



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

**Rafael Takeshi Kobayashi**

**ESTUDO DOS ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DA ÁGUA E DO  
SEDIMENTO NO BAIXO CURSO DO RIO PITIMBU (RN)**

**Natal/RN**  
**2009**

**Rafael Takeshi Kobayashi**

**ESTUDO DOS ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DA ÁGUA E DO  
SEDIMENTO NO BAIXO CURSO DO RIO PITIMBU (RN)**

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

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Flávio Ferreira Moreira

**Natal/RN**

**2009**

**Rafael Takeshi Kobayashi**

**ESTUDOS DOS ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DA ÁGUA E  
DO SEDIMENTO NO BAIXO CURSO DO RIO PITIMBU (RN)**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Lúcio Flávio Ferreira Moreira – Orientador

---

Dr. Herbet Tadeu de Almeida Andrade – Examinador Interno

---

Dr. André Luis Calado Araújo – Examinador Interno

---

Dr. Alain Marie Bernard Passerat de Silans – Examinador Externo

Natal, 11 de Setembro de 2009

À minha namorada, Jaidnara Alves de Carvalho. Ela é tudo o que eu tenho de mais importante.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha namorada, meus amigos, professores, bolsistas, instituições, família e todos que contribuíram para conclusão desta pesquisa.

## RESUMO

A expansão urbana das regiões metropolitanas tem produzido impactos negativos de grande importância no meio ambiente e nos recursos hídricos. Esses impactos estão relacionados com as atividades antrópicas na bacia hidrográfica, refletidas no descontrole do uso e ocupação do solo. Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do rio Pitimbu, situada na região metropolitana de Natal, tem sido objeto de ocupação desordenada, motivada pela expansão urbana. Os efeitos dessa ocupação tem se refletido na qualidade e quantidade da água desse rio, com consequências sociais importantes. O rio Pitimbu é manancial de abastecimento, suprindo atualmente uma vazão de 2600 m<sup>3</sup>/h. Este estudo tem como objetivo analisar aspectos quali-quantitativos da água e do sedimento no baixo curso do rio Pitimbu. Para isso, foram realizadas análises físico-químicas da água e biomonitoramento envolvendo macro-invertebrados bentônicos em duas seções transversais no período de 8/11/2007 a 3/10/2008. O monitoramento consistiu na coleta de amostras da água e do sedimento fluvial e posterior análise em laboratório. Foram analisados Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrato, pH, Alcalinidade, Sólidos Suspensos e Totais, além dos teores de Cádmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Prata e Níquel. O monitoramento da descarga líquida no período seco permitiu o ajuste dos parâmetros da função de recessão, demonstrando recessão rápida com forte interação rio-aquífero não confinado. A análise da qualidade da água revelou ausência de degradação por substâncias orgânicas. Apesar disso, os níveis de OD e DBO indicam que resultados mais conclusivos poderiam ser obtidos se o intervalo entre coletas fosse reduzido. O biomonitoramento revelou sinais de degradação do ecossistema aquático pela ausência de bentônicos sensíveis e abundância de resistentes. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de que sejam adotadas medidas eficientes de gerenciamento que resultem na proteção ambiental na bacia. O aumento do nível de degradação inviabilizará o uso da água para consumo humano no futuro.

**Palavras-chave:** Rio Pitimbu. Recessão. Diagnóstico ambiental. Biomonitoramento.

## ABSTRACT

Urban growth of metropolitan areas has produced impacts of considerable importance on environment and water resources. Such impacts are in general associated with human activities, such as basin area uncontrolled development. In this context, Pitimbu river watershed, located at Natal metropolitan area, has been affected by uncontrolled development caused by urban expansion. Indeed, such effects have been reflected on water quantity and quality, which may produce social consequences. Pitimbu river is an important water supplier for human consumption, actually supplying a 2600 m<sup>3</sup>/h water discharge. This study aims to analyze the qualitative and quantitative aspects of water and sediment on Pitimbu river lowland portion. For this purpose, physical-chemical water properties were analyzed, and sediment macro invertebrates benthonic were monitored in two cross sections in a period between November 8<sup>th</sup>, 2007 and October 3<sup>rd</sup>, 2008. Monitoring methodology consisted of water and sediment sampling for laboratory analysis. Water quality analysis included Dissolved Oxygen, Oxygen Biochemical Demand, Nitrate, pH and Alkalinity, Suspended and Total Solids. The analysis of heavy metals in the sediment included Cadmium, Cobalt, Copper, Chrome, Silver and Nickel. Dry season water discharge data were measured and used to adjust recession function parameters, whose values reveal quick recession and strong river-aquifer unconfined interaction. Water quality analysis revealed the absence of degradation by organic composites. However, DO and BOD levels indicate that more consistent results could be provided if sampling time interval were reduced. Biomonitoring showed signs of aquatic ecosystem degradation by the absence of sensitive and abundance of resistant benthic organisms. Obtained results demonstrate the urgent need of effective management measures to provide environmental protection. The increase of environmental degradation will certainly make impracticable the use of water for human consumption.

**Keywords:** Pitimbu River. Recession. Environmental diagnosis. Biomonitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Panorâmica da voçoroca produzida durante o evento ocorrido em 16/01/2009 responsável pelo transporte de grande quantidade de sedimento em direção a calha principal do rio.....	17
Figura 2- Local a montante da passagem de nível da BR-101 quando a mesma esteve obstruída.....	18
Figura 3- Perfis transversais comparando o baixo, médio e alto curso do rio Pitimbu. ....	19
Figura 4- Mapa Potenciométrico do aquífero barreiras no setor oriental da bacia do rio Pirangi elaborado no final do período de estiagem (março, 2001). ....	21
Figura 5- Mapa da bacia hidrográfica do rio Pitimbu. ....	30
Figura 6- Seção 1 da área de estudo com vegetação ciliar bem preservada.....	31
Figura 7- Vista panorâmica da seção 2, mostrando margens sem vegetação ciliar..	32
Figura 8- Temperaturas médias mensais considerando os dados de Janeiro de 2002 a Dezembro de 2008.....	33
Figura 9- Mapa de isoietas das médias anuais em milímetros de chuva na área de estudo. ....	34
Figura 10- Precipitações médias mensais nos municípios de Natal e Parnamirim considerando os dados entre Janeiro de 2004 a Dezembro de 2008. ....	35
Figura 11- Geologia da bacia do rio Pitimbu. ....	36
Figura 12- Pedologia da bacia do rio Pitimbu.....	39
Figura 13- Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi. ....	41
Figura 14- Vegetação ciliar presente no baixo curso do rio Pitimbu.....	43
Figura 15- Erosão a jusante da BR-101.....	45
Figura 16- Erosão com presença de resíduos sólidos localizada nas proximidades da seção 2.....	46
Figura 17- Uso e ocupação do solo próximo ao rio. ....	48
Figura 18- Erosões próximas ao rio Pitimbu entre as duas seções de estudo. ....	48
Figura 19- Distribuição do uso e ocupação do solo na BHRP em 1998.....	50
Figura 20- Cronograma do monitoramento apresentando as medições de vazão, coleta de água e coleta de sedimento, incluindo as quatro coletas de água extras realizadas em 2009. ....	51

Figura 21- Micromolinete usado para medição da vazão.....	53
Figura 22- Amostrador US DH-48 usado para amostragem de água.....	54
Figura 23- Amostrador utilizado para a coleta de sedimento para análise biológica.	55
Figura 24- Sonda DS5 da Hydrolab utilizada em campo.....	56
Figura 25- Lupa utilizada para auxílio na identificação dos macroinvertebrados. ....	57
Figura 26- Espectrofotômetro de absorção atômica para medição de metais pesados.....	58
Figura 27- Registros históricos observados de precipitação diária na Estação do LARHISA durante o período de novembro de 2007 a setembro de 2008. ....	60
Figura 28- Comportamento da recessão durante o período seco na bacia.....	61
Figura 29- Comportamento da vazão nas seções de estudo em escalas logarítmicas. ....	63
Figura 30- Distribuição da demanda bioquímica de oxigênio em ambas as seções.	64
Figura 31- Distribuição da demanda química de oxigênio em ambas as seções.....	65
Figura 32- Distribuição de oxigênio dissolvido em ambas as seções.....	66
Figura 33- Distribuição de concentrações de nitrato em ambas as seções. ....	67
Figura 34- Distribuição de pH em ambas as seções.....	68
Figura 35- Distribuição de alcalinidade em ambas as seções.....	69
Figura 36- Distribuição de sólidos em suspensão em ambas as seções. ....	70
Figura 37- Distribuição de sólidos totais em ambas as seções.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Metais pesados com respectivos usos industriais e efeitos na saúde.....	26
Tabela 2- Análises e respectivos métodos utilizados. ....	56
Tabela 3- Parâmetros da curva de recessão do rio Pitimbu nas seções de monitoramento. ....	62
Tabela 4- Valores de metais pesados encontrados nas seções estudadas.....	71
Tabela 5- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 11.12.2007. ....	73
Tabela 6- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 12.02.2008. ....	73
Tabela 7- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 03.10.2008. ....	74
Tabela 8- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 11.12.2007. ....	75
Tabela 9- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 12.02.2008. ....	75
Tabela 10- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 03.10.2008. ....	76
Tabela 11- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na saída do Lago Azul em 03.10.2008. ....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APA	Área de Proteção Ambiental
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CIA	Centro Industrial Avançado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ETA	Estação de Tratamento de Água
IARC	International Association Research on Cancer
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
IGDG	Índice Geoquímico de Distribuição Granulométrica
IID	Igual Incremento de Distância
IIL	Igual Incremento de Largura
IQA	Índice de Qualidade de Água
LARHISA	Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
NAAE	Núcleo de Análises de Água, Alimentos e Efluentes
OD	Oxigênio Dissolvido
SERHID	Secretaria Estadual dos Recursos Hídricos
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UTM	Universal Transverse Mercator

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	29
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	29
3.2 CLIMA .....	32
3.3 GEOLOGIA .....	35
3.4 GEOMORFOLOGIA .....	37
3.5 PEDOLOGIA .....	37
3.6 HIDROLOGIA .....	40
3.7 VEGETAÇÃO .....	42
3.8 FAUNA .....	43
3.9 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	44
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	51
4.1 SEÇÕES DE ESTUDO .....	52
4.2 LABORATÓRIO .....	55
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	59
5.1 REGIME HIDROLÓGICO .....	59
5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA .....	63
<b>5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio</b> .....	63
<b>5.2.2 Demanda Química de Oxigênio</b> .....	64
<b>5.2.3 Oxigênio Dissolvido</b> .....	65
<b>5.2.4 Nitrato</b> .....	66
<b>5.2.5 pH</b> .....	67
<b>5.2.6 Alcalinidade</b> .....	68
<b>5.2.7 Sólidos Suspensos e Sólidos Totais</b> .....	69
5.3 ANÁLISES DE METAIS PESADOS NO SEDIMENTO .....	71
5.4 BIOMONITORAMENTO .....	72
<b>5.4.1 Pontos de amostragem</b> .....	72

5.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	77
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade é um fator de vital importância para um bom desenvolvimento da cidade, uma vez que o crescimento sócio-econômico pressupõe a existência de água doce de boa qualidade e em quantidade que atenda as necessidades. Nesse sentido, o desenvolvimento das grandes metrópoles foi impulsionado por esse bem de uso econômico fundamental. Entretanto, o crescimento dos centros urbanos ocorreu sem que houvesse ênfase nas questões relacionadas à proteção dos recursos naturais, qualidade ambiental e desenvolvimento sustentável. Essas atitudes começaram a ser introduzidas no plano de desenvolvimento das cidades mais recentemente, aliado à conscientização de que os recursos naturais são limitados e necessitam de uso sustentável.

Historicamente, a expansão dos centros urbanos tem provocado uma degradação gradativa dos recursos naturais, principalmente dos mananciais de água doce subterrâneos e superficiais, seja pela contaminação de efluentes, uso inadequado do solo, disposição inadequada de resíduos sólidos, além de outros impactos ambientais causados pelas ações antrópicas.

Nesse contexto, as bacias hidrográficas situadas em regiões metropolitanas têm sofrido, até os dias atuais, os impactos causados pelo uso e ocupação não planejada e insustentável. O atual contexto de estabilidade econômica no País, aliado à especulação imobiliária e fragilidade dos órgãos de proteção ambiental, tem ensejado um cenário de descontrole ambiental, com consequências desastrosas para o meio ambiente e os recursos hídricos. Conseqüentemente, o uso da água destinada ao abastecimento humano em uma bacia hidrográfica em área metropolitana se traduz num alto nível de exigência com relação à proteção e controle, visando garantir a saúde da população através da água com qualidade adequada para consumo.

Na zona sul da região metropolitana de Natal, aproximadamente 30% da água usada no abastecimento provém da captação de um reservatório natural denominado de Lagoa do Jiqui, localizada no baixo curso do rio Pitimbu. Uma vez captada, a água passa por uma Estação de Tratamento de Água (ETA) semiconvencional (adição de coagulantes, mistura rápida, filtração e desinfecção), sendo então distribuída através da rede de abastecimento para a zona sul do

município de Natal. Atualmente a adutora que abastece a cidade com vazão de 1300 m<sup>3</sup>/h, passa por uma ampliação para suprir 2600 m<sup>3</sup>/h.

A importância estratégica desse manancial de água doce contrasta com a realidade local no que se refere ao potencial de degradação da qualidade da água nas suas diferentes formas: a) contaminação dos aquíferos por efluentes domésticos; b) ausência de rede de saneamento em grande parte dos municípios onde se encontra a Bacia Hidrográfica do rio Pitimbu (BHRP); c) forma de disposição destes efluentes nas residências através de fossas sépticas; d) alta permeabilidade do solo facilita a infiltração. Todos estes fatores tornam a contaminação constante e intensa dos aquíferos livres.

A Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) utiliza uma extensa rede de poços tubulares profundos no abastecimento d'água. No entanto, atualmente a maioria dos poços apresentam teores de nitrato acima do limite (10 mg/l N) permitido na portaria 518/2004, devido aos motivos relatados anteriormente, onde o íon nitrato é o estágio final do processo de oxidação da matéria orgânica. Esta situação exige que a CAERN utilize das águas superficiais existentes para diluição das águas captadas nos poços objetivando a redução da concentração do nitrato, tornando assim os níveis de nitrato dentro dos padrões exigidos pelo Ministério da Saúde através da Portaria 518/2005, a qual define os padrões de qualidade de água para consumo humano.

A Constituição Federal de 1988, pioneira no tratamento da questão ambiental, dedicou um importante capítulo ao meio ambiente, que tem como núcleo o Art. 225, onde diz que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial a sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Seguindo este pensamento, as constituições estaduais e as leis dos municípios, utilizam-se das competências atribuídas pela Constituição Federal, para cuidar das questões ambientais. Torna-se assim, necessário o monitoramento contínuo da qualidade dos mananciais de água, principalmente os que são usados para captação de água para consumo humano. O objeto desse trabalho se insere num contexto de redução gradual da disponibilidade de água para consumo associado ao processo gradativo e contínuo de degradação ambiental da BHRP.

A água dos mananciais pode ser utilizada para diversos usos como: abastecimento de cidades, irrigação, navegação, cultivos de animais entre outros

usos. De acordo com o uso prioritário das águas de um manancial, existem classes definidas pela resolução CONAMA 357 de 2005. Esta resolução define padrões de diversos parâmetros físico-químicos e aspectos visuais dos mananciais para que garanta a segurança no uso desta água. Para verificar se as condições dos mananciais estão dentro dos padrões definidos de acordo com o seu uso prioritário, faz-se necessário o monitoramento através de análises físico-químicas e microbiológicas, além de acompanhamento do uso e ocupação do solo do entorno e visitas constantes no manancial para acompanhar aspectos visuais que ocorrem. É necessário realizar o controle da poluição através de um conjunto de ações envolvendo a comunidade local, os órgãos públicos e as organizações não governamentais. Caso já tenha havido algum comprometimento ambiental, deve ser realizada a adoção de um conjunto de medidas mitigadoras.

Na avaliação da qualidade da água, o método convencional é de efetuar análises físico-químicas e microbiológicas da água e do sedimento. Porém, é necessário utilizar diferentes metodologias para que o diagnóstico ambiental de um local adquira confiabilidade, uma vez que diferentes ferramentas podem apresentar diferentes resultados.

O biomonitoramento com macroinvertebrados bentônicos abre uma nova perspectiva na análise da qualidade ambiental, permitindo obter um nível de informação diferenciada, não obtida pelos métodos convencionais.

Assim, os objetivos deste estudo são os seguintes: a) avaliação da qualidade da água através da análise físico-química e do biomonitoramento utilizando os macroinvertebrados bentônicos; b) analisar de forma comparativa os resultados obtidos utilizando as metodologias mencionadas no item anterior; c) analisar os resultados das análises comparando com a legislação vigente e também com estudos realizados anteriormente na área de estudo; d) ajustar os parâmetros da equação de recessão do escoamento fluvial nas seções de estudo; e) identificar relações causa-efeito associadas ao uso e ocupação do solo na bacia na área do baixo curso do rio e o potencial de degradação da qualidade da água.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A BHRP tem sido objeto de diversos estudos ao longo dos anos, os quais têm focado diferentes tipos de problemas. Isso ocorre devido à importância estratégica do rio Pitimbu para a região metropolitana de Natal, como também devido à sua vulnerabilidade com relação aos impactos da urbanização e do uso do solo na bacia. O capítulo que se segue abordará alguns trabalhos realizados na referida bacia e de outros temas relacionados com a pesquisa no sentido de embasar teoricamente o conteúdo, a metodologia utilizada, os resultados obtidos e as conclusões.

Borges (2002) realizou um estudo sobre a BHRP analisando o estado ambiental da bacia através de visitas ao campo com registros fotográficos e auxílio de imagens de satélite. Foram descritos os impactos ambientais mais importantes e a situação social e ambiental na área da bacia. Percorrendo o leito maior do rio e a área da bacia hidrográfica, observou-se a presença de 22 pequenas barragens, construídas de modo artesanal e sem estudos de engenharia. Destas, 20 encontram-se no município de Macaíba. Aproximadamente 50% dessas barragens foram construídas para fins de acumulação de água para irrigação e as demais barragens construídas como passagem de nível em estradas e outros fins. Essas obras motivaram conflitos entre os usuários da água, uma vez que durante a estação seca havia uma importante redução da vazão nos trechos situados a jusante das pequenas barragens construídas pelos agricultores.

Dentre as atividades humanas de grande impacto citadas por Borges (2002), as queimadas da vegetação nativa, retirada da mata ciliar e de outras espécies vegetais pertencentes às áreas de recargas, contribuem para o aumento dos processos erosivos nas margens e consequente assoreamento da calha do rio. Segundo o autor, no período entre 1979 e 1988, observou-se uma redução da vegetação nativa na bacia de aproximadamente 744 ha. A savana florestada aberta, característica de Tabuleiros Costeiros e que ocorre principalmente nas áreas planas onde predominam os Latossolos, propícios à expansão urbana, sofreu uma redução de aproximadamente 587 ha.

Um evento importante relacionado com o transporte sedimento das margens em direção à calha do rio foi observado em janeiro de 2009. A implantação de um grande empreendimento imobiliário em uma área próxima da margem esquerda do

rio, situado do lado direito da BR 101, sentido Parnamirim-Natal, foi o principal responsável pela ocorrência de uma voçoroca de dimensões gigantescas (Figura 1), com transporte de massa. Grandes volumes de sedimento foram transportados para a calha principal do rio. A causa desse evento, ocorrido em 16/01/2009 está associada à construção de uma estrada de acesso ao Condomínio, o que provocou a geração de escoamento superficial lançado nas margens desprotegidas de vegetação com a retenção do escoamento por um período de 12 horas e formação de uma lagoa a montante (Figura 2). Em condições normais, a largura média da seção nesse trecho é de 3 m. No local onde ocorreu a erosão, a profundidade do rio era maior do que 2 m, onde atualmente está com cerca de 1 m de profundidade devido ao assoreamento. O processo erosivo começou há aproximadamente quatro anos, e coloca em risco a infraestrutura de um condomínio residencial próximo e a rodovia BR-101, demonstrando a necessidade de maiores cuidados com a bacia do rio Pitimbu.



Figura 1- Panorâmica da voçoroca produzida durante o evento ocorrido em 16/01/2009 responsável pelo transporte de grande quantidade de sedimento em direção a calha principal do rio.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 2- Local a montante da passagem de nível da BR-101 quando a mesma esteve obstruída.  
Fonte: Acervo do autor.

Com um enfoque nos processos erosivos que ocorrem na bacia, os estudos de Silva, Costa e Silva (2007) permitiram associar a vulnerabilidade de algumas áreas de encosta localizadas próximas da calha principal aos processos erosivos decorrentes dos eventos de precipitação de grande magnitude. Na Figura 3 são apresentados perfis transversais que podem ser considerados representativos do alto, médio e baixo cursos do rio Pitimbu. Com base nesses perfis é possível observar uma gradual variação nos aspectos geométricos da seção transversal ao longo da sua extensão. No baixo curso, a planície de inundação ocupa grande parte da seção e permanece alagada, sendo ocupada pelo escoamento durante a estação chuvosa.

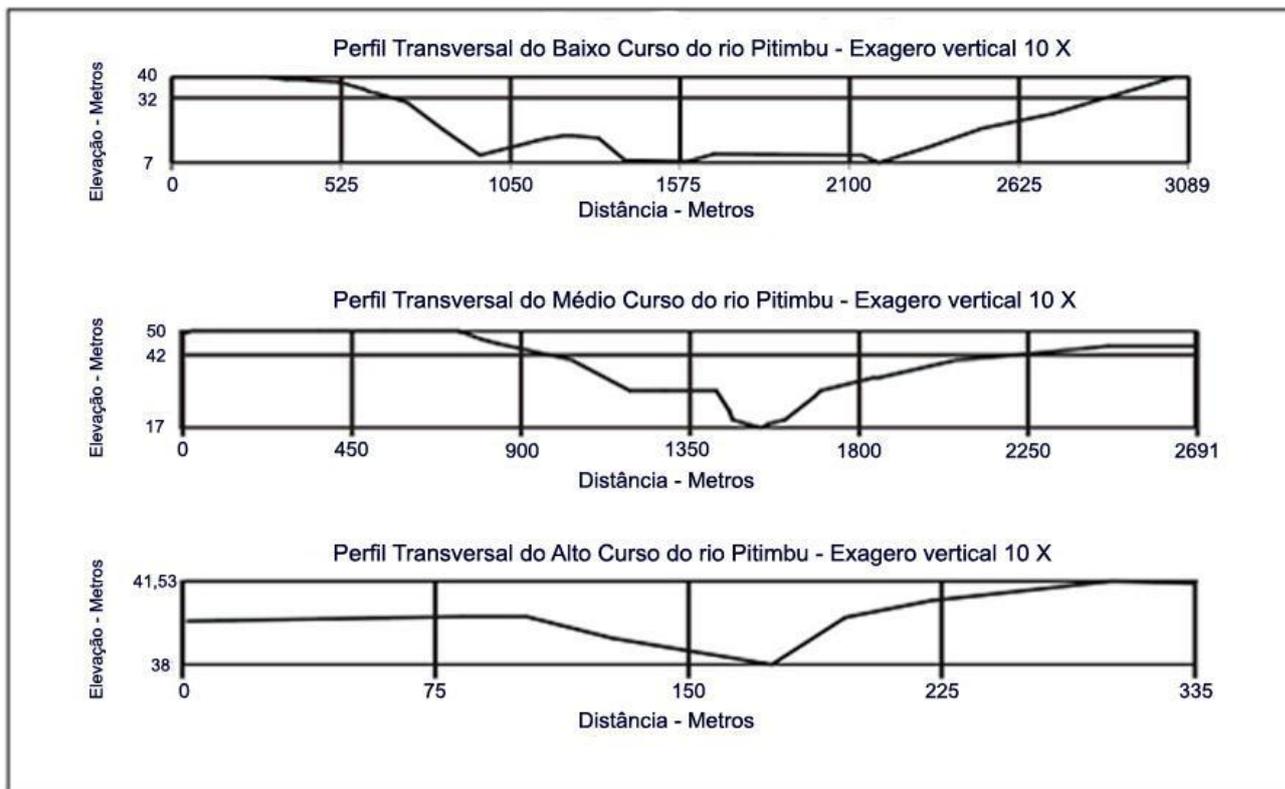


Figura 3- Perfis transversais comparando o baixo, médio e alto curso do rio Pitimbu.  
 Fonte: Silva, Costa e Silva (2007).

Dentre os diversos tipos de práticas ambientalmente não sustentáveis citadas no trabalho de Borges (2002), valem citar as seguintes: extração de areia para a construção civil, o uso indiscriminado de água para irrigação, o uso de praguicidas em cultivos na planície de inundação do rio, sem qualquer orientação técnica. Essas práticas são geralmente potenciais riscos à saúde humana e desequilíbrio do ecossistema local. Outros impactos também foram relatados no trabalho deste autor como a retirada de sedimentos para a construção civil, deposição de resíduos sólidos, lançamento de efluentes domésticos e industriais, pecuária de gado bovino e suíno às margens do rio, lançamento de águas oriundas da drenagem urbana sem o uso de estruturas de dissipação do escoamento, lavagem de roupas e banho de pessoas e animais em diversos pontos contaminando o rio e contribuindo para a elevação dos níveis de nutrientes. Levantamentos de campo permitiram verificar que as atividades de implementação do Centro Industrial Avançado (CIA) de Parnamirim promoveram sérias transformações qualitativas nos condicionantes físicos ambientais (ex.: vegetação, relevo, entre outros) da BHRP podendo tornar inviável o tratamento de água para a cidade de Natal.

O estudo realizado por Oliveira (1994) teve como objetivo analisar as condições gerais da qualidade da água do rio Pitimbu através de análises físico-químicas e microbiológicas da água coletada em diversos pontos da calha do rio. Os resultados das análises permitiram concluir que o pH, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a turbidez, cor e teor de sólidos situavam-se dentro dos limites estabelecidos para corpos d'água enquadrados na Classe 2 da Resolução nº 20/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Por outro lado, os valores obtidos para o Oxigênio Dissolvido e coliforme total não obedeceram aos padrões da referida classificação, enquanto que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentou-se elevada.

O estudo envolvendo o aquífero subterrâneo na bacia realizado por Lucena, Rosa Filho e Bittencourt (2004a) permitiu analisar o comportamento dinâmico dos níveis potenciométricos e sua relação com os mananciais superficiais. Assim, foram realizadas medições dos níveis dos poços da região, na estação chuvosa e de estiagem. Através destas medições, os autores elaboraram um mapa potenciométrico (figura 4) capaz de definir os sentidos de fluxo subterrâneo. Observou-se a existência de zonas de recarga do aquífero no município de Parnamirim e ao norte da Lagoa do Bonfim, além de uma zona de descarga regional compreendida pela região do baixo curso do Rio Pitimbu. Nota-se, assim, a importância de um conjunto de medidas de controle sanitário na área do município de Parnamirim, visto serem estas importantes zonas de recarga do aquífero, sendo a lagoa do Jiqui um importante ponto de descarga.

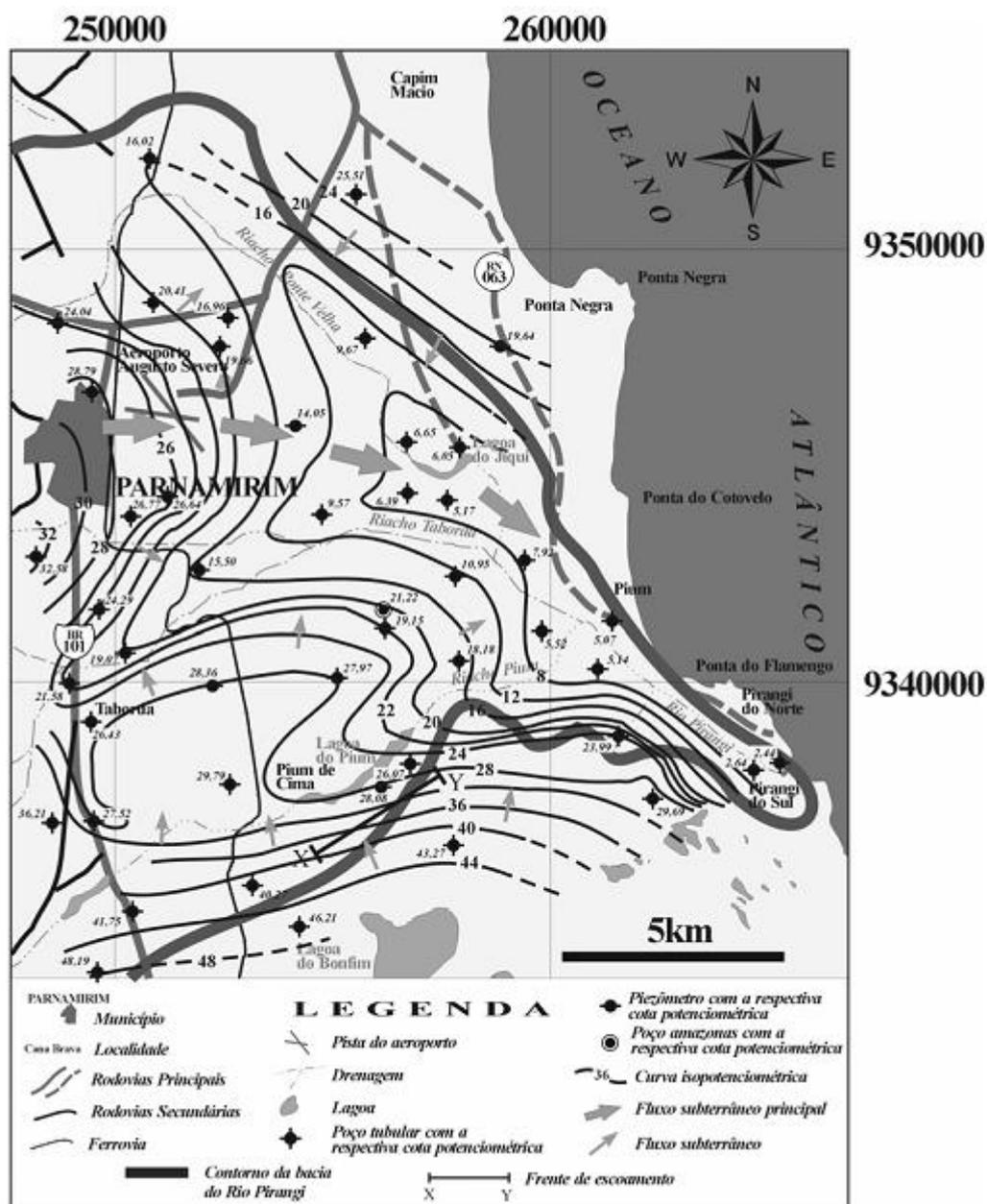


Figura 4- Mapa Potenciométrico do aquífero barreiras no setor oriental da bacia do rio Pirangi elaborado no final do período de estiagem (março, 2001).

Fonte: Lucena, Rosa Filho e Bittencourt (2004a).

Com um estudo enfocando a qualidade da água subterrânea na bacia do rio Pitimbu, Araújo *et al* (2005) analisaram a concentração de nitrato em poços da região do município de Parnamirim e em pontos da rede de distribuição. Constatou-se neste estudo, 9 pontos de amostragens com teores ultrapassando os limites estabelecidos pela Portaria 518/2005 do Ministério da Saúde. Dos 67 pontos analisados, tanto em poços particulares como na rede de distribuição, a maior concentração de nitrato foi de 19,16 mg/l N no bairro de Nova Parnamirim. Esta contaminação presente nos aquíferos da BHRP é preocupante, pois as águas

subterrâneas têm papel fundamental na alimentação do rio Pitimbu, principalmente no período de estiagem, no qual o curso de água é perenizado pela contribuição subterrânea do aquífero.

Araújo e Godinho (2008) analisaram a distribuição de bactérias nas águas da lagoa do Jiqui e em 3 pontos ao longo do rio Pitimbu. As bactérias estão entre os mais abundantes plânctons dos rios e lagos e representam o componente básico na cadeia alimentar dos ambientes aquáticos. As bactérias objetos de estudo foram bastonetes e vibriões, sendo analisadas as características como volume celular, densidade, biomassa e variação morfológica. Nesse estudo, a densidade observada esteve entre as mais altas se comparadas com outros locais com diferentes níveis tróficos. As autoras relacionaram essa elevada densidade com a baixa profundidade do rio que pode possibilitar a introdução de bactérias do sedimento na coluna de água.

De acordo com o trabalho de Egito *et al* (2007), a água do rio Pitimbu possui compostos tóxicos e genotóxicos que podem afetar o ecossistema aquático. Foi observado nos testes em laboratórios o crescimento das raízes de cebolas colocadas em amostras coletadas de diferentes pontos do rio. Os autores observaram uma anormalidade cromossômica e micro-nucléica, além de alterações nos índices mióticos das células das raízes. O resultado considerado mais crítico foi observado próximo da área industrial, enquanto que a água tratada de forma semiconvencional na ETA da lagoa do Jiqui não apresentou genotoxicidade. Pesquisas utilizando diferentes metodologias de análises da qualidade da água são importantes uma vez que permitem obter resultados que de outra forma não seriam possíveis de obter.

Santos, Melo Júnior e Guimarães Segundo (2002) realizaram estudo envolvendo a análise de metais pesados e outros elementos presentes no sedimento fluvial. A análise do sedimento foi realizada com a coleta de amostras ao longo de toda a extensão do rio, sendo coletadas em intervalos de 1 km. O objetivo desse estudo era analisar o grau de disponibilidade desses elementos com base no cálculo do Índice Geoquímico de Distribuição Granulométrica (IGDG). Esse índice representa a tendência dos elementos se concentrarem na fração mais fina. A determinação do índice permitiu observar quais elementos estavam mais biodisponíveis no sedimento, que foram o Zn, Ni, Co e S. Esse trabalho verificou que o local com maior biodisponibilidade dos elementos estava situado a montante da

lagoa do Jiqui (trecho final do rio Pitimbu). Assim, esses resultados parecem indicar que o sedimento do leito está sofrendo acumulação de metais pesados em função do tempo. É importante atentar para a possibilidade de graves danos ao ecossistema local caso não sejam tomadas medidas de controle no lançamento de poluentes no rio, com o monitoramento contínuo da qualidade da água e detectar as possíveis fontes de alimentação desses elementos na calha fluvial.

Os sedimentos já foram considerados partículas individuais cuja influência estava restrita somente aos fenômenos físicos de erosão, transporte e deposição. No entanto, os avanços nos estudos dos sedimentos revelam que estes possuem grande capacidade de interagir com as características física, química e biológica do ambiente aquático (BOGEN, FERGUS E WALLING, 2003). Portanto, os estudos envolvendo qualidade dos sedimentos e a quantificação do transporte no corpo aquático são fatores essenciais para qualificar suas condições ambientais. Poleto e Merten (2006) afirmaram que os fluxos de nutrientes e poluentes através dos sedimentos possuem um papel importante nas questões relacionadas com a gestão dos recursos hídricos, dada a sua capacidade de interagir com a qualidade da água no ambiente aquático. De acordo com Guimarães Segundo (2002), os sedimentos possuem a capacidade de reter substâncias, tornando-se umas das principais formas de avaliar o nível de degradação de ecossistemas aquáticos, sendo que tal avaliação pode ser feita a partir de substâncias orgânicas (pesticidas e PCBs) ou inorgânicas (elementos traços).

A frequência de amostragem deve ser feita de acordo com as características da bacia e necessidades da pesquisa. Poleto e Merten (2006) afirmaram a necessidade de atenção especial no caso de bacias em áreas urbanas. Nelas, graças às superfícies impermeáveis, o aporte de sedimento e, conseqüentemente, de poluentes adsorvidos podem ser bastante elevados num curto espaço de tempo. Eles afirmam que, em se tratando de sedimento em suspensão, 90% do transporte de sedimento ocorre durante as cheias e a frequência de amostragem durante o evento depende da forma do hidrograma. De um modo geral, recomenda-se aumentar a frequência da amostragem durante os eventos chuvosos.

Os locais de monitoramento devem ser selecionados criteriosamente para que as medições e amostragens sejam feitas de forma eficiente e possam apresentar bons resultados. Devem ser evitadas amostragens atrás de bancos de areia, pilares e pontes e não deve ser feita amostragem em local de água parada, devendo

considerar apenas a largura de água corrente (CARVALHO et al, 2000). Tais procedimentos são importantes para uma melhor precisão nos resultados, porém quando não for possível seguir todos esses requisitos, isso não impossibilitará de fazer as amostragens e medições.

Nas amostragens de água utilizando equipamentos de integração na vertical, os métodos utilizados são os seguintes: Igual Incremento de Largura (IIL) e Igual Incremento de Descarga (IID). No método usando igual incremento de largura (IIL) é necessário dividir a seção em subseções igualmente espaçadas, iniciando-se a amostragem na subseção de maior vazão, pois a velocidade de trânsito do amostrador na vertical deve ser igual em todas as subseções. Caso a amostragem se iniciasse numa subseção de menor vazão, poderia haver erros na coleta, pois a garrafa poderia encher em alguma subseção de maior vazão, não coletando a amostra em toda a vertical. O número de subseções deve variar entre 10 e 20 para que seja feita uma boa amostragem. A velocidade de trânsito do amostrador é determinada em função do bico do amostrador e da velocidade da corrente (CARVALHO et al, 2000).

No método de igual incremento de descarga, a seção transversal é dividida com larguras que possuam a mesma vazão. Deve-se, portanto, realizar a topografia das seções, medição de velocidade e cálculo da vazão, para assim dividir as subseções de modo que elas possuam a mesma vazão. A quantidade de verticais ao longo da seção varia de acordo com a largura do rio e com as exigências laboratoriais. Caso seja necessário analisar somente a concentração de sólidos, cinco verticais são suficientes. Caso se pretenda analisar a granulometria dos sólidos transportados, então são necessárias 15 verticais (Santos *et al* 2001).

Para se realizar a medição de vazão, Santos *et al* (2001) afirmam que em cursos d'água com largura inferior a 15 metros, as subseções devem ter no máximo 1 metro. Em rios de pequeno porte a medição da descarga líquida deve prever as variações de profundidades decorrentes das mudanças de regime devido às ocorrências de um evento chuvoso na bacia, não podendo haver variação do nível da água superior a 6 cm durante a medição em todas as verticais

No que se refere aos parâmetros físico-químicos da água, uma das características mais importantes da água não poluída é a solubilidade dos gases, uma vez que tal característica é fundamental para suporte da vida aquática, sendo o

oxigênio o mais importante gás dissolvido na água. Em condições normais, a água em equilíbrio com o ar a 25°C contém 8,3 mg/l de O<sub>2</sub> dissolvido (MANAHAN, 2001).

Ainda de acordo com Manahan (2001), a alcalinidade é a capacidade que a água tem de receber íons H<sup>+</sup>. Altos valores de alcalinidade normalmente estão associados a altos valores de pH e geralmente contém elevados teores de sólidos dissolvidos. Normalmente os teores de alcalinidade estão associados com a presença de íons bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), íons carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e íons hidróxidos (OH<sup>-</sup>). Essas características tornam a água inutilizável para processamentos de comidas e abastecimento humano, o que torna importante o monitoramento desse parâmetro em águas de consumo.

Os metais pesados são elementos que ocorrem naturalmente no meio ambiente e suas concentrações podem ser intensificadas por ações antrópicas tais como o lançamento de efluentes domésticos ou industriais, utilização de pesticidas e agrotóxicos, mineração e disposição inadequada de resíduos sólidos com metais pesados em sua composição. De acordo com Williams, James e Roberts (2000), os metais pesados têm como principal característica a resistência à degradação natural e a toxicidade. Alguns metais como Berílio, Cádmio e compostos de Níquel e Cromo têm demonstrado possuir ação carcinogênica para seres humanos e animais. O Arsênio é classificado como cancerígeno para o homem segundo o IARC (*International Association for Research on Cancer*), enquanto o chumbo se mostra cancerígeno somente para animais. Outros metais como cobre, zinco e mercúrio não demonstraram potencial cancerígeno (WILLIAMS, JAMES E ROBERTS, 2000). Na Tabela 1 são apresentados os principais usos nas indústrias de alguns metais pesados com seus respectivos efeitos tóxicos. Todos os metais apresentados abaixo estiveram presentes no sedimento do leito do rio Pitimbu nas análises realizadas por Guimarães Segundo (2002). As possíveis fontes destes metais presentes na área da BHRP são: as atividades de agricultura com uso pesticidas próximo às margens do rio e os efluentes líquidos das indústrias no Centro Industrial Avançado (CIA), localizado em Macaíba.

Tabela 1- Metais pesados com respectivos usos industriais e efeitos na saúde.

Metal	Aplicação Industrial	Principais efeitos tóxicos
Alumínio	Ligas metálicas, acondicionamento de comidas, lâminas	São relativamente não tóxicos
Arsênio	Pesticidas, herbicidas e outros produtos agrícolas.	Cancêr pulmonar e doenças de pele.
Cádmio	Baterias, plásticos, pigmentos, chapeamento	Danos no rim, Cancêr pulmonar e problemas ósseos
Cromo	Ligas metálicas, chapeamento, corantes	Cancêr pulmonar, efeitos respiratórios e problemas de pele
Cobalto	Ligas metálicas, tintas, porcelanas	São relativamente não tóxicos
Cobre	Instalações elétricas, encanações, ligas metálicas, lâminas	São relativamente não tóxicos
Chumbo	Baterias, arames e cabos, ligas metálicas	Efeitos neurológicos e efeitos na reprodução
Mercúrio	Pesticidas, termômetros, baterias	Efeitos neurológicos e danos nos rins
Níquel	Moedas, joias, ligas metálicas, chapeamento, baterias	São relativamente não tóxicos
Zinco	Baterias, ligas metálicas, galvanização, corante, produtos farmacêuticos	Efeitos gastrointestinais e anemia

Fonte: Adaptado e Traduzido de Williams, *et al*, 2000.

O biomonitoramento pode ser definido como o uso sistemático das respostas de organismos com o objetivo de avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antrópicas (BUSS *et al*, 2003). Dentre os principais fatores físico-químicos do ambiente aquático, Silveira (2004) destaca os abióticos de grande importância para a biota aquática, os quais são luz, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, íons dissolvidos e outros materiais. No entanto, esses parâmetros podem sofrer alterações naturais associadas a fatores climáticos ao longo do tempo. Assim, o estudo da ocorrência dos macroinvertebrados no sedimento deve considerar os fatores climáticos associados à sazonalidade. Além das características físico-químicas do ambiente aquático, Grumiaux, Leprêtre e Dhainaut-Courrois (1998) afirmou existir uma correlação entre a comunidade bentônica e a qualidade do sedimento, sendo analisados os seguintes metais pesados: Cádmio, Cromo, Cobre, Ferro, Chumbo e Zinco.

Os macroinvertebrados bentônicos são organismos considerados bons indicadores de poluição ambiental em sistemas lóticos, amplamente usados na formulação de índices bióticos. Em geral, acredita-se que este grupo de organismos responda a estresses hidráulicos, orgânicos e tóxicos acarretando a redução de

espécies sensíveis e a proliferação das espécies resistentes e tolerantes. Os fatores que os tornam bons bioindicadores são: a) eles são diferencialmente sensíveis a poluentes de vários tipos e reagem a eles rapidamente; b) são capazes de fornecer respostas graduais a um amplo espectro de tipos e níveis de estresse; c) abundantes e relativamente fáceis de coletar; d) de identificação relativamente fácil; e) de vida longa o suficiente para testemunhar a qualidade ambiental; f) possui representantes de vários filos por ser uma comunidade bastante heterogênea (SILVEIRA, 2004). Segundo esse autor, devido ao fato de que os macro-invertebrados bentônicos são ectotérmicos, sua fisiologia, desenvolvimento, abundância e distribuição são altamente influenciados pela temperatura. O efeito da temperatura está relacionado com o aumento da taxa com que os nutrientes agregados aos sedimentos em suspensão são convertidos em formas solúveis prontamente disponíveis, aumentando o crescimento dos produtores primários (algas e fito-plâncton), elevando a quantidade de matéria orgânica, aumentando a taxa de respiração e reduzindo o oxigênio dissolvido.

Silveira (2004) chama a atenção para outro importante fator que influencia a vida dos macro-invertebrados bentônicos que é a mata ciliar. Ele afirma que a mata ciliar é um dos principais fatores que atuam diretamente na ecologia dos ambientes de águas correntes, devido a sua alta produtividade primária como fonte essencial de nutrientes e matéria orgânica que compõe a base da cadeia alimentar heterotrófica. Além disso, servem de abrigo e mantêm as condições de temperatura, reduzindo a entrada de poluentes e sedimento na calha principal do rio e atuando na autodepuração dos nutrientes.

De acordo com Buss, Baptista e Nessimian (2003), no Brasil o biomonitoramento necessita de estudos para estabelecer padrões de coleta, identificação, avaliação e classificação por parte das agências ambientais estaduais e federais. Estas, porém, ainda não dispõem de pessoal e recursos suficientes para estabelecer estes padrões, ficando esse papel a cargo das Universidades e Centros de Pesquisa. No Brasil, existe uma preferência por medidas que levam em conta a identificação taxonômica até o nível de família. Isto pode ser explicado pela falta de conhecimento taxonômico da fauna aquática brasileira, e devido à carência de taxonomistas que desenvolvam pesquisa básica nesta área (SILVEIRA, 2004).

Para avaliação e aplicação de índices em um ambiente aquático utilizando os macroinvertebrados, Shimizu et al. (2002) apontaram para a importância de se

verificar a declividade da calha fluvial e o tipo de sedimento, dividindo o rio em trechos em função da declividade. Assim, trechos com declividades acima de 0,0015 m/m (alto gradiente) apresentam leito composto com substrato grosso e abundância de seixos, lajes e rochas. Trechos com declividades inferiores a 0,0015 m/m (baixo gradiente) apresentam predominância de substrato fino, com areia, silte e argila.

Diferente das análises físico-químicas, o biomonitoramento apresenta resultados que refletem mais do que a condição instantânea do ecossistema e da água. Reflete todo o universo de situações pelas quais o curso d'água foi submetido ao longo do tempo, pois a biodiversidade e as características da fauna de um ecossistema local são definidas pelas situações as quais o ecossistema foi submetido.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são relatados os fatores fisiográficos, principais formas de uso e ocupação do solo na bacia, além do detalhamento dos impactos ambientais mais importantes na área de estudo. O relato da condição ambiental da área de estudo, com a análise dos fatores fisiográficos, permitem compreender a dinâmica ambiental da bacia e suas relações causa-efeito e também as variações dos resultados encontrados durante a pesquisa. A descrição das características da área de estudo permite identificar as fragilidades ambientais e ações de controle necessárias à preservação dos recursos existentes.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A BHRP (Figura 5) é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Pirangi, e encontra-se territorialmente inserida em três municípios na porção oriental do Rio Grande do Norte nas seguintes proporções: Natal (10%), Parnamirim (43%) e Macaíba (47%). Totalizando uma área total de aproximadamente 126,75 km<sup>2</sup>, o curso d'água principal possui 36 km de extensão, desde sua nascente em Macaíba até sua foz em Parnamirim. A BHRP está limitada pelas seguintes coordenadas geográficas: paralelos 5°50'00" - 5°57'53" de latitude sul e meridianos 35°11'08" - 35°23'19" de longitude oeste..

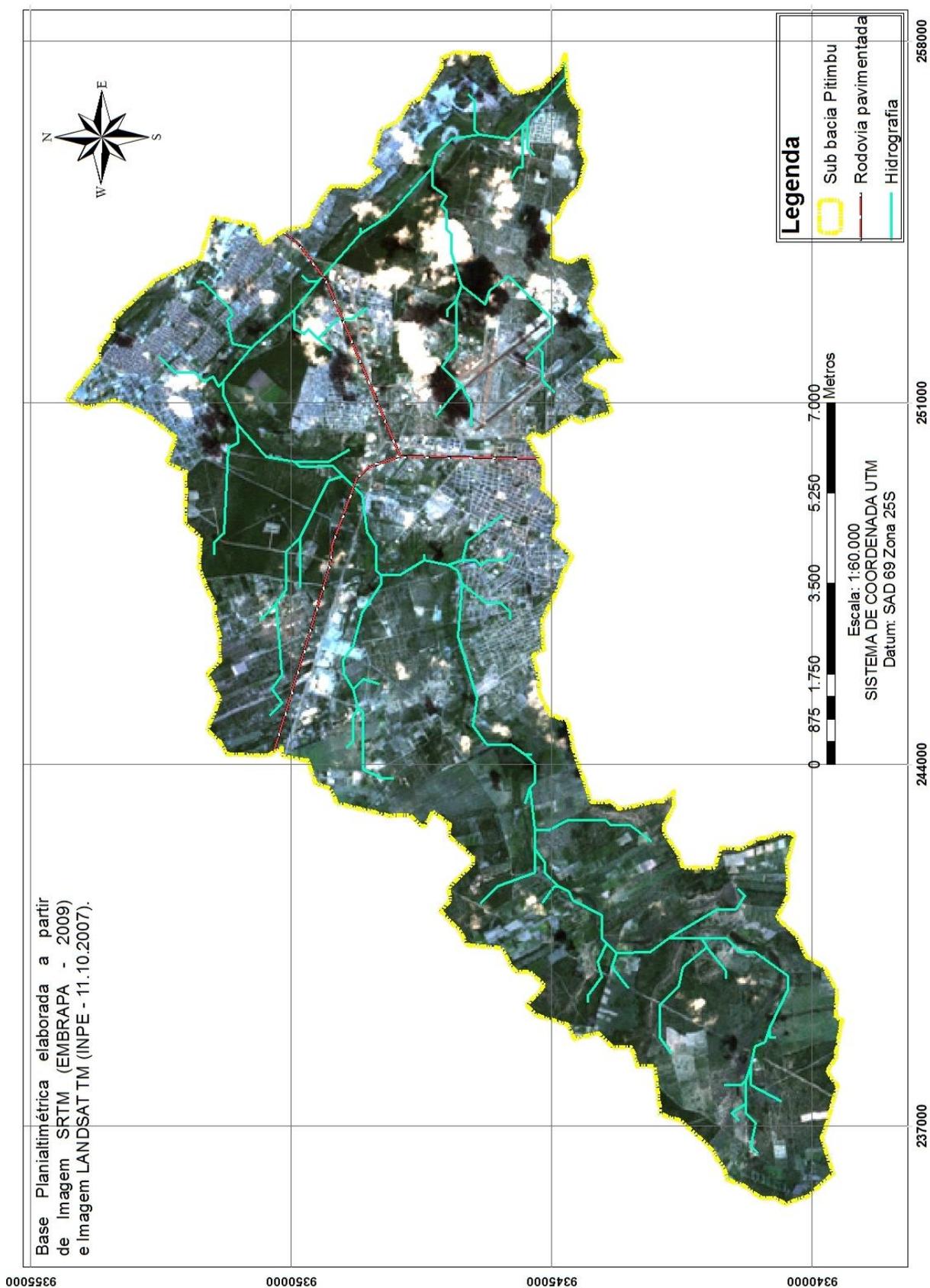


Figura 5- Mapa da bacia hidrográfica do rio Pitimbu.

Vale ressaltar a importância estratégica da área objeto desse estudo para a cidade de Natal, uma vez que aproximadamente 30% da água de abastecimento da região denominada de Zona Sul do município é proveniente do rio Pitimbu.

Ao longo dos anos, a expansão territorial da cidade de Natal tem ensejado a ocupação da mata ciliar, próximas da calha principal do rio. Esse tipo de ocupação sem controle tem produzido impactos negativos nos recursos hídricos. Assim, tendo em vista a sua importância como manancial de abastecimento, é de suma importância a proteção e preservação ambiental, com sérias implicações no controle do uso e ocupação do solo na bacia.

A seção 1 (Figura 6) está localizada na coordenada UTM 0253323 m e 9349760 m, a uma altitude de 12 metros. Está situada a montante da passagem de nível localizada na BR-101 por onde o rio segue seu fluxo.



Figura 6- Seção 1 da área de estudo com vegetação ciliar bem preservada.  
Fonte: Acervo do autor.

A seção transversal 2 (Figura 7) está situada a jusante do pontilhão de acesso à Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Nas coordenadas UTM 0256646 m e 9345554 m, a uma altitude de 5 m.



Figura 7- Vista panorâmica da seção 2, mostrando margens sem vegetação ciliar.  
Fonte: Acervo do autor.

### 3.2 CLIMA

O tipo de vegetação e fauna predominantes numa região estão associados às variáveis climáticas. Temperatura, umidade, pluviometria e incidência de luz solar são algumas das variáveis climáticas que podem limitar o desenvolvimento de algumas espécies de plantas e de animais. Estas condições também influenciam diretamente no comportamento dos ecossistemas aquáticos, tais como no processo de autodepuração dos rios e de eutrofização e degradação de corpos d'água. Assim, o conhecimento desses fatores é de fundamental importância nos estudos que envolvem os recursos hídricos destinados ao consumo humano.

Na bacia do rio Pitimbu, o clima é classificado como do tipo As' na classificação de Köppen (HIDROSERVICE, 1998). Ou seja, clima tropical onde a temperatura média do mês mais frio do ano é superior a 18°C, estação invernal 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, respectivamente (INSTITUTO DE

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2005). Na Figura 8, estão apresentadas as temperaturas médias mensais no município de Natal desde Janeiro de 2002 até Dezembro de 2008. Os dados registrados pela estação climatológica da EMPARN demonstram 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.

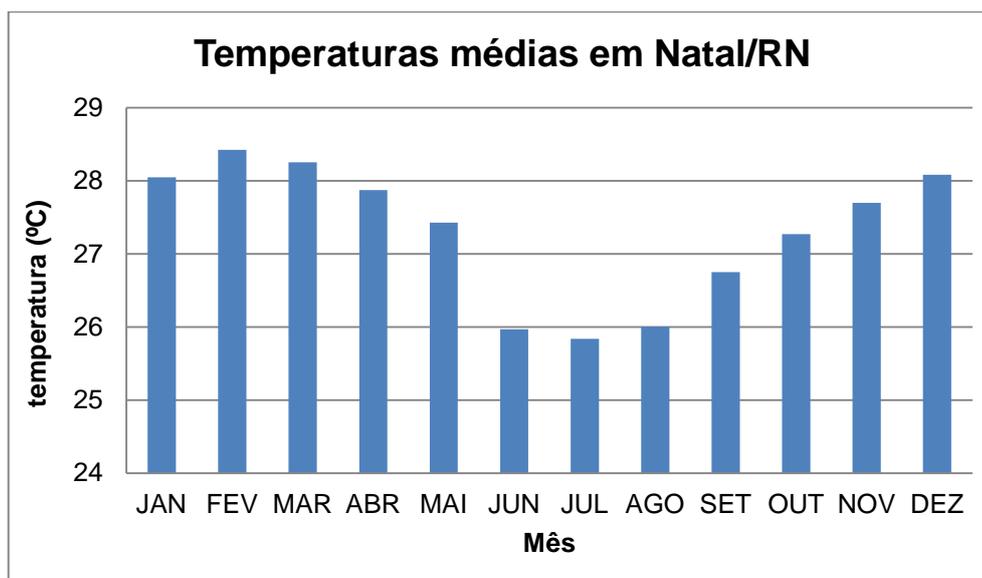


Figura 8- Temperaturas médias mensais considerando os dados de Janeiro de 2002 a Dezembro de 2008.

Fonte: EMPARN (2009)

A distribuição temporal da chuva varia ao longo do ano com representatividade maior entre os meses de março e agosto. A distribuição espacial da precipitação na bacia demonstra uma redução muito significativa da precipitação à medida que se encaminha no sentido oeste, ou seja, para o interior do continente. Na Figura 9, podem ser observadas as isoietas com as precipitações médias anuais na área de estudo. Na Figura 10 pode ser observado que o mês mais chuvoso na região é o mês de junho, com médias mensais de 576 mm e 421 mm para Natal e Parnamirim, respectivamente. No período correspondente de Janeiro de 2004 à Dezembro de 2008, as precipitações médias anuais foram de 2057 mm e 1722 mm em Natal e Parnamirim, respectivamente.

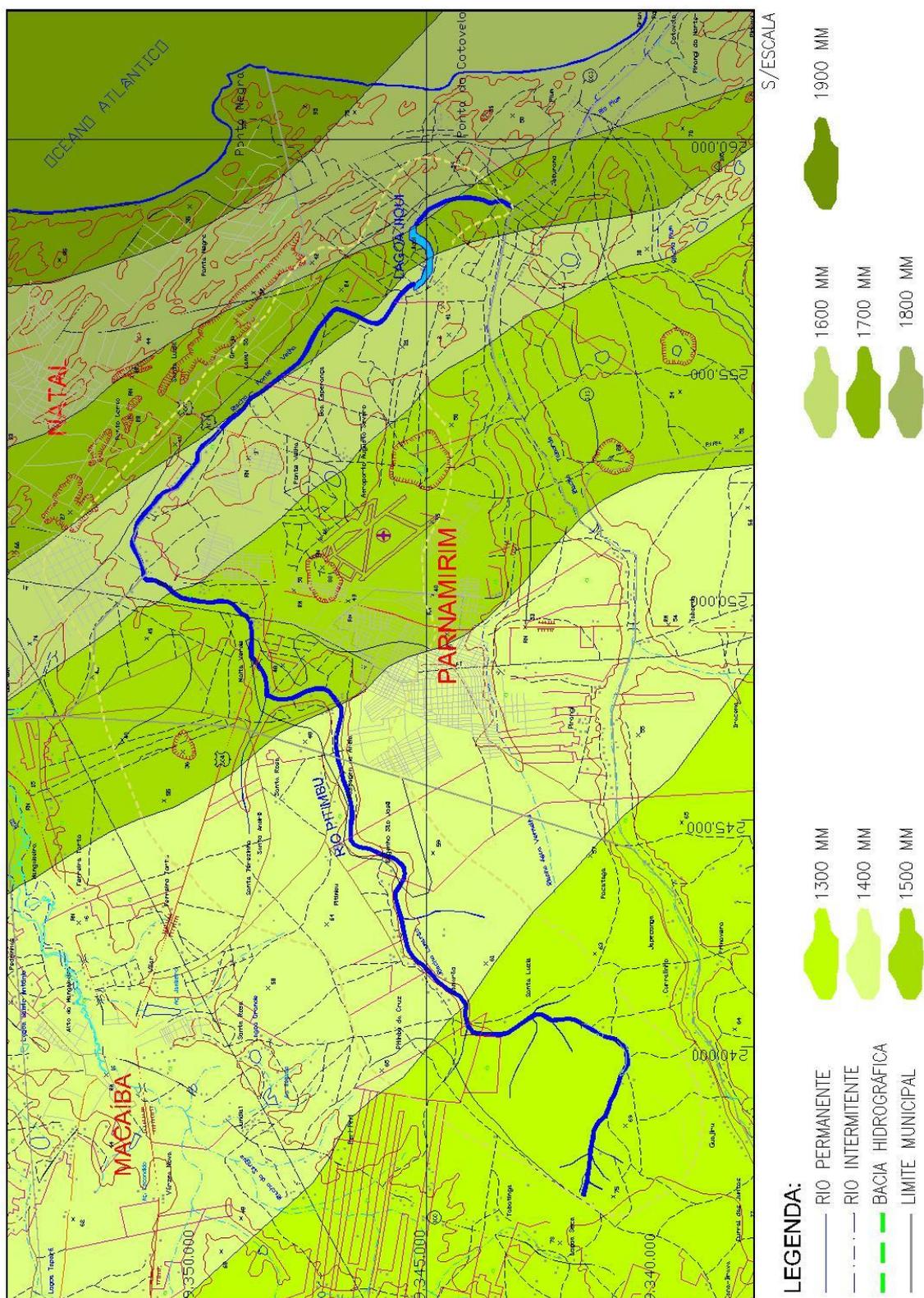


Figura 9- Mapa de isoietas das médias anuais em milímetros de chuva na área de estudo.

Fonte: VBA Consultores e SERHID (2005)

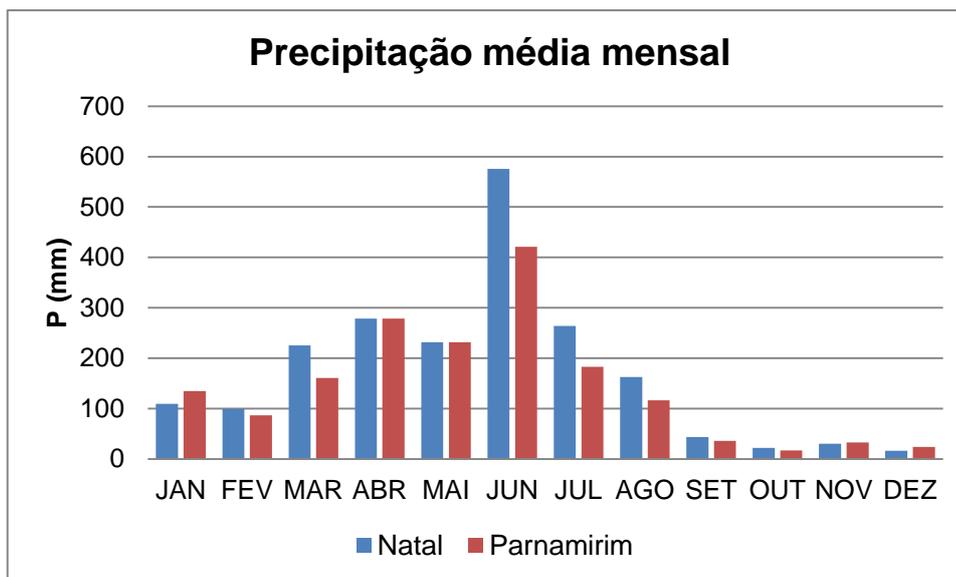


Figura 10- Precipitações médias mensais nos municípios de Natal e Parnamirim considerando os dados entre Janeiro de 2004 a Dezembro de 2008.

Fonte: EMPARN (2009)

A umidade do ar registrada no período de Janeiro de 2002 até Dezembro de 2008 apresentou uma média anual de 79% e a média anual da velocidade do vento nesse mesmo período foi de 4,3 m/s com uma média diária máxima de 9,3 m/s, e a média diária mínima de 0,2 m/s. A direção predominante do vento deste período foi SE, com a ocorrência predominante de ventos de direção S durante os meses mais frios.

### 3.3 GEOLOGIA

De acordo com o Relatório Final do Programa de Educação Ambiental e Sanitária com Reflorestamento da Mata Ciliar na Região Ribeirinha na Bacia do Rio Pitimbu, realizado pela VBA Consultores e SERHID, a geologia da área (Figura 11) compreendem em três formações geológicas: 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.

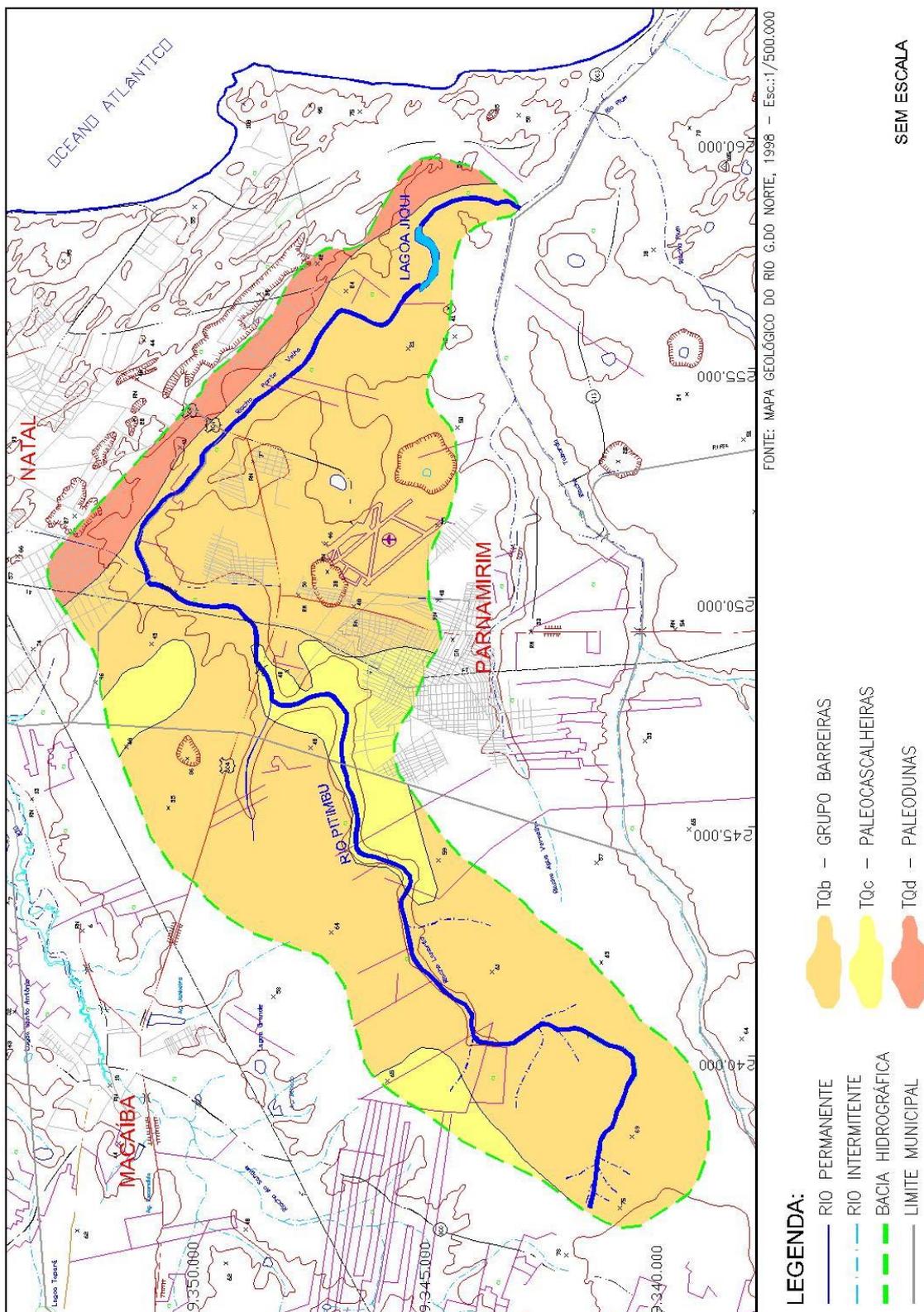


Figura 11- Geologia da bacia do rio Pitimbu.  
 Fonte: VBA Consultores e SERHID (2005)

Na figura 11, retirada do relatório da VBA consultores e SERHID, é possível notar que a presença de Paleodunas está concentrada em uma estreita faixa oriental da bacia, enquanto que a formação do Grupo Barreiras é predominante em toda bacia.

### 3.4 GEOMORFOLOGIA

A bacia é caracterizada por um relevo de baixas altitudes, 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).

A unidade morfológica predominante na bacia é o tabuleiro costeiro, e esta unidade morfológica pode ser descrita como uma unidade de forma tabular com relevo de topo plano com diferentes ordens de grandezas ou altitudes e com aprofundamento de drenagem (canal de escoamento), geralmente separados por vales de fundo plano. As dunas fixas estão presentes na margem esquerda do rio na área do município de Natal. Os domínios geo-ambientais identificados na bacia foram: domínio das planícies sedimentares, domínio das colinas cristalinas e domínio litorâneo eólico, os quais possuem características individuais distintas (BORGES, 2002).

### 3.5 PEDOLOGIA

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 a mitigação dos impactos negativos associados às atividades humanas, tais como processos erosivos e de contaminação na bacia.

De acordo com Borges (2002), a bacia apresenta a cobertura de alteração intempérica nas seguintes proporções: 33% latossolizada (solo de tabuleiro), 55 % arenosa podzolizada (solo de arisco), 11 % arenosa quartzosa (solo de cascalho), e aproximadamente 1 % presente na parte oeste uma associação de cobertura de alteração intempérica podzolizada e litólica (solo de cascalho).

A Figura 12 foi apresentada no relatório da VBA Consultores e SERHID em 2005. É possível observar a distribuição dos diferentes tipos de solo presentes na bacia, onde a cobertura arenosa quartzosa é encontrada em uma faixa estreita oriental da bacia, exatamente onde se encontram as paleodunas descritas na geologia e as dunas fixas citadas na geomorfologia. Por outro lado, a cobertura arenosa podzolizada está presente nas áreas próximas do leito do rio, enquanto que a cobertura latossolizada está distribuída no restante da BHRP.

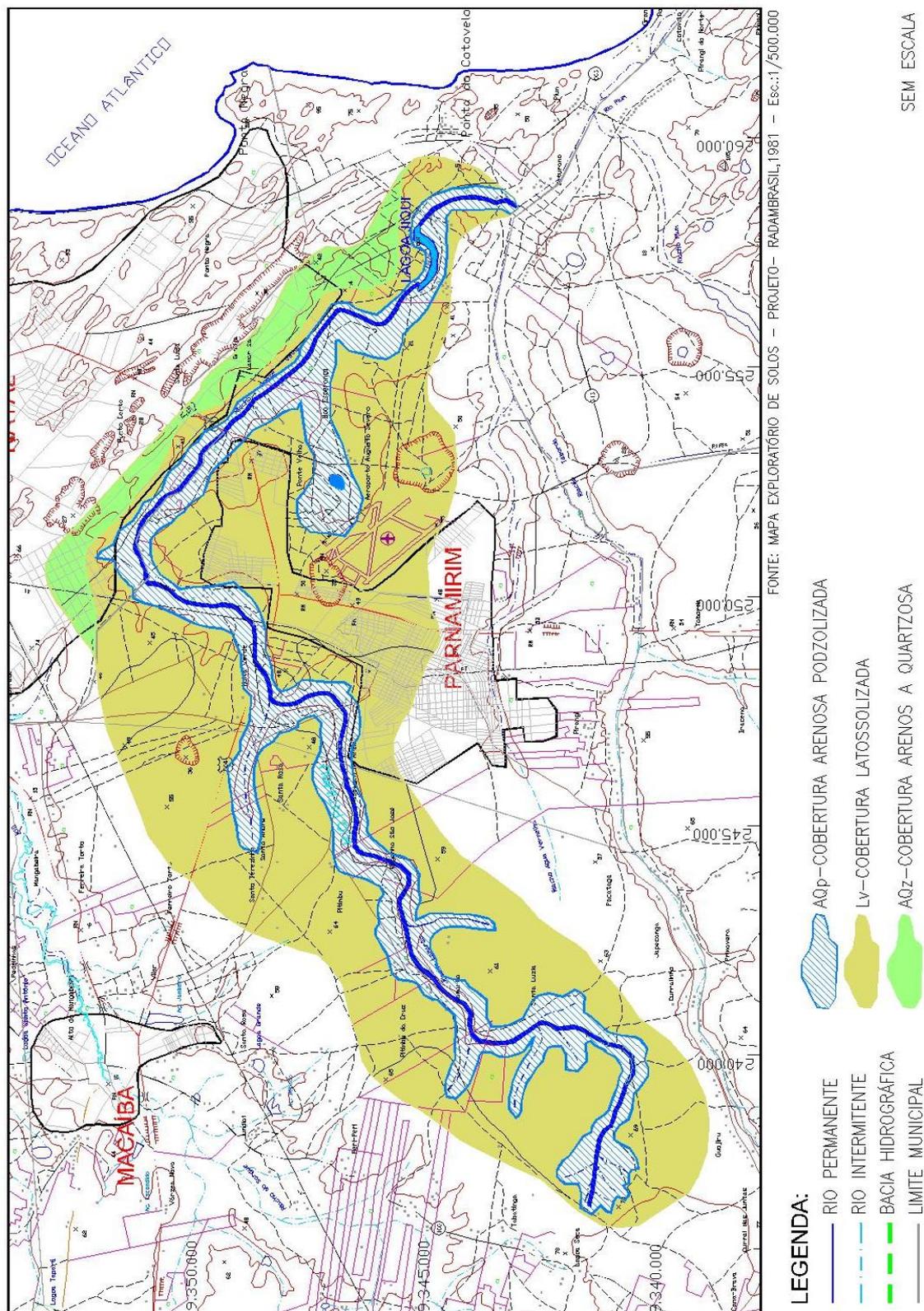


Figura 12- Pedologia da bacia do rio Pitimbu.  
 Fonte: VBA Consultores e SERHID (2005)

### 3.6 HIDROLOGIA

A BHRP é um fragmento da Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi (Figura 13), que por sua vez possui área de drenagem igual a 458,9 km<sup>2</sup> ocupando áreas dos municípios de Natal, Macaíba, Parnamirim, Nísia Floresta, São José do Mipibu e Vera Cruz (Hidroservice, 1998). O rio Pirangi, com menos de 7,0 km de extensão, é formado por dois tributários principais, sendo eles o riacho Taborda (trecho final do rio Pitimbu, a jusante da Lagoa do Jiqui) e o riacho Pium. Sua foz é no Oceano Atlântico, litoral leste do Rio Grande do Norte, no ponto que divide as praias de Pirangi do Norte e Pirangi do Sul, tendo sido objeto de vários estudos devido à contaminação de suas águas. De acordo com Borges (2002), a bacia do rio Pitimbu representa 27,62 % da bacia hidrográfica do rio Pirangi.

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, planícies de várzeas ou de inundação, terrenos baixos e planos, adjacentes ao rio, com alturas variando entre zero e dois metros acima dos níveis máximos no canal fluvial.

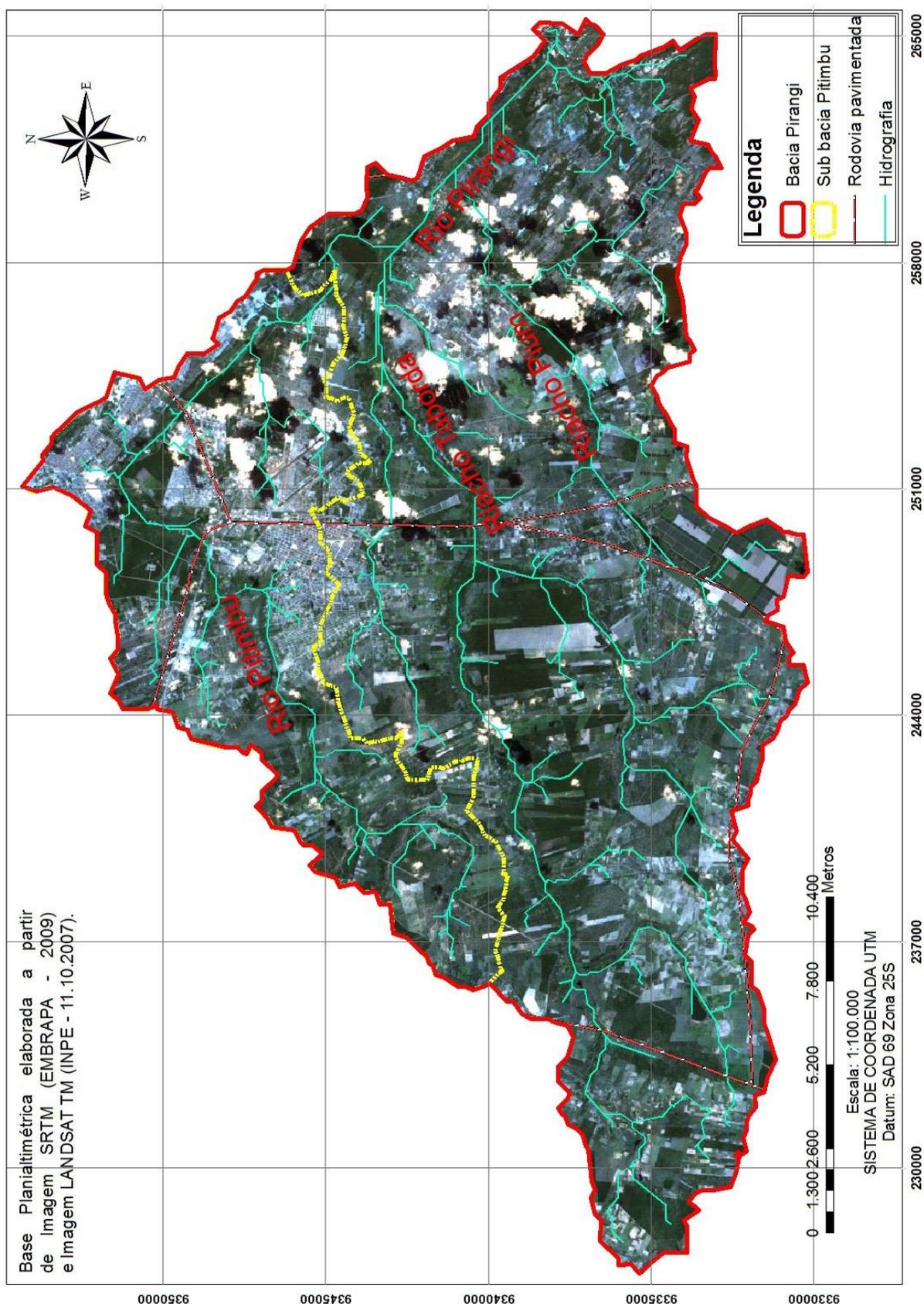


Figura 13- Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi.

### 3.7 VEGETAÇÃO

A vegetação constitui a base da cadeia alimentar, fornecendo a energia adquirida da luz solar aos seres vivos de níveis tróficos superiores. Além disso, é de fundamental importância para o equilíbrio natural, uma vez que com a sua retirada, a fauna existente se desloca para outros locais em busca de *habitats* diferentes, desequilibrando assim o ecossistema local. A retirada da cobertura vegetal é responsável por diversos tipos de problemas ambientais, tais como o empobrecimento do solo pela perda de nutrientes e processos erosivos.

A formação vegetal na bacia do Pitimbu é descrita como Floresta Subcaducifólia na cabeceira do rio, que se caracteriza por quedas de folhas das árvores durante o período seco; e florestas subperenifólias no médio e baixo curso da bacia, que se constitui por árvores com folhagens sempre verdes, grande quantidade de folhas largas, troncos relativamente delgados, densa e com o solo apresentando uma camada de húmus (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE, 2005).

Segundo Borges (2002), a savana florestada é encontrada em toda a bacia com expressividade recobrando áreas areníticas lixiviadas com solos profundos. O autor dividiu a savana florestada em savana florestada densa, que se apresenta com um porte maior formando um dossel contínuo não permitindo a entrada de luz até o solo; e a savana florestada aberta, a qual apresenta um porte menor com árvores espaçadas e com freqüente presença de vegetação rasteira em função da penetração de luz até o solo.

Durante as visitas ao campo para coletas realizadas nesta pesquisa, foram observadas margens bem preservadas pela presença de mata ciliar (Figura 14), como também trechos com ausência desta vegetação devido às ações antrópicas, principalmente em locais onde se utiliza o rio como forma de lazer e lavagem de roupa e animais. Foi possível observar em alguns trechos presença de plantas aquáticas, as quais ajudam na manutenção da biota aquática e no processo de autodepuração do rio, assim como a mata ciliar também exerce uma função importante nesse sentido.



Figura 14- Vegetação ciliar presente no baixo curso do rio Pitimbu.  
Fonte: Acervo do autor.

Também são encontradas na bacia, espécies vegetais exóticas introduzidas com objetivos paisagísticos, sombreamento ou produtivos que pode ser observado por toda extensão da BHRP como, por exemplo, o coqueiro.

### 3.8 FAUNA

A fauna é de extrema importância para a manutenção e dinâmica de um ecossistema equilibrado. Cada indivíduo possui o seu papel na cadeia alimentar e desempenha uma importante função em seu habitat. Na área de estudo, alguns mamíferos são encontrados como a Raposa (*Cerdocyon thous*) que fazem tocas nas raízes ou moitas, Mico-estrela-do-tufo-branco (*Callithrix jacchus*), animal que se adapta fácil em áreas degradadas ou em processo de recuperação e o Preá (*Galea spixii*), o qual tem grande capacidade de reprodução sendo o principal suporte alimentar da raposa. Espécies como o Iguana (*Iguana iguana*), a Cobra-verde (*Philodryas olfersii*) e a Cobra-de-veado (*Boa constrictor*) também podem ser encontradas.

De acordo com Borges (2002), a fauna aquática é caracterizada pela presença de peixes, em sua maioria exótica, destacando a Traíra e a Tilápia. Dentre as espécies nativas, presentes em menor número, as mais frequentes são: Piaba; Carapeba; Camurim; Bebeu; e Piau. Também podemos encontrar algumas espécies de anfíbios, crustáceos (camarão Pitú, entre outros) e répteis (Jacaré-de-papo-amarelo). É importante alertar que o jacaré encontrado no rio Pitimbu, conhecido como Jacaré-de-papo-amarelo, está ameaçado de extinção segundo a Portaria nº 1.522, de 19 de dezembro de 1.989 e a Portaria nº 45-N, de 27 de abril de 1.992, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis (IBAMA). Sabendo da presença de um animal que está na lista de animais ameaçados de extinção, os cuidados devem ser aumentados para preservação deste local e conseqüentemente a preservação da fauna existente.

### 3.9 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Durante as visitas realizadas a campo, foi observada na seção 1 a presença de moradores de rua, além de pessoas banhando cavalos, lavagem de roupa, banho e o consumo de água diretamente do rio. Nessa seção, as margens encontram-se bem preservadas com a presença da mata ciliar, porém a montante dessa seção, na margem esquerda observa-se um crescimento urbano acelerado pelo processo de ocupação imobiliária no bairro da Cidade Satélite, com a construção de casas e condomínios invadindo áreas que deveriam ser preservadas próximas ao rio. Na margem direita estão instaladas granjas, sítios e o Cemitério Morada da Paz. Borges (2002) observou a existência de atividades agrícolas com uso de agrotóxicos em áreas próximas do rio a poucos metros da seção 1. A jusante desta seção, próximo da BR-101, na margem direita do rio, a mata nativa encontra-se bem preservada. Na margem esquerda, no entanto, o processo de ocupação imobiliária tem gerado um processo erosivo de grande magnitude, como pode ser observado na Figura 15. Várias tentativas de conter o aumento desse processo já foram executadas, porém a cada chuva, uma grande quantidade de sedimento é carregada para a calha fluvial assoreando o rio e aumentando as dimensões do problema a cada chuva.



Figura 15- Erosão a jusante da BR-101.  
Fonte: Acervo do autor.

Na seção 2, situada a montante da entrada na lagoa do Jiqui, é possível observar a montante da ponte de acesso a EMPARN, uma estagnação do fluxo formando um pequeno acúmulo de água. A jusante dessa pequena ponte o fluxo apresenta velocidade média de 0,44 m/s durante o período de recessão, com vazão igual a 0,62 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado, durante o período chuvoso, as altas vazões (máxima igual a 10,61 m<sup>3</sup>/s) produziram velocidade média igual a 1,35 m/s, com a ocorrência de transporte de sedimentos finos pelo leito fluvial e em suspensão na corrente líquida.

Nas proximidades do local é comum a presença de pessoas de todas as idades que se banham no rio, lavagem de roupa e retirada da vegetação para alimentação de animais. Na margem esquerda existem diversas casas próximas ao rio, criação de animais e uma pequena estrada de terra trafegável. Nessa margem são observados processos erosivos importantes associados ao escoamento superficial e ausência de vegetação (Figura 16), as quais arrastam grande quantidade de sedimento e resíduo para o rio. Nesse local, o volume da formação erosiva (voçoroca) é preenchido com entulhos para que a estrada de terra possa continuar trafegável e parte desse material é carregada para a calha do rio. Além de resíduos da construção civil, também são encontrados resíduos domiciliares espalhados próximo da margem do rio. Na margem direita do rio encontra-se instalada a

EMPARN, com terreno protegido por muro e cerca, impedindo o crescimento urbano nessa área. Dentro da EMPARN há algumas casas e também algumas plantações de árvores frutíferas.



Figura 16- Erosão com presença de resíduos sólidos localizada nas proximidades da seção 2.  
Fonte: Acervo do autor.

Estudos anteriores realizados por Borges (2002) e Santos, Melo Júnior e Guimarães Segundo (2002), relatam que em 2002 a BHRP dispunha de pequenas manchas de vegetação nativa que estão geralmente dentro de áreas protegidas denominadas de Área de Proteção Ambiental (APA). Por outro lado, na maior parte da área da bacia, observa-se vegetação antropizada e, numa proporção menor, observam-se áreas agrícolas e de ocupação urbana. Essas formas de uso do solo situadas geralmente próximas da faixa de proteção do rio, pode significar altos riscos de degradação potencial caso não sejam tomadas medidas necessárias de controle e proteção. Além disso, observou-se que o percentual de área não influenciada por atividades humanas era de apenas 13% (BORGES, 2002), o que serve para demonstrar a intensidade do processo de ocupação da bacia. E as erosões observadas nas seções de estudos reforçam a influência da vegetação na proteção contra os processos erosivos

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. Esse cenário coloca em risco o abastecimento de água da zona sul da cidade em médio prazo, uma vez que a degradação da qualidade de água pode alcançar níveis não toleráveis de poluentes nocivos à saúde, inviabilizando o seu uso para o consumo humano.

Entre as seções estudadas, observa-se um crescimento imobiliário acelerado ocupando áreas próximas ao rio. Na Figura 17 podem ser observados condomínios horizontais nas proximidades da calha do rio, em sua margem esquerda, e no mesmo local, observa-se uma densa vegetação que recobre as áreas próximas resistindo à especulação imobiliária. Próximo desse local também existe grandes erosões causadas pela ausência de vegetação e escoamento superficial (Figura 18), em um local de difícil visualização devido a presença de um muro que impede a visualização de quem trafega pela avenida mais próxima do local que fica na margem direita do rio.



Figura 17- Uso e ocupação do solo próximo ao rio.  
Fonte: Acervo do autor.



Figura 18- Erosões próximas ao rio Pitimbu entre as duas seções de estudo.  
Fonte: Acervo do autor.

De acordo com Borges (2002), o uso e ocupação do solo na BHRP, pode ser dividido em vegetação de tabuleiro, vegetação antropizada, mata antropizada, mata, área urbana e agricultura (figura 19) nas proporções de 5%, 62%, 12%, 8%, 6% e

7% em relação à área da BHRP, respectivamente. Na figura 19 também é apresentado os locais onde foram tiradas as fotos apresentadas neste trabalho. Observa-se que a maior porcentagem da área da bacia é representada por vegetação alterada pelas atividades antrópicas e que as áreas urbanas e de agricultura, apesar de pequena porcentagem, são atividades muito impactantes, principalmente aos corpos aquáticos, visto que o saneamento não atende toda cidade e o uso de produtos tóxicos na agricultura sem as devidas precauções é fato constatado no trabalho realizado por Borges (2002).

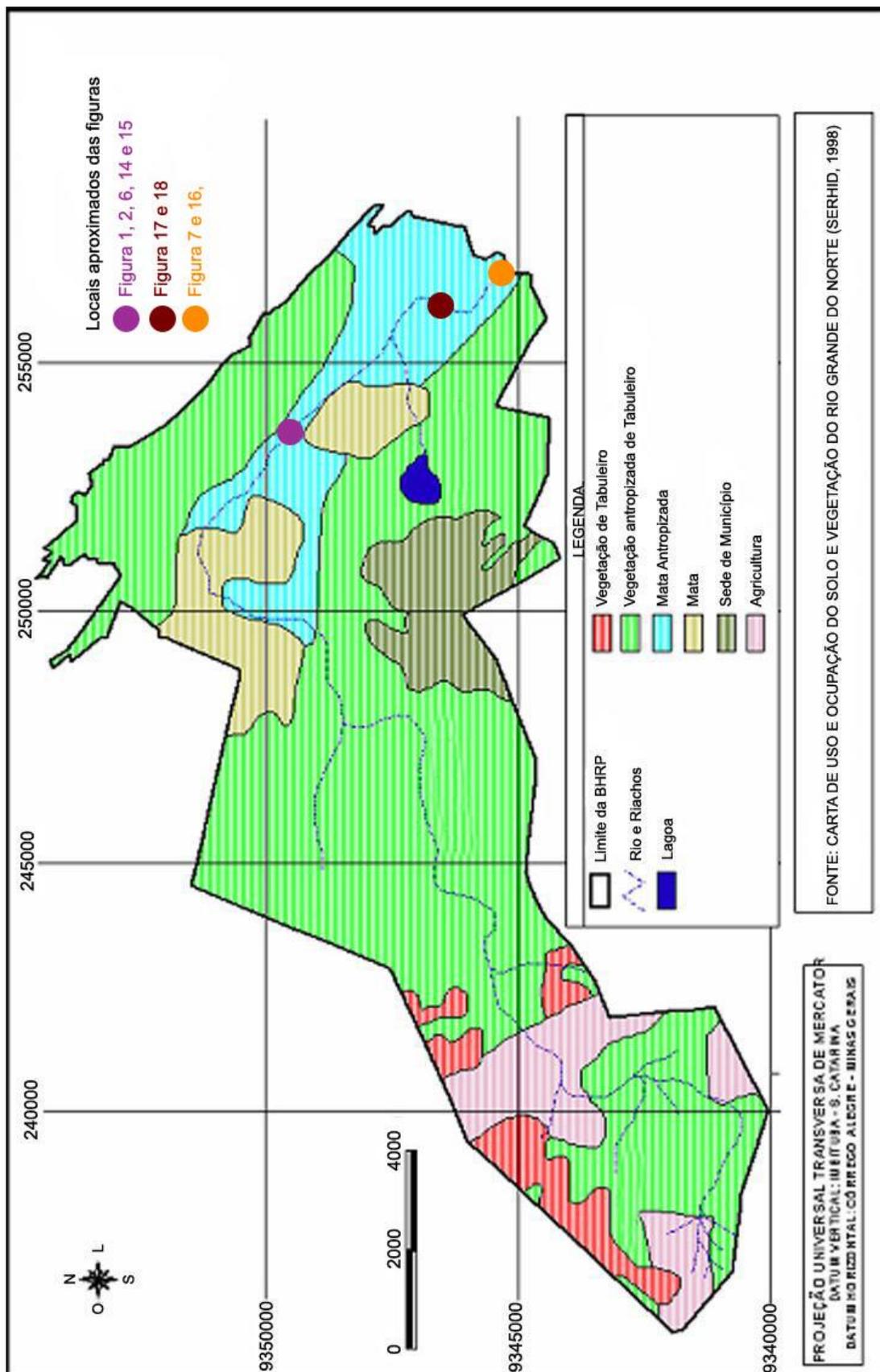


Figura 19- Distribuição do uso e ocupação do solo na BHRP em 1998.  
 Fonte: Borges (2002).

## 4 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido com base nos dados de monitoramento da quantidade e qualidade da água num trecho situado no baixo curso do rio Pitimbu. Os dados de monitoramento foram obtidos através de visitas e levantamentos *in locus*, coletas e posteriores análises de amostras da água e do sedimento em laboratórios. As coletas foram realizadas durante um período de 11 meses (figura 20), entre os dias 13.11.2007 e 03.10.2008 em duas seções transversais previamente estabelecidas. As análises laboratoriais efetuadas compreenderam parâmetros físico-químicos da água bem como análises físico-químicas e biológicas do sedimento fluvial. Além disso, no mês de abril e maio de 2009 foram realizadas coletas e análises de amostras da água, coletadas nas seções de estudo, objetivando aumentar a confiabilidade das análises efetuadas durante o monitoramento. Tais amostras foram analisadas no laboratório do IFRN - Campus Central, Natal-RN.

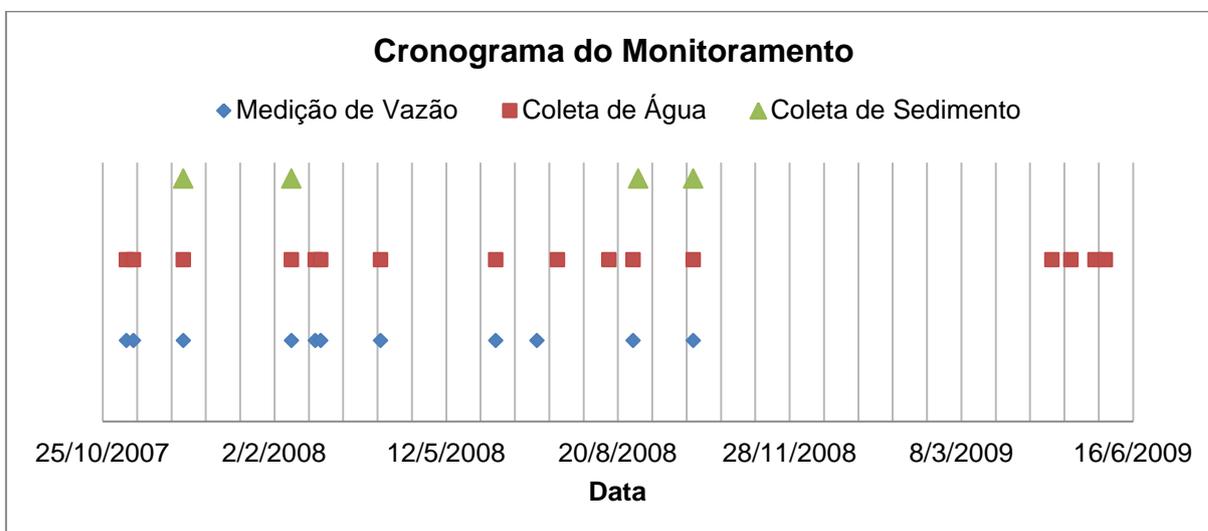


Figura 20- Cronograma do monitoramento apresentando as medições de vazão, coleta de água e coleta de sedimento, incluindo as quatro coletas de água extras realizadas em 2009.

#### 4.1 SEÇÕES DE ESTUDO

As seções de monitoramento foram escolhidas no baixo curso do rio Pitimbú em locais de fácil acesso. Após a definição das seções, foram realizadas, com frequência mensal, medição da descarga líquida e coletas de amostras de água. As coletas de sedimento do leito fluvial foram realizadas quatro vezes durante o período estudado.

A medição da descarga líquida foi efetuada a vau utilizando micromolinete hidrométrico (Figura 21). O método que consiste em dividir a seção em verticais igualmente espaçadas, medindo-se a profundidade e a velocidade média em cada vertical. Para medição da velocidade média, a hélice do micromolinete era posicionada a 20% e 80% da profundidade achando a velocidade média através da média aritmética dessas velocidades pontuais. Nas verticais onde a profundidade era menor do que 30 cm foram realizadas somente uma medição de velocidade posicionando a hélice a 60 % da profundidade. A descarga líquida é obtida pelo somatório das vazões em cada vertical. No campo, cada seção foi dividida em verticais espaçadas a cada 0,5 m. Na medição da velocidade pontual, a hélice foi posicionada à 20 e 80 % da profundidade, com exceção em profundidades menores do que 30 cm, onde a medição era feita somente a 60 % da profundidade. Alguns aspectos importantes quanto ao uso do molinete: a) o posicionamento do corpo do operador deve ser a jusante do aparelho para não interferir no fluxo que atravessa a hélice; b) a haste de fixação do aparelho deve ser posicionada verticalmente à superfície da água e a hélice no sentido da corrente. Os dados obtidos foram manipulados com o objetivo de obter a descarga líquida em cada seção, o que foi efetutado utilizando planilha eletrônica MS Excel.



Figura 21- Micromolinetete usado para medição da vazão.  
Fonte: Acervo do autor.

A amostragem de água para análise foi realizada utilizando um amostrador de integração na vertical modelo US DH-48 (Figura 22) o qual coleta a água de forma isocinética da superfície até próximo ao leito do rio. Esse equipamento é importante para a coleta de água em rios em que se deseja fazer análise de sólidos na água, pois a distribuição da concentração dos sólidos na calha fluvial não é uniforme. Esta coleta utilizou as verticais utilizadas na medição da velocidade com o micromolinetete. O método utilizado na amostragem é conhecido como “Igual Incremento de Largura” (IIL) que consiste em dividir a seção transversal ao rio em larguras de mesmo tamanho, e em cada vertical o amostrador deve descer e subir com velocidade constante (CARVALHO et al., 2000). A amostra da água coletada com o amostrador foi utilizada na análise de sólidos em suspensão e nas demais análises físico-químicas. Em cada coleta eram obtidos aproximadamente 2 litros de amostra, armazenada em garrafas plásticas translúcidas e transportadas diretamente para o laboratório para análises.



Figura 22- Amostrador US DH-48 usado para amostragem de água.  
Fonte: Acervo do autor.

A amostragem de sedimento fluvial para o biomonitoramento foi realizada utilizando uma draga do tipo “Van Veen” (Figura 23). Com uma área de amostragem de 377 cm<sup>2</sup>, a draga tem sido utilizada em pesquisas na análise da fauna bentônica presente no sedimento. A coleta do sedimento para análise biológica deve ser realizada num local livre do movimento de pessoas na água. Isso evita a migração dos organismos para outro local, alterando a amostra. Em cada uma das seções de estudo foram feitas amostragens nas margens e outra no centro da calha fluvial. Uma vez coletado o sedimento, a amostra é quarteada e em seguida lavada utilizando uma peneira de 250 mesh imersa em água corrente, retirando o sedimento fino da amostra sem que os macroinvertebrados saiam da mesma. Esta lavagem é necessária para facilitar a triagem, pois o sedimento fino dificulta o processo. A amostra é então armazenada em garrafa plástica, com volume de 2 l, adicionando álcool etanol a 70 % para conservação dos organismos e impedir que possíveis predadores possam alterar a amostra alimentando-se de outros macroinvertebrados. Foram realizadas três amostragens de sedimento para o biomonitoramento, nas datas: 11.12.2007; 12.02.2008 e 03.10.2008.

Outra coleta foi realizada em cada seção com o objetivo de analisar os teores de metais pesados no sedimento. As amostragens foram feitas somente na porção superficial do sedimento do leito, onde estas não ultrapassaram 20 cm de profundidade.



Figura 23- Amostrador utilizado para a coleta de sedimento para análise biológica.  
Fonte: Acervo do autor.

## 4.2 LABORATÓRIO

A análise da água foi realizada no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA) na UFRN e obedeceu a metodologia descrita no “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 20th Edition*”. As análises contemplaram as seguintes variáveis: pH, Nitrato, Sólidos suspensos, Sólidos dissolvidos, Sólidos totais, DBO, DQO, Oxigênio Dissolvido e Alcalinidade. Os métodos analíticos utilizados nas análises estão apresentados na Tabela 2. Além disso, foi usada uma sonda de medição direta, marca Hydrolab modelo DS5 (Figura 24), com a qual foram medidos: oxigênio dissolvido e nitrato. Nesse sentido, o nitrato continuou sendo analisados em laboratório, pois o método analítico para este parâmetro é mais preciso, enquanto que o Oxigênio Dissolvido foi obtido apenas por medição direta através da leitura da sonda.

Tabela 2- Análises e respectivos métodos utilizados.

Variáveis	Método	Referência
pH	Potenciométrico	AWWA/APHA/WEF , 1998
Sólidos totais (mg/L)	Gravimétrico – Secagem a 105 °C	
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Gravimétrico – Filtração (0,45µm poro) – Secagem a 103-105 °C	
Alcalinidade	Titulométrico com pontenciômetro	
Oxigênio dissolvido	Iodometria	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	Frasco Padrão à 20°C	
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	Titulométrico – Digestão por refluxação fechada	
Nitrato	Espectrofotométrico – Salicilato de Sódio	RODIER, 1975



Figura 24- Sonda DS5 da Hydrolab utilizada em campo.  
Fonte: Acervo do autor.

No laboratório de entomologia da UFRN, a amostra de sedimento passou por um processo de triagem e captura manual dos organismos presentes na amostra usando um depósito sobre uma luz, a qual facilita esse processo. Os organismos são então coletados com o auxílio de pinças e estiletes e separados em tubos etiquetados com dados de local e data da coleta, imersos em álcool a 70% para posterior identificação. A identificação é feita até o nível taxonômico de família através de observações das características dos organismos e comparação com ilustrações e chaves de identificações com descrições disponíveis na literatura. Nessa etapa, os trabalhos publicados por Merritt e Cummins (1996), McCafferty

(1981) e Costa, *et al* (2006), além de pesquisas na internet e em outros livros e apostilas foram importantes na identificação dos organismos. Para auxiliar nesta identificação, foi utilizada uma lupa de aumento com uma ampliação de 880 vezes (Figura 25).



Figura 25- Lupa utilizada para auxílio na identificação dos macroinvertebrados.  
Fonte: Acervo do autor.

Uma vez feita a identificação e contagem dos organismos de cada família, a qualidade ambiental foi analisada levando em conta a biodiversidade existente. Foi feito um levantamento dos organismos classificados como sensíveis, tolerantes e resistentes, bem como a quantidade deles em cada grupo. A determinação do grau de sensibilidade (sensíveis, tolerantes e resistentes) quanto à poluição orgânica encontrada em corpos hídricos, entre os táxons encontrados, foi realizada confrontando pontuações ou valores de tolerância utilizados na determinação de índices bióticos dos trabalhos Alba-Tercedor e Sánchez-Ortega (1988), Hilsenhoff (1988), Alba-Tercedor (1996), Cota et al. (2002), Figueroa et al. (2003), Flores (2003), Baldan (2006), Strieder et al. (2006), Alba-Tercedor (2007), Figueroa et al. (2007), Monteiro et al. (2008). Com a identificação e contagem dos organismos de cada família, é possível descrever a qualidade ambiental do local através da biodiversidade existente, além da verificação de presença ou ausência dos organismos classificados como sensíveis; tolerantes ou resistentes e quantidade de cada um desses tipos de organismos, esse método é conhecido em parte como biomonitoramento como descrito no segundo capítulo deste trabalho.

A análise físico-química da água foi feita no laboratório do LARHISA com exceção de cinco análises feitas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). As análises de metais pesados presentes no sedimento foram realizadas no laboratório do Núcleo de Análises de Alimentos, Águas e Efluentes (NAAE) do IFRN utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica (Figura 26), seguindo a metodologia descrita no manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (1999).



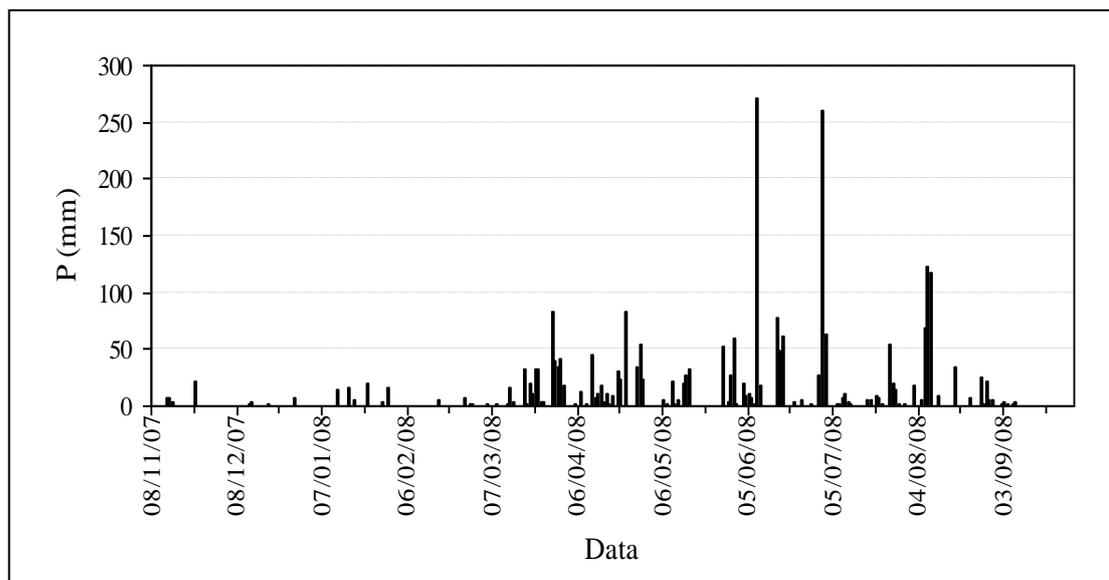
Figura 26- Espectrofotômetro de absorção atômica para medição de metais pesados.  
Fonte: Acervo do autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa serão descritos neste capítulo com os respectivos esclarecimentos e discussões. Todos os gráficos e tratamentos estatísticos gerados e apresentados a partir dos dados obtidos foram feitos através do software Microsoft Office Excel 2007. Para comparação das variáveis físico-químicas da água encontrados nas duas seções, foram gerados gráficos do tipo Box-plot apresentando as médias, os valores máximos e mínimos e a ocorrência de 68% dos dados representada pela média e o desvio padrão das duas seções estudadas. No Anexo 1 estão os dados obtidos com as análises físico-químicas durante a pesquisa. E o anexo 2 contém as medições de vazão realizadas nas seções de estudo.

### 5.1 REGIME HIDROLÓGICO

Os registros históricos de precipitação obtidos na Estação do LARHISA/UFRN em Natal estão apresentados na Figura 27. É possível observar que a estação chuvosa iniciou-se na primeira quinzena de março de 2008 e finalizou em agosto de 2008. O total precipitado no período foi de 2495mm, valor acima da média histórica anual dos últimos 7 anos para o município de Natal, que é 2057 mm. Nesse ano ocorreram eventos excepcionais em 08/06/2008 e 01/07/2008, com lamina precipitada igual a 270 mm e 260 mm, respectivamente.



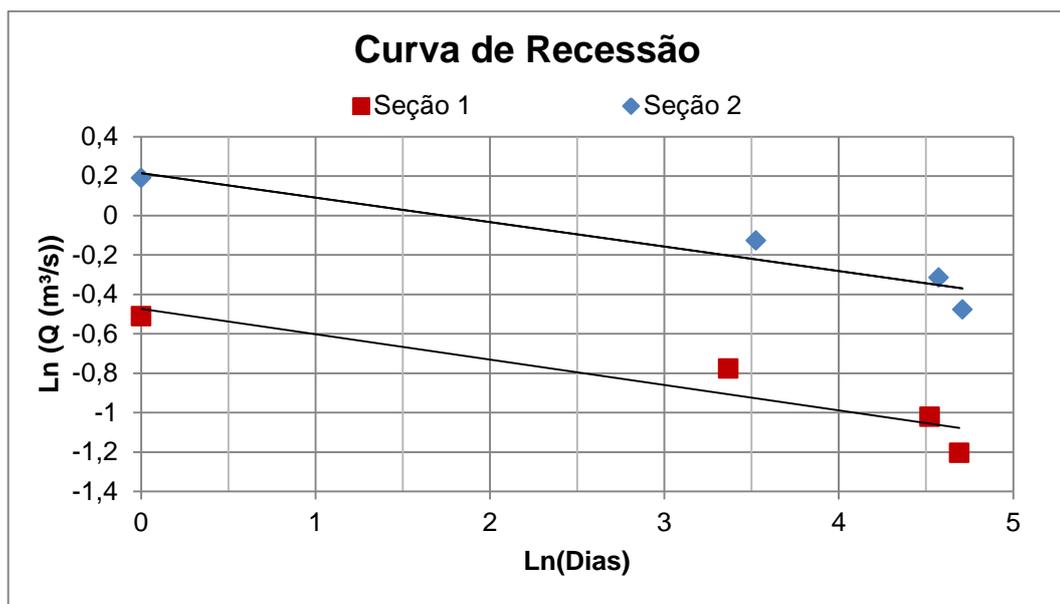


Figura 28- Comportamento da recessão durante o período seco na bacia.

Muito embora os processos relacionados com a recessão variem no tempo e no espaço, é possível ajustar uma expressão a nível regional que expresse a contribuição difusa proveniente do aquífero livre na bacia. De acordo com Hall (1968), a curva de recessão admite o ajuste a uma função exponencial (Equação 1) utilizando a expressão linearizada de Dupuit-Boussinesq, um modelo clássico utilizado para representar a curva de recessão.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (1)$$

onde  $Q_t$  é a vazão no tempo  $t$ ,  $Q_0$  é a vazão no início da fase de recessão,  $e^{-\alpha}$  (igual a  $k$ ) é uma constante de recessão usada como indicador da influência do escoamento de base na bacia. Valores altos dessa constante refletem a predominância do escoamento de base nos escoamentos na bacia. O Tempo de residência ( $T_{res}$ ), em dias, corresponde ao tempo médio de duração do escoamento de base. A análise de regressão utilizando as vazões em função do tempo numa escala logarítmica permitiu ajustar os parâmetros  $Q_0$  e  $\alpha$ , utilizando o método dos mínimos quadrados. Os valores dos parâmetros são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Parâmetros da curva de recessão do rio Pitimbu nas seções de monitoramento.

	$Q_0$ ( $m^3.s^{-1}$ )	Alpha	K	$T_{res}$ (dias)	$R^2$
Seção 1	0,623	0,130	0,879	7,72	0,873
Seção 2	1,240	0,125	0,883	8,01	0,91

Os valores obtidos indicam taxas relativamente altas, com forte interação rio-aquífero. Os tempos de residência obtidos para as duas seções foram iguais a 7,7 e 8 dias respectivamente. Definem o tempo médio de transferência da recarga até a seção transversal. Os resultados obtidos refletem as condições de armazenamento e transmissividade do aquífero na bacia.

Observou-se um aumento da descarga líquida entre as duas seções numa taxa relativamente constante e igual a 1,982. Esse aumento reflete o efeito da recarga subterrânea proveniente do aquífero não confinado no trecho entre as seções (5,69 km).

Durante os eventos extremos, o transbordamento da seção transversal do rio nas seções de estudo impediu a medição da velocidade a vau com o micromolinete por causa do aumento da profundidade. Na seção 2, a profundidade atingiu 1,35 m e a velocidade pontual alcançou 1,33 m/s.

O período chuvoso pode ser observado na Figura 29, através do comportamento do hidrograma após a quarta medição. Os eventos de chuva produziram um aumento da vazão a valores máximos iguais a 10,6  $m^3/s$ , valor 17 vezes maior do que a vazão correspondente ao final da recessão. Tal comportamento reflete a contribuição superficial proveniente das áreas impermeáveis na bacia. O decaimento do hidrograma (uma vez terminado o período chuvoso) reflete a liberação da água armazenada no solo e nas zonas inundáveis do leito secundário da calha fluvial. Durante os eventos extremos, o transbordamento da seção transversal do rio nas seções de estudo impediu a medição da velocidade a vau com o micromolinete por causa do aumento da profundidade e velocidades de corrente elevadas. Na seção 2, a profundidade atingiu 1,35 m e a velocidade pontual alcançou 1,33 m/s, porém foi possível realizar a medição sobre a ponte.

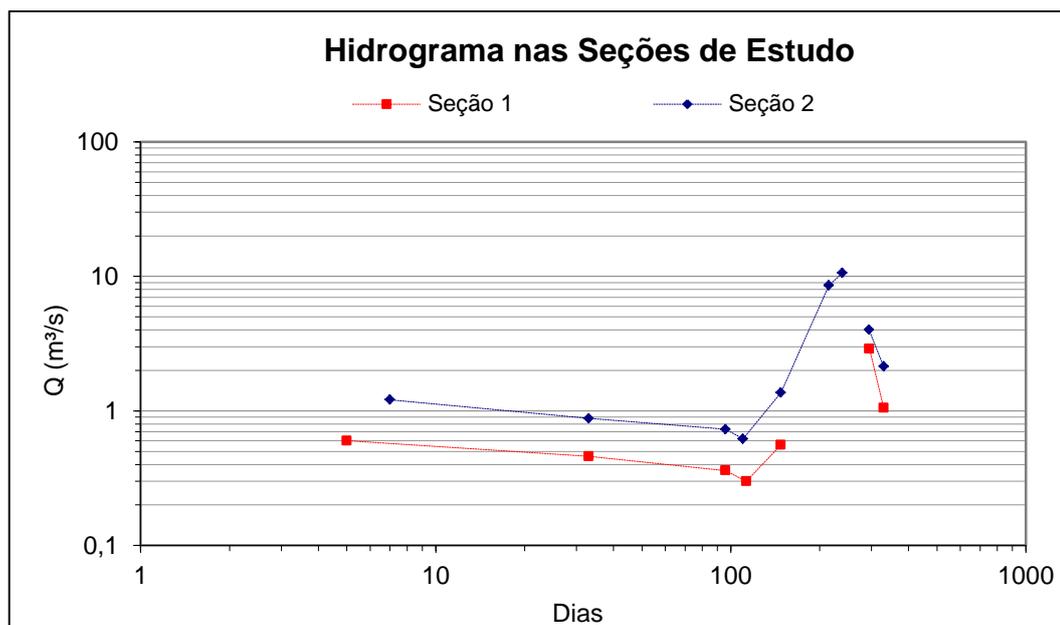


Figura 29- Comportamento da vazão nas seções de estudo em escalas logarítmicas.

## 5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

Os resultados das análises físico-químicas da água foram comparadas com valores encontrados na resolução CONAMA 357/2005 e com trabalhos anteriores realizados no mesmo local. O uso prioritário da água do rio é para abastecimento humano após tratamento semiconvencional na ETA do Jiqui que enquadrada-o na classe 2 pela resolução citada anteriormente, porém uma das variáveis não está dentro dos padrões desta classe que foi o oxigênio dissolvido.

### 5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os valores médios da  $DBO_5$  ( $mg/l$  de  $O_2$ ) (Figura 30) observados nas seções 1 e 2 foram iguais a 0,5 e os valores máximos foram 1,2 e 1,3 respectivamente. Além disso, comparando-se os valores observados nas seções de estudo, não se observaram diferenças importantes nos valores das concentrações. De modo geral, os valores observados da  $DBO_5$  foram baixos, próprios de corpos aquáticos que não recebem contaminação de origem orgânica. A realidade local, no entanto, não

confirma esses resultados. Fatores associados à ocupação humana e ausência de rede coletora de esgotos são responsáveis por altas concentrações de  $DBO_5$ . No entanto, o estudo realizado por Guimarães Segundo (2002) também obteve valores muito baixo de  $DBO_5$  nas mesmas seções estudadas. A resolução CONAMA 357/2005 associa a corpos aquáticos de Classe 1 à valores de concentração de  $DBO_5$  a  $20^\circ\text{C}$  inferiores a  $3\text{ mg/l}$  de  $O_2$ , e os resultados não ultrapassaram  $1,3\text{ mg/l}$  mostrando que os resultados de  $DBO_5$  foram muito baixo.

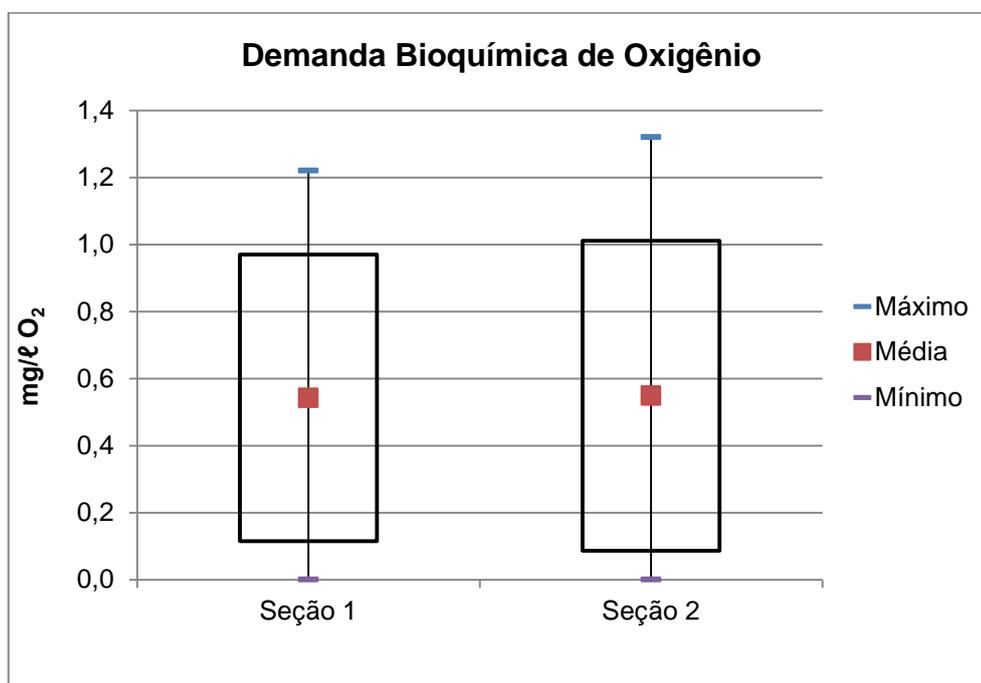


Figura 30- Distribuição da demanda bioquímica de oxigênio em ambas as seções.

### 5.2.2 Demanda Química de Oxigênio

Os valores médios observados para a variável DQO (Figura 31) nas seções 1 e 2 foram  $14,9$  e  $19\text{ mg/l}$  de  $O_2$ , com máximos de  $38,8$  e  $46,5\text{ mg/l}$  de  $O_2$ , respectivamente. Apesar de serem observadas concentrações de DQO mais altas na seção 2, os valores obtidos não sinalizaram ocorrência de contaminação por efluentes no baixo curso do rio. A resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites para a DQO nas classificações dos corpos d'água.

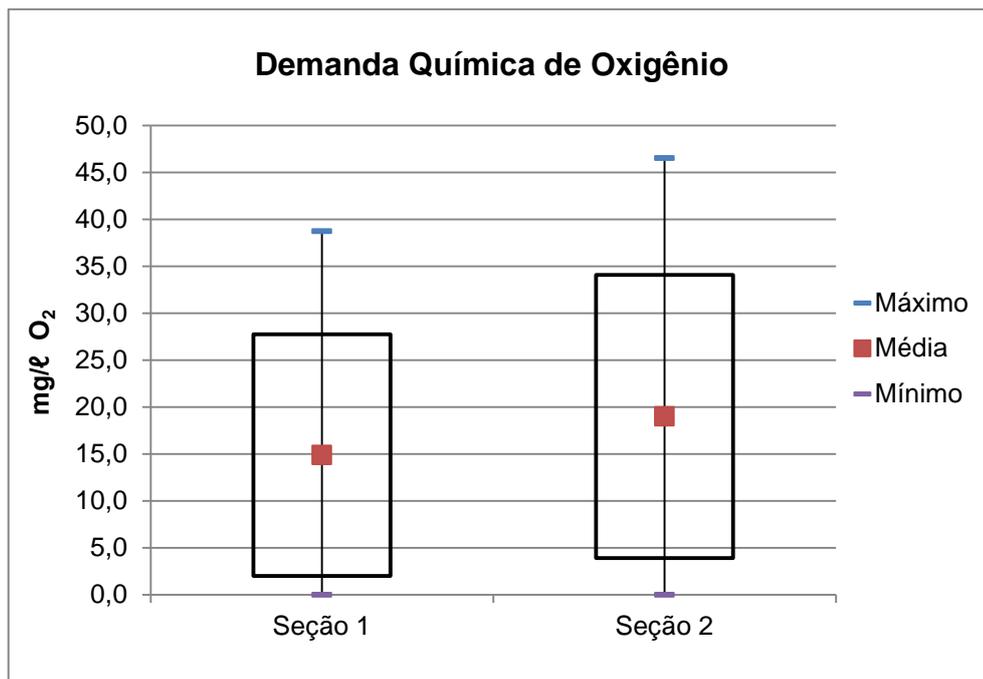


Figura 31- Distribuição da demanda química de oxigênio em ambas as seções.

### 5.2.3 Oxigênio Dissolvido

Os resultados obtidos para o Oxigênio Dissolvido (OD) (Figura 32) sinalizaram más condições de qualidade da água. Os valores obtidos variaram entre 3,0 e 5,6 mg/l com média de 3,9 mg/l O<sub>2</sub> e 2,1 a 6,2 mg/l com média de 4,3 mg/l de O<sub>2</sub> nas seções 1 e 2 respectivamente. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece que os valores de OD não podem ser inferior a 4 mg/l para corpo aquático da Classe 3, variando entre 2 mg/l e 4 mg/l para os corpos aquáticos da Classe 4. Nessa Classe, o uso da água é restrito a navegação e harmonia paisagística.

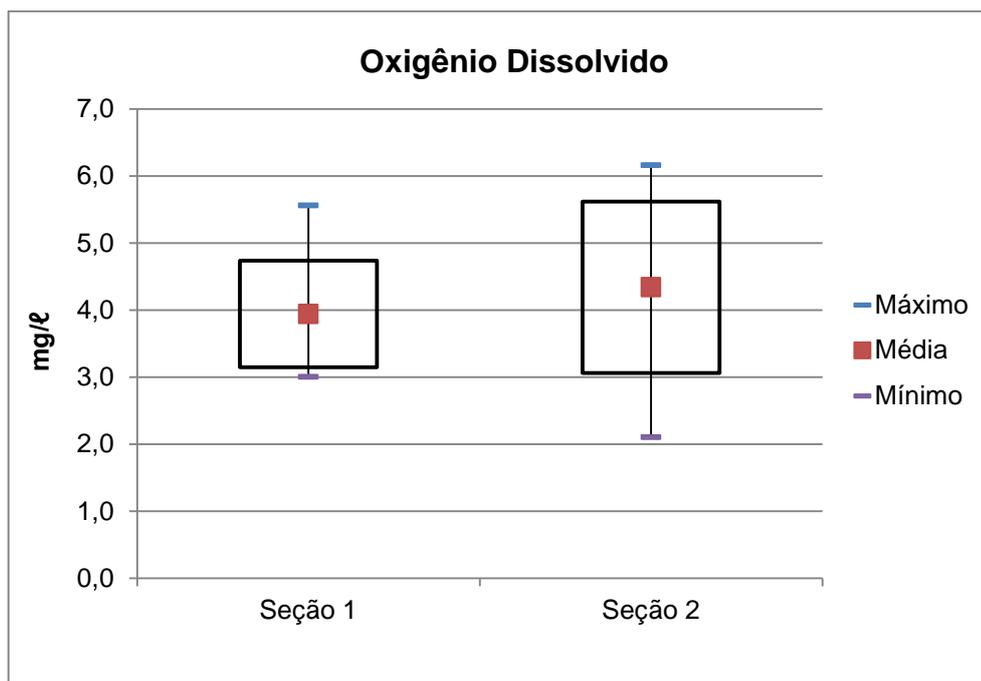


Figura 32- Distribuição de oxigênio dissolvido em ambas as seções.

Observou-se que a média das concentrações de OD na seção 2 foi mais alta do que na seção 1 a montante. Dentre os fatores que influenciam nos valores obtidos, vale citar a maior velocidade do fluxo na seção 2, e por consequência, maior turbulência gerada que aumenta o contato entre a água e a atmosfera. Comparando os resultados obtidos com os obtidos por Guimarães Segundo (2002), os valores médios são semelhantes, com valores variando entre 4,8 mg/l e 4,2 mg/l de O<sub>2</sub> nas seções 1 e 2 respectivamente.

#### 5.2.4 Nitrato

As concentrações de nitrato (Figura 33) estiveram bem abaixo dos limites estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005, apresentando a importância da água do rio na diluição das águas subterrâneas, as quais apresentam elevados níveis de nitrato. Observa-se um pequeno aumento das concentrações de nitrato da seção 1 para a seção 2, que pode ser ocasionado pela contribuição das águas dos aquíferos. Os valores variaram de 1,5 à 0,4 mg/L N na seção 1; e de 1,6 à 0,5 mg/L N na seção 2, com concentrações médias de 0,9 e 1,0 mg/L N respectivamente. Na

resolução CONAMA 357/2005, o limite de nitrato estabelecido é na ordem de 10 mg/L N para qualquer que seja a classe do rio, e também esse mesmo valor é o limite estabelecido na portaria 518/2004 do Ministério da Saúde para água de abastecimento humano.

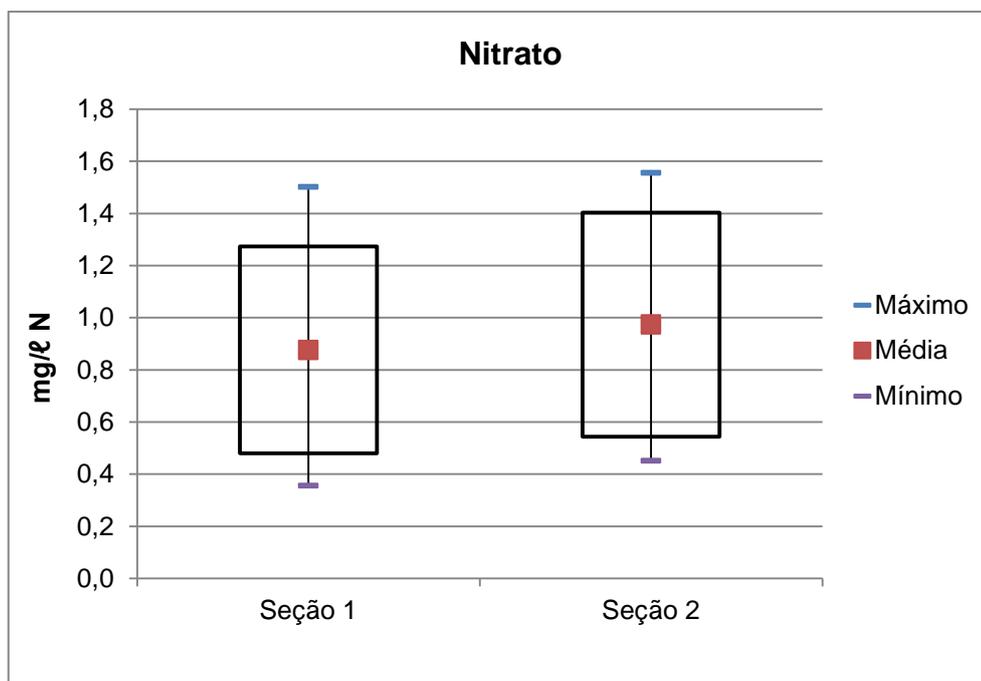


Figura 33- Distribuição de concentrações de nitrato em ambas as seções.

### 5.2.5 pH

Os valores de pH observados no estudo (Figura 34) não comprometem a qualidade da água para consumo humano. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece que os corpos aquáticos de água doce, independente da classe, devem apresentar pH variando entre 6 e 9. Os valores médios de pH nas seções de estudo foram 6,47 (seção 1) e 6,52 (seção 2). No entanto, a maioria das medições do pH apresentou valores variando entre 6,14 e 6,83, refletindo um pH levemente ácido.

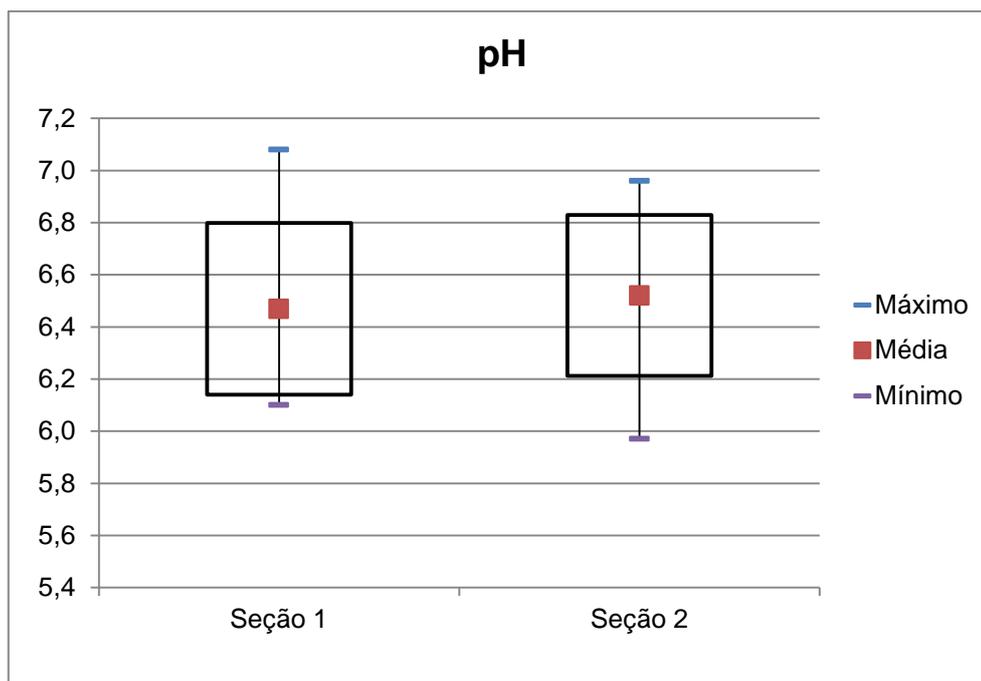


Figura 34- Distribuição de pH em ambas as seções.

### 5.2.6 Alcalinidade

Na seção 1, a alcalinidade variou entre 8,4 e 33,9 com média de 19,9. Na seção 2, a variação foi de 12,7 a 23,3 com média de 16,5 (Figura 35). Assim como na medição de pH, não foram observadas diferenças significativas dos valores observados nas duas seções. Apesar disso, observou-se maior variabilidade nos valores da seção 1, enquanto que na seção 2 os valores obtidos apresentaram pequenas variações, apresentando também concentrações menores do que as observadas na seção 1. A resolução CONAMA 357/2005 não regulamenta valores para alcalinidade para corpos aquáticos.

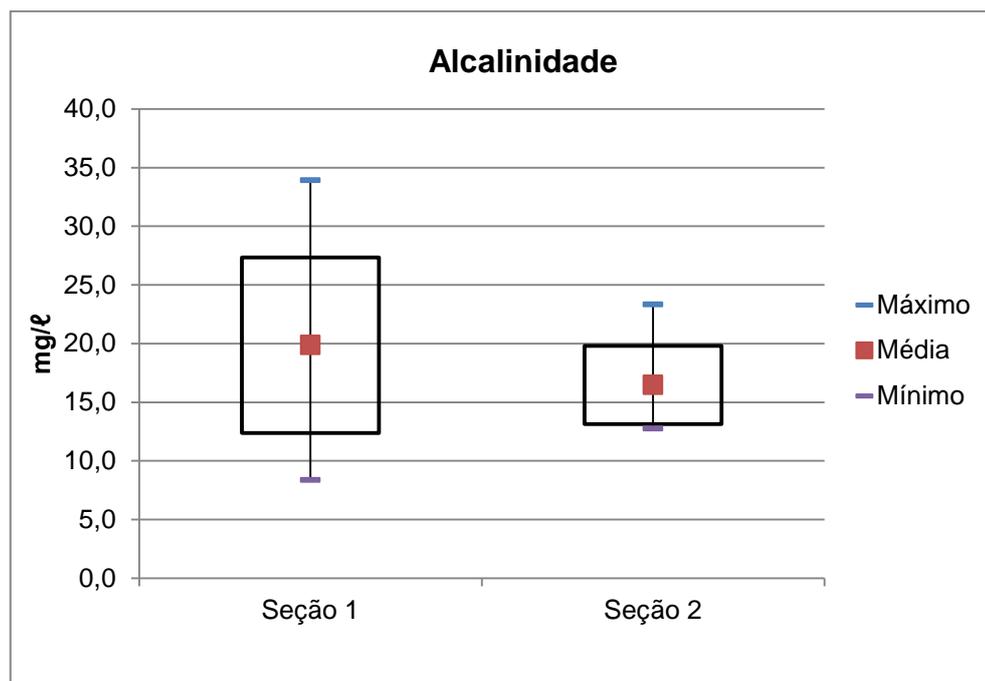


Figura 35- Distribuição de alcalinidade em ambas as seções.

### 5.2.7 Sólidos Suspensos e Sólidos Totais

Os valores de sólidos totais e em suspensão observados não comprometem a qualidade da água. No entanto, observou-se um sensível aumento desses parâmetros durante os meses chuvosos na bacia, associados principalmente com a entrada de sedimentos pelos processos erosivos, notadamente nos meses que compreendem a estação chuvosa, entre abril e junho. Das coletas e medições realizadas no período chuvoso, nenhuma delas foi realizada durante um evento de chuva. Isso provavelmente produziria dados de sólidos em suspensão mais altos.

No que se refere aos sólidos em suspensão (Figura 36), os valores médios observados foram 7,5 e 13,3 mg/l, com máximos de 16 e 33,3 mg/l e mínimas de 0,2 e 2 mg/l para as seções 1 e 2 respectivamente. Foram observadas concentrações de sólidos suspensos mais elevadas na seção 2. Para os sólidos totais (Figura 37), os valores médios foram 86,1 e 86,7 mg/l, com máximos de 129 e 128 mg/l e mínimos de 48 e 30 mg/l para as seções 1 e 2 respectivamente. Verificou-se pequena variação quanto aos sólidos totais entre as duas seções.

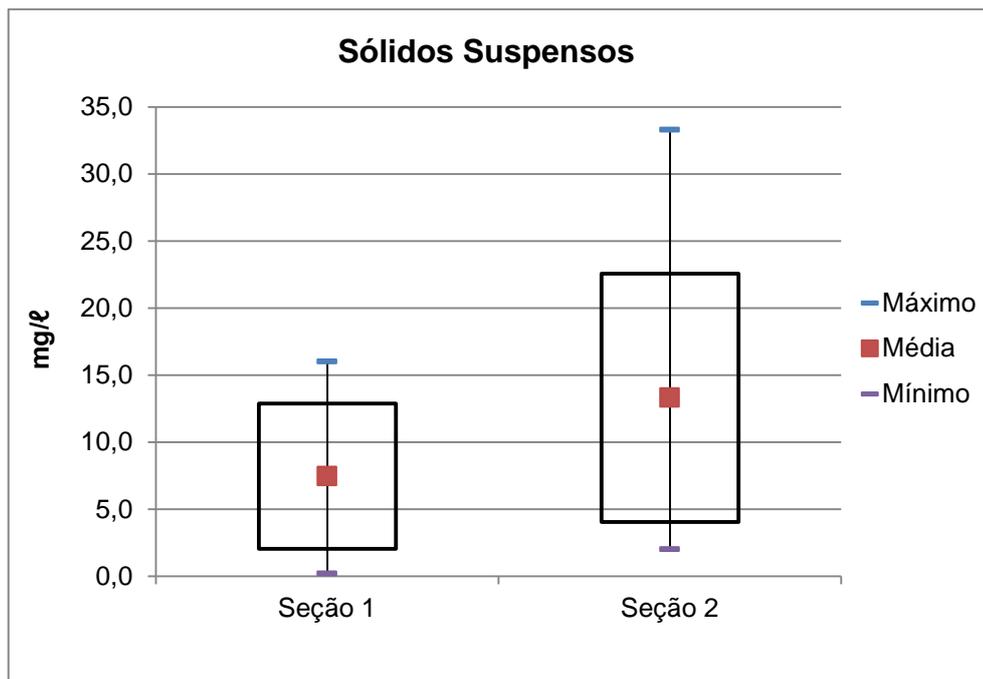


Figura 36- Distribuição de sólidos em suspensão em ambas as seções.

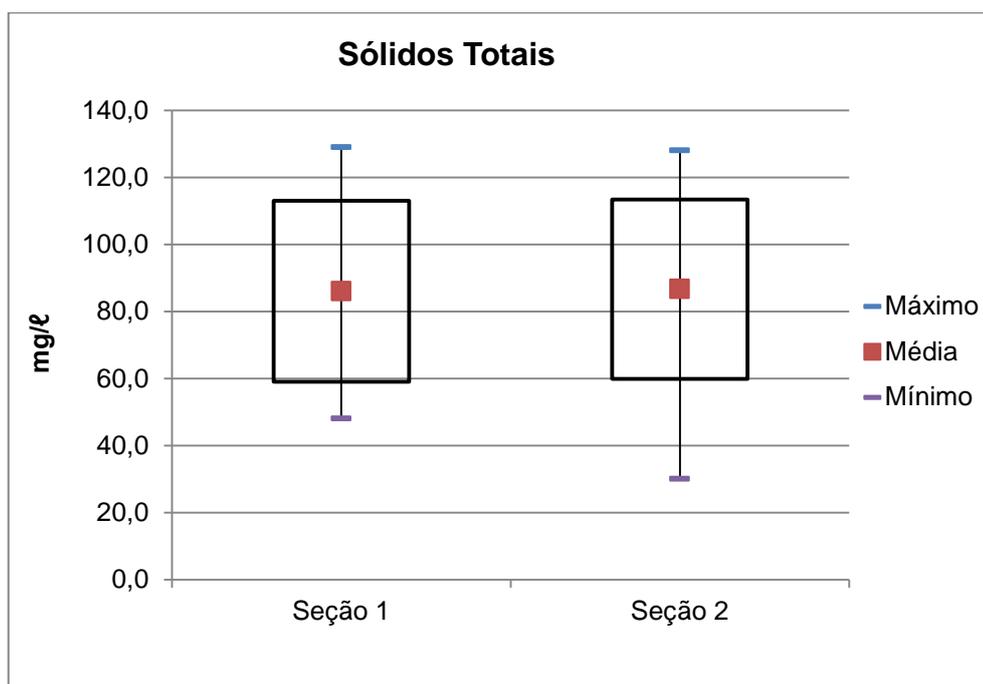


Figura 37- Distribuição de sólidos totais em ambas as seções.

### 5.3 ANÁLISES DE METAIS PESADOS NO SEDIMENTO

A análise de metais pesados nas seções de estudo observou concentrações mais elevadas na seção 2. Na seção 1, o único metal pesado que não apresentou concentração menor do que o limite de detecção foi o cobre (0,625 mg/kg). Na seção 2, o cobre e o cromo apresentaram concentrações de 2,085 mg/kg e 1,000 mg/kg respectivamente. O cobalto, cádmio, prata e níquel também apresentaram valores menores do que o limite de detecção do método analítico utilizado (Tabela 4).

Tabela 4- Valores de metais pesados encontrados nas seções estudadas.

Metais	Seção 1	Seção 2	Níveis típicos encontrados no solo (Williams <i>et al</i> , 2000)	Níveis naturais no sedimento (Grumiaux <i>et al</i> , 1998)
Cádmio (mg/kg)	0,000 <sup>1</sup>	0,020 <sup>2</sup>	<1	1
Cobalto (mg/kg)	0,035 <sup>3</sup>	0,225 <sup>4</sup>	1-40	-
Cobre (mg/kg)	0,625	2,085	2-250	15
Cromo (mg/kg)	0,000 <sup>5</sup>	1,000	<100	30
Prata (mg/kg)	0,000 <sup>6</sup>	0,000 <sup>7</sup>	-	-
Níquel (mg/kg)	0,000 <sup>8</sup>	0,000 <sup>9</sup>	4-80	-

(1) ao (9) Valores abaixo do limite de detecção

Apesar de que os valores observados foram inferiores aos encontrados normalmente no solo segundo a literatura, deve ser destacada a importância de serem detectadas as fontes potenciais de metais pesados na bacia através de estudos das possíveis fontes geradoras dessa carga e identificar quais dessas fontes estão presentes na bacia, para que possam ser tomadas as providências cabíveis à solução do problema. Observa-se também a necessidade de estudos mais elaborados enfocando a concentração de metais pesados no sedimento. Os valores típicos de metais pesados observados no sedimento em estudos anteriores revelaram certa discrepância.

Nesse sentido, Guimarães Segundo (2002) observou concentrações de prata e cádmio abaixo do limite de detecção usando o método analítico. No entanto, metais pesados como cobre, cromo, cobalto e níquel apresentaram concentrações significativas. Este estudo obteve concentrações variando entre 12 ppm e 17 ppm para cobre, 37 ppm e 99 ppm para cromo, 3 ppm e 7 ppm para cobalto, 8 ppm e 12 ppm para níquel nas seções 1 e 2 respectivamente. Porém a metodologia de análise utilizada no trabalho de Guimarães Segundo foi diferente. Nele, as amostras foram peneiradas, sendo submetida à análise somente a fração menor que 0,063 mm, a qual apresenta maior eficiência na retenção de qualquer substância. De um modo geral, as semelhanças com os resultados obtidos no estudo de Guimarães Segundo (2002) se resumem ao fato de que as concentrações de metais pesados observados na seção 2 foram mais altas do que aqueles obtidos para a seção 1.

Além disso, dentre os metais pesados analisados, os que apresentaram valores mais significativos foram cobre e cromo. De acordo com Williams *et al* (2000), o primeiro é relativamente não tóxico enquanto que o segundo pode causar câncer pulmonar, problemas respiratórios e doenças de pele.

#### 5.4 BIOMONITORAMENTO

O diagnóstico das condições ambientais da área de estudo através do biomonitoramento com macroinvertebrados bentônicos foi realizado de forma subjetiva avaliando a biodiversidade existente em cada seção; a quantidade de organismos presentes nas amostras; a classificação da sensibilidade à poluição orgânica de cada grupo de organismos identificados; e a comparação destes dados entre os pontos de amostragens estudados.

##### 5.4.1 Pontos de amostragem

Na seção 1 foi observada, na primeira amostragem (Tabela 5), a prevalência de *Orthocladinae* e *Chironominae*, considerados organismos resistentes e que podem

sinalizar níveis avançados de degradação da qualidade da água devido à ausência de organismos sensíveis e grande quantidade de organismos resistentes encontrados. Outro organismo considerado resistente encontrado foi *Melanoides tuberculata*. O único organismo não resistente encontrado foi o *Policentropodidae* considerado um organismo tolerante à poluição orgânica. Além disso, a baixa biodiversidade é um fator que agrava ainda mais a situação do ecossistema local, onde foi identificado apenas 4 diferentes táxons no total de 56 organismos encontrados na amostra.

Tabela 5- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 11.12.2007.

Seção 1 (11/12/2007)				
Organismos	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>M.tuberculata</i>	1			X
<i>Orthoclaadiinae</i>	20			X
<i>Chironominae</i>	28			X
<i>Policentropodidae</i>	7		X	

Na segunda amostragem realizada na seção 1 (Tabela 6), dois meses após a primeira, foi encontrada uma menor quantidade de organismos, que totalizou 14 organismos. Destes, sete são considerados organismos resistentes e os outros são considerados organismos tolerantes e mais uma vez com ausência de organismos sensíveis na seção. Nessa amostra foi encontrada apenas uma família de macroinvertebrados (*Chironomidae*) que devido suas características, foi possível identificar até o nível de sub-família.

Tabela 6- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 12.02.2008.

Seção 1 (12/2/2008)				
Organismos	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>Tanypodinae</i>	7		X	
<i>Orthoclaadiinae</i>	4			X
<i>Chironominae</i>	3			X

Na terceira e última amostragem realizada na seção 1 (Tabela 7), a quantidade de organismos encontrados foi ainda menor. Foram observados somente três organismos na amostra, sendo 1 resistente, 1 tolerante e 1 sensível. Apesar de apresentar 1 organismo classificado como sensível, a quantidade de organismos encontrada nessa última amostra da seção 1 é um fator preocupante uma vez que

se observou um decréscimo na quantidade de organismos encontrados nas amostras.

Tabela 7- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 1 em 03.10.2008.

Seção 1 (3/10/2008)				
Organismos	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>Orthocladinae</i>	1			X
<i>Tanypodinae</i>	1		X	
<i>Leptophlebiidae</i>	1	X		

Os organismos encontrados nas três amostragens realizadas na seção 1 demonstram uma situação alarmante. A baixa biodiversidade observada, aliada à ausência de macroinvertebrados bentônicos considerados sensíveis nas duas primeiras coletas nesta seção indica uma má qualidade da água. A baixa quantidade de organismos também é um fator agravante, onde na última coleta foram observados apenas três organismos macroinvertebrados na amostra. A metodologia de amostragem deve ser levada em consideração na quantidade e diversidade dos organismos, porém comparando com as coletas realizadas nos meses anteriores, cuja metodologia de coleta foi a mesma, observa-se um decréscimo da quantidade de organismos no decorrer do tempo.

A primeira amostragem realizada na seção 2 (Tabela 8) apresentou organismos que correspondem aos três graus de sensibilidade quanto à poluição. Nesta seção, o grupo dominante foi o *M. tuberculata*, organismo muito resistente, de fácil infestação e que ocupa o substrato de outros macroinvertebrados. Isso explica a grande quantidade encontrada se comparada com os outros organismos, porém a maior biodiversidade e presença de organismos sensíveis parecem demonstrar uma melhor condição da qualidade ambiental comparada com a seção 1. Foram encontrados um total de 47 organismos na amostra, onde 28 são *M. tuberculatas*.

Tabela 8- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 11.12.2007.

Seção 2 (11/12/2007)				
Organismos	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>M. tuberculata</i>	28			X
<i>Orthoclaadiinae</i>	3			X
<i>Chironominae</i>	6			X
<i>Corduliidae</i>	1	X		
<i>Hydropsychidae</i>	8		X	
<i>Policentropodidae</i>	1		X	

Na segunda amostragem realizada na seção 2 (Tabela 9), a situação é semelhante à obtida na amostragem anterior. A presença de organismos sensíveis e a predominância do *M.tuberculata* são características da amostragem anterior que não foram alteradas, porém uma maior biodiversidade foi encontrada na amostra, com um total de 9 diferentes táxons identificados no total de 39 organismos encontrados na amostra, dos quais 17 são *M. tuberculata*.

Tabela 9- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 12.02.2008.

Seção 2 (12/2/2008)				
Organismo	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>M. tuberculata</i>	17			X
<i>Orthoclaadiinae</i>	8			X
<i>Chironominae</i>	5			X
<i>Corduliidae</i>	1	X		
<i>Hydropsychidae</i>	2		X	
<i>Policentropodidae</i>	1		X	
<i>Tanypodinae</i>	2		X	
<i>Helicopsychidae</i>	2	X		
<i>Hydroptilidae</i>	1			X

A terceira e última amostragem realizada na seção 2 (Tabela 10), apresentou as mesmas características descritas nas coletas anteriores desta seção. Uma boa diversidade de organismos encontrados e a presença de macroinvertebrados considerados sensíveis são bons indicativos para o local, porém a quantidade de *M.tuberculata* encontrada superou todas as coletas, totalizando 61 organismos desta espécie no total de 78 organismos encontrados na amostra.

Tabela 10- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na seção 2 em 03.10.2008.

Seção 2 (3/10/2008)				
Organismo	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>M. tuberculata</i>	61			X
<i>Orthoclađiinae</i>	1			X
<i>Chironominae</i>	4			X
<i>Tanypodinae</i>	9		X	
<i>Helicopsychidae</i>	1	X		
<i>Gomphidae</i>	1	X		
<i>Ceratopogonidae</i>	1		X	

Observando as três coletas realizadas na seção 2, observa-se uma melhor qualidade da água se comparada com a seção 1. Uma boa diversidade de organismos, composta de 11 táxons, além da presença de *Helicopsychidae*, *Gomphidae* e *Corduliidae* demonstram que a qualidade da água ainda é capaz de manter organismos sensíveis à poluição. A presença de grandes quantidades da espécie *M.tuberculata* é um fator preocupante uma vez que esta espécie é considerada resistente, de fácil proliferação e ocupa o substrato de outros macroinvertebrados aumentando a competição de espaço e alimentos no sedimento, porém mesmo com essa adversidade foram encontrados uma boa variedade e quantidade de outros organismos no local.

Um terceiro ponto de amostragem foi realizado no dia 3/10/2008 para fins de comparação com os resultados obtidos anteriormente. O ponto de amostragem estava localizado no rio Pium, na seção de saída do Lago Azul. A escolha desse ponto se deve à verificação dos Índices de Qualidade de Água (IQA) mais altos da bacia do rio Pirangi de acordo com a pesquisa realizada por Ramalho *et al* (2008). Nesta coleta foi encontrada baixa biodiversidade, com quatro diferentes táxons e predominância de *Chironominae*, organismo considerando resistente à poluição (Tabela 11). As pupas, apesar de não terem sido identificadas, foram encontradas um total de 285 pupas na amostra coletada na seção de saída do Lago Azul. A biodiversidade apesar de pequena, foram encontrados 2 organismos considerados sensíveis (*Gomphidae*), 8 organismos considerados tolerantes e 14 organismos resistentes (*Chironominae*).

Tabela 11- Organismos encontrados e respectivos graus de sensibilidades na saída do Lago Azul em 03.10.2008.

Lago Azul (3/10/2008)				
Organismos	Quantidade	Sensível	Tolerante	Resistente
<i>Chironominae</i>	14			X
<i>Gomphidae</i>	2	X		
<i>hydropsychidae</i>	7		X	
<i>Empididae</i>	1		X	

## 5.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De um modo geral, os resultados obtidos com as análises físico-químicas demonstraram não haver variações significativas nos valores das variáveis analisadas para as duas seções durante o período estudado. Apesar dos valores de OD observados sinalizarem um certo comprometimento da qualidade da água, se os parâmetros físico-químicos forem considerados de forma conjunta, pode-se considerar que o rio Pitimbu, no trecho analisado, apresenta condições satisfatórias de qualidade da água considerando as análises físico-químicas realizadas na água.

Não é possível observar uma relação nas mudanças dos valores das variáveis entre as duas seções, portanto não é possível verificar melhorias ou prejuízo na qualidade da água entre as seções considerando as análises físico-químicas.

A identificação dos organismos em laboratório permitiu constatar a diversidade de macroinvertebrados bentônicos composta de treze táxons. Foi possível observar, a partir da quantidade e sensibilidade orgânica de cada grupo de macroinvertebrado, um comprometimento da qualidade da água na seção 1 se comparada à biodiversidade encontrada na seção 2. Observando as três coletas realizadas nas seções de estudo, observa-se que a terceira e última coleta realizada no dia 3/10/2008 em ambas seções foi a que apresentou o resultado mais crítico.

Comparando os dados do biomonitoramento com as análises físico-químicas realizadas nesta pesquisa, verificou-se discrepância entre os resultados obtidos, visto que, nas análises físico-químicas não se observou diferenças importantes nas seções de estudo. As condições de qualidade da água obtidas foram aceitáveis, com exceção de uma variável que foi o oxigênio dissolvido. Os resultados obtidos no biomonitoramento, por sua vez, indicaram diferenças significativas entre as seções

uma vez que a biodiversidade e a ausência de organismos sensíveis sinalizaram o comprometimento da qualidade da água na seção 1, além de uma melhor condição da qualidade da água na seção 2 devido a maior biodiversidade e presença de organismos sensíveis.

Assim, faz-se necessária uma ação contínua de pesquisa envolvendo os macroinvertebrados na área de estudo, para que seja possível a análise comparativa dos resultados obtidos, observando mudanças nos organismos encontrados na região e verificando a possibilidade de ocorrência de outros organismos no local, uma vez que a biodiversidade existente depende de inúmeras variáveis que devem ser consideradas na avaliação dos macroinvertebrados bentônicos.

A análise dos resultados obtidos com a medição de descarga líquida mostra uma forte interação rio-aquífero que influencia na qualidade da água entre as seções estudadas, como observado nos resultados do biomonitoramento, mas esta influência não é observada nas análises físico-químicas. Através da curva de recessão também foi possível constatar a alta capacidade de armazenamento da BHRP.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem obter as seguintes conclusões:

- Os registros de vazão possibilitaram o ajuste dos parâmetros da função de recessão linearizada de Deputit-Boussinesq. Os parâmetros refletem taxas de recessão relativamente altas, com tempo de residência de 8 dias. Além disso, a interação rio-aquífero não confinado entre as seções se reflete na recarga subterrânea, com a conseqüente diluição dos poluentes e melhoria na qualidade da água como observado no biomonitoramento, onde na seção 1 a descarga líquida é menor e apresentou um resultado alarmante no biomonitoramento, enquanto que na seção 2 a descarga líquida é o dobro da seção 1, devido ao aquífero, e os resultados do biomonitoramento apresentaram-se melhor em relação à seção 1. O trecho mencionado encontra-se atualmente submetido aos efeitos produzidos pela ocupação e expansão urbana, comprometendo de forma negativa, no médio ou longo prazo, a qualidade da água de recarga;

- As análises dos dados obtidos no biomonitoramento demonstraram sinais de degradação do ecossistema aquático pela ausência de organismos macroinvertebrados bentônicos sensíveis e abundância de organismos resistentes na seção 1. E também nesta mesma seção, em alguns casos, foi possível observar um baixo número de organismos encontrados nas amostras também sinalizando uma má qualidade da água. Além disso, apesar da dominância de *M.tuberculata*, observou-se uma melhora na qualidade da água na seção 2 em comparação com a seção 1, o que está associado a uma maior biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos e organismos sensíveis encontradas na seção 2 mostrando que as condições locais encontradas nesta seção ainda é capaz de manter organismos sensíveis presentes;

- Nas análises físico-químicas na água, os níveis de  $DBO_5$  observados na pesquisa sinalizaram ausência de contaminação da água por substâncias de origem orgânica; uma indicação conclusiva, no entanto, seria confirmada através de um monitoramento que possibilitasse maior freqüência de amostragem em função do

tempo, tornando possível a detecção de processos de contaminação pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais. Os níveis de OD observados nas seções de estudo indicaram comprometimento da qualidade da água, e este pode ser um dos motivos que justifique a baixa diversidade de organismos e ausência de macroinvertebrados bentônicos sensíveis encontrados, principalmente na seção 1. Os baixos níveis de OD observados nas seções devem ser estudados com profundidade, pois os valores de  $DBO_5$  encontrados nas seções também estão baixos revelando ausência de contaminação por matéria orgânica não justificando os valores de OD encontrados. Os baixos níveis de nitrato mostraram a importância estratégica da água do rio para a CAERN que utiliza para diluição das águas dos poços para adequação na legislação vigente, e também demonstra a importância de preservação da área da bacia no sentido de evitar contaminação do aquífero através de infiltração de efluentes, devido à forte interação rio-aquífero existente na bacia. Apesar de baixas concentrações de metais pesados encontrados no sedimento, é importante detectar as possíveis fontes de contaminação que podem estar contribuindo para o aumento dessa concentração e os órgãos de defesa ambiental tomar as medidas cabíveis;

- As condições do ecossistema aquático e da qualidade da água observadas ressaltam a necessidade de que sejam tomadas medidas de controle e proteção da bacia hidrográfica, sob pena de que o nível de degradação torne inviável o uso da água para consumo humano no futuro. Vale citar a necessidade de controle mais efetivo do uso e ocupação do solo na bacia por parte dos órgãos gestores e ambientais. A ocorrência de processos erosivos de grande magnitude às margens do rio revela ausência de controle e fiscalização por parte desses órgãos que autorizam obras em locais indevidos e o desrespeito da própria sociedade com as questões ambientais envolvendo a BRHP, pois ignoram os impactos e consequência que podem ocorrer no futuro.

## REFERÊNCIAS

ALBA-TERCEDOR, J. **Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos**. IV SIAGA. Almeria, 1996.

\_\_\_\_\_; SANCHEZ-ORTEGA, A. **Un Método Rápido y Simple para Evaluar la Calidad Biológica de las Aguas Corrientes Basado en el de Hellawell (1978)**. Limnetica, 1988.

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. 2005, Campo Grande.

ARAÚJO, M.F.F. e GODINHO, M.J.L. Seasonal and Spatial Distribution of Bacterioplankton in a Fluvial-lagunar System of a Tropical Region: Density, biomass, cellular volume and morphologic variation. **Brazilian Archives of Biology and technology**: International Journal, v.51, n.1, p: 203-212, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup>. Washington, D C, 1998.

BOGEN, J.; FERGUS, T.; WALLING, D.E. **Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Techonological and methodological advances**. International Association of Hydrological Sciences. Wallingford, 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 No. 357, de 17 de março de 2005.** Governo do Brasil, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA Nº 518, de 25 de março de 2004.** D.O.U. - Diário Oficial da União. Governo do Brasil, 2004.

BUSS D. F. BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J.L. **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios.** Cadernos de Saúde Pública. Rio de Janeiro, 2003.

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

CARVALHO, N.O., et al. **Guia de Práticas Sedimentométricas.** Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

CLESCERL, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D.. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (20<sup>th</sup> edition).** American Public Health Association, 2004

COSTA, C.; IDE, S.; SIMONKA, C.E. **Insetos Imaturos: Metamorfose e identificação.** Ribeirão Preto: Holos, 2006.

EGITO, L.C.M. et al. **Cytotoxic and Genotoxic Potencial of Surface Water From the Pitimbu River, Northeastern/RN Brazil.** Genetics and Molecular Biology. Printed in Brazil, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, 1999.

GRUMIAUX, F.; LEPRÊTRE, A.; e DHAINAUT-COURTOIS, N. **Effect of Sediment Quality on Benthic Macroinvertebrate Communities in Streams in the North of France.** Netherlands: Kluwer Academic, 1998.

GUIMARÃES SEGUNDO, J.E.A. **Diagnóstico Geoquímico Ambiental de Água e Sedimento de Fundo do Rio Pitumbu, 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

HALL, F.R. Baseflow Recessions – A review. **Water Resources Research**, 1968

HIDROSERVICE. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: Relatório síntese**. Natal: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, 1998.

HILSENHOFF, W.L. **Rapid Field Assessment of Organic Pollution With a Family-level Biotic Index**. J.N. Amer. Benthol., 1988.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. **Perfil do seu Município: Macaíba**. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. v. 8, Natal, 2005a.

\_\_\_\_\_. **Perfil do seu Município: Natal**. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. v. 8, Natal, 2005b.

\_\_\_\_\_. **Perfil do seu Município: Parnamirim**. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. v. 8, Natal, 2005c.

LUCENA, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L. A Potenciometria do Aquífero Barreiras no Setor Oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN e Considerações Sobre a Relação com Mananciais Superficiais. **Revista Águas Subterrâneas**, Curitiba, p. 19 – 28. Curitiba 2004a.

\_\_\_\_\_. **Características Hidroquímicas do Aquífero Barreiras no Âmbito do Setor Oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN**. Rev. Águas Subterrâneas nº 18, p. 29-38. Curitiba, 2004b.

MANAHAN, S.E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**. Boca Raton: CRC Press LCC, 2001

MCCAFFERTY, W.P. **Aquatic Entomology: the fishermen's and ecologist's illustrated guide to insects and their relatives**. Boston: Jones and Bartlett, 1981.

MEDEIROS, C.N.; PETTA, R.A.; DUARTE, C.R. **Estudo do Meio Físico para Avaliação da Vulnerabilidade à Ocupação Humana do Município de Parnamirim (RN), Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. Geociência, São Paulo, v. 24, n.3, p. 239-253, 2005.

MERRITT, R.W.; CUMMINS, R.W. **An Introduction to the Aquatic Insects of North America**. Kendall-Hunt Publishing Company, 3ª Ed. Dubuque - Iowa, 1996.

OLIVEIRA, F. G. de. **Autodepuração e monitoramento do rio Pitimbu - RN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1994.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; BOAS, M.A.V. **Correlação entre os parâmetros de DBO e DQO no Rio Piquiri, Ubitatã – Paraná**. In: ENCONTRO DE QUÍMICA DA REGIÃO SUL, 16. Paraná: FURB, 2008

POLETO, C.; MERTEN, G.H. **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2006.

RAMALHO, J.R.; DANTAR, T.N.P.; ARAÚJO, A.L.C. **Avaliação da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica Pirangi Através da Aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA)**. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL AIDIS, 31.2008. Santiago de Chile.

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.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SHIMIZU, G.Y. et al. **Estudos Preliminares para o Uso de Índices Biológicos no Biomonitoramento de Ambientes Aquáticos Continentais – Riachos e corredeiras na Bacia Hidrográfica do Rio Atibaia**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2002. Relatório Final.

SILVA, V.L.; COSTA, A.M.B.; SILVA, F.M. **Dinâmica da paisagem na microbacia do rio Pitimbu por técnicas de sensoriamento remoto**. In: Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto 13., 2007, Florianópolis p 21-26.

SILVEIRA, M.P. **Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2004.

WILLIAMS, P.L.; JAMES, R.C.; ROBERTS, S.M. **Principles of Toxicology: Environmental and industrial applications**. 2<sup>th</sup>. New York: John Wiley & Sons, 2000.

## **ANEXOS**

## ANEXO A - Valores das variáveis físico-químicas nas seções de monitoramento.

Seção 1								
Data	Nitrato (mg/ℓ)	Alcalinidade	ST (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	OD (mg/ℓ)	DBO (mg/ ℓ)	DQO (mg/ ℓ)	pH
13/11/2007	0,5	21,2	65,0	9,0				
11/12/2007	0,4	27,6	48,0					
12/2/2008	0,4	29,7	129,0	16,0	3,0	0,4		6,8
29/2/2008	1,5	33,9	100,0	7,0	3,4			6,4
4/4/2008	0,8	23,3	127,0	13,0	3,2	0,8	20,8	6,9
10/6/2008	0,5	29,7	100,0	14,0	4,1	0,2	33,3	6,4
4/7/2008		17,0	89,0	10,7	3,6	0,2	0,0	6,1
16/7/2008	0,9	16,0	100,0	2,2	3,8	0,2	15,5	6,3
15/8/2008	0,8	12,7			4,3	0,2	0,0	6,3
29/8/2008	1,4	17,0			5,6	0,0	0,0	6,4
3/10/2008	1,5	18,0			4,6		15,8	6,6
30/4/2009	0,5	18,0	50,0	0,2		1,2	38,8	
11/5/2009	0,8	8,4	70,0	4,0		1,2	15,6	6,3
25/5/2009	1,3	13,7	90,0	2,0		0,8	16,0	7,1
31/5/2009	1,0	12,1	64,7	4,1		0,8	8,0	6,1
Seção 2								
Data	Nitrato (mg/ℓ)	Alcalinidade	ST (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	OD (mg/ℓ)	DBO (mg/ ℓ)	DQO (mg/ ℓ)	pH
8/11/2007	0,6	17,0		3,0				
11/12/2007	0,6	21,2						
12/2/2008	0,6	19,1	106,0	6,0	5,4	0,9	0,0	6,8
26/2/2008	0,5	21,2	94,0	13,0	4,4		0,0	7,0
4/4/2008	1,2	17,0	128,0	14,0	3,8	0,2	0,0	6,9
10/6/2008	0,5	23,3	85,0	16,0	2,1	0,3	29,6	6,2
4/7/2008		14,8	87,0	15,7	3,0	0,0	0,0	6,5
16/7/2008	1,3	13,2	100,0	4,5	4,0	0,4	23,3	6,2
15/8/2008	1,4	14,8			4,7	0,1	38,5	6,7
28/8/2008	1,5	14,8			6,2	0,0	23,6	6,3
3/10/2008	1,6	15,9			5,5		15,8	6,6
30/4/2009	0,9	16,0	30,0	2,0		1,3	46,5	
11/5/2009	0,5	13,0	90,0	33,3		0,8	7,8	6,0
25/5/2009	1,4	12,7	90,0	20,9		1,0	16,0	6,9
31/5/2009	1,2	13,0	56,8	18,0		1,0	8,0	6,3

## ANEXO B - Descarga líquida nas seções de monitoramento.

Seção 1		Seção 2	
Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
13/11/2007	0,6	8/11/2007	1,21
11/12/2007	0,46	11/12/2007	0,88
12/2/2008	0,36	12/2/2008	0,73
29/2/2008	0,3	26/2/2008	0,62
4/4/2008	0,56	4/4/2008	1,37
10/6/2008		10/6/2008	8,59
4/7/2008		4/7/2008	10,61
29/8/2008	2,9	28/8/2008	4,02
3/10/2008		3/10/2008	2,14