a calha fluvial tem provocado processos erosivos de grandes proporções, causando assoreamento da calha e exigindo ações emergenciais de desassoreamento; c) construção de condomínios em áreas de proteção ambiental tem causado processos erosivos durante eventos de precipitação; d) lançamento pontual de efluentes domésticos lançados diretamente na calha fluvial (5,5 l/s em setembro/2011); e) implantação de cemitério na faixa de inundação da calha fluvial; f) lançamento de efluentes de origem industrial.

Um estudo realizado por Monte Egito (2006) analisou a presença de agentes mutagênicos nas águas do rio Pitimbu com ensaios de genotoxicidade numa espécie de peixe nativa *Crenicichla menezesi*. As análises dos aspectos microscópicos e macroscópicos demonstraram que o uso da água do rio Pitimbu teria induzido a aberrações cromossômicas e alterações morfológicas. Os resultados obtidos indicaram a ocorrência de atividade mutagênica nas águas do rio Pitimbu, o que representa um risco potencial para os seres humanos.

As Resoluções Normativas da Qualidade do Sedimento (SQG) são ferramentas extremamente úteis na avaliação dos efeitos produzidos por substâncias tóxicas no ecossistema aquático. Dentre os diversos tipos de aplicação, elas podem ser usadas na definição de políticas de proteção ambiental e no estabelecimento de estratégias de gestão integrada na bacia (CCME, 1999).

O objeto de estudo neste trabalho reflete um quadro recorrente na região Nordeste, associado à dificuldade na gestão do uso e ocupação do solo em áreas de

expansão urbana. Diversos fatores podem ser associados ao problema: a) fragilidade institucional dos órgãos de controle da ocupação; b) baixa capacitação técnica nos órgãos de controle e fiscalização; c) falta de interesse político por parte dos tomadores de decisão; d) alta demanda habitacional, e, e) precariedade da infraestrutura de saneamento.

Este trabalho teve o objetivo de analisar os efeitos produzidos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo na ocorrência de metais pesados na água e sedimento do rio Pitimbu à luz das Resoluções Normativas da Qualidade do Sedimento (SQG). Para isso foram utilizadas amostras coletadas em 8 pontos da calha fluvial do rio Pitimbu no período entre Setembro/2011 e Julho/2012.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desenvolvimento Urbano

A ocupação urbana nas bacias hidrográficas vem acontecendo cada vez mais rapidamente e de forma desordenada, provocando a degradação gradativa dos recursos naturais, principalmente dos mananciais de água doce subterrâneo e superficial, seja pela contaminação de efluentes, uso inadequado do solo, disposição inadequada de resíduos sólidos, além de outros impactos ambientais causados pelas ações antrópicas.

Este crescimento urbano tem sido caracterizado pela expansão irregular da periferia com pouco obediência da regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. Esta tendência dificulta o ordenamento das ações não estruturais do controle ambiental urbano. Um dos resultados desse processo de desenvolvimento urbano descontrolado é o comprometimento da sustentabilidade hídrica das cidades onde essas áreas de desenvolvimento encontram-se sobre áreas de mananciais de abastecimento (TUCCI, 2007).

O uso e ocupação do solo numa bacia são fatores determinantes na geração de poluentes, tanto no que se refere às concentrações dos diversos poluentes, como na forma com que a carga aporta ao corpo d'água. A água resultante da drenagem urbana interage com a superfície terrestre, carregando e assimilando diversos constituintes provenientes da deposição atmosférica e a disposição de resíduos provenientes das mais variadas atividades humanas. Enquanto as águas subterrâneas podem ser contaminadas pela disposição inadequada de efluentes líquidos e sólidos no solo e esta conecta com as águas superficiais, contaminando-as (SENA, 2008).

O desenvolvimento urbano pode causar alterações tanto no ecossistema terrestre quanto no ecossistema aquático. Dentre as ações antrópicas de maior impacto, pode-se citar a substituição da vegetação original por áreas impermeáveis, ficando o solo desprotegido, aumentando assim a erosão no período chuvoso e conseqüentemente a produção de sedimento. A produção de sedimento também ocorre quando parte da população já está estabelecida, ocasionando

movimentações de terra devido às novas construções e produção de lixo pela população (PACKMAN *et al.*, 1999; TUCCI, 2007).

As alterações que ocorrem no sistema aquático refletem em parte os impactos sofridos pelo ecossistema terrestre, sendo os sedimentos um importante elo entre esses dois sistemas. Nesse contexto, os estudos voltados para a caracterização da qualidade dos sedimentos podem se constituir em um bom indicador das alterações sofridas nessas áreas, uma vez que estudos ao redor do mundo têm apontado um rápido crescimento nas concentrações de contaminantes nos sedimentos a partir da industrialização e/ou urbanização (TAYLOR *et al.*, 2004 apud POLETO, 2007).

2.1.1 Impactos devido ao escoamento pluvial urbano

Parte importante das alterações provocadas pela urbanização deve-se principalmente a retirada da cobertura vegetal, deixando áreas quase que totalmente impermeabilizadas. Como consequência, tem-se o aumento do volume escoado superficialmente devido à redução do volume precipitado que é interceptado pela vegetação. Isso implica em um aumento das vazões de pico da tempestade e menor tempo de concentração (PERRY & TAYLOR, 2007).

Segundo Tucci (2007), outro fator importante é o aumento da produção de sedimentos devido à retirada de cobertura vegetal das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo) pela população. Tudo isso implica na deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea.

Os danos causados pelos resíduos sólidos são muito grandes, e vai desde a transferência de metais pesados e nutrientes para a água, até alterações da morfologia fluvial causada pelo depósito desses resíduos sólidos nos leitos dos rios (POLETO, 2007).

2.2 Fontes de sedimento em bacias urbanas

Sedimento é uma ocorrência natural de material particulado, que foi transportado e depositado nos ecossistemas aquáticos e é normalmente encontrado abaixo do nível da água. Os sedimentos fornecem habitats que suportam

populações de bentônicos, esses organismos refletem a qualidade e a saúde do ecossistema (ADMS et. al., 2001).

No desenvolvimento urbano, o aumento da produção de sedimentos pela bacia hidrográfica é significativo devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas (TUCCI, 2003). Além disso, em trechos de rios que atravessam bacias urbanas, o potencial poluidor dos sedimentos é ainda maior devido à presença adicional de poluentes orgânicos e biológicos, oriundos do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento e do efeito de “lavagem” das ruas e calçadas pelo escoamento superficial (POLETO, 2007).

As principais consequências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes:

- Assoreamento das seções de canalizações da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos.
- Transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.

As principais fontes antropogênicas de metais na atmosfera são de fundição de minérios metálicos, fabricação industrial, aplicativos comerciais de metais, bem como, a queima de combustíveis fósseis. Algumas entradas ocorrem através de lançamentos de grandes atividades individuais (por exemplo, fontes pontuais como as fundições). As descargas de resíduos de origem animal, irrigação, drenagem, águas residuais domésticas e industriais, escoamento urbano e o despejo de lodo de esgoto estão todos contaminados por metais. A entrada desses metais no ecossistema aquático pode ocorrer em um único ponto. Entradas difusas também podem ocorrer, por exemplo, a utilização de combustíveis em veículos e aviões que liberam chumbo. Uma vez que os seres humanos descarregam Pb para a atmosfera, ela se torna uma fonte para a terra e os oceanos (LUOMA & RAINBOW, 2008)

Os sedimentos de ambientes urbanos são provenientes de uma ampla variedade de fontes, sendo elas tanto naturais como antrópicas. Uma importante fonte de sedimento em bacias urbanas são os depositados em estradas, ou seja, os sedimentos que se depositam nas estradas e quando ocorre um evento de chuva estes podem ter como destino final o corpo d'água (PERRY & TAYLOR, 2007).

Road-deposited sediments, referido como poeira de rua ou poeira de estradas é uma mistura complexa de partículas e contaminantes, derivados de uma extensa gama de fontes urbanas e processos industriais. As fontes são antropogênicas (emissões de escape do veículo, desgaste de pneus, material de construção, poeira de estrada, deposição atmosférica), ou de origem natural (material de solo, planta e deposição atmosférica) (CARRAZ *et al.*, 2006; ROBERTSON & TAYLOR, 2002).

Nas áreas urbanas, em processo de desenvolvimento, o volume de entrada de material de construção nas estradas pode ter consequências importantes para a qualidade do ar. E também gerar grandes volumes de sedimentos e contaminantes particulados que são lançados no sistema de drenagem e rios. A maioria dos contaminantes é proveniente de fontes específicas, as principais fontes conhecidas são mostradas na Tabela 1. Depositados de estrada caracteristicamente apresentam altas concentrações de metais (TAYLOR, 2007).

A maior parte do transporte de sedimentos no meio urbano ocorre através da ação da água, mas a redistribuição de sedimentos em superfícies de ruas também pode ocorrer pelo vento. A suspensão de partículas de sedimento tem grande impacto sobre a qualidade do ar urbano, além de superfícies de rua, os principais locais de deposição de sedimentos são galerias pluviais (que muitas vezes recebem esgotos clandestinos), rios, canais, portos e lagos. Em todos esses sistemas, o sedimento é movido durante o fluxo de alta em eventos associados com a precipitação (TAYLOR, 2007).

Tabela 1 – Fontes de contaminantes em depositados de estradas

Contaminante	Fonte
Pb	Combustão da gasolina, tintas, fundições e combustão do carvão.
Zn, Cd	Desgaste dos pneus, telhados galvanizados, abrasão de veículos, óleos lubrificantes e ligas.
Cu	Ligas e indústrias de metais.
Fe	Partículas do escape dos carros, corrosão no corpo do veículo e geologia de fundo.
Mn	Desgaste dos pneus, lonas de freio e geologia do fundo.
Cr	Desgaste do motor, freios e geologia do fundo.
Ni	Desgaste do motor, indústria de metal e geologia do fundo.
Amianto	Ruptura do revestimento de embreagens.
Cl, Na	Sal de estrada.
PGEs (Pt, Pd, Os)*	Conversores catalíticos.
Pesticidas/Herbicidas	Aplicação em jardins.
PAHs**	Queima de biomas e combustão do petróleo.
PCBs***	Combustão do petróleo e indústria.
Bactérias	Obras de tratamento de esgotos e fezes de animais.
Compostos farmacêuticos	Tratamento de águas residuais.

* PGEs: elementos do grupo da platina **PAHs: hidrocarboneto poliaromático ***PCBs: biphenols policlorados
 Fonte: Adaptado de Taylor (2007)

2.3 Metais pesados

Na literatura encontram-se inúmeras definições para o termo “metal pesado”. Algumas delas baseiam-se na densidade atômica, outras no peso ou número atômico, nas propriedades químicas, sendo que, muitas vezes, este termo é empregado a um grupo de elementos como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), entre outros, que estão normalmente associados a problemas de poluição e toxicidade. Eles diferenciam-se dos demais elementos devido a sua tendência em formar ligações reversíveis com grandes

números de compostos e por não serem biodegradáveis, participando do ciclo ecobiológico global no qual a água tem papel principal (TOMAZELLI, 2003).

2.3.1 Metais pesados em sistemas aquáticos

Os metais pesados adicionados ao sistema fluvial, por fontes naturais ou antrópicas, podem ser transportados de duas maneiras: como espécies dissolvidas na água ou associados às partículas sólidas transportadas pelo rio, sejam estas em suspensão ou arrastadas como parte da carga do leito do rio (GUIMARÃES, 2007).

Os sedimentos têm importante papel no transporte e acumulação de contaminantes e, frequentemente, são empregados na determinação de fontes e formas de dispersão destes elementos em sistemas aquáticos (SANTOS *et al.*, 2002).

Entre os elementos traço mais comuns encontrados em ambientes urbanos e que, atualmente, estão sendo associados às partículas de sedimentos, encontra-se uma ampla variedade de metais, como o zinco, chumbo, cobre, níquel, cádmio e cromo, que são utilizados com frequência em atividades industriais e descartados sem controle algum nas redes coletoras de águas pluviais ou de esgotos (POLETO & CASTILHOS, 2008).

A complexação e precipitação dos metais pesados nos sedimentos ocorrem a partir dos seguintes fatores: a) oxidação de componentes reduzidos tais como o ferro, manganês e sulfetos; b) redução de metais de alta valência pela interação com a matéria orgânica (selênio, prata); c) redução de sulfato para sulfeto (Fe, Cu, Ag, Zn, Hg, Ni, As e Selênio-Se, precipitam-se como sulfetos); d) reações tipo alcalina (Sr, Mn, Fe, Zn, Cd e outros elementos são precipitados pelo aumento do pH, usualmente causado pela interação com rochas alcalinas e sedimentos, ou pela mistura com águas alcalinas); e) adsorção ou co-precipitação de íons metálicos com óxido de Fe e Mn, argilas e particulados de matéria orgânica (RULE, 1995 apud GUIMARÃES, 2007).

Segundo Guimarães (2007), os metais pesados não são permanentemente fixados nos sedimentos, podendo sofrer liberação para coluna d'água em decorrência de mudanças nas condições ambientais, tais como: pH, Eh (potencial redox) e presença de quelatos orgânicos.

Os estudos de contaminação por metais em sedimentos de fundo são realizados utilizando-se as frações mais finas dos mesmos, uma vez que estes possuem uma maior razão área superficial / tamanho do grão (SOLOMONS & FORSTNER, 1984).

Para Poletto (2007), os contaminantes podem gerar impactos diretos nos organismos bentônicos e organismos que podem sorver contaminantes liberados dos sedimentos para a coluna d'água. Os sedimentos contaminados afetam diretamente os organismos bentônicos, tais como insetos, vermes, moluscos e peixes, que passam uma grande parte do ciclo de vida dentro ou sobre os sedimentos. Mas também, sedimentos contaminados podem afetar outras formas de vida que se alimentam desses organismos (Environmental Canadá, 2003). Já os seres humanos e organismos silvestres que estão no topo da cadeia alimentar são contaminados indiretamente. Na tabela 2 apresenta-se os efeitos causados pelos metais pesados ao ser humano e ao meio ambiente.

Grande parte dos contaminantes presentes nos esgotos domésticos e efluentes industriais lançados nos corpos de água superficial pode ser depositada nos sedimentos, fazendo com que os mesmos se tornem uma fonte ou sumidouro de espécies químicas consideradas tóxicas. Conseqüentemente, é clara a importância da preservação da qualidade dos sedimentos para a proteção da comunidade aquática (GUIMARÃES, 2007). Os metais podem causar doenças, dependendo do indivíduo, das dosagens acumuladas nos organismos, além de prejudicar o ambiente.

A exposição humana aos vários contaminantes que hoje são lançados ao meio ambiente pode provocar vários tipos de doenças e reações diversas nos organismos vivos. A presença de sedimentos contaminados, além de implicações negativas para a qualidade da água, pode alterar o equilíbrio do ecossistema aquático através da eutrofização, ou seja, um aumento da disponibilidade de nutrientes (especialmente o fósforo), causando um aumento na produção da biomassa vegetal (algas e macrófitas) (POLETO, 2007).

Tabela 2: Elementos químicos metálicos e seus efeitos na saúde e no ambiente

Elementos	Efeitos na Saúde	Efeitos no Ambiente
Al	Pode ser tóxico ou mesmo carcinogênico aos mamíferos.	O alumínio pode causar quebra na produtividade de culturas agrícolas em solos ácidos, com pH de 5,5.
Cd	Pressão sanguínea alta, destruição do tecido testicular e das células vermelhas do sangue, além de danos nos rins.	Em suma o cádmio é altamente tóxico também às plantas e aos animais. É um metal de particular interesse, pois pode se acumular na cadeia alimentar.
Cu	A intoxicação por Cobre em animais e no homem é difícil de ocorrer.	A contaminação dos solos por cobre é rara, exceto quando se faz a disposição de efluentes de atividades agrícolas.
Fe	A sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes.	Coloração avermelhada na água, manchas em roupas, gosto metálico na água e favorecem o desenvolvimento de ferrobactérias que causam maus odores.
Mn	O Mn é um metal potencialmente tóxico aos seres humanos podendo até causar câncer.	Confere sabor, turbidez, além de formar depósitos nas tubulações.
Ni	Concentrações elevadas de níquel, absorvidas pelo ser humano, podem causar problemas de pele e até afetar nervos cardíacos e respiratórios.	O níquel apresenta níveis tóxicos para algumas plantas partir de 0,5 mg/L de concentração.
Pb	A intoxicação no ser humano é caracterizada por deficiências neurológicas, disfunção renal e anemia.	Este elemento entra na atmosfera, contaminando o ar, solo e muitas vezes o sistema de águas naturais.
Zn	Este metal é comprovadamente teratogênico e suspeito de ser carcinogênico no ser humano e em outros mamíferos.	O Zn é bioacumulativo e extremamente tóxico.

Fonte: Lima (2006)

2.4 Valores de referência – Guidelines

Em estudos de qualidade ambiental torna-se interessante avaliar as concentrações de metais pesados com respeito a valores de referência ou Guidelines, o que possibilita caracterizar a extensão da poluição e seus possíveis impactos ecológicos. Historicamente, devido à necessidade de orientar o destino ou gerenciar materiais originados de dragagens, inúmeras agências internacionais desenvolveram ou estão desenvolvendo critérios para a qualidade dos sedimentos (POLETO & MERTEN, 2008).

Em geral, as normativas servem como instrumento de avaliação de risco de substâncias tóxicas no sedimento em programas de gestão, com referência na remediação de áreas contaminadas, na avaliação de leis ambientais e de impactos causados por atividades humanas (LUOMA & CARTER, 1993; HEALTH CANADA 2010).

O objetivo das diretrizes de qualidade do sedimento é proteger o ambiente aquático através da criação de níveis seguro de metais, nutrientes (substâncias que promovem o crescimento de algas) e compostos orgânicos. As diretrizes foram elaboradas para ajudar os gestores ambientais a tomar decisões sobre uma série de questões que afetam a qualidade dos sedimentos (OMEE, 1993).

A normativa Canadense (CCME), Tabela 3, estabelecida para a proteção ecológica do sedimento (SQG) e condições sanitárias da água de consumo, apresenta valores limites de concentração de metais nos sedimentos associados aos efeitos produzidos aos organismos aquáticos.

Esses valores, obtidos através de análise estatística usando dados de estudos em ambientes aquáticos da América do Norte, utilizam dois níveis indicadores de referência, ISQG e PEL (LONG, 1992). Eles servem como sinalizadores de alerta da condição de degradação do ecossistema pela presença de substâncias tóxicas – algo equivalente às luzes amarela (concentração entre ISQG-PEL) e vermelha (concentração acima de PEL) (CCME, 1999).

Tabela 3 – Normativa Canadense para o sedimento (concentração em $\mu\text{g.kg}^{-1}$) e água de consumo

Elemento	Sedimento		Água p/ consumo
	ISQG ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	PEL ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	
Alumínio	-	-	0,2 mg/L
Cádmio	600	3500	5 $\mu\text{g/L}$
Cobre	35700	197000	<1 mg/L
Chumbo	35000	91300	<10 $\mu\text{g/L}$
Zinco	123000	315000	< 5 mg/L
Ferro	-	-	< 0,3 mg/L

Adaptado de: CCME (1999)

O *Guideline* adotado pela USEPA, Tabela 4, inclui sete parâmetros de avaliação e se algum valor numérico for excedido, o sedimento é classificado como poluído. Já *Ontario Ministry of the Environment Energy (OMEE)*, Tabela 5, desenvolveu um *Guideline* com três níveis de efeito ecotoxicológico, sendo esses baseados em efeitos crônicos e de longo prazo sobre os organismos bênticos (POLETO & MERTEN, 2008).

Tabela 4 – Normativa para classificação de poluição dos sedimentos desenvolvida pela USEPA (concentração total em $\mu\text{g.g}^{-1}$)

Elemento	Não Poluído (menor que)	Moderamente poluído	Muito Poluído (maior que)
Ferro	17000	17000-25000	25000
Cádmio	-	-	6
Cromo	25	25 - 27	75
Níquel	20	20 - 50	50
Cobre	25	25 - 50	50
Chumbo	40	40 - 60	60
Zinco	90	90 - 200	200

Adaptado de: USEPA (1977)

Tabela 5 – Normativa da qualidade de sedimento do Ontario Ministry of the Environment and Energy (concentração total em $\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso seco)

Elemento	Nível de efeito: baixo ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Nível de efeito: severo ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Cádmio	0,6	10
Ferro (%)	2	4
Cobre	16	110
Chumbo	31	250
Níquel	16	75
Zinco	120	820

Adaptado de: OMEE (1993)

O Ministério do Meio Ambiente editou uma resolução para materiais dragados em águas jurisdicionais brasileiras, a resolução do conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n°344 de 25 de março de 2004, visando estabelecer diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado e o gerenciamento da sua disposição em terra. Foram fixados dois níveis (ver Tabela 6) para o material a ser dragado, o nível I - limiar baixo, com baixa probabilidade de efeitos adversos à biota; e o nível II – limiar acima, com provável efeito adverso à biota.

Tabela 6 – Valores de referência para sedimentos ($\mu\text{g.g}^{-1}$) estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 344/2001

Metais Pesados e Arsênio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Níveis de classificação do material a ser dragado (em unidade do material seco)	
	Nível I	Nível II
As	5,9	17
Cd	0,6	3,5
Pb	35	91,3
Cu	35,7	197
Cr	37,3	90
Ni	18	35,9
Zn	123	315

Fonte: CONAMA (2004)

A Holanda tem uma longa história de política de proteção solo / sedimento, e diretrizes foram reformuladas em meados de 1990, utilizando métodos ecotoxicológicos e potenciais considerando vias de exposição humana (Tabela 7).

Tabela 7 – Normativa holandesa para concentrações totais de metais ($\mu\text{g.g}^{-1}$) contidas em sedimentos, com valores de referência limite e de intervenção

	Concentração limite ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Concentração de intervenção ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Cádmio	0,8	12
Níquel	35	210
Cobre	36	190
Chumbo	85	530
Zinco	140	720

Adaptado de: VROM (2000)

Para Poletto e Gongalves (2006), apesar da grande utilidade dos valores de referência em estabelecer parâmetros para se avaliar as qualidades do sedimento, todas essas referências possuem várias limitações. A especificação de cada valor de referência fica nítida ao se comparar os valores limites estabelecida pela norma Holandesa com os propostos pela Canadense. Os valores propostos para estudos na Holanda são muito altos em comparação aos do Canadá, isso devido, principalmente, às diferenças mineralógicas de cada região, e possibilitando um bom exemplo de como é extremamente arriscado utilizar-se de estudos produzidos em outras regiões ou países.

A resolução CONAMA N ° 344/2004 baseou-se em referências internacionais, como as canadenses e americanas, esta acaba reproduzindo os mesmos conceitos e recomendações (POLETO & MERTEN, 2008).

2.5 Fósforo nas águas superficiais

Altas concentrações do nutriente fósforo em bacias hidrográficas podem ter fortes relações com o nível de ocupação urbana. Esgotos domésticos, efluentes liberados por indústrias e o uso de fertilizantes em regiões rurais são fatores que

ajudam a aumentar os níveis do nutriente no meio aquático e podem, conseqüentemente, acelerar o processo de eutrofização das águas.

A disponibilidade do fósforo na água depende da interação qualitativa e quantitativa entre os sedimentos e a água, no espaço e no tempo (REYNOLDS & DAVIES, 2001). A sua dinâmica interfere na qualidade da água e é interferida por ela.

Estudos encontraram uma significativa relação entre o nível de fósforo do solo e o fósforo dissolvido no escoamento superficial (MCDOWELL *et al.*, 2001). O escoamento da água sobre a camada superficial do solo de áreas agrícolas durante os eventos pluviométricos é a principal fonte difusa de poluição aos mananciais hídricos. Desse modo, a quantidade de fontes de poluição numa determinada microbacia depende da qualidade das fontes e do grau de intervenção antrópica no meio, ou seja, do sistema de uso e manejo do solo adotado (MCDOWELL *et al.*, 2001).

Segundo Pellegrini (2005), as fontes de fósforo podem ser, também, dos sedimentos erodidos das margens ou depositados no leito dos cursos d'água. As estradas, as escavações para edificação de instalações e para garimpo são fontes que podem contribuir de forma significativa para a produção de sedimentos, embora possam ser mais “pobres” em fósforo (BIGARELLA, 2003).

Dessa forma, as concentrações de fósforo encontradas no escoamento e no deflúvio superficial são uma resultante da interação entre a água das chuvas e o teor de fósforo na camada superficial do solo. Essa por sua vez, depende da riqueza natural dos solos e das adições de fontes de fosfatos, sejam elas, orgânicas ou químicas (PELLEGRINI, 2005).

De acordo com Sharpley *et al.* (1992), as quantidades e as formas de fósforo transferidas variam de evento para evento pluviométrico, por causa das variações sazonais das chuvas em intensidade e duração, do intervalo de tempo entre os eventos, do estágio de cultivo e do grau de cobertura vegetal do solo, entre outros.

A dinâmica do fósforo em rios e riachos pode ser diferente da que ocorre em lagos e reservatórios. Uma das diferenças principais está relacionada ao fósforo armazenado nos sedimentos depositados no leito dos recursos hídricos. Nos rios, a

dessorção do fósforo é facilitada pela ressuspensão dos sedimentos pela turbulência da água (MCDOWELL *et al.*, 2001).

Em sua pesquisa Dantas (2009), analisou a concentração de fósforo total na Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi, sendo três pontos no rio Pitimbu, em que estavam situadas áreas degradadas (despejo de esgoto, acúmulo de resíduos sólidos e avanço imobiliário). Os resultados encontrados mostraram que, as águas, em todas as estações de monitoramento, apresentaram média acima do limite superior definido pela Resolução CONAMA 357/05, que é de 0,1mg/L.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização geográfica

A bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (BHRP) localiza-se na região do litoral oriental do Estado, entre os paralelos 5°50'00' e 5°57'53" de latitude Sul e os meridianos 35°11'08" e 35°23'19" de longitude Oeste de Greenwich. A BHRP é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Pirangi, seu território abrange os municípios de Natal, Parnamirim e Macaíba nas seguintes proporções: Natal (10%), Parnamirim (43%) e Macaíba (47%).

A bacia do Pirangi ocupa uma área de 458,9 Km², correspondendo a 0,9% do território estadual. A sub-bacia do rio Pitimbu apresenta uma superfície de 107,24Km² perfazendo 23,37% da área da bacia do Pirangi (Figura 1).

O curso d'água tem um comprimento de 37 km, sendo sua nascente no município de Macaíba, na comunidade de Lagoa Seca e deságua na Lagoa do Jiquí no município de Parnamirim. A nascente do rio encontra-se em uma área rural continuando assim nos seus primeiros 13 Km, a urbanização aumenta no município de Parnamirim e Natal com diversos tipos de ocupação urbana.

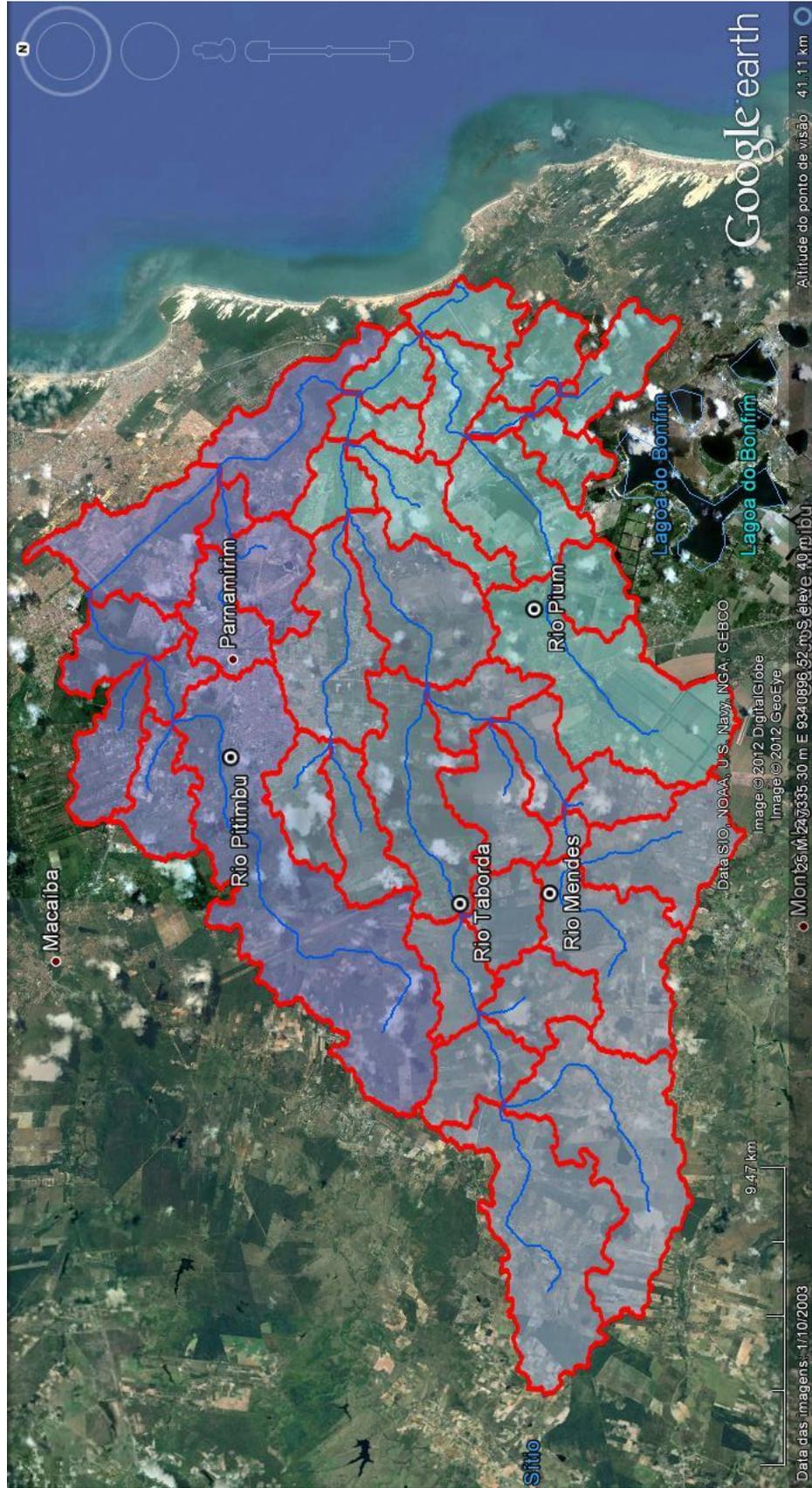


Figura 1 – Bacia do Pirangi e suas Sub-bacias.

3.2 Clima

3.2.1 Temperatura

A BHRP apresenta características de clima tropical chuvoso (As') na classificação de Köppen, ou seja, clima tropical onde a temperatura média do mês mais frio do ano é superior a 18°C, estação invernososa ausente e com forte precipitação anual com chuvas no período de inverno e outono.

A temperatura média nos municípios onde a bacia se encontra é de 27,1°C, com média máxima e mínima de 32°C e 21°C (IDEMA, 2005). Os dados registrados pela estação climatológica (EMPARN) mostram uma temperatura média anual de 27,3°C, com média máxima mensal de 28,4°C em fevereiro e temperatura média mensal mínima de 25,8°C em julho.

3.2.2 Regime pluviométrico

O regime pluviométrico da região caracteriza-se por apresentar uma concentração das chuvas no primeiro semestre do ano, e uma variação em anos alternados de seus totais. A estação chuvosa inicia-se em Fevereiro e estende-se até Julho, sendo o trimestre mais chuvoso março/maio, respondendo por 44,8% da precipitação anual, no semestre fevereiro/julho, este índice atinge 79,9%. Nos totais anuais de precipitação, a bacia apresenta maiores valores na sua porção Leste reduzindo ao afastar-se do litoral, em direção ao Oeste. Na Figura 2 podem ser observadas as precipitações em Natal, entre os anos de 2001 a 2012, a média anual de chuva em Natal é de 1.554,3 mm.

Figura 2- Precipitações médias no município de Natal.



Fonte: EMPARN

3.2.3 Ventos

Os ventos sopram predominantemente da direção Sudeste e Leste. Nos meses de Maio e Setembro predominam os ventos de Sudeste, já os ventos de leste predominam nos demais meses. Ao longo do ano, a umidade relativa do ar é alta em razão da proximidade do mar e dos ventos carregados de vapor d'água do oceano, que sopram constantemente em direção ao continente (SILVA, 1996), tendo uma velocidade média anual de 4,9 m/s e umidade relativa média anual de 79,3% (SERHID, 2006).

3.3 Geologia

A geologia da área em foco compreende três formações: Formação Barreiras, Depósitos eólicos e Aluviões, apresentando uma estratigrafia constituída por rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, sobrepostos por sedimentos areníticos e calcários com idade geológica Mesozóica e período Cretáceo (SERHID, 2006).

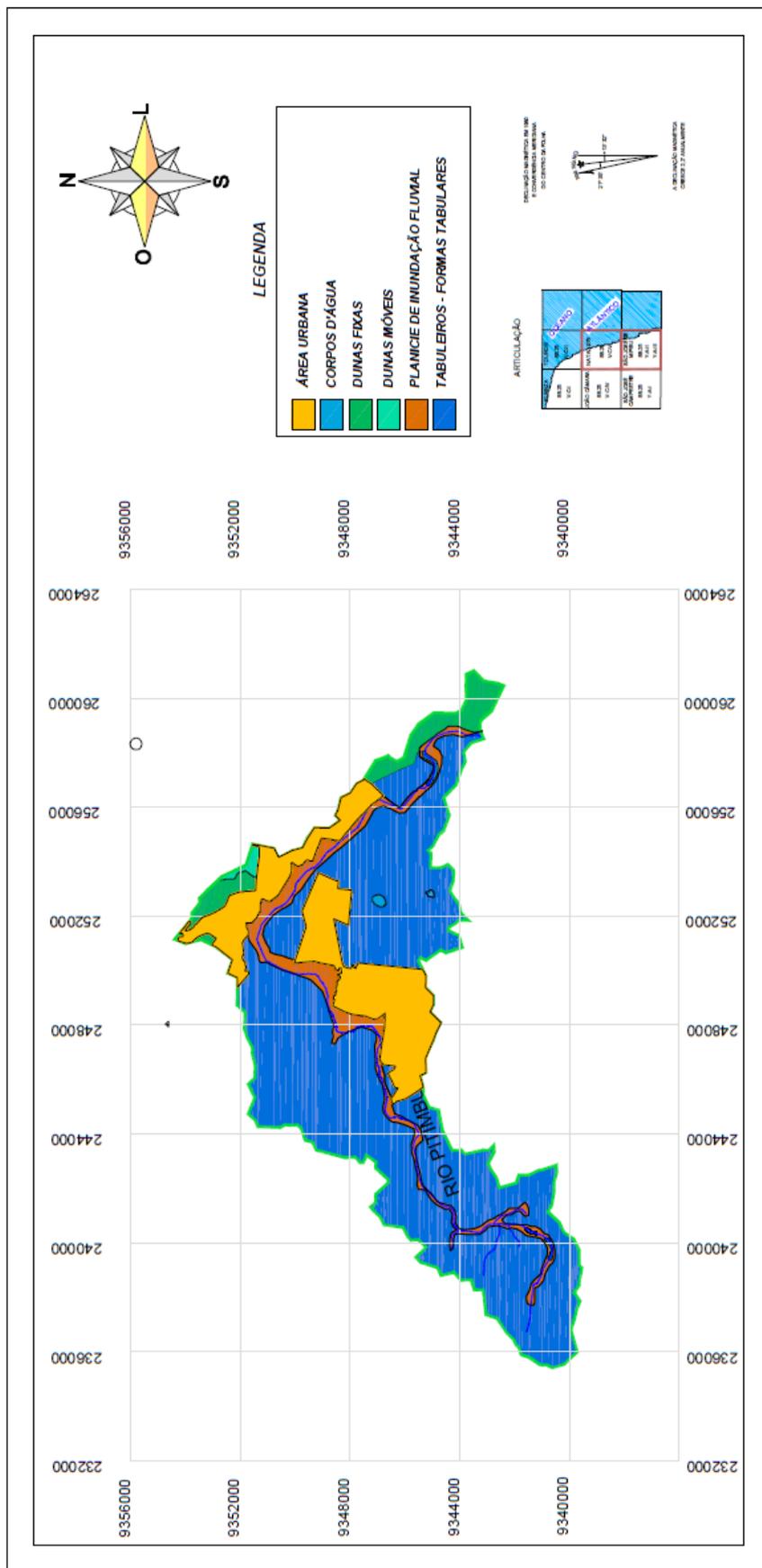
3.4 Geomorfologia

Os Tabuleiros Costeiros são encontrados predominantemente nos municípios de Macaíba e Parnamirim.

Nos tabuleiros costeiros, a topografia é plana e suavemente ondulada, encontra-se, sobre a mesma, os vales fluviais e ao longo da costa ocorrem em superfícies com inclinação fraca ou termina de forma abrupta, formando falésias na linha da costa. Em outras áreas, a continuidade desses terrenos é quebrada pelo aparecimento de dunas que cobrem grande parte dessas áreas, as quais formam verdadeiros cordões alongados e paralelos, dispostos segundo a orientação SE-NW, em conformidade com a direção predominante dos ventos, localizadas a margem esquerda do Rio Pitimbu na área de Natal e as formas tabulares, ou seja, os Tabuleiros Costeiros (BARBOSA, 2006).

A bacia é caracterizada por um relevo de baixas altitudes (Figura 3), geralmente inferior a 100 metros, com áreas predominantemente planas e poucas ocorrências de vertentes íngremes observadas nas proximidades do curso do rio (MEDEIROS *et al.*, 2005).

Figura 3 – Geomorfologia da Bacia do Pitimbu.



FONTE: Adaptado da base cartográfica da SUDENE.

3.5 Solos

Os solos de maior expressão na área da Bacia do Pitimbu são os Latossolos (Figura 4), que ocorrem associados aos tabuleiros do grupo Barreiras nas regiões de alto e médio curso da bacia. Na região de baixo curso, já próximo ao litoral observa-se o predomínio das Areias Quartzosas Distróficas. Aparecem, ainda, com pouca representatividade geográfica, Coberturas Arenosas Podzolizadas margeando o vale do rio Pitimbu (SERHIDE, 2006).

Os Latossolos são solos profundos, ácidos, muito porosos, de textura arenosa a média, bem drenada. São bastante resistentes à erosão face à baixa mobilidade da fração argila e a sua elevada permeabilidade. Apresentam-se bastante lixiviados. Com limitações ao uso agrícola, apresentam baixa fertilidade natural e acidez, exigindo adubações e calagens (SERHIDE, 2006).

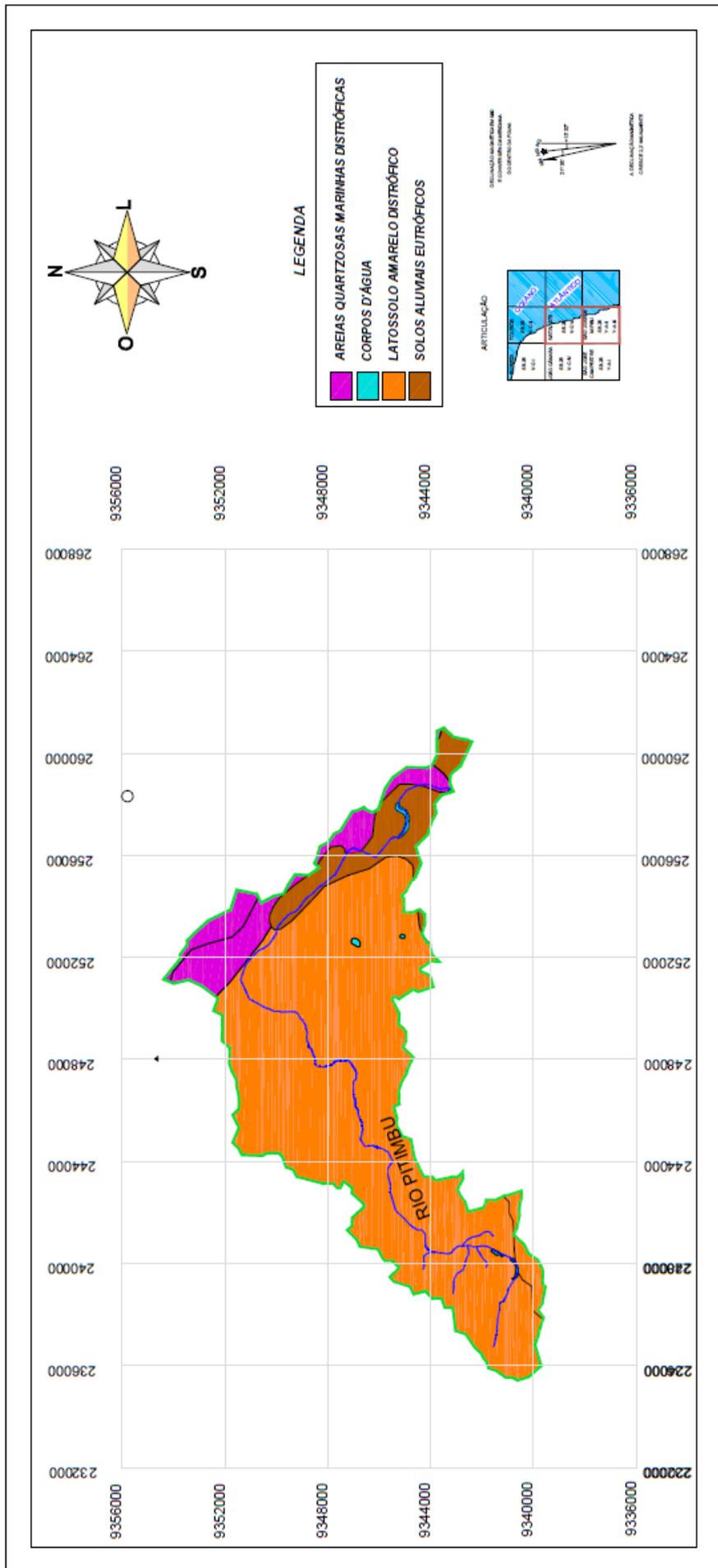
A precariedade da infraestrutura de esgotamento sanitário na bacia leva a população a usar tanques sépticos e sumidouros, o que possibilita a infiltração de efluentes no solo, tendo este uma alta taxa de infiltração, o efluente percola e acaba atingindo o aquífero subterrâneo e contaminando a água que reabastece o rio.

As Areias Quartzosas Distróficas são solos profundos, muito arenosos, excessivamente drenados, ácidos e de fertilidade natural muito baixa.

As Coberturas Arenosas Podzolizadas que margeiam o vale do Pitimbu, apresentam textura arenosa na superfície e argilosa nos horizontes inferiores. Ocorrem em relevo plano a suave ondulado, estando sujeitas a alagamentos (SERHID, 2006).

A identificação e distribuição geográfica dos solos de uma região constituem informações de fundamental importância no planejamento do uso e ocupação do solo. Permite identificar, por exemplo, áreas de potencial agrícola, bem como locais destinados à disposição de resíduos sólidos tornando estas atividades mais seguras e eficientes. O planejamento da ocupação permite mitigação dos impactos negativos associados às atividades humanas, tais como processos erosivos e de contaminação na bacia (KOBAYASHI, 2010).

Figura 4 – Solos da Bacia do Pitimbu.



FONTE: Adaptado da base cartográfica da

3.6 Hidrologia

A BHRP é um fragmento da Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi, que por sua vez possui área de drenagem igual a 458,9 Km² ocupando áreas dos municípios de Natal, Macaíba, Parnamirim, Nísia Floresta, São José do Mipibu e Vera Cruz.

O rio Pitimbu nasce no município de Macaíba, precisamente na comunidade de Lagoa seca, o rio principal tem uma extensão de 37 km e deságua no riacho Taborda (Cajupiranga), no Município de Parnamirim. Ressalta-se que o riacho Taborda associado ao riacho Pium formam o rio Pium, também denominado de rio Pirangi e corresponde a 27,62% da bacia hidrográfica do rio Pirangi

Constata-se que o rio corta áreas rurais pertencentes ao Município de Macaíba, principalmente. A partir daí, a proximidade com a periferia de Parnamirim e Natal, condiciona uma maior ocupação da bacia, verificando-se a presença de indústrias e de crescimento populacional em direção as suas margens. Nesse trecho, determinam-se alguns pontos em que a intersecção do curso d'água com estradas vicinais, inclusive com as BR's 101 e 304, configuram-se em locais aos quais as populações circunvizinhas acorrem para utilizar-se de suas águas para os mais diversos fins (lavagem de roupas, recreação, banho de animais, entre outros) (SERHID, 2006).

Em sua pesquisa, Borge (2002) constatou a existência de 12 barragens ao longo da calha do rio, podendo ocasionar conflitos no uso da água, visto que, esse cenário pode apresentar escassez de água em terras que ficam à jusante de um barramento em épocas de seca.

A crescente urbanização, principalmente próximo à calha do rio, tem como consequência o desmatamento da vegetação nativa para dar lugar à construção de prédios e novas vias de acesso, ocasionando cada vez mais a impermeabilização da bacia, essas construções ocorrem sem a implantação de infraestrutura na bacia, tais como coleta de esgoto e de águas pluviais.

Em eventos de chuva, tem-se um aumento do volume escoado superficialmente devido a retirada de vegetação e a impermeabilização na bacia, combinando esse fator com a falta de sistema de drenagem, como resultado tem-se grandes volumes de água que “lavam” as ruas de toda a bacia carreando “lixo” e sedimentos (produzido pela retirada de cobertura vegetal) para dentro da calha do rio. A impermeabilização na bacia também tem ocasionado grandes erosões

próximas à calha do rio devido à retirada de vegetação e ao escoamento superficial da água.

Recentemente, com os eventos de chuva em Parnamirim, houve um carreamento de barro para dentro da calha do Rio Pitimbu, ocasionando o assoreamento do mesmo em diversos pontos. O material que foi transportado para a Lagoa do Jiqui através do rio, ocasionou uma alteração na cor da água fornecida pela CAERN. O material foi proveniente da construção de dois empreendimentos imobiliários em Nova Parnamirim, os condomínios "R1 Casarão" e "Verdes Mares".

A bacia hidrográfica do rio Pitimbu, possui como exutório, a lagoa do Jiquí, sendo a lagoa também alimentada por águas do lençol subterrâneo. A lagoa possui volume de 0,32 hm³, uma profundidade média de 1,0 m e um tempo de detenção hidráulica de 2,6 dias (PEREIRA, 1993 *apud* BORGES, 2002), sendo utilizada para o abastecimento público da Zona Sul da cidade de Natal, explotando uma vazão de 2,4 milhões de litros de água/hora para abastecimento da população.

Sobre a disponibilidade hídrica da área da bacia, de acordo com o PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos), o coeficiente de escoamento do deflúvio médio anual é da ordem de 21,5%, com volume afluente médio anual estimado em 50 milhões de m³/ano, o que corresponde a uma vazão média de 3,20 m³/s. Ainda de acordo com o plano, o valor da vazão afluente à lagoa é da ordem de 3,10 m³/s (SERHIDE, 2006).

O rio Pitimbu apresenta-se como um rio perene devido à ressurgência das águas subterrâneas dos aquíferos livres em quase toda sua extensão, a exceção de pequenos trechos iniciais do alto curso que permanecem secos nos meses de estiagem. Os níveis de cheia do rio não atingem os terraços, alcançando no máximo o leito secundário, planície de várzeas ou de inundação, terrenos baixos e planos, adjacentes ao rio, com alturas variando entre zero a dois metros acima dos níveis máximos no canal fluvial (TAKESHI, 2010).

O aquífero Dunas/Barreiras forma um sistema hidráulico único, composto por um aquífero livre, no qual as dunas exercem a função de transferência das águas de infiltração em direção aos estratos inferiores do Barreiras, que ocorre sotoposto ao aquífero Dunas. Localmente, pode apresentar semi-confinamentos e seu nível potenciométrico flutua com as variações sazonais. Apresenta vulnerabilidade à poluição elevada dado à excessiva permeabilidade dos solos arenosos (SERHID, 2006).

O sistema aquífero Dunas-Barreiras, sendo um aquífero bastante vulnerável aliado a uma intensa ocupação antrópica, resultado do crescimento industrial e urbano e a ausência de um sistema de esgotamento sanitário adequado, vem sofrendo um intenso processo de contaminação de grande parte da zona urbana por nitrato (SENA, 2008).

Embora a qualidade da água natural do aquífero livre seja considerada excelente, por possuir condições físico-químicas adequadas ao consumo humano, é desaconselhável o seu uso doméstico (consumo humano), devido à susceptibilidade desse aquífero à contaminação de suas águas, principalmente, por efluentes sanitários (sistemas individuais de fossas sépticas/sumidouros) e lagoas de captação de águas pluviais, que também recebem esgotos domésticos, dentre outros efluentes, *in natura*, ligados clandestinamente às galerias destinadas a coleta exclusiva de águas pluviais. Devido à sub-superficialidade do lençol freático e suas características geológicas e pedológicas, a água poderá contaminar-se, a contaminação pode ser originada em ambientes de proliferação de microorganismos patogênicos, gerando riscos à população de contrair doenças através, sobretudo, da veiculação hídrica (BORGES, 2002).

A contaminação por Nitrato está diretamente associada ao avanço da urbanização na bacia, ocasionando o aumento de aporte de efluentes sanitários. Devido a grande permeabilidade do solo e a falta de infraestrutura (ocasionando o uso de fossas sépticas), o efluente percola no solo atingindo o aquífero subterrâneo.

O Presídio Estadual de Parnamirim vem contribuindo significativamente com a contaminação do rio Pitimbu, despejando *in natura* esgoto sanitário que brota das fossas estouradas e escorre para a calha do rio que fica a menos de 150 metros do presídio.

3.7 Vegetação

A vegetação da bacia do rio Pitimbu, é composta por floresta subperenifólia, densa, possuindo folhas largas e em grande quantidade que se mantêm sempre verdes, os troncos costumam ser delgados e o solo encontra-se coberto de húmus. Nas áreas de maior intervenção humana são encontrados tabuleiros costeiros.

A Savana Florestada ocorre com expressividade na parte da bacia que se estende desde a nascente do rio até sua foz, e recobre áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, de clima tropical eminentemente estacional.

A savana florestada densa apresenta um porte maior e a cobertura do solo é maior, isto é, a vegetação forma um dossel contínuo, não permitindo a penetração de luz até o solo. A savana florestada aberta, por sua vez, apresenta um porte menor do que a anterior, as árvores estão mais espaçadas e não chegam a formar um dossel contínuo, onde é frequente a presença de um tapete gramíneo em função da penetração de luz até o solo (SERHID, 2006).

3.8 Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo da BHRP vêm aumentando cada vez mais nesses últimos anos. Em seus estudos, Sena (2008) observou que em 1979 a agricultura correspondia a 35,7% de ocupação da área da bacia, já em 1988 a área agrícola foi reduzida em 1.195 ha, passando a ocupar apenas 26,4% da área da BHRP. Por outro lado, os desmatamentos, loteamentos e os sítios urbanos expandiram significativamente.

A área que compreende o alto para o médio curso do rio Pitimbu, em maior extensão no município de Macaíba, está sendo ocupada majoritariamente, por culturas de subsistência de ciclo curto e culturas permanentes. A cobertura vegetal vem cedendo lugar ao desenvolvimento de pastagens, onde se encontra solos recobertos pelo cultivo de capim para atender ao desenvolvimento da pecuária extensiva que ocorre na região (SENA, 2008). Observa-se a utilização de produtos químicos na agricultura, o que pode degradar o solo e contaminar a água.

Foram identificados 22 barramentos ao longo do rio Pitimbu, 20 dos quais se encontram no Município de Macaíba, correspondendo a 91% do total. São obras de engenharia destinadas a acumulação de água para irrigação (açudagem - 9 unidades), bem como para outros fins (11 unidades), como exemplo: a construção de passagens de nível em estradas que cruzam o rio Pitimbu, em que, na grande maioria dos casos, interferem consideravelmente em seu curso normal (BORGES, 2002). Em épocas mais secas os barramentos causam conflitos entre os usuários a jusante destes.

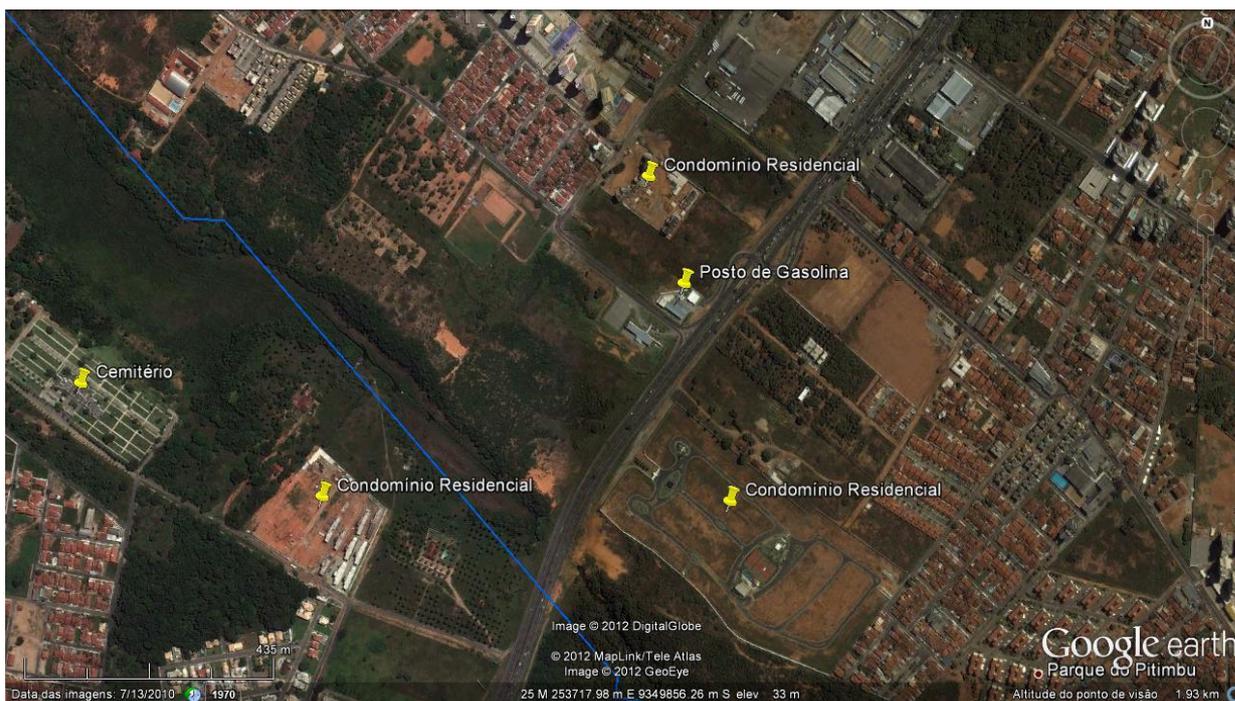
Está inserido na BHRP o Centro Avançado Industrial (CIA) no município de Macaíba, para a implantação do centro aterrou-se um principal afluente do rio Pitimbu, o riacho Tabuleiro. Borges (2002) constatou, nesse local, dentre outras ações impactantes, a presença de aterros para a construção de indústrias pertencentes ao CIA, bem como para a construção das avenidas constantes em seu partido urbanístico. Esse fato tem promovido um acúmulo de águas pluviais em determinadas áreas, em função do processo de barramento. E a não proteção dos taludes dos aterros vem provocando erosões, o que ocasiona o transporte de sedimentos na bacia. A tubulação coletora do sistema de tratamento de efluentes industriais líquidos biológicos põe o lençol freático em risco de contaminação por ficar vulnerável a vazamentos ou qualquer outro acidente que por ventura venha a ocorrer.

Natal sendo a capital do estado e o crescimento experimentado nos últimos anos fez com que a cidade fosse atrativa para o deslocamento humano em si, tornando-a altamente densificada, isso também fez com que se buscassem outras opções de ocupação humana fora da capital. Em função da proximidade e facilidade de acesso, o município de Parnamirim passou a ser a mais intensamente habitada, cornubando-se com Natal em áreas contíguas a diversos bairros. Vale salientar que na área da bacia, a cidade de Natal é ocupada basicamente por zona de proteção ambiental (ZPA), restringindo assim seu uso e ocupação (SENA, 2008).

Nas cidades de Natal e Parnamirim a especulação imobiliária vem contribuindo significativamente para a contaminação da BHRP principalmente nos bairros de Nova Parnamirim e Cidade Satélite (Figura 5). A construção de novos conjuntos habitacionais proporciona grandes impactos: desmatamento; impermeabilização do solo; produção de sedimento durante a construção; desenvolvimento de empresas prestadoras de serviços como postos de gasolina, edifícios comerciais, pequenas indústrias e etc.; produção de resíduos sólidos e efluentes domésticos. Tudo isso associado à infraestrutura precária (tanque séptico e sumidouro) desses locais, ocasionando contaminação do solo e aquíferos por escoamento difuso devido à alta taxa de infiltração do solo. Outros fatores importantes são: as erosões devido à retirada da mata ciliar e as ligações clandestinas de esgoto doméstico nas redes de água pluvial em Parnamirim, cujo lançamento, segundo Borges (2002), é feito diretamente em um contribuinte do rio Pitimbu.

Na BHRP estão inseridos dois cemitérios, o Cemitério Público de Parnamirim e o Cemitério Morada da Paz, estando estes em áreas bastante permeáveis, o que contribui para a contaminação do aquífero.

Figura 5 - Construção de condomínios residenciais, posto de gasolina e cemitério próximo a margem do rio Pitimbu



Fonte: Google Earth (2010)

O conjunto habitacional Cidade Satélite, implantado na década de 80 em uma área desprovida de saneamento básico, está situado sobre um vasto campo de dunas, assim possuindo um alto poder de infiltração, apresentando em alguns pontos elevada contaminação por Nitrato, podendo contaminar o aquífero livre, por conseguinte chegar ao rio Pitimbu (SENA, 2008).

No processo de ocupação da BHRP, os principais impactos relacionados com a degradação da qualidade da água são: lançamentos de efluentes domésticos e industriais diretamente na calha do rio; contaminação indireta pelo lançamento de efluentes provenientes de fossas sépticas residenciais no aquífero que abastece o rio; lançamento de substâncias tóxicas (pesticidas) usadas na agricultura em áreas próximas da calha do rio; e o processo de impermeabilização, que aumenta a velocidade dos deflúvios e com isso o potencial erosivo do escoamento,

ocasionando o transporte de sedimentos e assoreamento desse manancial. Durante os eventos chuvosos de média a alta magnitude, o transporte de sedimentos e de resíduos sólidos para a calha do rio produz o assoreamento e a contaminação da água. Nesse contexto, o avanço do uso e ocupação do solo, em direção à zona de proteção (mata ciliar), compromete o ecossistema natural e a capacidade de autodepuração da água e diluição dos poluentes (KOBAYASHI, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Para a análise da qualidade do sedimento e da água foram realizadas coletas de amostras em 08 pontos distribuídos desde próximo a nascente até o baixo curso do rio. Os pontos foram escolhidos através da análise de fotos de satélite do Google Earth® da bacia e visitas *in loco*, observando os locais de maior densidade, maior potencial poluidor, facilidade de acesso e identificação de zonas de depósitos na calha fluvial. Os pontos (Tabela 8 e Figura 6) foram fixados com o auxílio de um GPS (Sistema de Posicionamento Global). As coletas foram realizadas entre setembro/2011 e Março/2012.

Tabela 8 - Localização dos pontos de amostragem

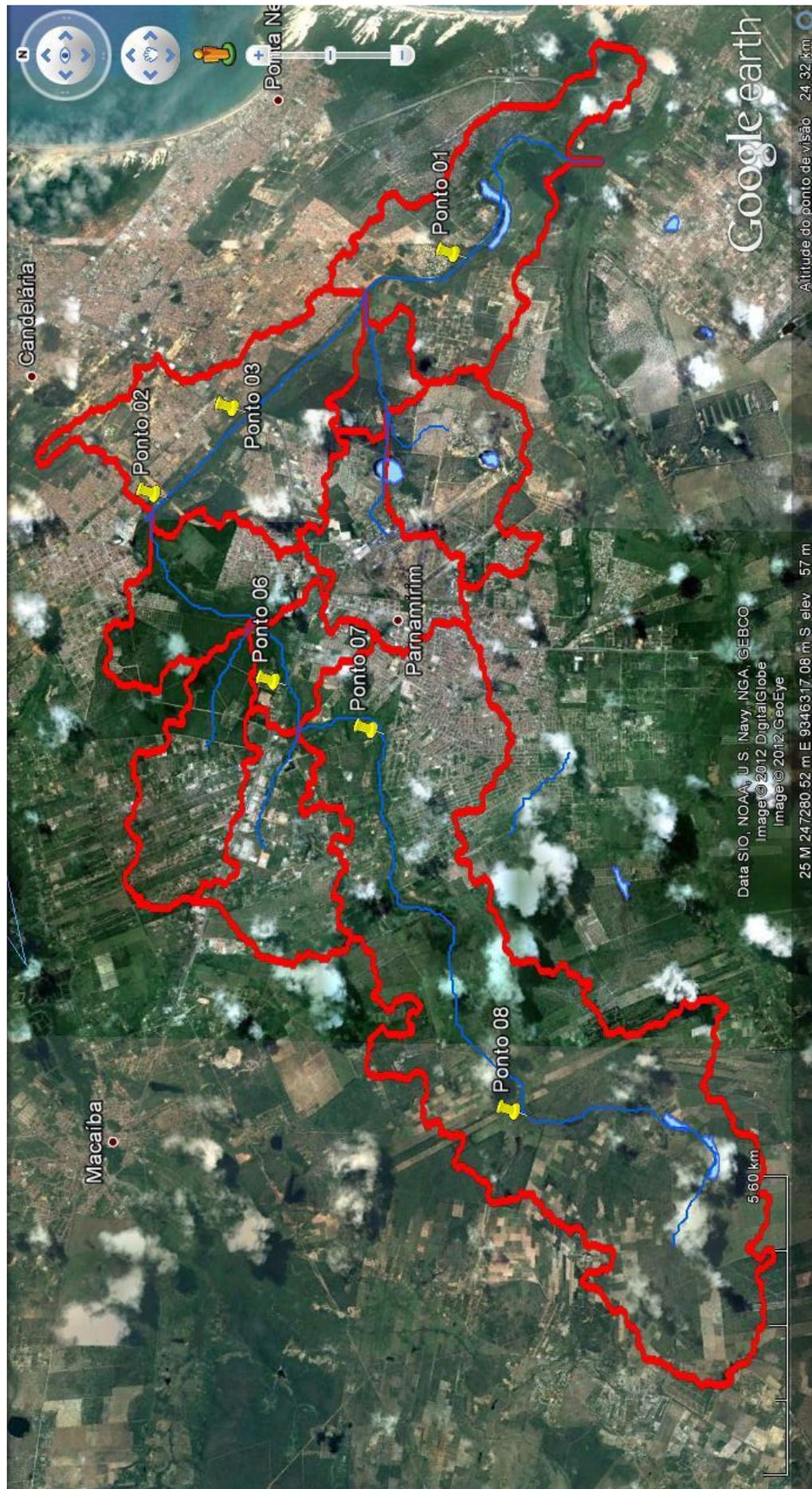
Ponto	Longitude	Latitude
Ponto 01 - EMPARN	256577	9345550
Ponto 02 - Prolongamento da Prudente de Moraes	251931	9350984
Ponto 03 - Ponte Velha	253575	9349572
Ponto 04 - Planalto	251040	9351398
Ponto 05 - Planalto	251234	9351364
Ponto 06 - BR 101	248460	9348692
Ponto 07 - Passagem de Areia	247592	9346862
Ponto 08 - Lamarão	240498	9344050

4.2 Metais pesados no sedimento

4.2.1 Coleta e preparo das amostras

As amostras de sedimento foram coletadas na superfície (0-5 cm), em duplicata, com uma draga do tipo *Van Veen* em aço inoxidável, depois colocadas em uma bandeja de polietileno e homogeneizada com uma espátula de aço inoxidável com o material devidamente limpo para evitar contaminação da amostra. Quando a amostra apresentava ausência de sedimento de granulometria fina, uma nova coleta era realizada.

Figura 6 – Pontos de Coleta.



Fonte: Google Earth (2010)

Depois, as amostras foram acondicionadas em vasilhas de polietileno de 500g e em um isopor com gelo até serem armazenadas no freezer, ficando a uma temperatura de -5°C até suas análises. Antes da análise, as amostras foram secas em estufas no Laboratório do LARHISA na UFRN a uma temperatura de 80°C durante 24 horas. Após a secagem, as amostras foram desagregadas em almofariz de ágata e peneiradas em peneira de aço e tela de aço inoxidável $<63\ \mu\text{m}$ para obtenção do material mais fino (silte e argila).

4.2.2 Digestão Ácida e Análise do Sedimento

Foram escolhidos 07 metais pesados para a análise por digestão ácida. Os metais são: Zn, Fe, Ni, Cd, Al, Pb e Cu.

A metodologia utilizada para a digestão ácida do sedimento foi a 3050B – Digestão Ácida de Sedimentos, Lodos e Solos (EPA, 1996). A Figura 7 apresenta os procedimentos metodológicos da digestão ácida do sedimento.

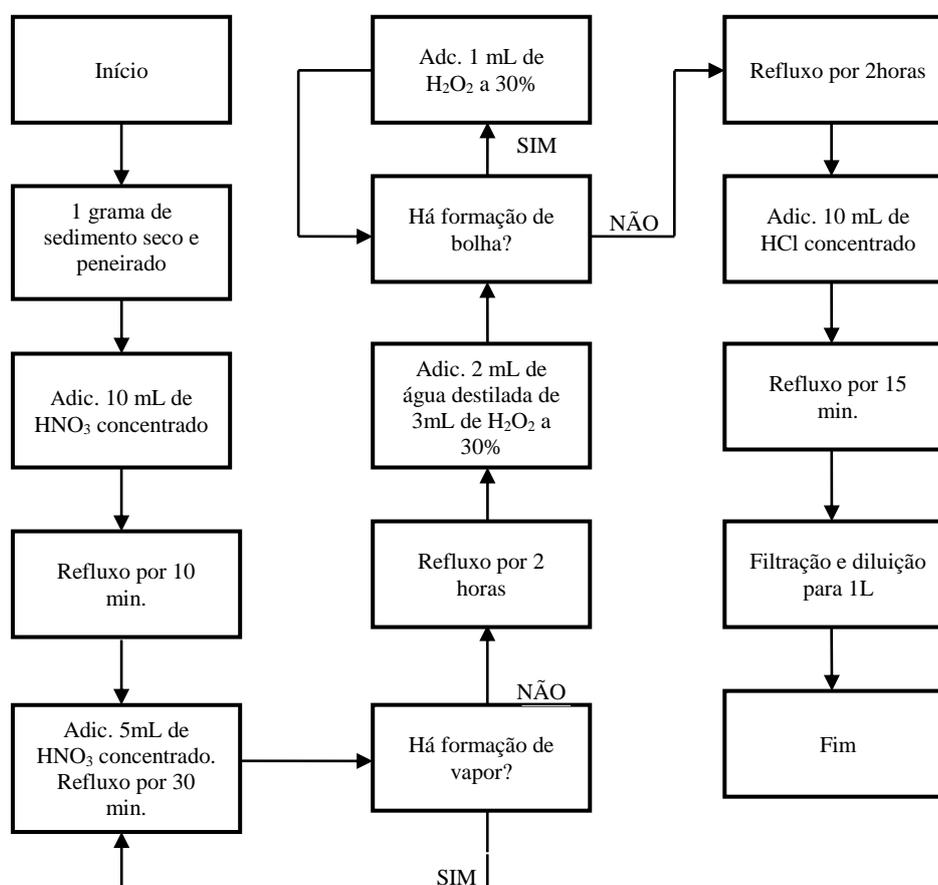


Figura 7 - Sequência metodológica da digestão ácida do sedimento.

O procedimento metodológico mostrado na Figura 7 foi realizado no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFRN. O seu extrato (amostra digerida) foi filtrado e diluído em água destilada em um balão de 1L, previamente limpo, e depois enviado para a análise por espectrometria de absorção atômica por chama (FLAA) no Laboratório de Análises Químicas do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte.

O espectrofotômetro usado nas análises foi do tipo AA240 fabricado pela VARIAN[®], sendo composto basicamente por: nebulizador, atomizador (chama de aproximadamente 2.800°C), lâmpadas mono-elementares de cátodo oco de cada tipo de elemento analisado, sistema ótico de detecção e leitura e um computador.

4.3 Metais Pesados na Água

A coleta de amostras de água para fins de análise de metais pesados ocorreu em 17/07/2012, após um período de ocorrência de chuvas na região, as amostras foram acondicionadas em recipientes de polietileno, e acondicionadas em gelo até sua análise.

Após a coleta, as amostras foram analisadas no DIETREN - Laboratório de Análises Químicas do Instituto Federal de Educação Tecnológica do RN, determinados pelo Método de Espectrofotometria de Absorção Atômica.

4.4 Fósforo na água

A coleta de amostras de água para fins de análise de fósforo total ocorreu em 17/07/2012, após um período de ocorrência de chuvas na região. Após a coleta, as amostras foram analisadas no DIETREN - Laboratório de Análises Químicas do Instituto Federal de Educação Tecnológica do RN. O método empregado no procedimento (colorimetria) seguiu as instruções do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

4.5 Uso e Ocupação do Solo

Para a caracterização do uso e ocupação do solo da bacia foi utilizado imagens do Google Earth[®] do ano de 2010, buscando avaliar a expansão urbana da

região e os diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Essa caracterização se deu com a identificação visual das imagens do Google Earth® e visitas *in loco*, no qual foram usadas como critério de diferenciação com o objetivo de distinguir os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, confirmando as informações identificadas nas imagens. As ferramentas AutoCad® e Arcview® foram utilizadas para delimitação da área da bacia.

Inicialmente, o mapa da bacia foi transportado do AutoCad® para o Arcview® e desse para o Google Earth®. Com a superposição do mapa da bacia e a imagem de satélite, foi possível observar os diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Pitimbú.

Foram consideradas sete classes de uso e ocupação do solo:

- Ocupação residencial e comercial;
- Área com cobertura vegetal;
- Área em processo de ocupação;
- Área Agrícola;
- Aglomerado Rural;
- Área Militar;
- Cemitério;
- Área Industrial.

A ferramenta *adicionar polígono* do Google Earth foi utilizada para a demarcação das ocupações, para cada tipo de ocupação foi utilizado uma cor diferente, ocupação residencial e comercial – vermelho; área com cobertura vegetal – verde escuro; área em processo de ocupação – amarela; área agrícola – laranja; aglomerado rural – laranja escuro; área militar – verde claro e cemitérios – branco. Para a demarcação dos polígonos foram usados os seguintes critérios:

Ocupação residencial e comercial – presença de grande densidade de construções caracterizando uma ocupação urbana. Essas construções variam entre casas residenciais, grandes loteamentos, condomínios de prédios, prédios comerciais, praças e áreas de rodovia.

Área com cobertura vegetal – áreas com presença de vegetação. Essas áreas englobam a vegetação nativa com espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo (SERHIDE, 2006), mata ciliar, áreas de preservação permanente e,

também, está incluso as áreas com início de desmatamento, (essas áreas são caracterizadas por demarcações de futuros lotes, porém ainda não foi iniciada nenhuma construção).

Área em processo de ocupação – são áreas em que é possível observar demarcações de lotes para futuras construções e algumas construções, porém, em pouco número em relação às demarcações. É caracterizada por ser vizinha a ocupação do tipo urbana como, por exemplo, bairros densamente povoados e a BR 101.

Área agrícola – localizadas em sua grande parte na cabeceira da bacia na zona rural. São áreas onde é possível observar o delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, encontram-se inserida nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes e pastagens plantadas (IBGE, 2009). De acordo com a SERHIDE (2006), as classificações existentes na bacia são: agricultura tradicional com culturas cíclicas, agricultura tradicional com cultura permanente, agricultura mais pecuária de subsistência (nesse tipo inclui-se as pastagens) e agricultura modernizada com cultura permanente. Na imagem de satélite é possível observar a demarcações de propriedades com diferentes tipos de plantações.

Aglomerado Rural – área entre a zona rural e áreas em processo de ocupação. É caracterizado pela presença de sítios e granjas e demarcações de futuras construções.

Área militar – na bacia em análise há três áreas militares: o Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CATRE), Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) e a estação de rádio Guarapes da Marinha. O CATRE toma a maior parte desse tipo de ocupação, sendo que a área foi caracterizada a partir do delineamento dessa área na imagem de satélite e visitas *in loco*.

Cemitério - foi possível observar a presença de 02 cemitérios na área da bacia, constatados com as imagens de satélites e visitas *in loco*.

Área Industrial – inclui usos industriais e comerciais da terra que ocorrem conjuntamente ou em íntima proximidade funcional (IBGE, 2009). Foi observado na imagem de satélite grande prédios e galpões em grandes áreas, próximo a BR – 304, muitas vezes vizinhos uns dos outros. Foi possível demarcar essa área com pesquisas em estudos anteriores, com a imagem de satélite e visitas *in loco*.

Depois de feita a demarcação de toda a bacia com os polígonos, caracterizando cada tipo de ocupação, chegou-se ao mapa de uso e ocupação do

solo. Utilizando o software ArcGIS® foi possível, com a ferramenta ArcToolbox®, converter os polígonos gerados no Google Earth® no formato kmz para o formato KML to layer. Clicando com o botão direito do mouse em cima de cada layer e em seguida na opção Open Attribute Table abre-se uma janela onde é possível visualizar a área de cada polígono. Fazendo uma somatória da área dos polígonos, obteve-se a área de cada tipo de ocupação.

5. RESULTADOS

5.1 Uso e Ocupação do Solo

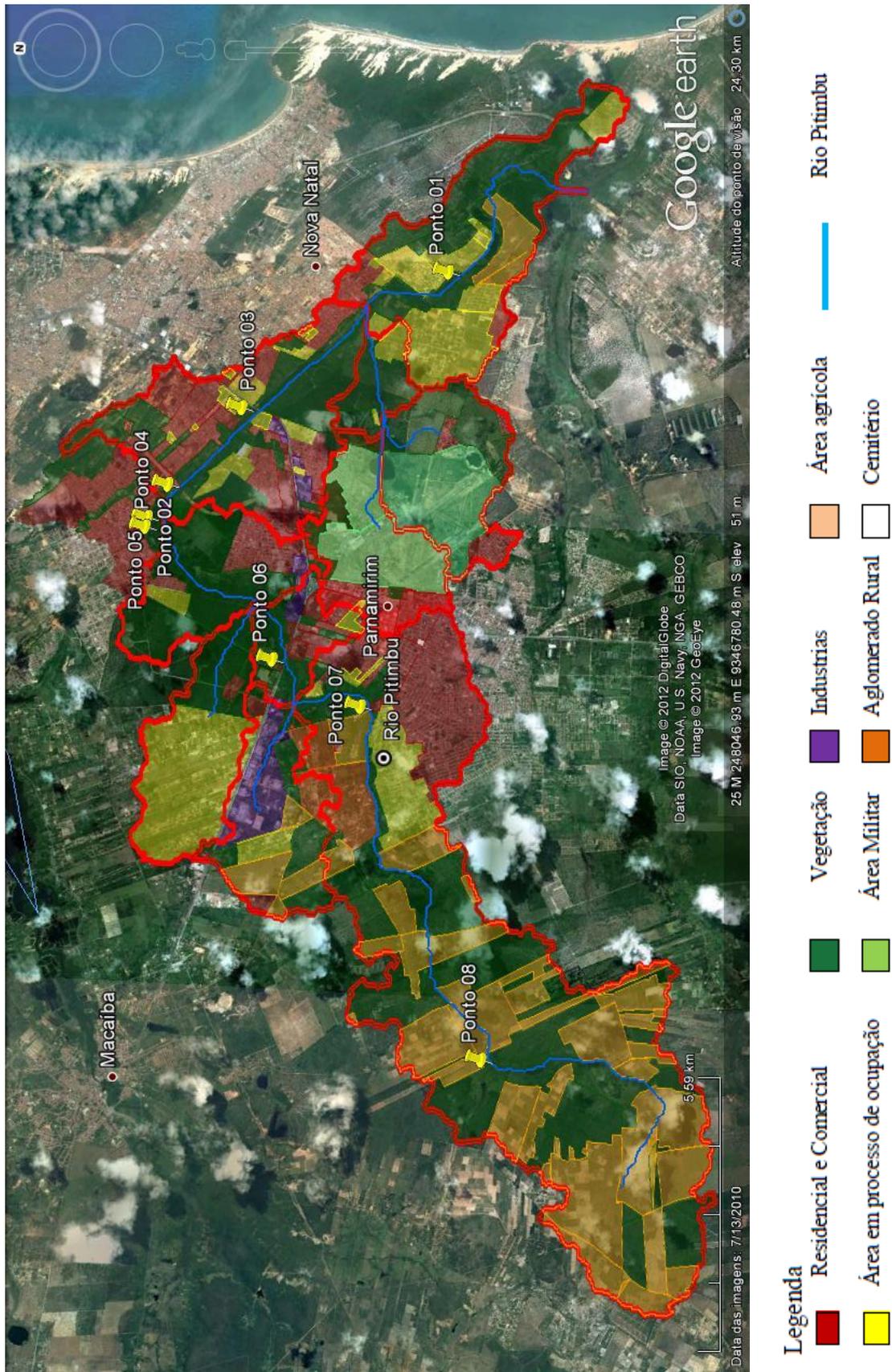
A análise de uso e ocupação do solo na BHRP foi feita com uma imagem de satélite do Google Earth® do ano de 2010, avaliando a expansão urbana através de identificação visual, bibliografias e *visitas in loco*. Os tipos de uso e ocupação do solo caracterizado foram: a) ocupação residencial e comercial; b) área com cobertura vegetal; c) área em processo de ocupação; d) área agrícola; e) Aglomerado rural; f) área militar; g) cemitério; h) área industrial. A classificação de uso e ocupação do solo pode ser observada na Figura 8 e suas áreas na Tabela 9.

A representação das áreas verdes compreende a mata de restinga, mata Sub-Caducifólia, vegetação rasteira e áreas de preservação. A área de agricultura compreende agricultura tradicional com cultivo misto, agricultura tradicional cíclica, agricultura tradicional com culturas permanentes, agricultura mais pecuária de subsistência com plantio de capim e criação de gado e agricultura modernizada com cultura permanente.

Tabela 9 – Uso e ocupação do solo na bacia de estudo

Uso e Ocupação	Área da Bacia	
	Ha	%
Ocupação residencial e comercial	18,3	17,59
Área com cobertura vegetal	41,71	40,1
Área em processo de ocupação	13,43	12,91
Área agrícola	19,3	18,56
Aglomerado Rural	2,22	2,13
Área Militar	6,71	6,45
Cemitério	0,04	0,04
Área Industrial	2,3	2,21
TOTAL	104,01	100

Figura 8— Mapa de uso e ocupação do solo na BHRP.



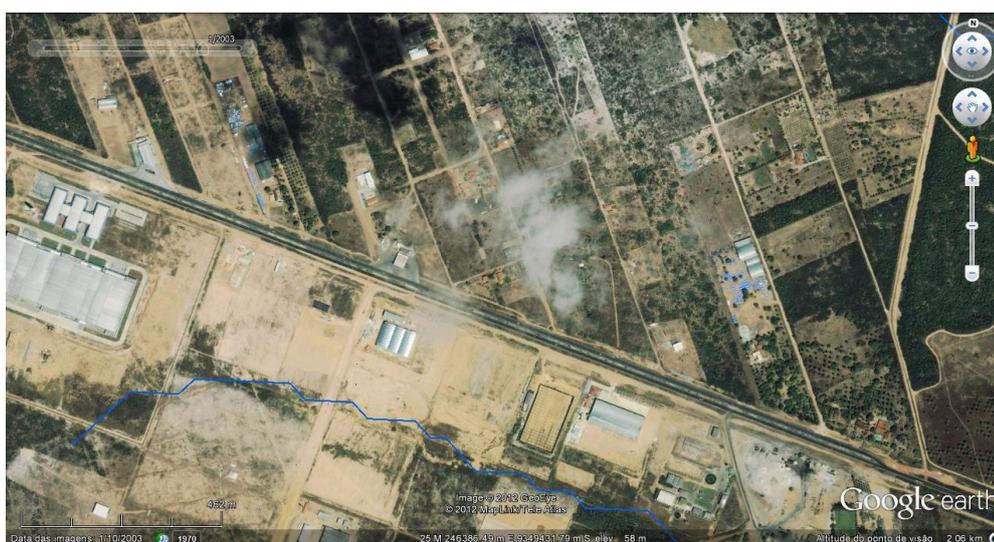
Após ser realizada a análise de uso e ocupação do solo na bacia em estudo, foi observada uma grande atividade antropogênica muito próxima à calha do rio, em toda sua extensão.

Logo na cabeceira da bacia, na cidade de Macaíba, foi observado uma grande atividade agropecuária. Em seu trabalho, Borges (2002) observou nessa área, a aproximadamente 2 km à jusante da nascente do rio Pitimbu, o cultivo de espécies de plantas destinadas a alimentação e à comercialização, constatando, também, o uso indiscriminado de produtos químicos (praguicidas) na agricultura irrigada.

Próximo ao médio curso da bacia, foi caracterizado uma área com a presença de granjas (aglomerado rural), onde foram observadas pequenas plantações.

Ainda no município de Macaíba às margens da BR-304, encontra-se o Centro Industrial Avançado do Rio Grande do Norte (CIA/RN). O CIA/RN está assentado em um nicho formador do rio Pitimbu, que se revela como principal contribuinte desse rio (BORGES, 2002). Nas Figuras 9 e 10, respectivamente, pode ser observado o avanço da construção do CIA/RN, a primeira no ano de 2003 e a segunda em 2010.

Figura 9 - Região onde foi implantado o CIA/RN, ano de 2003.



Fonte: Google Earth® (2003)

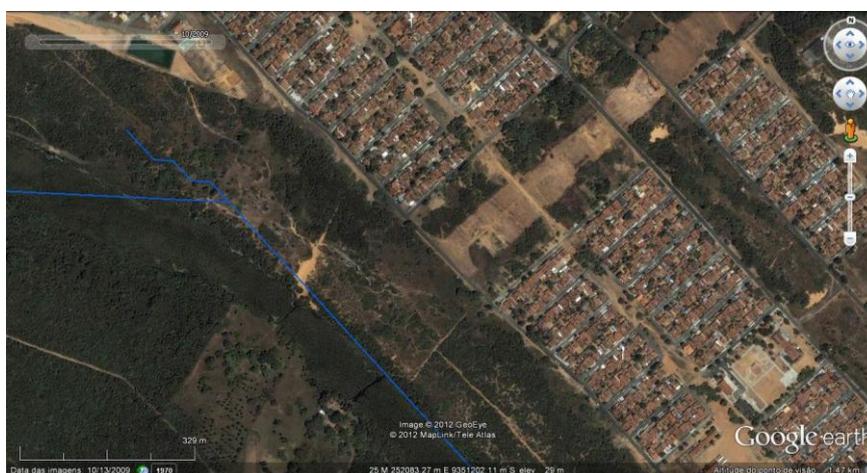
Figura 10 - Região onde foi implantado o CIA/RN, ano de 2010.



Fonte: Google Earth® (2010)

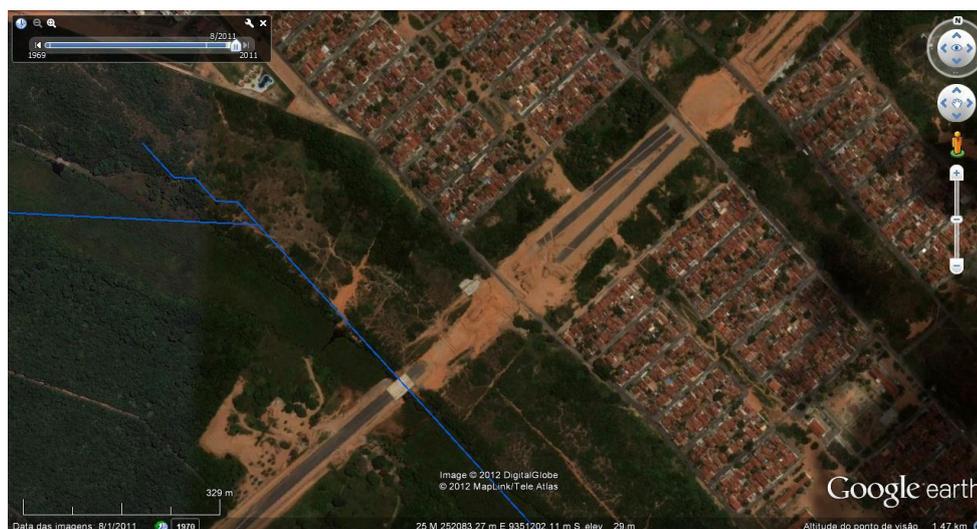
Outro ponto de degradação claramente observado nas imagens de satélite do Google Earth é a obra do prolongamento da Avenida Prudente de Moraes, composto de uma rodovia e uma ponte que corta o rio Pitimbu. Além da degradação do rio através do aporte de sedimentos oriundos dessa obra de grande porte e desmatamento da vegetação, futuramente o rio também poderá ser contaminado por metais pesados, devido ao tráfego de veículos neste local. As Figuras 11 e 12 apresentam o rio antes e depois da construção da ponte.

Figura 11 - O rio Pitimbu antes da construção da ponte, ano de 2009.



Fonte: Google Earth® (2009)

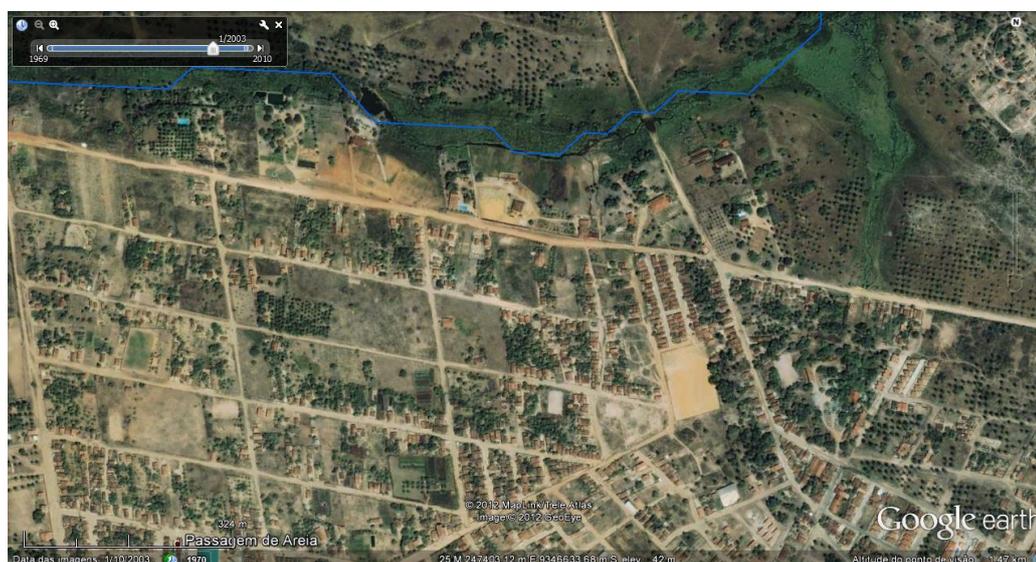
Figura 12 - Rio depois da construção da ponte, ano de 2010.



Fonte: Google Earth® (2010)

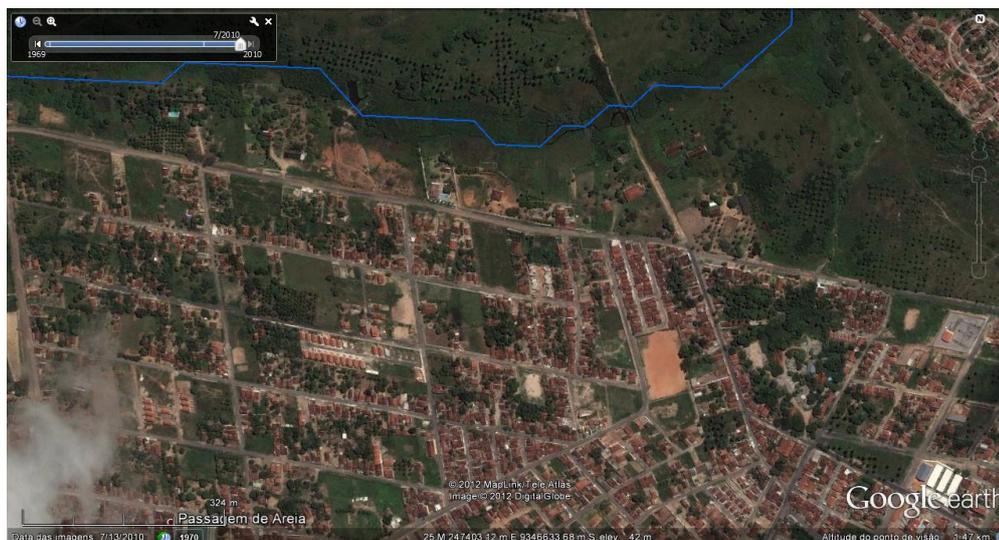
A rápida expansão dos bairros residenciais também foi observada nesse estudo, principalmente do município de Parnamirim. Nas figuras 13 e 14, respectivamente, pode-se observar o grande número de casas que foram construídas em um intervalo de 07 anos (2003 a 2010). O desenvolvimento dessa área acarretou ainda em: a) construção de vias de acesso impermeabilizando a área; b) maior produção de lixo; c) produção de efluentes domésticos que infiltrará no solo devido à falta de infraestrutura; d) produção de sedimentos.

Figura 13 - Início da expansão em Parnamirim, ano de 2003.



Fonte: Google Earth® (2003)

Figura 14 - Expansão de bairros em Parnamirim, ano de 2010.



Fonte: Google Earth® (2010)

5.2 Metais pesados no sedimento e na água

Os resultados das análises de metais pesados na água e sedimento estão apresentados na Tabela 10. Foram observadas concentrações nulas para o Cádmiu e Cobre no sedimento e na água e no manganês para a água. Como esperado, foram detectadas concentrações mais altas no sedimento em comparação com a água. Cabe citar a variabilidade dos dados de concentração de metais na água e sedimento. Teores mais elevados de metais estavam associados à presença de fontes pontuais de origem antrópica.

As concentrações de Alumínio e Ferro no sedimento variaram entre 121.000 - 4.720.000 e 135.000 - 3.875.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivamente. Na água, por sua vez, as concentrações do Alumínio e Ferro variaram entre 0,05 - 0,6 e 0,345 - 1,08 mg.L^{-1} , respectivamente. Observou-se concentração de Chumbo no sedimento variando entre 100.000 - 1.100.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e no Níquel e Zinco as concentrações variam entre 0 - 100.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e 30.000 - 180.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 10 - Concentração dos metais no sedimento (em $\mu\text{g.kg}^{-1}$) e na água (em mg.l^{-1}).

PONTO	A1		A2		A3		A4	
	Sedimento	Água	Sedimento	Água	Sedimento	Água	Sedimento	Água
Alumínio	2970000	0,6	156000	0,2	467000	0,15	130500	0,05
Chumbo	100000	0	0	0	300000	0	0	0
Ferro	8360000	0,6	842000	0,34	3970000	0,4	1350000	0,41
Manganês	ND	0,005	ND	0,01	ND	0,005	ND	0
Níquel	0	0	100000	0	100000	0	100000	0
Zinco	180000	0,020	55000	0,015	60000	0,015	115000	0,005
PONTO	A5		A6		A7		A8	
	Sedimento	Água	Sedimento	Água	Sedimento	Água	Sedimento	Água
Alumínio	233000	0,2	141000	0,1	121000	0,05	472000	0,05
Chumbo	0	0	1100000	0	1000000	0	0	0
Ferro	2200000	0,36	38750000	1,0	9400000	0,91	171000	0,43
Manganês	ND	0,005	ND	0	ND	0	ND	0
Níquel	0	0	0	0	0	0	0	0
Zinco	30000	0,005	140000	0,005	90000	0,010	35000	0,005

De acordo com a normativa Canadense, foram detectadas concentrações de Chumbo e Zinco no sedimento (seções A1-A3-A6-A7 acima do nível PEL e A1-A6 acima do nível ISQG, respectivamente), Figuras 15 e 16. Em algumas seções, esses níveis ultrapassam 10 vezes o valor de referência.

Com relação à água, as Figuras 17 e 18 mostram os níveis de Alumínio e de Ferro, respectivamente, e os valores de referência da norma Canadense CCME (1999) e da norma brasileira CONAMA (2004). A normativa canadense e a brasileira estabelecem níveis máximos para o Alumínio e para o Ferro associados à qualidade da água de consumo. Foram observadas concentrações acima dos níveis máximos em todas as seções (para o Ferro), e na seção A1 para o Alumínio.

A concentração de Ferro para o sedimento (Figura 19) ficou acima do nível máximo (muito poluído) preconizado pela normativa USEPA na seção A6.

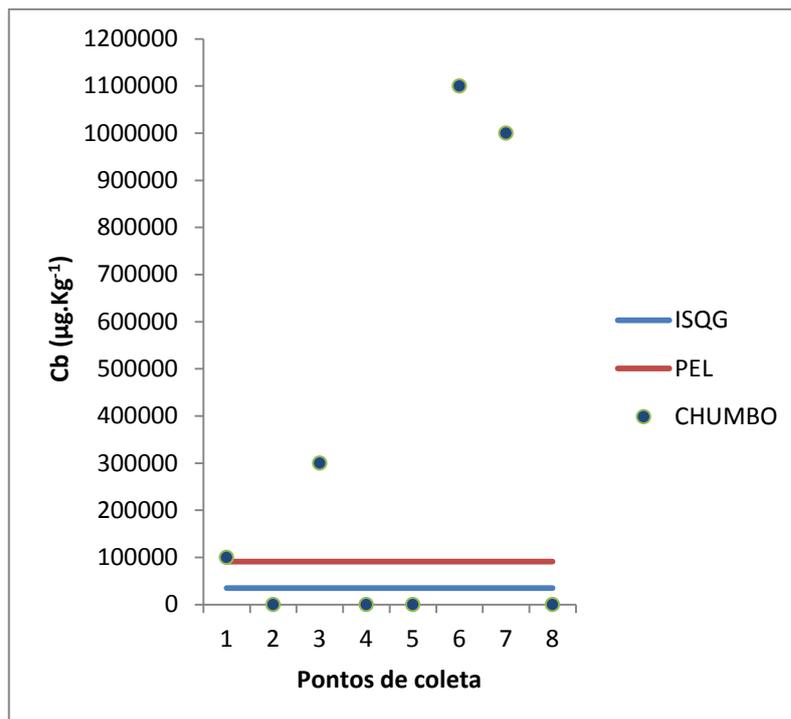


Figura 15 - Concentração de Chumbo ($\mu\text{g.Kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do CCME (1999).

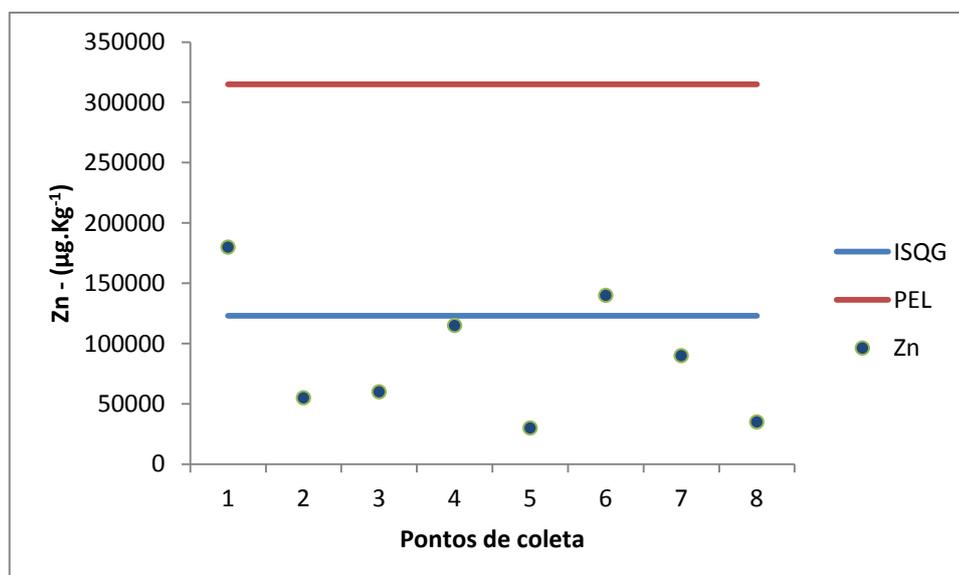


Figura 16 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do CCME (1999).

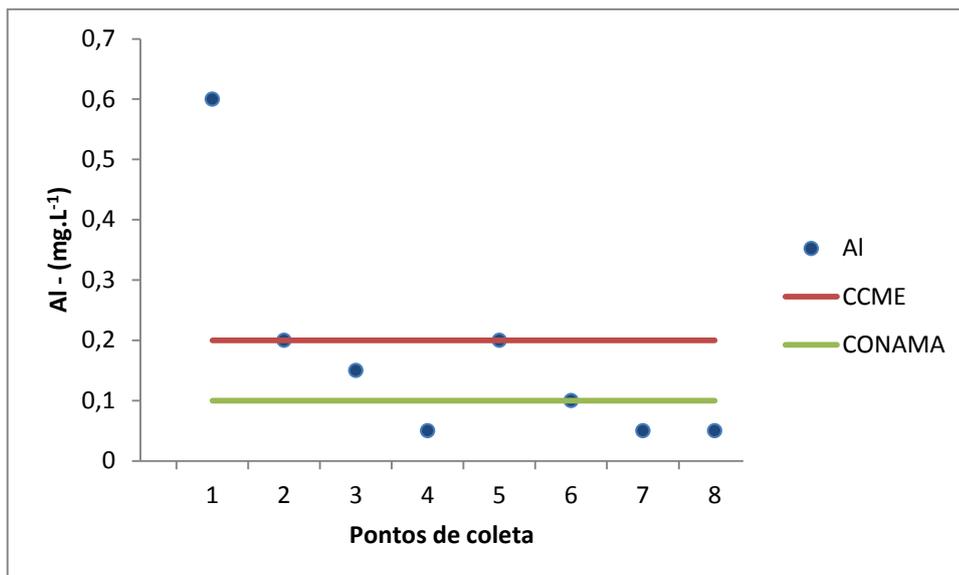


Figura 17 - Concentração de Alumínio (mg.L^{-1}) em 8 amostras de águas fluviais. Os valores de referência são do CCME (1999) e CONAMA (2004).

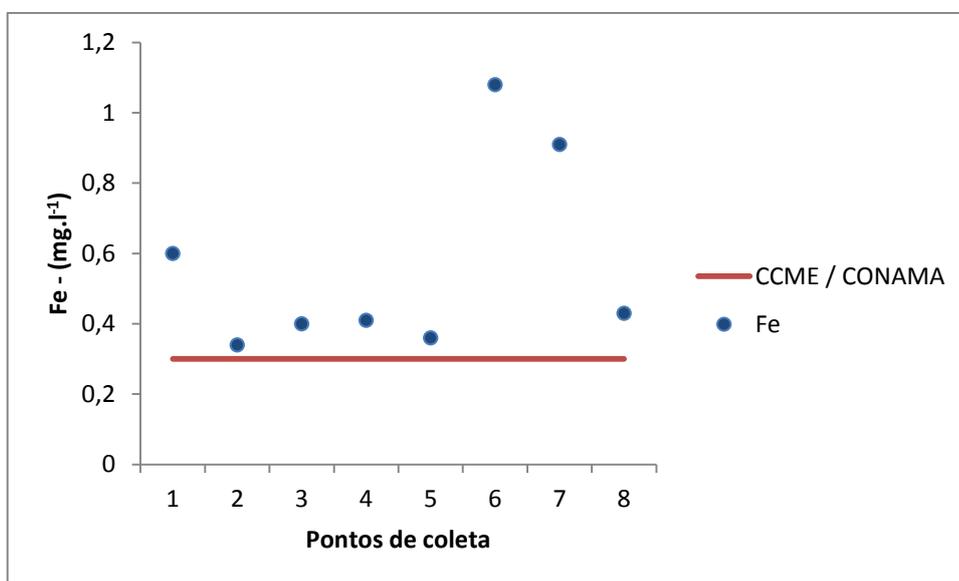


Figura 18 - Concentração de Ferro (mg.L^{-1}) em 8 amostras de águas fluviais. Os valores de referência são do CCME (1999) e CONAMA (2004).

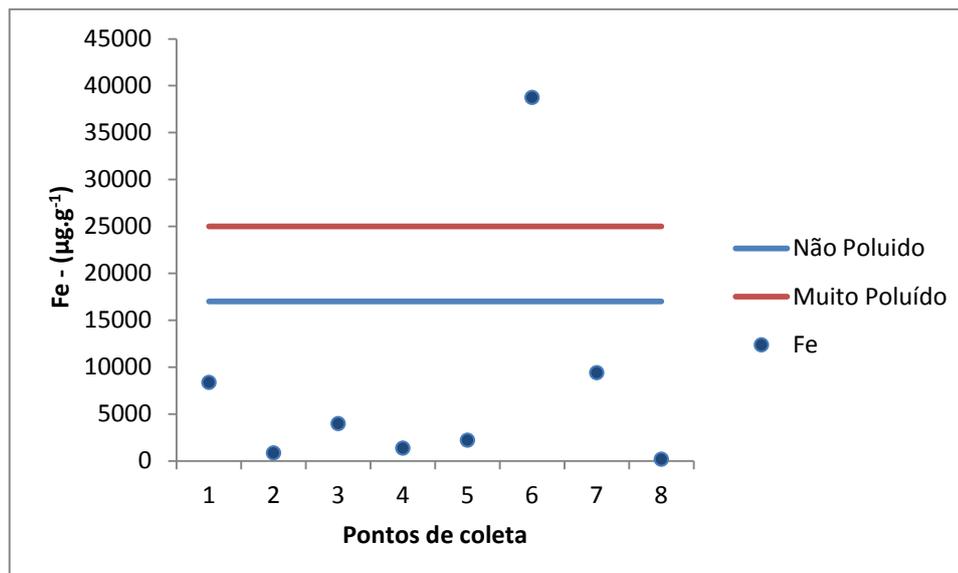


Figura 19 - Concentração de Ferro ($\mu\text{g.g}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são da USEPA (1977).

Em relação aos valores de referência OMEE (1993), VROM (2000) e CONAMA (2004), os resultados do zinco foram os seguintes: os níveis de zinco ficaram abaixo de todos os valores de referência nas seções A2, A3, A4, A5, A7 e A8, não apresentando sinais de contaminação nessas seções. A seção A1 apresentou níveis de zinco acima do limite preconizado pelo OMEE para efeito baixo, resolução CONAMA nível I e VROM – Limite.

A seção A6 apresentou valores acima do OMEE – baixo e CONAMA nível I, ficando no valor limite do valor de referência Holandês VROM, apresentando níveis de contaminação do sedimento ainda baixo. Os resultados podem ser visualizados na Figura 20.

Analisando a Figura 21, pode-se observar que os valores de chumbo foram nulos nas seções A2, A4, A5 e A8. A seção A1 apresentou níveis de contaminação acima do OMEE-baixo e severo, CONAMA – nível I e nível II e VROM – limite, ficando abaixo do VROM – intervenção. As seções A3, A6 e A7 tiveram níveis do metal muito acima com relação a todas normativas consideradas. Esses resultados indicam contaminação de origem antrópica nessas seções, principalmente por combustão de gasolina.

Na figura 22 estão apresentados os valores de níquel nas seções em estudo. As análises apresentaram valores nulos para as seções A1, A5, A6, A7 e A8. As seções A2, A3 e A4 apresentaram valores acima dos limites preconizados pelo

CONAMA – nível I e II, OMEE – baixo e severo e VROM – limite. Ficando abaixo apenas do VROM – intervenção. Essas seções apresentam elevados níveis de contaminação por níquel através de origem antrópica.

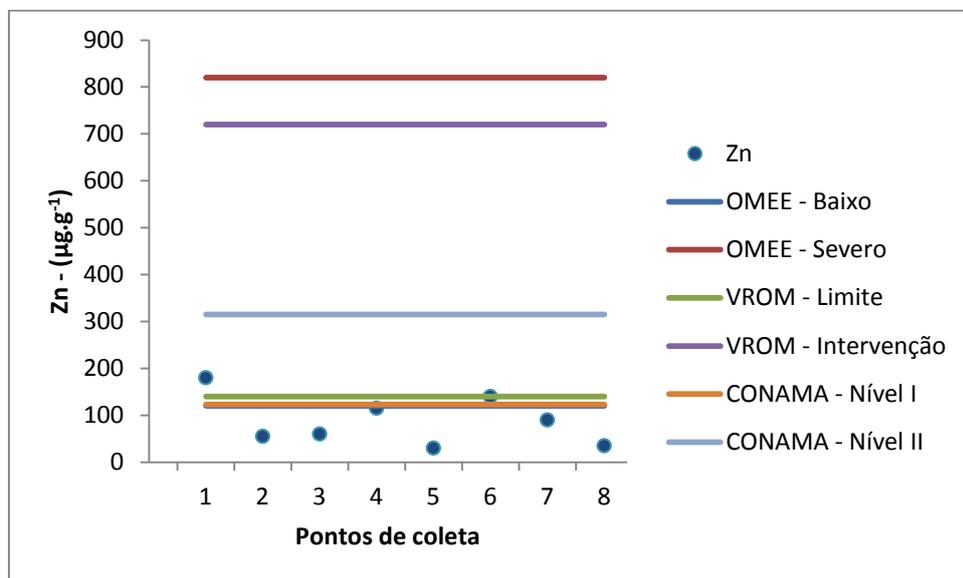


Figura 20 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g.g}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE (1993); VROM (2000); CONAMA (2004).

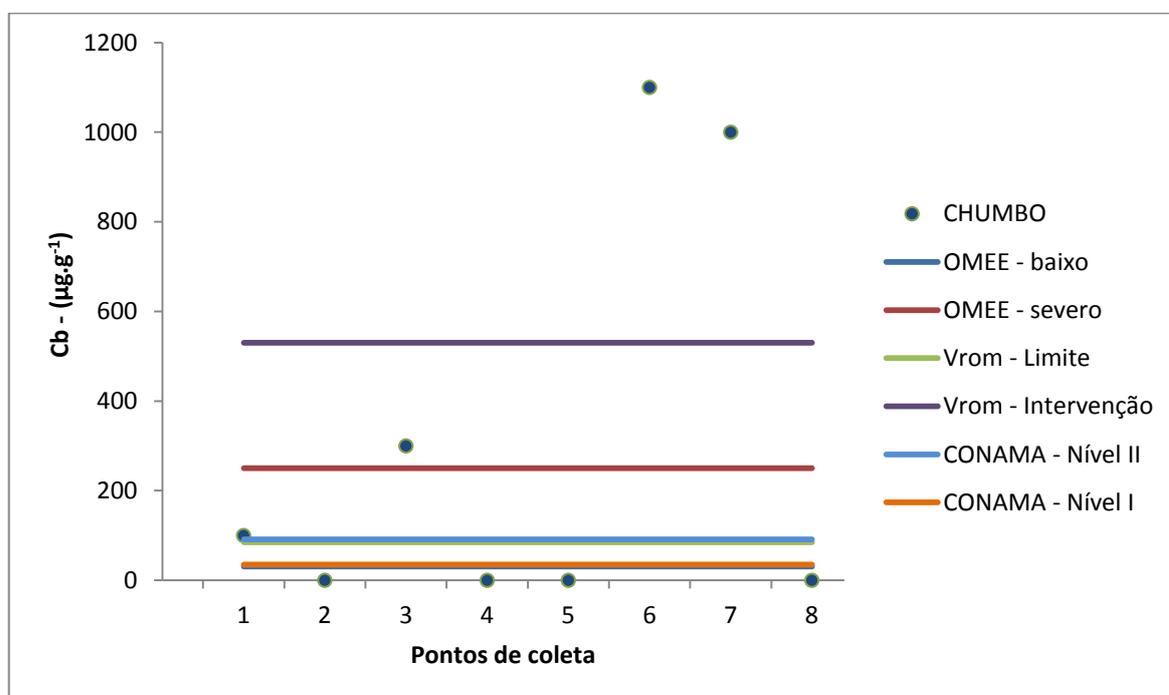


Figura 21 - Concentração de Chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE (1993); VROM (2000); CONAMA (2004).

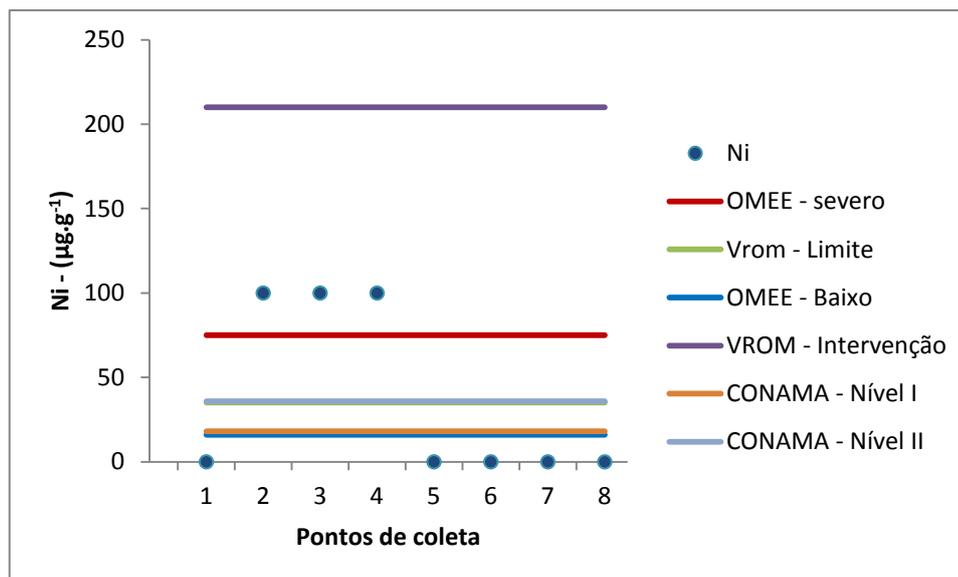


Figura 22 - Concentração de Níquel ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) em 8 amostras de sedimentos fluviais de fundo. Os valores de referência são do: OMEE (1993); VROM (2000); CONAMA (2004).

5.3 Fósforo Total

O resultado da análise de fósforo total na água está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Concentração de Fósforo Total na água (em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

PONTO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Fósforo								
Total	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,00

Para a análise dos resultados do Fósforo tomou-se como referência a Resolução Conama n°357/2004, onde para rios de classe 2, o limite de Fósforo Total para ambientes lênticos é de $0,030 \text{ mg L}^{-1}$.

Como pode ser observado, na Figura 23, a concentração de Fósforo foi nula nos pontos A1, A2, A3 e A8. Já nos pontos A4, A5, A6 e A7, a concentração ultrapassou o limite preconizado pela resolução CONAMA n°357/2004.

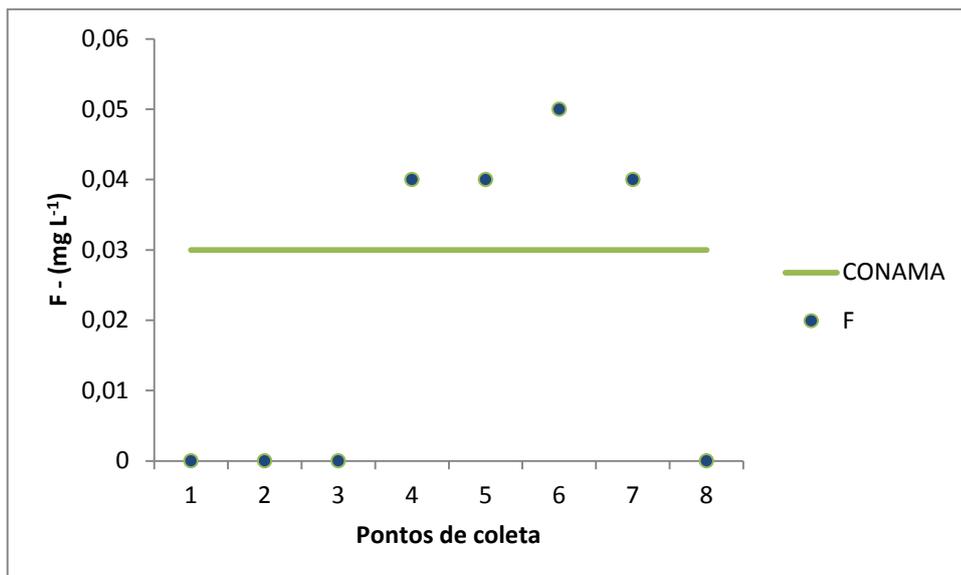


Figura 23 - Concentração de Fósforo Total (mg L^{-1}) em 8 amostras de água.

6. DISCUSSÃO

A análise de uso e ocupação do solo a partir de observações de uma imagem do Google Earth® do ano de 2010 e visitas em campo mostraram que a bacia é caracterizada por: área residencial e comercial (17,59%), cobertura vegetal (40,1%), área em processo de ocupação urbana (12,91%), área agrícola (18,56%), aglomerado rural (2,15%), área militar (6,45%), cemitérios (0,04%) e área industrial (2,21%). Os resultados das análises permitem concluir que a bacia é caracterizada principalmente por área verde e área residencial e comercial.

Os metais analisados (Al, Cd, Cu, Pb, Fe, Ni, Zn e Mg) no sedimento e na água por digestão ácida e espectrometria de absorção atômica por chama (FLAA), apresentaram para algumas amostras, concentrações totais acima dos padrões preconizados pelas normativas de referência utilizadas neste trabalho.

Foram observadas concentrações nulas para o Cádmiio e o Cobre em todas as seções. O Chumbo apresentou altos valores acima do limite de alerta, nas seções A1 (EMPARN), A3 (Ponte Velha – BR 101), A6 (BR-304) e A7 (Passagem de areia). Essas seções são caracterizadas (de acordo com a análise de uso e ocupação do solo) por áreas de ocupação residencial e comercial, área em processo de ocupação urbana e área industrial.

Os valores de Chumbo detectados no sedimento dessas seções indicam a ocorrência de contaminação associada aos depositados de estradas (efeito lavagem das ruas e calçadas pelo escoamento superficial) e deposição atmosférica, pois em três desses pontos (A3, A6 e A7) estradas cortam o rio, algumas com intenso tráfego de veículos. As fontes de Chumbo de origem antropogênicas são principalmente de: emissões de escape de veículos, desgaste de pneus, material de construção.

Os teores de Zinco apresentam um nível de contaminação moderado, mas que requerem atenção por ficarem pouco acima dos limites preconizados nas normas utilizadas. As seções contaminadas por Zinco (A1 e A6) caracterizam-se por serem áreas em processo de ocupação residencial e comercial e área industrial.

O Zinco pode ser adsorvido pelo sedimento e transportado na forma de material particulado. A sua presença no sedimento normalmente está associada à poluição difusa por esgotos sanitários tratados ou *in natura*. Tal como outros metais, também é adsorvido ao sedimento depositado nas rodovias, resíduos de pneus e óleos lubrificantes.

A análise de Alumínio na água mostrou valores acima da normativa nas seções A1, A2, A3, A5 e A6, chamando atenção a seção A1 onde o valor ultrapassou três vezes o valor limite ($0,6 \text{ mg L}^{-1}$). Segundo Devecchi (2006), a exposição do alumínio se dá pela sua abundância no ambiente. Sua acumulação no ser humano pode levar a processos degenerativos como Mal de Alzheimer.

Os resultados para o Ferro na água mostraram níveis acima dos preconizados em todas as seções. Já para o sedimento, o Ferro ultrapassou o nível máximo apenas na seção A6. A seção A6 está localizada na BR-304 próxima a área de indústrias e área residencial e comercial.

Os teores de Ferro detectados no sedimento indicam a ocorrência de contaminação localizada proveniente de áreas situadas a montante da rodovia, num processo de transferência do metal para o sistema fluvial. A seção A6 está situada a montante da ponte de Macaíba, no cruzamento com a BR 304, região do distrito industrial. Trata-se de um local com histórico de atividade antropogênica cujos efeitos no sistema aquático são evidentes. A BR 304 é a principal rodovia de transporte para o interior do estado. Está submetida a intenso tráfego de veículos leves e pesados. Estudos associam a contaminação do Ferro a sedimentos depositados em rodovias (resíduos de escapamento de veículos e corrosão das partes metálicas) que são transportados pelo ar e pelo escoamento superficial nos eventos chuvosos.

A concentração de Níquel mostrou valores altos nas seções A2, A3 e A4, essas seções são caracterizadas por áreas residenciais e comerciais e áreas em processo de ocupação urbana. Na seção A2 (Prolongamento da Prudente de Moraes) está ocorrendo uma obra de grande porte com a construção de uma ponte, a seção A3 localiza-se as margens da BR-101 e muito próxima a um cemitério, e a seção A4 está localizada próximo ao bairro Planalto que é densamente povoado. O aporte de Níquel no sedimento pode-se ocorrer por desgaste de motor e geologia de fundo.

A análise de Fósforo Total na água indicou valores acima do valor máximo preconizado pelo CONAMA. As seções cujos valores foram ultrapassados foram: A4, A5, A6 e A7, esses pontos estão localizados muito próximos as áreas residenciais densamente povoadas (Planalto). A fonte de fósforo provavelmente está associada aos esgotos domésticos, pois não existe infraestrutura de coleta de esgoto nesse local, e a alta taxa de infiltração do solo na bacia facilita a percolação do efluente, sendo que o despejo de esgoto *in natura* também foi observado nessas áreas.

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos e nas discussões aqui apresentadas, este estudo detectou altas concentrações de Ferro, Chumbo, Níquel e Zinco no sedimento. Na água encontrou-se Alumínio, Ferro e Fósforo em altos níveis.

Esses altos índices de metais pesados e fósforo no sedimento e na água, estão diretamente associados ao tipo de uso e ocupação do solo. A partir de uma imagem de satélite do Google Earth® e visitas de campo, foi feita uma análise do uso e ocupação do solo que permitiu concluir que a Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu sofre um intenso processo de expansão urbana, principalmente por áreas residenciais e comerciais.

As altas concentrações de chumbo ($1.100 \mu\text{g.g}^{-1}$) indicam a ocorrência de contaminação por depositados de estradas, visto que, o rio Pitimbu é cortado pela BR – 101 e a BR – 304, onde há um intenso tráfego de veículos. O zinco mostrou níveis de contaminação moderado ($180 \mu\text{g.g}^{-1}$) estando associado a efluentes domésticos, resíduos de pneus e óleos lubrificantes. A localização e as características dos pontos (área industrial, área residencial e comercial e área em processo de ocupação), onde foi encontrado esse metal, confirma a possível fonte de zinco no sedimento.

O Alumínio na água obteve valor máximo na seção A1 de $0,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, esse valor ultrapassou três vezes o valor limite estabelecido pelo CCME ($0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$). Sua fonte pode ser de origem natural, porém suas altas concentrações podem afetar a saúde humana. Já para o Ferro, todas as seções analisadas mostraram níveis acima dos valores preconizados pelas normativas de referência utilizadas. O nível máximo foi de $1,08 \mu\text{g.g}^{-1}$ na seção A6, localizada na BR – 304, passível de contaminação por sedimento depositado em estradas (resíduo de escapamento de veículo, corrosão das partes metálicas).

Assim como na água, o sedimento no ponto A6 também indicou contaminação por ferro ($38.750 \mu\text{g.g}^{-1}$), os valores limites da USEPA indicam que o sedimento neste local está muito poluído.

O aporte de níquel no sedimento pode dar-se por desgaste de motor e geologia de fundo. As seções A2, A3 e A4, aonde seus valores deram acima do valor severo para o OMEE, são muito próximas de estradas e rodovias de onde pode vir esse metal. O valor máximo encontrado para o níquel foi de $100 \mu\text{g.g}^{-1}$.

A análise de Fósforo Total ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) na água indicou valores acima do valor máximo preconizado pelo CONAMA nº 357/2004. Os pontos onde foram encontrados esses valores são muito próximos de áreas densamente povoadas, podendo a contaminação esta associada aos esgotos domésticos.

Os resultados dessa pesquisa indicam a necessidade de ações políticas objetivando uma gestão integrada dos recursos hídricos.

O controle do uso e ocupação do solo da BHRP representa um desafio estratégico para toda a sociedade. Ao longo dos 30 anos, a BHRP tem sido objeto de uma série de intervenções, com efeitos negativos para o ecossistema aquático e para os recursos hídricos. A situação é desafiadora na medida em que o rio Pitimbu é o manancial de abastecimento da zona sul de Natal.

Este trabalho apresentou os resultados obtidos da análise da concentração de metais pesados e fósforo na água e no sedimento fluvial em oito seções distribuídas na calha fluvial. Os valores de metais encontrados foram associados ao tipo de uso e ocupação do solo na bacia. As concentrações de Ferro, Alumínio, Chumbo, Níquel e Zinco detectadas revelam que o modelo de gestão dos recursos hídricos adotado na BHRP não tem sido eficaz na proteção do ecossistema fluvial e da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMS, W. J. et al. **Porewater Toxicity Testing: Biological, Chemical, and Ecological Considerations With a Review of Methods and Applications, and Recommendations for Future Areas of Research.** SETAC. Disponível em: <<http://www.setac.org/sites/default/files/PWSummary.pdf>>. Acessado em: 30/05/2011.

ARAÚJO, A.L.C. et al. **Avaliação Preliminar da Concentração de Nitratos nas Águas Subterrâneas de Abastecimento na Região Urbana de Parnamirim – RN.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

BARBOSA, J.K.F. **Conflitos da Água e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu no Município de Macaíba, RN.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006.

BIRD, G.; BREWER, P. A.; MACKLIN, M. G.; BALTEANU, D.; DRIGA, B.; SERBAN, S. **The Solid State Partitioning of Contaminant Metals and As in River Channel Sediments of the Mining Affected Tisa Drainage Basin, Northwestern Romania and Eastern Hungary.** Applied Geochemistry. V18. P. 1583-1595, 2003.

BORGES, A.N. **Implicações Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (RN) Decorrente das Diversas Formas de Uso e Ocupação do Solo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2002).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA Resolução N° 357, de 17 de março de 2005.** Governo do Brasil, 2005.

CARRAZ, F et al. **Contaminated Urban Road Deposited Sediment (RDS), Greater Manchester, UK: a spatial assessment of potential surface water impacts.** Department of Environmental and geographical Sciences. Manchester Metropolitan University, 2006.

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

CCME - **Canadian Council of Ministers of the Environment**. (1999). Canadian Environmental Quality Guidelines. Disponível em: < <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/>>. Acessado em: 21/05/2012.

CHARLESWORTH, S.M.; EVERETT, M.; MCCARTHY, R. **A comparative study of heavy metal distribution in deposited street dusts in a large and small urban area: Birmigham and Coventry, West Midlands, UK**. Environment International, 29, pp. 563-73, 2003

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução N° 344, de 25 de março de 2004. Ministério do Meio Ambiente, Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/res/res04/res34404.xml>>.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>.

DANTAS, T. N. P; MEDEIROS, J. R.; SILVA, S. K.; ARAÚJO, A. L. C. **Determinação da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi Através da Aplicação do Índice de Qualidade de Água (IQA)**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009.

ENVIRONMETAL CANADÁ. **Sediment Assessment Series: Basic Concepts and Program Highlights. Factsheet 1**. Ottawa: Environmental Protection Publications, 2003.

EPA - **Environmental Protection Agency. Method 3050B – Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils**. 1996.

FERREIRA, R. S. & SILVA, S. K. **Avaliação da Qualidade da Água do Rio Pitimbu na Estação Chuvosa por Meio do IQA. Monografia de Conclusão de**

Curso Técnico em Controle Ambiental. Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, NATAL, RN, 2009.

GUIMARÃES SEGUNDO, J.E.A. **Diagnóstico Geoquímico Ambiental de Água e Sedimento de Fundo do Rio Pitimbu, Região Sul da Grande Natal (RN).** Dissertação (Mestrado em Geociência) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2002.

GUIMARÃES, V. **Resíduos de Mineração e Metalurgia: Efeitos Poluidores em Sedimentos e em Espécie Biomonitora.** Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HEALTH CANADA – **Water Quality/ Reports and Publications/ Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. (2010).** Disponível em: <Available on http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2010-sum_guide-res_recom/index-eng.php>. Acessado em: 25/05/2012.

IBGE - **Manual Técnico de Uso da Terra.** In Manuais Técnicos em Geociências. N. 7, Rio de Janeiro, 2006.

KOBAYASHI, R. T.; MOREIRA, L.F.F. & ANDRADE, H.T.A. **Pitimbu river lowland portion water and sediment monitoring data, Natal Brazil.** International Environmental Modelling and Software Society. Ottawa, Canadá, 2010.

LIMA, L.F. **Geoquímica de Sedimentos de Fundo dos Rios Trairí e Ararí e da Laguna de Nísia Floresta (RN).** Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006.

LONG, E.R. **Ranges in chemical concentrations in sediments associated with adverse biological effects.** Mar. Pollut. Bull. 24, pp. 38-45. 1992.

LUOMA, S.N. and J.L. CARTER. Understanding **the toxicity of contaminants in sediments: Beyond the bioassay-based paradigm.** Environ. Toxicol. Chem. 12, pp. 793-796, 1993.

LUOMA, S.N. and RAINBOW, P.S. **Biomonitor.** In: **Metal Contamination in Aquatic Environments.** Cambridge. pp 169-203, 2008.

McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L.M. et al. **Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.59, p.269-284, 2001.

MONTE EGITO, L.C. **Análise da presença de agentes mutagênicos nas águas do rio Pitimbu-RN.** Tese de Doutorado. UFRN. Natal, RN, 2006.

NELSON, E.J; BOOTH, D.B. **Sediment Sources in a Urbanizing, Mixed Land-Use Watershed.** Journal of Hidrology, Washington, v 264, p. 51-68, 2002.

OMEE (Ontario Ministry of the Environment and Energy). **Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario.** Toronto: Ontario Ministry of the Environment and Energy, 1993.

PACKMAN, J. J.; COMINGS. K.J.; BOOTH, D. B. **Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in Urbanizing Streams in the Puget Lowlands.** In: **Confronting Uncertainty: Managing Change in Water Resources and the Environment,** Canadian Water Resources Association annual meeting, Vancouver. pp. 158-165.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na Água e no Sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS.** Dissertação (Mestrado) – UFSM, SANTA MARIA, RS, 2005.

PERRY, C.; TAYLOR, K. **Environmental Sedimentology.** UK: Blackwell Publishing Ltd., 2007.

POLETO, C. **Fontes Potenciais e Qualidade dos Sedimentos Fluviais em Suspensão em Ambiente Urbano.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e

Saneamento ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

POLETO, C.; CASTILHO, Z. C. **Impacto por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas.** In POLETO, C. (Org.) Ambiente e Sedimento. Porto Alegre: Ed. ABRH, p. 193 – 227, 2008.

POLETO, C.; GONÇALVES, G. R. Qualidade das amostras e valores de referência. In: Poleto, C.; Merten, G. H. (Orgs.). **Qualidade dos Sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, p. 237-277, 2006.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. **Trace Elements In Urban Sediments And Their Guidelines Evaluation.** In Holos Environment, v.8, p 100 – 118, 2008.

REYNOLDS, C. S. DAVIES, P. S. **Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a british perspective.** Biology Review, v.76, p.27-64, 2001.

ROBERTSON, D.J.; TAYLOR, K.G.; HOON, S.R. **Geochemical and mineral characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK.** Applied Geochemistry, 18, pp. 269-82, 2002.

SALOMONS, W. & FORSTNER, U. **Metals in the Hydrocycle.** Springer-Verlag, Heidelberg, 349 pp, 1884.

SANTOS, A.R.L.; MELO JÚNIOR, G.; GUIMARÃES SEGUNDO, J.E.A. **Concentração de Metais Pesados em Frações Granulométricas de Sedimento de Fundo do Rio Pitimbu, Região Sul da Grande Natal (RN): Implicações para levantamentos ambientais.** Revista de Geologia, v.15, p 01-08, 2002.

SARAIVA, V. K. **Critérios para Avaliação da Qualidade de Sedimentos – Estudo de Caso: Sub-Bacia do Ribeirão Espírito Santo, Afluente do Rio São Francisco.** Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia das Radiações) – Centro de

Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Comissão Nacional da Energia Nuclear, Belo Horizonte, 2007.

SECRETARIA DE ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS – SERHID. **Plano de Gestão Integrado da Bacia do Rio Pitimbu. Projeto Pró-água / semi árido.** SDP N°005/2003. VBA – TECNOSOLO, 2006.

SENA, D.S. **Avaliação da Qualidade da Água do Rio Pitimbu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

SHAPLEY, A. N; SMITH, S. J.; JONES, O. R. et al. **The Transport of Bioavailable Phosphorus in Agricultural Runoff.** Journal of Environmental Quality, Madson, V. 2, p.30, 1992.

TAYLOR, K. **Urban environments.** In: **Environmental Sedimentology.** Blackwell Publishing. pp. 190-222, 2007.

TOMAZELLI, A. C. **Estudo Comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Ciências, Área Biologia Comparada) – Departamento de Biologia, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana.** In: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, v7, nº 1, 2007.

TUCCI, E.M. **Drenagem Urbana.** Ed. ABRH. Porto Alegre, 2007

TUCCI, E.M. Inundações e Drenagem Urbana. In **Inundações Urbanas na América do Sul.** Tucci, C. E. M.; Bertoni, J.C. (orgs.). Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2003.

VROM – Ministry of Housing Spatial Planning and Environment. Circular on target values and intervention values for soils remediation. Netherlands Government Gazette, v. 39, p. 1-11, 2000.