

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

FRANCIELLE ROCHA SANTOS

**QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ,
ESTADO DO PARANÁ, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE
PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPOMOURÃO

2013

FRANCIELLE ROCHA SANTOS

**QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ,
ESTADO DO PARANÁ, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE
PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental, da Coordenação de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

Co-orientador: Prof. Dr. Elton Celton de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Ambiental - COEAM
Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ, ESTADO DO PARANÁ, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

por

FRANCIELLE ROCHA SANTOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 09/09/2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Eudes José Arantes
Orientador

Prof. Elton Celton de Oliveira
Co-orientador

Prof^a. Morgana Suszek Gonçalves
Membro titular

Prof. Thiago Morais de Castro
Membro titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental

Dedico este trabalho aos meus pais Adão e Cleonice, as minhas irmãs Michele e Suellen e ao meu irmão Pedro Henrique, por me auxiliarem com sábios conselhos, por todo amor e paciência, meus maiores incentivadores e conselheiros, a quem devo todo meu amor, carinho e admiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades proporcionadas no decorrer do curso, por me dar calma e sabedoria nas horas de angústia, por sempre estar iluminando o meu caminho.

Aos meus pais, por toda estrutura oferecida, permitindo com que eu conseguisse passar por mais esta etapa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eudes José Arantes, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Elton Celton de Oliveira, pelos conhecimentos a mim ofertados.

A Camila Almeida da Silva e Andressa Martinelli de Souza que moraram comigo durante a graduação e que estiveram me apoiando com palavras e até mesmo gestos de carinho.

As minhas companheiras de trabalhos e do dia a dia Cíntia Ritter e Tábata Ardenghi pelos dias de alegrias e de tristezas dos quais estiveram sempre presentes.

Aos meus amigos de turma Maísa Gomes Carneiro, Luciana Veríssimo Siquerolo, Otávio Henrique Silva, Lianne Pezenti, Regiane Ferreira, Andréia Goffi, Wellington Rorato, Alysson Figueiredo, Antônio Carlos Roso, Evandro Yabushita, Aldria Belini e Rafael Fontana Batista, por estarem sempre presentes durante toda a graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica e recursos financeiros para o projeto.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

SANTOS, Francielle, R. **Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí, Estado do Paraná, a Partir da Utilização de Parâmetros Físico, Químicos e Microbiológicos**. 2013. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

Devido à pressão que os recursos hídricos têm sofrido, torna-se necessário o monitoramento da qualidade da água, pois ela pode se tornar um recurso limitado às necessidades humanas. A bacia do rio Ivaí é usada para abastecimento público de municípios do Paraná. Partindo-se da premissa que diferentes tipos de uso do solo podem influenciar na qualidade da água o monitoramento é essencial. Ao longo da bacia a ocupação do solo é diversificada, com agricultura intensiva, predominando o plantio de cana-de-açúcar, milho, aveia, soja e uso misto, elencando ainda que a economia se baseia na produção de galináceas e suínos, além das áreas de pastagem e de urbanização. Toda essa ocupação gera contaminação e prejudica a qualidade da água. Neste trabalho foram avaliados parâmetros de qualidade da água em três seções diferentes ao longo da bacia do rio Ivaí e com isso estimou-se a partir de ferramentas estatísticas o grau de qualidades dessas águas. O resultado mostra que a vazão representa a variável mais significativa influenciando os demais parâmetros de qualidade da água, sendo responsável pelo transporte dos poluentes de origem nos diversos usos e ocupações na bacia hidrográfica ao longo do rio, demonstrando que a ocupação do solo influencia de forma significativa na qualidade da água, pois a contaminação provocada pela produção de animais e pela urbanização oriunda de matéria orgânica em decomposição.

Palavras-Chave: monitoramento, análise da componente principal, poluição.

ABSTRACT

SANTOS, Francielle, R. **Water Quality in Ivaí River Basin, State of Parana, From the Use of Physical, Chemical and Microbiological parameters.** In 2013. 46f. Course conclusion work (Bachelor of Environmental Engineering) Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2013

Due to the pressure that water resources have suffered, it is necessary to monitor the water quality, because it can become a limited resource to human needs. The Ivaí river basin is used for municipality's public supply of Paraná. Based on the premise that different types of land use can influence water quality monitoring is essential. Along the basin land use is diversified, with intensive agriculture, predominantly planting sugar cane, corn, oats, soybeans, and mixed use, listing even if the economy is based on production of pigs and gallinaceous, beyond the areas of pasture and urbanization. All this occupation generates contamination and affects water quality. This study evaluated the water quality parameters in three different sections along the Ivaí river basin and its qualities of these waters was estimated from the degree of statistical tools. The result shows that the flow rate is the most significant variable influencing the other parameters of water quality, being responsible for the transport of pollutants from the various uses and occupations in the watershed along the river, showing that land use influences the way significant water quality, because contamination caused by the production of animals and urbanization originating from the decomposing organic matter.

KEYWORDS: monitoring, principal component analysis, pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Área de estudo contendo a localização dos quatro pontos amostrais utilizados para coleta de dados na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí.....	19
Figura 2: Mapa geológico simplificado da bacia do rio Ivaí. Obs.: alto, médio e baixo curso do rio Ivaí, modelo proposto por Destefani (2005).....	20
Figura 3: Uso e conservação do solo na bacia do rio Ivaí.....	22
Figura 4: Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí.	23
Figura 5: Rio Ivaí e seus afluentes.	24
Figura 6: Perfil longitudinal do rio Ivaí.....	25
Figura 7: Distribuição dos dados hidrológicos por seção de rio e estação do ano. Vazão (a), pH (b), turbidez (c), sólidos totais (d), oxigênio dissolvidos (e), DQO (f), fósforo (g), nitrogênio total (h), coliformes totais (i), coliformes termotolerantes (j), temperatura (k) e condutividade (l). ...	34
Figura 8: Resultados do agrupamento dos dados, usando a Análise da Componente Principal.	37
Figura 9: Dispersão dos dados de vazão com os parâmetros mais significativos.....	39

SUMÁRIO

RESUMO	6
1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA.....	13
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	16
4 MATERIAS E MÉTODOS	18
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	18
4.2 GEOLOGIA	20
4.3 CLIMA	21
4.4 USO DO SOLO	21
4.5 VEGETAÇÃO	22
4.6 REGIME DE CHUVAS	23
4.7 REGIME HIDROLÓGICO FLUVIAL	24
4.8 DECLIVIDADE	25
4.9 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET)	26
4.10 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	27
4.11 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	29
4.12 CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS COM A VAZÃO	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	31
5.2 PARÂMETROS DA ÁGUA DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO	32
5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	35
5.4 CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS COM A VAZÃO	37
6 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações existentes em nível mundial nos dias de hoje, está relacionado à falta de água para o consumo humano devido a sua menor abundância nos compartimentos continentais (mananciais superficiais e subterrâneos) e distribuição desigual entre países, estados de um mesmo país e ao longo dos meses (GLEICK, 1993). Mesmo assim, as águas continentais são acometidas por uma intensa e crescente carga de poluentes que, conseqüentemente, promovem a contaminação da biota e declínio da qualidade dos ambientes.

O Brasil é o país mais rico em água doce, com cerca de 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta (MAIA NETO, 1997). Ao se considerar, sua disponibilidade absoluta de recursos hídricos renováveis, aquela relativa à população dele dependente, o Brasil deixa de ser o primeiro e passa ao vigésimo terceiro no mundo (PROJETO ÁGUA, 1998).

Ter acesso à água de qualidade e em quantidades adequadas é um direito de todos os cidadãos, garantido por lei, sendo regulamentada no Brasil, pela portaria 2914 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, sendo de responsabilidade do Poder Público, garantir o abastecimento da população.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de março de 2005, considera que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados como consequência da deterioração da qualidade das águas. Portanto para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas, sendo usados como indicadores da qualidade da água.

Um estudo integrado que contemple aquisição, integração e análise de dados relacionados a esses fatores é necessário para encontrar soluções de problemas e propor sugestões de melhorias.

Coelho Netto (2001) define bacia hidrográfica como sendo “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma

saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial”, não apresentando um limite de tamanho, podendo apresentar milhares de quilômetros quadrados ou alguns metros quadrados. Vale ressaltar que “não envolvem apenas canais fluviais e planícies de inundação, mas incluem as vertentes, nas quais os processos internos são de fundamental importância (RODRIGUES; ADAMI, 2005)”.

Neste trabalho foram mensurados diferentes parâmetros, nas escalas físicas, químicas e microbiológicas, que permitiram inferir sobre a qualidade ambiental da água na Bacia do Rio Ivaí, Paraná. Para isso, foram utilizados os dados dos parâmetros de qualidade dessas águas em três seções pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ivaí, e com isso possibilitou estimar através de ferramentas estatísticas o grau de qualidade dessas águas durante os 3 últimos anos.

A partir dos dados obtidos foi possível utilizar técnicas estatísticas multivariadas que permitiram uma análise de parâmetros individuais e correlacionados sobre as escalas espaciais e temporais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí foi a partir da análise conjunta de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtenção dos dados através do Instituto das Águas do Paraná.
- Averiguar a qualidade da água em diferentes seções amostrais da bacia do rio Ivaí, a partir da obtenção de dados dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, tais como; temperatura, condutividade, pH, turbidez, sólidos totais, DQO, OD, nitrogênio total, fósforo total e biológicos como coliformes totais e termotolerantes.
- Verificar o índice do estado trófico nas estações fluviométricas de Ubá do Sul, Porto Bananeira e Porto Paraíso do Norte.
- Verificar o enquadramento dos parâmetros de qualidade da água junto à legislação vigente.
- Avaliar conjuntamente a influência dos parâmetros mensurados na qualidade da água da Bacia do Rio Ivaí nas escalas espacial e temporal, utilizando ferramentas de estatística multivariada.
- Avaliar as correlações entre os parâmetros de maior influência.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

A água é fator indispensável à manutenção da vida terrestre, para irrigação de solos, dessedentação de animais e abastecimento público e industrial, além de elemento físico da natureza para a manutenção da umidade do ar e da relativa estabilidade do clima na Terra, para a geração de energia, como meio para navegação, entre outros (BARROS et al., 1995).

A água é considerada um recurso renovável que flui entre compartimentos, marinho e continental, formando o ciclo hidrológico. É no continente que a água possui o seu menor volume, com cerca de 3% do volume do planeta, sendo fundamental para a manutenção da vida e para o desenvolvimento econômico. Mesmo assim esta água vem sendo poluída e, concomitantemente, mecanismos de recuperação de sua qualidade e de reuso estão sendo criados para o benefício humano (BRAGA et al., 2004).

Apesar da importância para a manutenção da vida na terra, o homem tem causado diversos impactos negativos no ciclo hidrológico. A principal consequência diz respeito à qualidade e à quantidade de água disponível para uso humano. Segundo Freitas e Freitas (2005) a qualidade da água se tornou uma questão de interesse para a saúde pública no final do século 19 e início do século 20, antes deste período apenas aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, gosto e o odor eram considerados.

A qualidade da água está relacionada tanto com as condições naturais quanto com o uso e a ocupação do solo de uma determinada bacia hidrográfica. De acordo com Porto (2008) além da análise ambiental se faz necessário à análise das atividades socioeconômicas na bacia, por denunciarem o grau de conservação, preservação e degradação dos recursos naturais face aos processos produtivos (SANTOS, 2006). Essa análise deve ser feita através de atributos geomorfológicos e de uso e ocupação do solo, além da aplicação de parâmetros morfométricos, pois são estes que oferecerão a possibilidade de análise quantitativa dos impactos

provocados em uma bacia, através de indicadores físicos específicos de determinada área, qualificando as alterações ambientais (TONELLO, 2005).

Em relação às condições naturais, sua qualidade é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo resultando na produção de sedimentos e nutrientes, como o nitrogênio e fósforo (VON SPERLING, 2005).

Segundo Derísio (2000), Novotny (1995) e Bitzer; Sims (1988), a qualidade da água de determinado corpo hídrico pode ser representada através de parâmetros que traduzem as suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ou não se alterar ao longo de efeitos chuvosos, determinando assim parâmetros diferentes de qualidade da água para um mesmo corpo hídrico.

Alguns parâmetros como o fosfato, nitratos e coliformes são indicadores da qualidade da água e representam impurezas quando alcançam padrões superiores aos estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente–CONAMA, para determinado uso (BILICH; LACERDA, 2005).

Lee et al.(2004) afirmam que as condições climáticas, como longos períodos de estiagem ou úmidos, podem afetar grandemente as emissões de poluentes nas descargas de águas pluviais urbanas. Em regiões onde há um longo período sem chuvas, há um grande acúmulo de poluentes e que a chuva inicial da estação pode ter maiores concentrações de poluentes do que as chuvas que virão posteriormente, o qual denomina de carga de lavagem sazonal (seasonal first flush).

A manutenção da qualidade da água é uma necessidade universal, que exige atenção por parte das autoridades e consumidores em geral, particularmente no que se refere à água dos mananciais, destinados ao consumo humano, visto que sua contaminação por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, pode torná-las um veículo de transmissão de agentes de doenças infecciosas e parasitárias, (D'AGUILA et al, 2000).

A importância do controle e da análise da qualidade da água é fundamental a fim de que se eliminem os riscos de potencial contaminação da população. Entre os patógenos disseminados em fontes de água, os patógenos entéricos são os mais frequentemente encontrados. Como consequência, fontes de contaminação fecal em água devido à atividade humana devem ser estritamente controladas (D'AGUILA et al, 2000).

A presença de microrganismos patogênicos na água, na maioria das vezes, é decorrente da poluição por fezes de humanos e de animais e, devido ao fato de

que os microrganismos patogênicos usualmente aparecem de forma intermitente e em baixo número na água. Desse modo, a presença desses microrganismos na água constitui indicador de poluição fecal, principalmente originária do homem e de animais de sangue quente (SILVA; ARAÚJO, 2003).

Com a distribuição da população urbana e a disponibilidade de infraestrutura urbana, torna-se possível definir relações de causa e efeito entre as condições de ocupação do recurso hídrico e os fatores de qualidade da água (ZIMMERMANN et al., 2008).

A utilização da água para um determinado propósito não deve prejudicar os diversos usos possíveis, entre os quais figuram aspectos culturais, atividades recreativas e a preservação da diversidade biológica. Em consequência, surge a necessidade de monitorar os cursos hídricos a fim de disponibilizar informações que permitam propor medidas adequadas de manejo para manter os ambientes aquáticos com qualidade ecológica (STRIEDER et al., 2003).

Dentro desse contexto, o monitoramento da qualidade da água torna-se um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, visto que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos cursos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental (LEMOS, 2010).

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir do século XX, os métodos estatísticos foram desenvolvidos como uma mistura de ciência, tecnologia e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento humano (STIGLER, 1986).

Para analisar a qualidade da água a partir de inúmeros parâmetros mensurados, usualmente tem-se utilizado o índice de qualidade da água (IQA) que, por sua vez, sumariza a influência de múltiplos parâmetros em um dado univariado que reflete uma escala de antropização; desde corpos hídricos menos afetados (maior IQA) até os mais antropizados (menor IQA) (DERÍSIO, 1992).

No entanto, este índice não possibilita uma análise minuciosa das influências individuais de cada parâmetro, suas correlações e, tampouco das influências locais e temporais. Sabendo disso, as análises estatísticas multivariadas tornam-se ferramentas interessantes para avaliar a qualidade da água a partir múltiplos parâmetros com influência espacial e temporal.

3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

A PCA é um método de ordenação multivariado, geralmente, utilizado com variáveis que possuem relações lineares entre si. Este método permite a redução da dimensionalidade dos dados, facilitando a interpretação dos resultados quando se tem múltiplas variáveis. A análise de dados multivariados conta com diversas técnicas, dentre elas existe a análise fatorial que contém a Análise da Componente Principal (PCA). É aplicada quando há um número grande de variáveis e correlacionadas entre si, com o objetivo de identificar um número menor de novas variáveis alternativas, não correlacionadas e que, de algum modo, sumarizem as informações principais das variáveis originais encontrando os fatores ou variáveis latentes (MINGOTI, 2005).

A análise fatorial é uma técnica de interdependência que avalia todas as variáveis simultaneamente, relacionando uma com a outra, empregando o conceito da variável estatística.

No entanto, segundo Hair et al. (2005), este conceito não é utilizado para prever uma variável dependente, mas sim para maximizar o poder de explicação do conjunto inteiro de variáveis.

O método das componentes principais é um dos mais usados para resolver análises fatoriais, pois de acordo com Johnson e Wichern (1992) a análise revela relações que não eram previamente consideradas e assim permitem interpretações que não iriam, de outro modo, aparecer. Pode-se explicar usando uma função linear com y de uma variável vetorial z podendo ser definida como

$$\mathbf{y} = \mathbf{v}^T \mathbf{z}$$

Sendo \mathbf{v} uma matriz de coeficientes. Supondo \mathbf{z} com p elementos e \mathbf{y} com n elementos, busca-se explicar um teste através de um número menor de variáveis, os fatores y . Neste caso \mathbf{v} será uma matriz de ordem $p \times n$ (JOHNSON E WICHERN, 1992).

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Ivaí é a segunda maior do Estado do Paraná, localizada entre a faixa de transição do clima tropical e subtropical o que pode ter influencia no seu regime hidrológico. A Portaria SUHREMA n° 19 de 1982, em seu artigo 1° considera que todos os rios pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ivaí pertencem à classe II. Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), 12% da população do Estado do Paraná encontra-se na área de estudo, que possui aproximadamente 1.229.767 habitantes, destes 930.821 habitantes (IBGE, 2004) pertencem a área urbana, abrangendo 105 municípios cerca de 19% da área total do estado.

O rio Ivaí é um tributário importante do rio Paraná, possui comprimento de aproximadamente 700 km desde sua nascente, no município de Prudentópolis com os rios São João e rio dos Patos, até desaguar no rio Paraná.

De acordo com o IBGE (2010) os municípios como Rondon, Engenheiro Beltrão e Lidianópolis, todos pertencentes às áreas de estudo possuem populações inferiores a 15 mil habitantes, com solos predominantemente voltados para a agricultura. De acordo com IPARDES (2011) a economia dos municípios é baseada no plantio de cana-de-açúcar e na produção de avicultura.

A bacia do rio Ivaí está localizada no terceiro planalto paranaense e toda essa região sofreu um rápido desenvolvimento devido à urbanização, provocando intensos desmatamentos. O aumento demográfico e as necessidades antrópicas começaram a deteriorar e poluir o meio ambiente de forma preocupante.

Foram obtidos dados junto ao Instituto das Águas do Paraná, referentes às três seções amostrais utilizadas neste trabalho distribuídas ao longo da Bacia do Rio Ivaí. De montante a jusante, a primeira seção é denominada de Ubá do Sul, município de Lidianópolis, a segunda seção é Porto Bananeira no município de Engenheiro Beltrão e a terceira seção é Porto Paraíso do Norte no município de Rondon (Figura 1).

4.2 GEOLOGIA

Destefani (2005) sugeriu uma subdivisão geológica em três segmentos (superior, médio e inferior) como pode ser observado na Figura 2:



Figura 2: Mapa geológico simplificado da bacia do rio Ivaí. Obs.: alto, médio e baixo curso do rio Ivaí, modelo proposto por Destefani (2005).

Destefani (2005) descreve cada segmento. No segmento superior, no mapa representado pelo alto curso do rio Ivaí, é marcado por desníveis acentuados, com cotas entre 1200 a 580 m. O substrato geológico é formado por rochas sedimentares paleozóicas e solos predominantemente rasos do tipo Neossolo Litólico e Cambissolo. No segmento médio onde estão localizadas duas seções (Ubá do Sul e Porto Bandeiras), há a formação de corredeiras e saltos, situados entre as cotas de 508 a 280 m, com formação de Nitossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos

Férricos mais espessos. No segmento inferior encontra-se a seção Porto Paraíso do Norte, ocorre à formação do arenito Caiuá (formação mais recente) e dos sedimentos aluviais da planície. A topografia é formada por chapadas e colinas bastante suaves, sendo rara a ocorrência de corredeiras. Os solos encontrados nesse trecho são derivados do arenito Caiuá como o Latossolo e o Argissolo, além dos hidromórficos como os Neossolos Flúvicos e Gleissolos.

4.3 CLIMA

O clima na bacia do rio Ivaí foi determinado de acordo com Köppen sendo estabelecidos como:

A montante da bacia o clima é Cfb, subtropical úmido sem estação seca, verões frescos e ocorrência de geadas severas e frequentes. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C e dos meses mais frios é inferior a 18°C. O restante da bacia o clima é Cfa, subtropical úmido com tendência de concentração de chuva nos meses de verão sem estação seca definida. (PARANÁ, 1987, p.16).

Neste tipo de clima os períodos chuvosos encontram-se mais homogêneos, sendo as máximas e mínimas ocorrendo em qualquer época do ano. Andrade (2002) realizou um estudo sobre a variabilidade das precipitações na bacia hidrográfica do Ivaí, constatando que sua distribuição temporal e espacial não apresenta muita variação. A variabilidade apresenta-se mais perceptível somente em anos anômalos, em virtude dos fenômenos El Niño e La Niña.

4.4 USO DO SOLO

O uso e ocupação do solo na bacia do Rio Ivaí (Figura 3) contém condições edafoclimáticas, ou seja, características do meio, como o clima, o relevo, a temperatura, o tipo de solo e a precipitação, além da avaliação da cobertura vegetal e outros elementos presentes na região em estudo.

Na região superior e inferior da bacia do Rio Ivaí há o predomínio de pastagens artificiais e campos naturais. Na região intermediária, onde se encontram

as seções analisadas, há o predomínio de uma agricultura intensiva e solo de uso misto, principalmente com plantações de cana-de-açúcar.

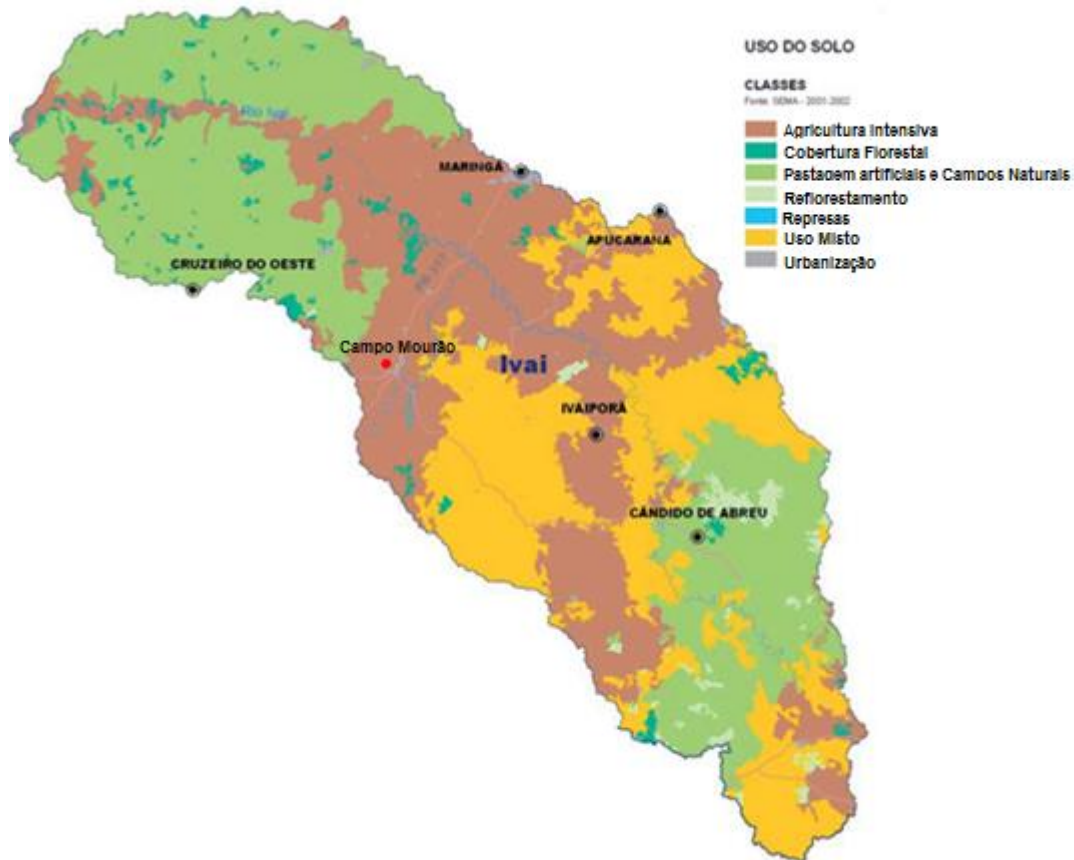


Figura 3: Uso e conservação do solo na bacia do rio Ivaí.
Fonte: Bacia hidrográfica do Paraná: séries históricas, 2. ed., 2013.

4.5 VEGETAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Ivaí drena as áreas que mais sofreram com o desmatamento no estado. De acordo com IBGE (1993) as formações vegetais que cobrem a bacia são a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual.

A montante da bacia constitui-se a Floresta Ombrófila Mista, típica de altitudes elevadas e caracterizada pela presença de *Araucária angustifolia*, símbolo do estado do Paraná.

A jusante da bacia ocorre à formação da Floresta Estacional Semidecidual caracterizada por perder folhas nas estações secas e/ou frias. Esta formação vegetal apresenta um porte em torno de 20 metros, porém grande parte da vegetação foi substituída pela cana-de-açúcar e culturas diversas.

4.6 REGIME DE CHUVAS

A caracterização da distribuição das chuvas nas áreas de estudo, para a análise da dinâmica temporal e espacial da precipitação pluvial desde 2005 estiveram concentradas entre as estações de inverno e primavera com vazões chegando a $2694 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Os valores de precipitação giram em torno de 1600 a 1800 mm anuais, sendo registrados valores máximos de 1850 e mínimos de 1450 mm (Figura 4).

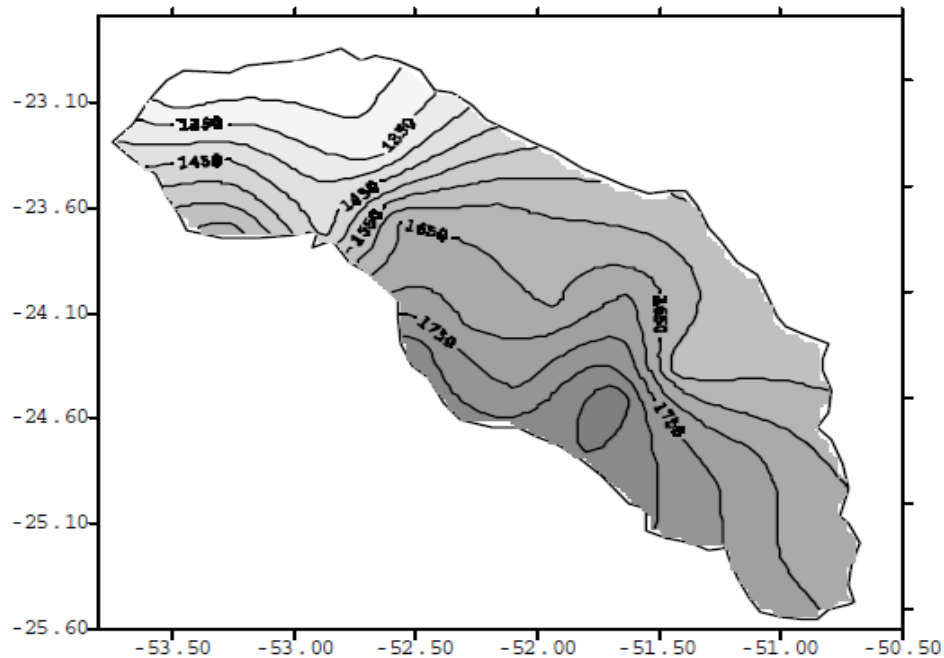


Figura 4: Precipitação média na bacia hidrográfica do Ivaí.

Fonte: ANDRADE (2002).

4.7 REGIME HIDROLÓGICO FLUVIAL

As vazões mínimas e médias entre os anos de 2005 a 2012 ocorreram na seção Ubá do Sul com mínima de $35,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em junho de 2006 e a máxima na seção Porto Bandeiras com $2694,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em outubro de 2009.

A bacia hidrográfica do rio Ivaí é constituída por uma densa rede de drenagem, compreendendo centenas de afluentes, sendo os principais da margem direita, os rios Alonso ou do Peixe e Paranaíba e os da margem esquerda os rios Corumbataí, Mourão, Ligeiro e dos Índios como pode ser observado na Figura 5.

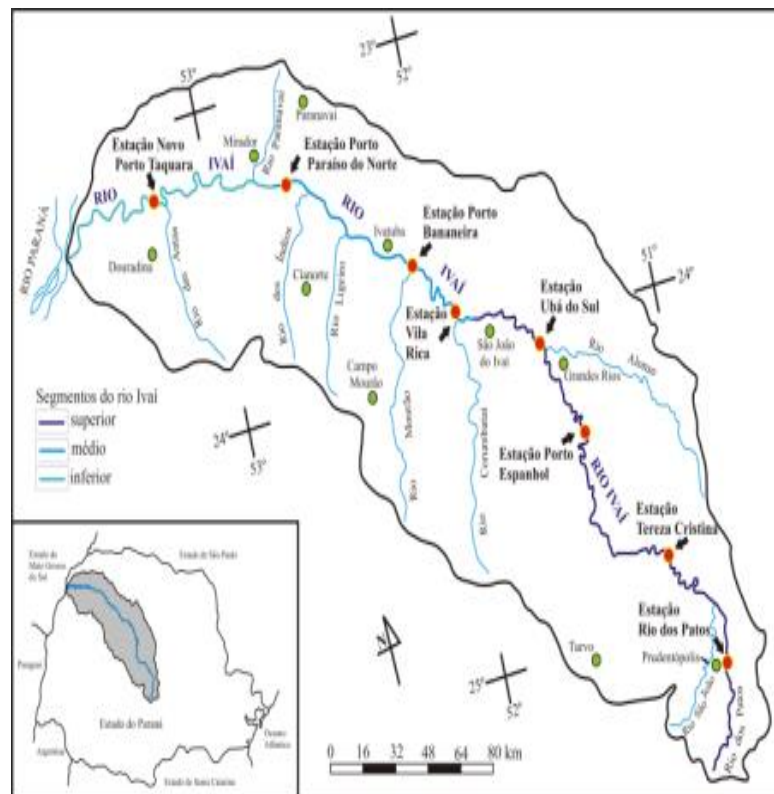


Figura 5: Rio Ivaí e seus afluentes.
Fonte: PARANÁ (1997).

A nascente do rio é formada pela junção de dois rios; o rio dos Patos e o rio São João na Serra da Boa Esperança situados no segundo planalto, ambos com altitude acima de 800 m. O rio Ivaí deságua no rio Paraná a aproximadamente 230m de altitude.

4.8 DECLIVIDADE

A bacia hidrográfica do rio Ivaí, caracteriza declividades acentuadas devido a sua geologia e principalmente geomorfologia que podem ser visualizadas na Figura 6 adaptada do trabalho de Destefani (2005).

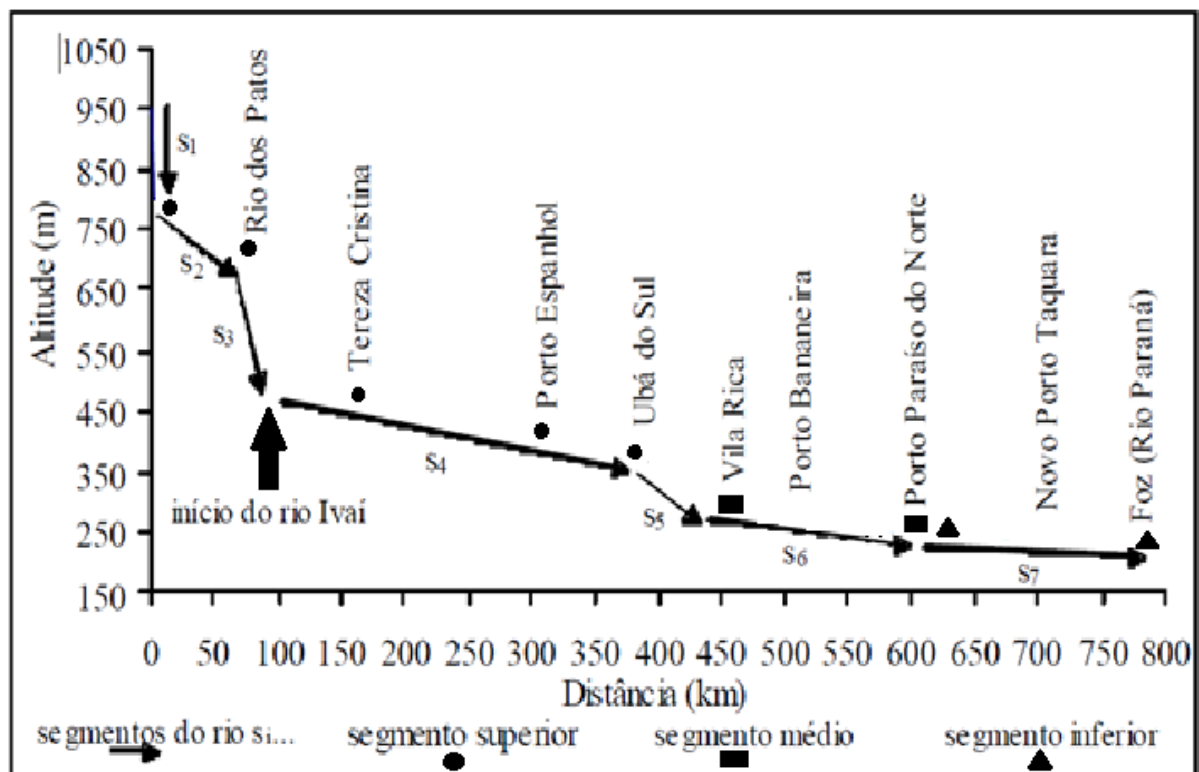


Figura 6: Perfil longitudinal do rio Ivaí.
Fonte: Adaptado de Destefani (2005).

No segmento a montante o rio Ivaí apresenta as declividades mais elevadas de toda a bacia, pois os rios dos Patos até o rio São João nascem em região serrana no segundo planalto, a mais de 900 m de altitude. A partir do rio Ivaí as declividades tornam-se mais suaves, o rio apresenta declividade relativamente baixa, com trechos isolados de grande declividade e corredeiras bem marcadas, como é o caso do Salto Ariranha (PARANÁ, 1982).

Da estação fluviométrica Vila Rica até pouco mais da estação fluviométrica Porto Paraíso do Norte estende-se o segmento médio entre altitudes de 300 a 250 m em um percurso de aproximadamente 170 km. Próximo ao município de Ivatuba até

a Corredeira de Ferro, o trecho é marcado por corredeiras importantes como a do Ferro e a do Índio, separadas por remansos de gradiente suave (PARANÁ, 1982).

O último segmento escoia sobre a formação de arenito caiuíá, desse ponto em diante até atingir a foz, a planície apresenta sua porção mais ampla e suave de todo o trecho, além de encontrar-se geneticamente relacionada com o rio Paraná (DESTEFANI, 2005).

4.9 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET)

O índice do estado trófico classifica corpos d'água, avaliando sua qualidade levando em consideração o crescimento de algas ou ao aumento das manifestações de macrófitas aquáticas. A realização do cálculo deve ser expressa somente para rios e reservatórios, devendo ser calculado em função dos valores de fósforo total.

Nesse índice, os resultados calculados, devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades (ESTEVES, 1998).

A classificação do estado trófico para rios está descrito na Tabela 1 e o cálculo é realizado, a partir dos valores de fósforo total, pela fórmula, segundo (Lamparelli, 2004):

$$IET = 10 \left[\frac{6 - (0,42 - 0,36 \ln(PT))}{\ln(2)} \right] - 20$$

Onde:

PT= Concentração de fósforo total medida à superfície da água ($\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$)

ln= logaritmo natural (neperiano).

Tabela 1: Classificação do estado trófico de rios segundo o Índice de Carlson modificado (CETESB, 2006).

Estado trófico	IET
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

4.10 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para caracterizar a qualidade da água, foram avaliados os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos obtidos nas três seções distribuídas na Bacia hidrográfica do rio Ivaí, entre os anos de 2010 a 2012.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizados neste trabalho foram: temperatura (°C), condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH, turbidez (UNT), sólidos totais (mg/L), DQO (mg/L), OD (mg/L), nitrogênio total (mg/L), fósforo total (mg/L), coliformes totais (NMP/100 ml) e termotolerantes (NMP/100ml). Na Tabela 2 encontram-se os dados obtidos no Instituto das Águas do Paraná para as estações fluviométricas de Porto Paraíso do Norte, Porto Bananeira e Ubá do Sul respectivamente, e na Tabela 3 está descrito a importância de cada parâmetro e suas respectivas legislações.

Tabela 2: Dados dos parâmetros de qualidade da água

(continua)

Datas da Coleta	Vazão m ³ /s	Coliforme Total NMP/100 mL	Condut. $\mu\text{S}/\text{cm}$	DQO mg/L	Coliforme termotol. NMP/100mL	Nitrog. Total mg/L	OD mg/L	pH	Temp. °C	Turb. UNT	Sólidos Totais mg/L	Fósforo total mg/L
26/05/2010	497	23000	55	9,6	3500	0,210	8,33	7,97	18,00	35,0	78,00	0,0500
30/11/2011	430	1600000	72	7,8	3300	0,440	8,30	7,00	27,00	17,0	25,00	0,0610
26/04/2012	218	79000	61	7,4	490	0,380	7,80	7,50	26,00	17,0	46,00	0,0530
02/07/2012	637	79000	57	6	1300	0,330	8,22	7,30	21,00	17,0	47,00	0,0550
27/08/2012	241	7000	52	13	45	0,360	8,80	7,50	26,00	23,0	50,00	0,0320
25/10/2012	182	13000	68,70	4,00	130	0,360	7,89	7,60	28,00	6,00	20,00	0,0410
30/06/2010	182,76	1100	55,00	7,20	700	0,260	8,57	7,60	19,00	7,00	52,00	0,0170
25/08/2010	119,19	2200	54,80	2,60	1700	0,270	8,90	7,79	21,00	9,20	67,00	0,0250
02/05/2011	276,87	7900	69,00	7,20	790	0,150	8,08	7,70	19,00	18,0	44,00	0,0420

Tabela 2: Dados dos parâmetros de qualidade da água**(Conclusão)**

Datas da Coleta	Vazão m ³ /s	Coliforme Total NMP/100 mL	Conduct. µS/cm	DQO mg/L	Coliforme termotol. NMP/100mL	Nitrog. Total mg/L	OD mg/L	pH	Temp. °C	Turb. UNT	Sólidos Totais mg/L	Fósforo total mg/L
26/03/2012	104,00	79000	64,00	5,40	800	0,350	9,00	7,60	32,00	10,0	57,00	0,0300
28/05/2012	661,86	170000	208,00	10,00	2300	0,890	8,40	7,30	18,00	33,0	225,00	0,2600
27/06/2010	101,75	3300	53,00	3,60	2300	0,092	8,64	7,70	17,00	14,0	55,00	0,0190
01/05/2011	89,924	3500	59,00	14,00	170	0,180	8,00	7,80	21,00	14,0	46,00	0,0360
04/07/2011	932,74	33000	45,00	17,00	1700	0,420	6,20	6,80	15,00	128	230,00	0,0620
22/11/2011	573,6	110000	59,60	14,00	3500	0,500	7,10	7,50	22,00	100	126,00	0,1200
23/05/2012	113,48	14000	46,00	8,70	45	0,380	9,00	7,40	21,00	10,0	62,00	0,0240
26/07/2012	142,4	7900	47,00	<2,00	45	0,220	9,80	7,5	19,00	10,0	63,00	0,0250
26/03/2012	104,0	79000	64,00	5,40	2800	0,350	9,00	7,6	32,00	10,0	57,00	0,0300
28/05/2012	661,8	170000	208,0	10,00	2300	0,890	8,40	7,3	18,00	33,0	225,00	0,2600

Tabela 3: Importância e legislação para os parâmetros de qualidade da água.**(continua)**

Parâmetros de qualidade da água	Importância dos parâmetros	Legislação
Temperatura	Influência sobre outras propriedades, acelerando reações químicas.	
Condutividade	Em águas naturais a condutividade encontra-se nas faixas de 10 a 100 µS.cm ⁻¹ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 µS.cm ⁻¹ .	
pH (potencial hidrogeniônico)	De acordo com a resolução CONAMA 357 de 2005, rios de classe II devem conter um pH na faixa de 6 a 9. Valores elevados de pH podem estar associados à proliferação de algas.	CONAMA 357/2005
Turbidez	De acordo com a resolução do CONAMA 357 de 2005, a turbidez é de até 100 UNT para rios de classe II.	CONAMA 357/2005
Sólidos totais	Os limites aceitáveis para sólidos totais não devem ultrapassar 500mg/L.	CONAMA 357/2005

Tabela 3: Importância e legislação para os parâmetros de qualidade da água.

Parâmetros de qualidade da água	Importância dos parâmetros	(conclusão)
		Legislação
Oxigênio dissolvido	O oxigênio dissolvido é essencial para os organismos aeróbios, pois reduz a concentração de oxigênio do meio. Os limites mínimos estabelecidos pela resolução é de 5 mg/L O ₂ , para rios de classe II.	CONAMA 357/2005
Nitrogênio total	O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas formas de nitrogênio molecular (N ₂), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, sendo indispensável para o crescimento de microrganismos e algas.	
Fósforo Total	É essencial para o crescimento de algas, mas, em excesso, causa a eutrofização.	CONAMA 357/2005
Demanda Química de Oxigênio	É frequentemente utilizada para caracterizar os despejos domésticos e/ou industriais.	
Coliformes	A presença de coliformes indica a possibilidade de contaminação da água por esgotos domésticos.	CONAMA 274/2000

4.11 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos adotados neste trabalho foram sumarizados através da análise de componentes principais (PCA). Esta análise permite avaliar a influência de múltiplos parâmetros nas escalas espacial e temporal, sintetizando a informação contida em um grande número de variáveis, com a menor perda de informação.

A matriz de dados utilizada na PCA foi elaborada a partir dos parâmetros obtidos nas três estações de coleta utilizadas neste estudo, tanto na escala espacial quanto na temporal. Foram selecionados 12 parâmetros para compor a matriz

devido à compatibilidade de aferição em todas as seções de rio analisadas. Ainda, excluíram-se os casos onde havia muitos dados faltantes. Depois de confeccionar a matriz, checkou-se os pressupostos de normalidade multivariada e colinearidade entre os parâmetros. Além disso, fez-se a normalização das escalas dos parâmetros, subtraindo de cada caso a média do parâmetro e, em seguida, dividindo pelo desvio-padrão (LEGENDRE; LEGRENCE, 1998). Desta forma, buscou-se minimizar as diferenças das escalas e evitar a influência de dados extremos.

A análise foi efetuada em um pacote estatístico apropriado e interpretado os resultados dos autovalores e dos autovetores. Os autovalores representam a porcentagem de variância que foi explicada em cada uma das componentes principais (eixos), enquanto que os autovetores tratam da correlação de cada parâmetro com os respectivos eixos da PCA. Os vetores de maior correlação com o eixo 1 da PCA representam àqueles de maior influência sobre a base de dados.

4.12 CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS COM A VAZÃO

A vazão é um parâmetro que influencia direta ou indiretamente muitos outros parâmetros hidrológicos e, por isso, foi aqui utilizada como uma variável explicadora (independente) para oscilações em variáveis respostas (dependentes). Usando a correlação de Pearson avaliou-se as relações lineares entre o pH, a turbidez, os sólidos totais, a DQO, o OD, o nitrogênio total, o fósforo total e os coliformes totais e termotolerantes com as oscilações da vazão. Esta análise foi efetuada para as três seções de rio e plotadas de forma agrupada em gráficos de dispersão. A intensidade do coeficiente de correlação foi classificada de acordo com os seguintes critérios: $r = 0$, correlações nulas; $0 > r \leq 0,3$ para correlações fracas; $0,3 > r \leq 0,6$ para correlações moderadas; $0,6 > r \leq 0,9$ para correlações fortes; $0,9 > r \leq 1$, correlações muito fortes. A significância do teste foi de 5% efetuada a partir do teste t de Student.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da série histórica da última estação fluviométrica antes de desaguar no rio Paraná denominada de Novo Porto Taquara localizado no município de Douradina mostra que nos últimos anos, em 50% do período de registro (2010-2012), as vazões permaneceram acima da média ($489 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e, em apenas 20% do tempo, foram registrados débitos bem abaixo da média.

O rio Ivaí apresenta grande variabilidade nas vazões, a estação Novo Porto Taquara apresenta alto coeficiente de variabilidade (0,96) mostrando que o rio não tem uma estação definida de cheia e estiagem, os períodos de cheia podem ocorrer em qualquer período do ano.

5.1 INDICE DO ESTADO TRÓFICO

Para cada ponto foi utilizado às médias geométricas das concentrações de fósforo total anual. A classificação do estado trófico para rios e os resultados obtidos para as seções 1 Ubá do Sul (US), 2 Porto Bananeiras (PB) e 3 Porto Paraíso do Norte (PP) estão descritos de acordo com a tabela 4.

Tabela 4: Resultados do índice do estado trófico.

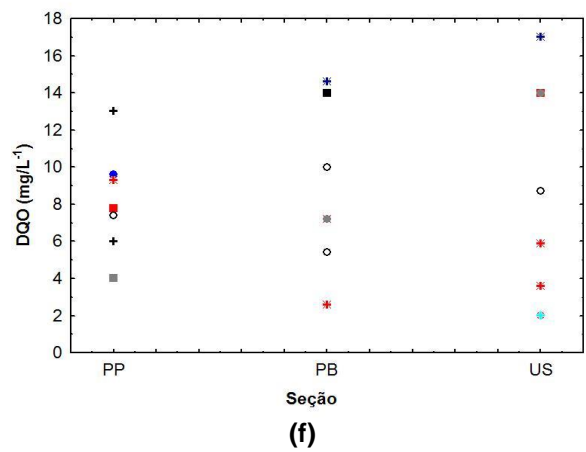
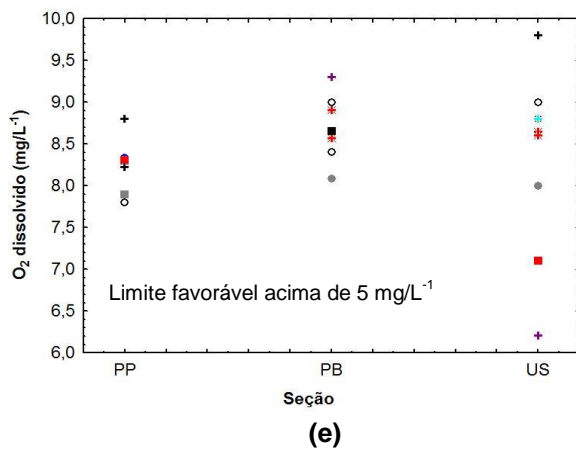
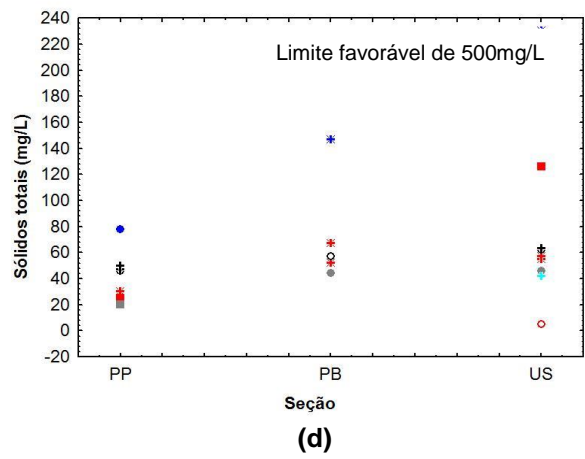
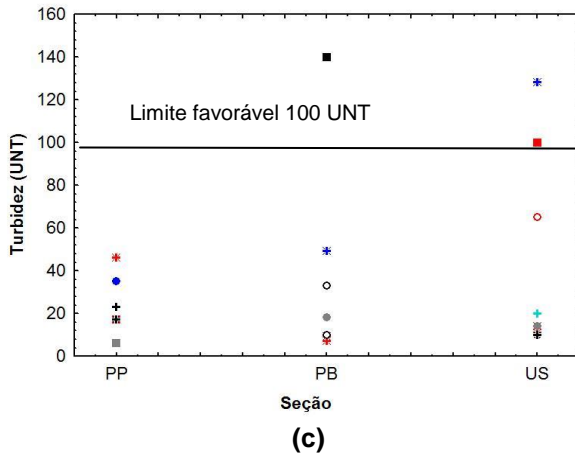
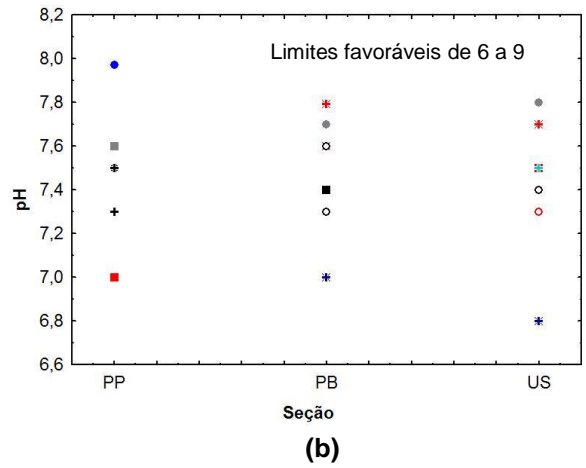
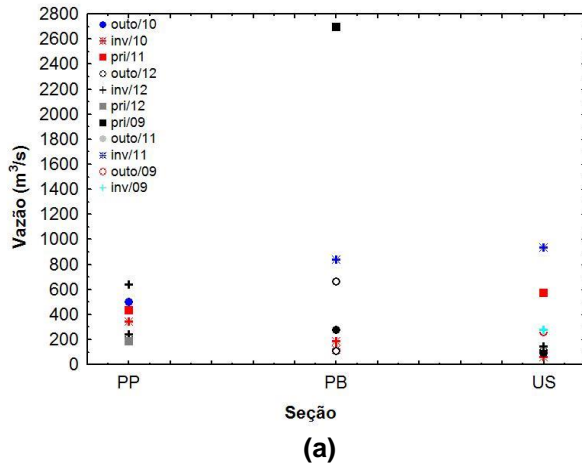
ANO	US	PB	PP
2010	81,33	78,53	79,13
2011	81,24	83,01	82,04
2012	80,05	82,94	76,80

Os resultados para as três seções indicam um grau de hipereutrofia, o mais alto do índice de acordo com Carlson, referindo-se há corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes. O excesso de algas pode comprometer o uso da água e provocar a mortandade de peixes.

De acordo com Alves, et.al (2012) o índice do estado trófico varia de acordo com os períodos chuvosos, além disso o despejo direto de esgoto pode aumentar o processo de eutrofização.

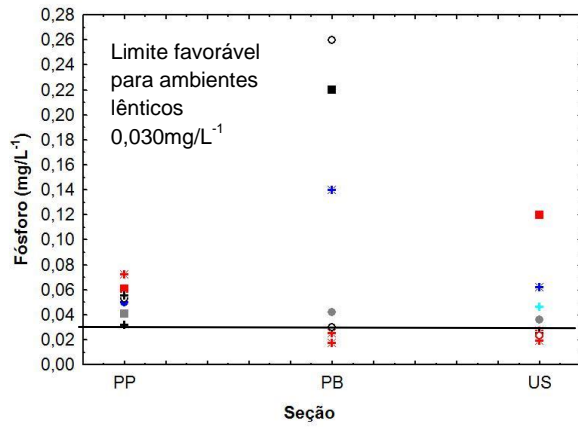
5.2 PARÂMETROS DA ÁGUA DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO

Os valores de pH, sólidos totais e oxigênio dissolvido encontram-se nas faixas aceitáveis de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, no entanto para os parâmetros de turbidez, coliformes totais, termotolerantes e fósforo total contém valores acima dos limites estabelecidos pela resolução (Figura 7). Na primavera e no inverno foram encontrados os maiores valores para todos os parâmetros, porém para os coliformes totais, termotolerantes e fósforo total os valores excedem os limites estabelecidos durante todas as estações do ano. O excesso de coliformes indica contaminação orgânica, um dos fatores que agregaram a isso foi à ocupação urbana que vem crescendo ao longo da bacia, além disso, nas 3 sessões há uma concentração de agricultura intensiva onde o uso descontrolado de adubos e defensivos agrícolas acarretam em sérios problemas de eutrofização e contaminação das águas. Os valores permitidos para os coliformes não devem ser superior a 2500 coliformes termotolerantes ou 2000 *Escherichia coli*. Outro fato que deve-se levar em consideração é a produção animal uma das maiores causas de poluição, pois a destinação incorreta dos resíduos gerados por esse animais causam impactos significativos nos mananciais. O mesmo ocorre com o excesso de fósforo e os compostos formados pelo nitrogênio (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal), outro índice de contaminação que geram eutrofização, fenômeno causado pela floração de algas, proliferação de insetos, mortandade de peixes e outros.

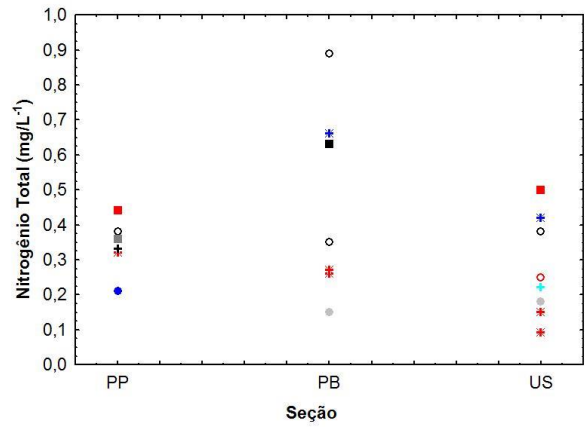


(continua)

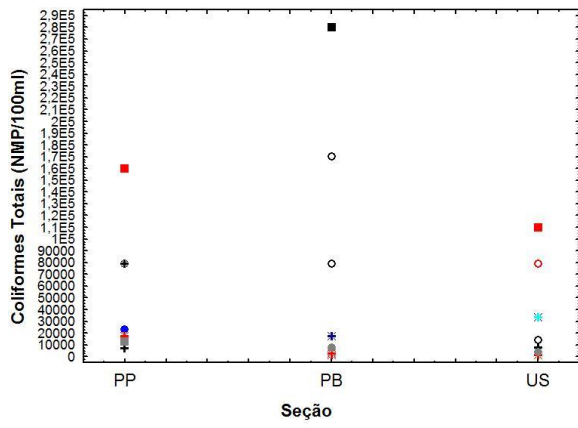
(Conclusão)



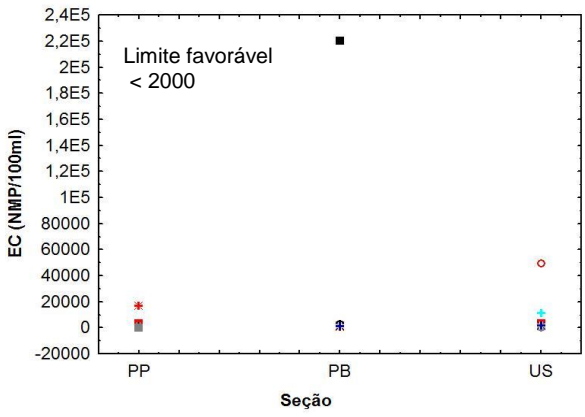
(g)



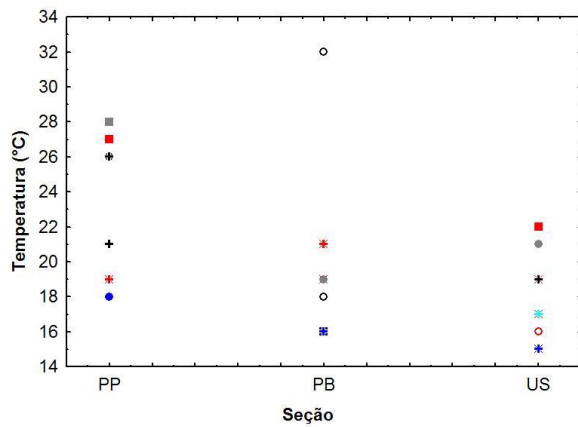
(h)



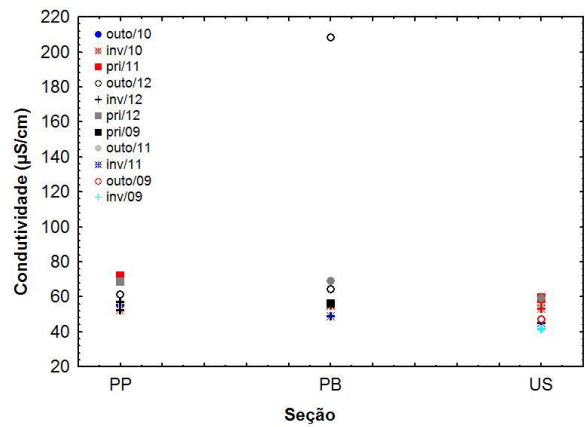
(i)



(j)



(k)



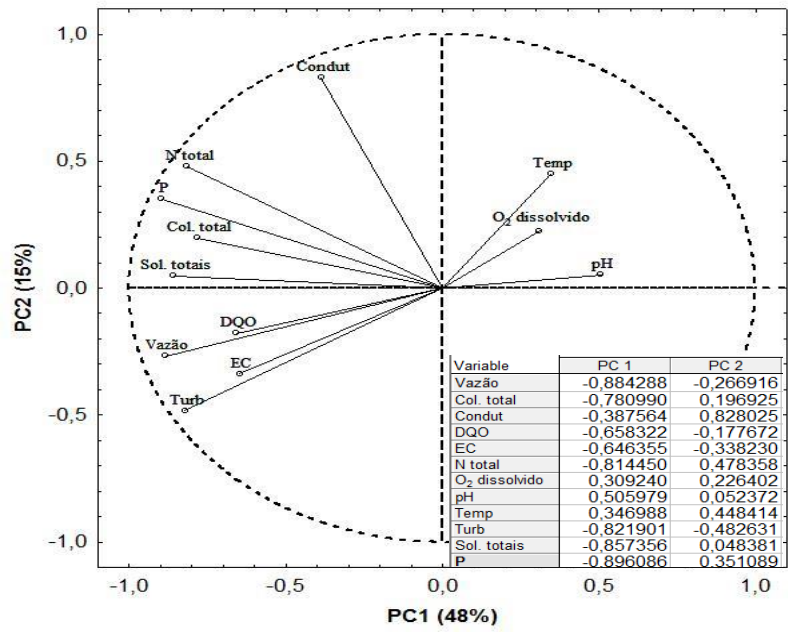
(l)

Figura 7: Distribuição dos dados hidrológicos por seção de rio e estação do ano. Vazão (a), pH (b), turbidez (c), sólidos totais (d), oxigênio dissolvidos (e), DQO (f), fósforo (g), nitrogênio total (h), coliformes totais (i), coliformes termotolerantes (j), temperatura (k) e condutividade (l).

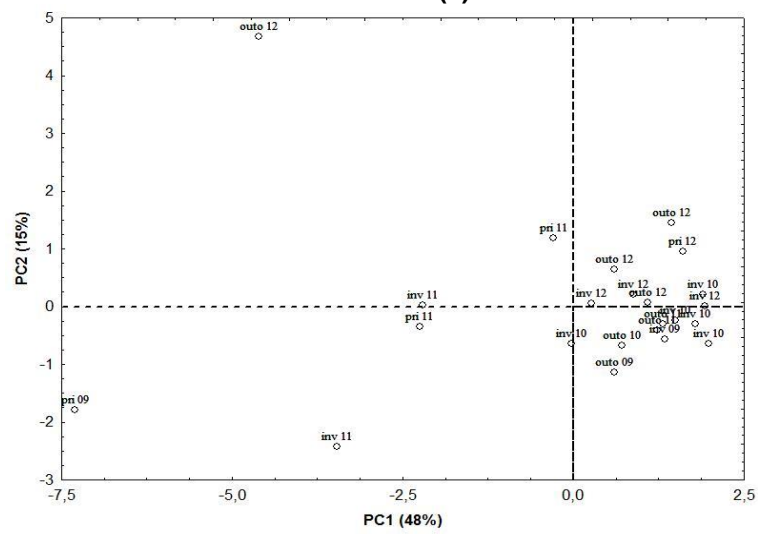
5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Os dois primeiros eixos da PCA sumarizaram 63% da variabilidade total dos dados, sendo que o eixo 1 explicou 48% e o eixo 2 15%. No eixo 1 correlacionaram-se fortemente os seguintes parâmetros: nitrogênio, fósforo, coliformes totais e termotolerantes, sólidos totais, DQO, turbidez e vazão; e no eixo 2 apenas a condutividade. Não foi possível detectar diferenças entre as seções de rio nem as estações do ano. No entanto, verificou-se a ocorrência de eventos anormais, principalmente nas seções de Porto Bananeiras e Ubá do Sul, no inverno e verão, com elevadas leituras de nitrogênio, fósforo, coliformes totais e termotolerantes, sólidos totais, DQO, turbidez e vazão (Figura 8). Estes dados são compatíveis com os registros observados anteriormente na Figura 7. Provavelmente, o maior regime de chuvas entre o inverno e a primavera tenha aumentado o escoamento superficial e a vazão afetando os demais parâmetros. Além do regime de chuvas, outra possibilidade para explicar estes eventos é o lançamento clandestino de efluentes em alguns pontos próximo as estações fluviométricas que foram estudadas. Com isso, sugere-se que novos estudos sejam efetuados nos locais para responder a estas questões.

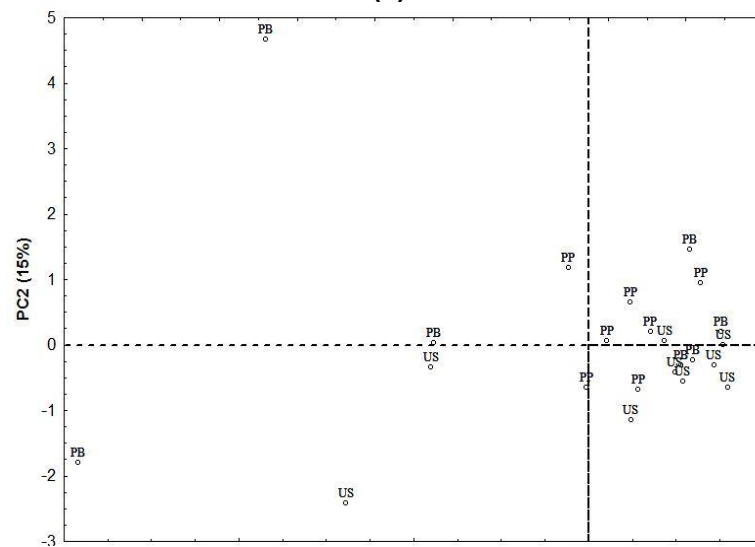
Além disso, a PCA permitiu identificar correlações entre variáveis, como por exemplo, a vazão com o fósforo, turbidez, nitrogênio, coliformes (total e termotolerantes) e sólidos totais. Ainda, verificou-se a relação da turbidez com os sólidos totais, nitrogênio e fósforo com os coliformes e o pH com o oxigênio dissolvido.



(a)



(b)



(c)

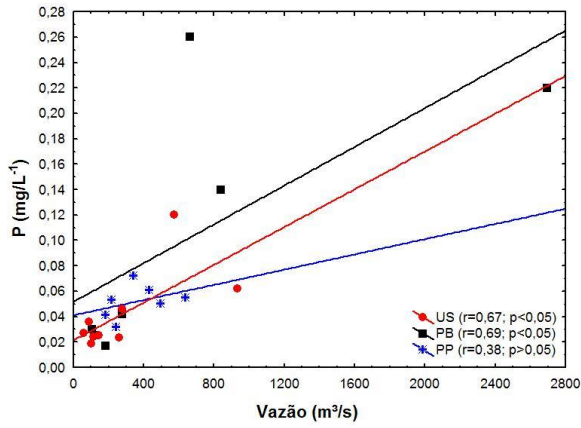
Figura 8: Resultados do agrupamento dos dados, usando a Análise da Componente Principal.

A relação entre a temperatura e o oxigênio dissolvido ocorre devido à solubilidade dos gases em água que diminui com a elevação da temperatura. De acordo com (ESTEVES, 1998) lagos de clima temperado, como ocorre no Equador chegam a 38°C, fica notório que os organismos aquáticos tropicais têm menos oxigênio disponível do que os de ambientes aquáticos de clima temperado.

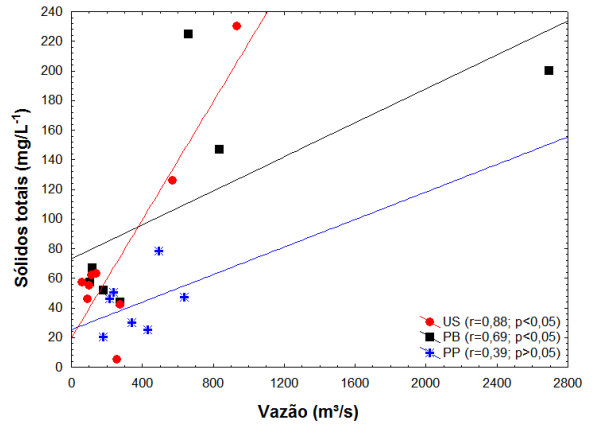
5.4 CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS COM A VAZÃO

Para uma melhor identificação das correlações entre os parâmetros de qualidade da água utilizou a vazão, pois de acordo com a análise de componente principal a vazão é um parâmetro muito significativo. Na Figura 9 são apresentados os gráficos com os dados para as três seções de estudo. De maneira geral, os sólidos totais, o fósforo, a turbidez, o nitrogênio total e a DQO estão sendo influenciados pela vazão de montante para jusante (de US para PP), provavelmente, pelo efeito da declividade, sedimentação, do uso e ocupação do solo e da largura e volume do rio em cada seção.

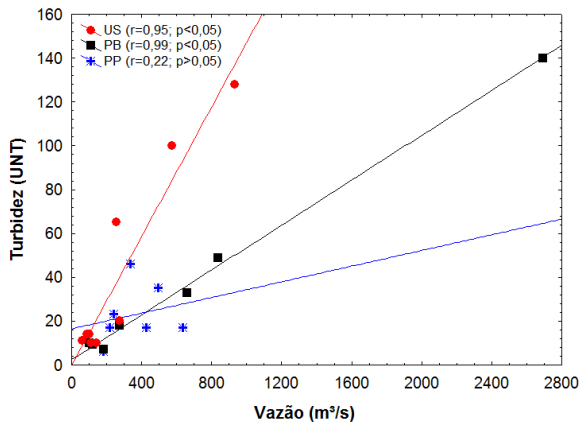
O crescimento populacional do homem tem influencia direta sobre mananciais gerando a impermeabilização do solo, remoção da vegetação, aumento do lançamento de lixo e esgoto e a localização de aterros sanitários em mananciais, promovendo aumento de coliformes e outros contaminantes, sendo uma das justificativas para o maior valor de coliformes totais a jusante. Vale ressaltar que elevados valores de coliformes termotolerantes foram observados para todas as seções de rio, acima do permitido pela legislação. Para Dalarmi (1995) a maior ameaça à qualidade da água bruta dos mananciais reside na expansão urbana sobre suas bacias.



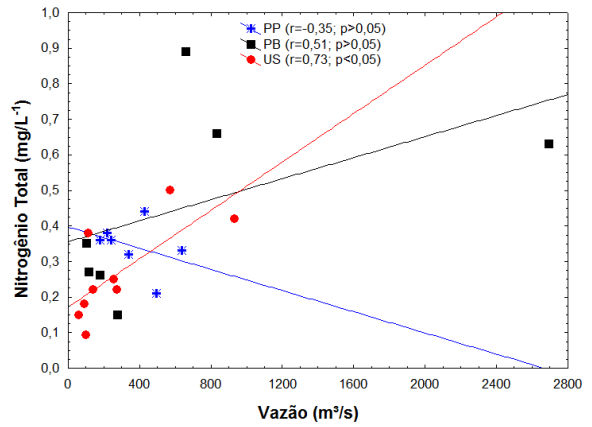
(a)



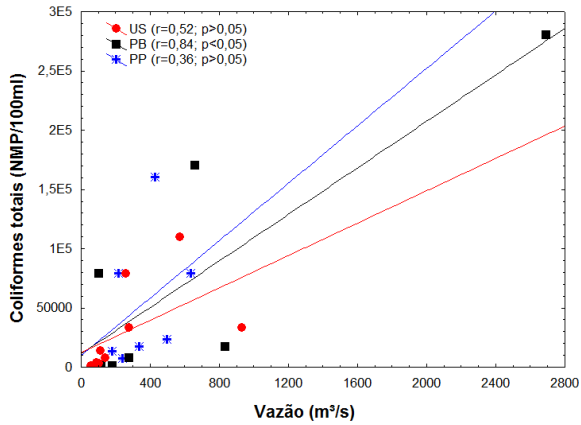
(b)



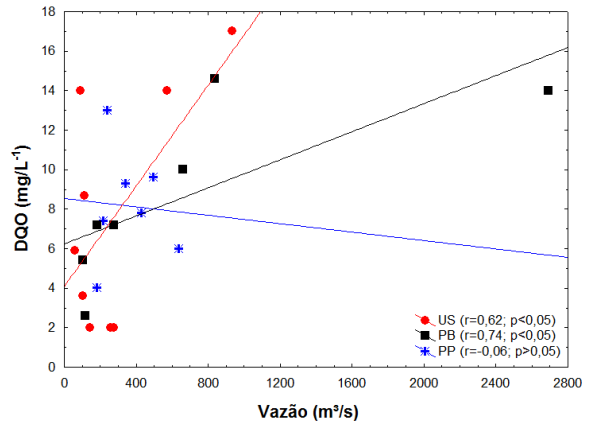
(c)



(d)



(e)



(f)

(continua)

(conclusão)

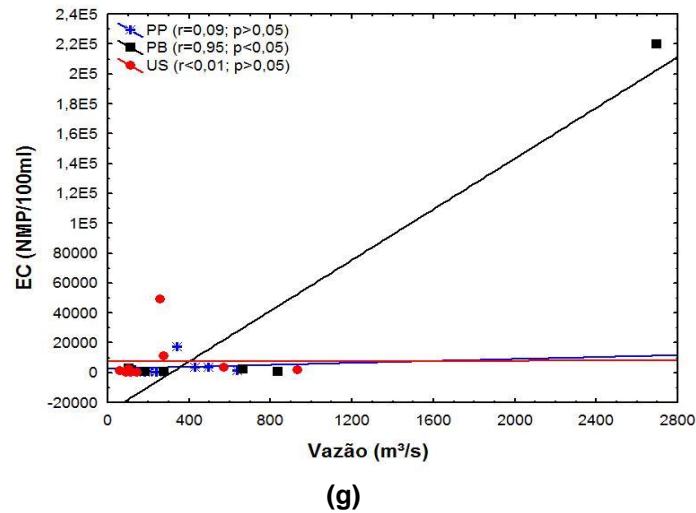


Figura 9: Dispersão dos dados de vazão com os parâmetros mais significativos.

Os coeficientes de correlação r para as seções Ubá do Sul e Porto Bananeiras apresentaram boas correlações ($>0,50$) para os parâmetros, fósforo, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, coliformes totais e DQO. Para a seção mais a jusante, em Porto Paraíso do Norte, verifica-se que a dispersão dos parâmetros de qualidade da água apresenta-se com correlação fraca com a vazão, provavelmente em função da menor variabilidade dos parâmetros.

Outra característica verificada nos gráficos de dispersão, é que a declividade das linhas diminuem de montante para jusante para os dados de Turbidez, Sólidos totais, Nitrogênio Total, Fosforo e DQO. Esta variação da declividade da linha de dispersão pode ser explicada pela maior variabilidade das velocidades nas seções a montante em função da maior declividade do rio nestes trechos. Esta maior declividade com maior velocidade nas seções a montante promovem a maior suspensão do sedimento disponibilizando maior concentração da água na seção. Destefani (2005) afirma que o regime hidrológico do rio Ivaí é controlado pelo escoamento superficial, e que o fluxo de base é incapaz de manter fluxos próximos ao das vazões médias.

Outro efeito favorável à diminuição das concentrações de montante para jusante é o processo de dispersão e de autodepuração no corpo hídrico. De acordo com Sperling (2005), a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de

sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes é realizada por mecanismos essencialmente naturais. Segundo Stehfest (1973), a decomposição da matéria orgânica por microrganismos aeróbios corresponde a um dos mais importantes processos integrantes do fenômeno da autodepuração. Esse processo é responsável pelo decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido na água devido à respiração dos microrganismos, que por sua vez decompõem a matéria orgânica. A condição inversa da variação dos coliformes totais, aumentando de montante para jusante, pode ser atribuído a maior ocupação urbana.

6 CONCLUSÃO

O uso e a ocupação do solo ao longo da bacia hidrográfica do rio Ivaí como o crescimento urbano desordenado e a agricultura que cerca os rios utilizados para o abastecimento público têm apresentado problemas na qualidade das águas, com altos custos econômicos e sociais.

Os resultados mostraram que muitos dos parâmetros de qualidade da água encontram-se acima dos limites estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357/2005 e 274/2000, de acordo com os resultados obtidos no índice de nível trófico e os dados encontrados nos gráficos de fósforo e coliformes a qualidade da água na bacia vem sofrendo problemas de contaminação com destaque para a seção Porto Bananeiras localizada na cidade de Engenheiro Beltrão próxima a cidades com populações significativas como Campo Mourão, de acordo com o IBGE (2010) a cidade possui aproximadamente 87.194 habitantes, podendo acarretar em maiores quantidades de lixo, além disso, as seções estudadas estão concentradas em áreas de intensa agricultura, baseada no plantio de cana-de-açúcar, onde há o uso de adubos e defensivos agrícolas.

A análise de componentes principais permitiu evidenciar que a vazão e o fósforo são os parâmetros de maior influência nas seções de rio analisados. Ainda, verificou-se a ocorrência de eventos anormais nas seções de Porto Bananeiras e Ubá do Sul, os quais podem estar relacionados com a pluviosidade ou com uma descarga de efluentes.

Os parâmetros de qualidade da água diminuem como o fósforo, sólidos totais e turbidez de montante para jusante, isso pode ser explicado devido à velocidade da água ser maior a montante, pois a declividade é bastante íngreme, além disso, ao longo da bacia ocorre o processo de autodepuração da água, um processo de decomposição da matéria orgânica por microrganismos aeróbios.

A bacia do rio Ivaí é usada para o abastecimento público e a contaminação é preocupante, conseqüentemente a qualidade da água para consumo humano fica comprometida, levando em consideração os limites estabelecidos pelo CONAMA.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Igor C.; et al. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Revista Acta Amazônica**. Amazonas, n.42, p.115-124. 2011
- ANDRADE, Aparecido R. **Variabilidade da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. Maringá, 2002. 99 f. il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental)–Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.
- BARROS, Raphael T. de V.; et al. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. 2. ed. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.
- BITZER, C. C. e SIMS, J.T. **Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies**. J. Environ. Qual., 17:47-54, 1988.
- BILICH, Marina R.; LACERDA, Marilusa P. C. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16-21 abril. 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INEPE, 2005 p. 2059-2065.
- BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 274**, de 29 de novembro de 2000, que define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**. Brasília.
- BRASIL- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília.
- BRASIL- Portaria do Ministério da Saúde. **Resolução n. 2914**, de 14 de dezembro de 2011, Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade **Diário Oficial da União**. Brasília.

CARDOSO, Karina C. **Estudo do Processo de Coagulação/Floculação por Meio da Moringa oleifera Lam para Obtenção de Água Potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2007.

CAVIGLIONE, João H. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1. ed. CD-ROM.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 2006. **Índice do estado trófico**. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 14/09/2013.

COELHO NETTO, Ana L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia: Geomorfologia: uma atualização de Bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2001.

D'AGUILA, Paulo S.; ROQUE, Odir Clécio C.; MIRANDA, Carlos Alberto S.; FERREIRA, Aldo. P. **Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu**. Cadernos de Saúde Pública, Nova Iguaçu, p. 791-798.

DALARMI, Oswaldo. **Utilização futura dos recursos hídricos da Região Metropolitana de Curitiba**. Sanare, Curitiba, v.4 n.4, p.31-43, 1995.

DERÍSIO, José C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora da CETESB, 1992.

DERÍSIO, José C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus. 2000.

DESTEFANI, Edilaine. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí – PR**. 2005. Monografia (Especialização em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

ESTEVES, Francisco A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Machado. **A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde**. Ciências e saúde coletiva, v. 10, n. 4, p.993-1004, 2005.

GLEICK, Peter H. **Water in Crisis: a guide to the World's Fresh Water Resources.** Oxford University Press, New York, 1993.

HAIR Jr, Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. **Análise Multivariada de Dados.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 17 de setembro de 2013.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ - Águas Paraná. **Relatório de Análise Laboratorial, 2009 – 2012.** Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br>. SIH - Sistema de Informações Hidrológicas. Acesso em: 12 de junho de 2013.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 235 f. Tese (Doutorado em biologia) - Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEGENDRE, Pierre; LEGENDRE, Loic. **Numerical Ecology.** 2. ed. Amsterdã: Elsevier, 1998.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. Boletim de geografia, Maringá, v. 28, n. 1, p. 43-58, 2010.

MAIA NETO, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A Água em Revista.** Belo Horizonte, n. 9, p. 21-32. 1997.

MINGOTI, Sueli A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MORRISON, Donald F. **Multivariate statistical methods.** New York: McGraw-Hill, 1976.

NOVOTNY, V. **Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management.** Water Quality Management Library. V. 9 . Technomic Publication. 1995.

PARANÁ. Secretaria dos Transportes. **Estudos geológicos relacionados a projetos de navegabilidade do rio Ivaí**. 1982.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 1987.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas interiores do estado do Paraná 1987–1995**. Curitiba: SUDERHSA, 1997.

PARANÁ - Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente – SUREHMA. **Portaria nº 19, de 1992**.

Perfil dos municípios do Paraná. Disponível em:

http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?Municipio=87800&btOk=ok

Acesso em: 20 de setembro de 2013.

PORTO, Mônica F. A; PORTO Rubem La Laina. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, 2008.

PROJETO ÁGUA. **Ecossistemas aquáticos, 1998**. Disponível em: [www2.rantac.com.br/ cardeal/Projeto Água](http://www2.rantac.com.br/cardeal/Projeto%20Agua). Acesso em 20 de setembro de 2013.

RODRIGUES, Cleide; ADAMI, Samuel. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: VETURI, Luís Antônio Bittar (org.). *Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório*. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

SANTOS, Jader Oliveira dos. **Vulnerabilidade ambiental e áreas de risco na bacia hidrográfica do rio Cocó - Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará**. Universidade Estadual do Ceará, 2006.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**. Bahia, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

STIGLER, Stephen M. **The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty Before 1900**. The Belknap Press of Harvard University Press. USA: Cambridge, 1986.

STRIEDER, M.N.; RONCHI, L.H.; NEISS, U.G. e OLIVEIRA, M.Z. 2003. Avaliação dos efeitos de fontes de poluição pontual sobre os macroinvertebrados bentônicos no arroio Peão, RS. In: L. H. RONCHI e O. G. W. COELHO (eds.), **Tecnologia, diagnóstico e planejamento ambiental**. São Leopoldo: Editora Unisinos, p. 61-85.

TONELLO, Kelly Cristina et al. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG**. Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SANT'ANNA NETO, J. L. Clima e organização do espaço. **Boletim de Geografia, Maringá**, v. 16, n. 1, p. 119-131, 1998.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2005, 452p.