

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – CURSO DE MESTRADO

VALQUIRIA BRILHADOR DA SILVA

**A QUALIDADE DA ÁGUA NO ALTO CURSO DO RIO DO CAMPO, MUNICÍPIO
DE CAMPO MOURÃO-PR**

MARINGÁ-PR
2014

VALQUIRIA BRILHADOR DA SILVA

**A QUALIDADE DA ÁGUA NO ALTO CURSO DO RIO DO CAMPO, MUNICÍPIO
DE CAMPO MOURÃO-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

MARINGÁ - PR
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S586q Silva, Valquiria Brilhador da
A qualidade da água no alto curso do rio do Campo, município de Campo Mourão-PR / Valquiria Brilhador da Silva. -- Maringá, 2014.
78 f. : il. color., figs., tabs., quadros

Orientador: Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

1. Água - Qualidade - Rio do Campo - Campo Mourão (PR). 2. Água - Monitoramento - Parâmetros físico-químicos - Rio do Campo - Campo Mourão (PR). 3. Solo - Uso - Bacia hidrográfica - Rio do Campo - Campo Mourão (PR). 4. Bacia do rio do Campo - Campo Mourão (PR) - Análise físico-química. I. Gasparetto, Nelson Vicente Lovatto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 918.162

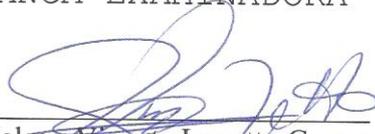
AMMA-001848

A QUALIDADE DA ÁGUA NO ALTO CURSO DO RIO DO CAMPO, MUNICÍPIO DE
CAMPO MOURÃO -PR

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

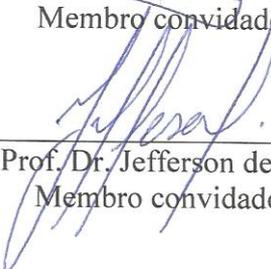
Aprovada em **24 de abril de 2014.**

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Orientador - UEM
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hélio Silveira
Membro convidado – PGE/UEM



Prof. Dr. Jefferson de Queiroz Crispim
Membro convidado – UNESPAR

Dedico este trabalho a minha família, especialmente a minha mãe Luiza, aos meus amados sobrinhos Vitor e Vitória, ao meu irmão Valter a quem admiro muito e sua esposa Maria dos Anjos, ao meu pai Bento Cardoso da Silva *in memória*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui.

Ao Professor Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto, agradeço por ter aceitado a orientar esse trabalho, sobretudo pela sua paciência e compreensão.

Ao Professor Jefferson Queiroz Crispim pela disponibilidade, apoio em campo, pelo conhecimento compartilhado e pela paciência.

Ao Professor Msc. José Antonio da Rocha que foi a primeira pessoa a dizer que eu tinha condições de cursar o Mestrado.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação, Miriam pela atenção.

À Professora Dra. Marta Luzia de Souza pelo auxílio no decorrer do trabalho.

À SANEPAR pelo apoio laboratorial e logístico à pesquisa.

Aos funcionários da SANEPAR Cristovão Domingos Macena, Donizeti Aparecido da Silva e Grazielly Carvalho da Silva pela grande colaboração.

Aos funcionários do Laboratório de Agroquímica GEMA/UEM, Sandra e Dilceu.

Ao Vanderlei Grzegorzcyk técnico do Laboratório de Sedimentologia GEMA/UEM, pela ajuda nas análises realizadas e conhecimentos transmitidos.

Aos colegas Daiany Golovati e Fernando Wilcock pela ajuda incondicional em campo e laboratório, ao Fernando Dalla Vila, Felipe Macedo, Paulo Miguel Terassi pela ajuda, e a Marta Sala pela amizade.

Aos funcionários da EMATER - Campo Mourão, Sr. Vitor e a Sra. Iole

Ao funcionário do Instituto Águas Paraná Sr. Edson Sakae Nakashima

Ao Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR pelas informações disponibilizadas.

Ao Professor Dr. Victor Borsato por disponibilizar as informações da Estação Climatológica Principal de Campo Mourão.

A Lidia Mizote pelas informações prestadas.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A Jaqueline e Marcelo R. Pizzato pelo apoio no início da minha jornada.

A minha mãe Maria Luiza pelo apoio, ao meu pai Bento *in memória*, ao meu querido irmão Valter e sua família, e a minha grande amiga Amabilis, pelo apoio e por me ouvir nas horas difíceis. Mais uma vez agradeço ao meu senhor e meu deus em nome do seu filho amada Jesus por ter me sustentado até aqui.

RESUMO

Nessa pesquisa foi avaliada a qualidade da água no alto curso do rio do Campo no município de Campo Mourão-PR. O rio do Campo é o manancial responsável pelo abastecimento de 80% da população daquele município. A área de estudo compreende aproximadamente 162km², com o predomínio do uso agrícola do solo, sendo cultivados a soja, o milho e o trigo, enquanto a área urbana ocupa apenas 7% da sub-bacia do rio do Campo. A qualidade da água foi avaliada a partir da determinação dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura da água, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), teor de fósforo, coliformes termotolerantes (*E. coli*), e dos seguintes elementos químicos cobre, zinco, chumbo, cádmio, arsênio, níquel, selênio, cromo, manganês e ferro. As amostras foram coletadas em 5 pontos ao longo do rio e monitoradas durante 14 meses, abrangendo tanto a área rural quanto a área urbana. Foram efetuadas 7 campanhas de coletas com periodicidade bimestrais e distribuídas entre os meses de junho de 2012 a julho de 2013. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles da Resolução nº357/2005 do CONAMA. Os parâmetros que apresentaram concentrações superiores a aquelas estabelecidas pela resolução foi o ferro e da bactéria *E.coli*. As amostras coletadas durante os períodos de chuva apresentaram aumento nas concentrações de vários parâmetros analisados, especialmente de *E. coli*, sst, de turbidez, de fósforo, de ferro, de manganês, de cobre e de chumbo. Esses resultados evidenciam a influência da precipitação e do escoamento superficial na qualidade da água, isto é, devido ao aporte de sedimentos para o corpo hídrico. Entretanto, os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio e de Oxigênio Dissolvido se mantiveram dentro do valor máximo permitido (VMP) estipulados pela Resolução nº 357/2005 do CONNAMA em todas as campanhas.

Palavras chave: Qualidade da água. Uso do solo. Monitoramento da qualidade da água.

ABSTRACT

WATER QUALITY IN THE UPPER STREAM BED OF THE CAMPO RIVER- IN THE CAMPO MOURÃO COUNTY – PARANÁ STATE, BRASIL

The river Campo is the water source that has been supplying 80% of the municipality population in Campo Mourão County, Paraná State, Brazil. In the current research, we monitored the water quality from the high course of the river, and the study area included about 162km² where the soil has been cropped with soybeans, corn and wheat. The urban area is about 7% of the sub-basin of the river. The records collected from the physico-chemical parameters of the water were the temperature, turbidity, dissolved oxygen (OD), pH, phosphorus, thermo-tolerant faecal coliform (*E. coli*), copper, zinc, lead, cadmium, arsenic, nickel, selenium, chrome, manganese and iron^o. In each of seven bi-month trips in the rural and urban area monitored for 14 months from June, 2012 to July, 2013 we collected samples always at five places along the river course. The results were compared with those from the Act number 357/2005 released by the CONAMA. The parameters with concentrations higher than established by the CONAMA Act were iron and the faecal coliform *E. coli*. Samples from the rainy period had increases in concentration of parameters as the *E. coli*, total suspended solids (tss), water turbidity, phosphorus, iron, manganese, copper and lead. These results highlight the influence of the rainfall and the water by runoff on the water quality because of the supply of soil sediments into the hydro-course. In all the trips, however, the BOD and the DO were within the highest values allowed in the 357/2005 CONAMA Act.

Keywords: Water quality. Soil use. Water monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Vazão (Q), concentração (C) <i>versus</i> tempo (t)	30
Figura 2	- Localização da sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.....	40
Figura 3	- Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do rio do Campo.....	42
Figura 4	- Hierarquia dos canais de drenagem na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.....	52
Figura 5	- Classes de declividade na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.....	54
Figura 6	- Tipos de solos na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.....	56
Figura 7	- Uso do solo na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.....	57
Figura 8	- Cultivo da soja sob Sistema de Plantio Direto evidenciando a palhada que protege o solo.....	58
Figura 9	- Erosão laminar em solo de textura arenosa média na alta bacia do rio do Campo.....	58
Figura 10	- Erosão em sulco em solo de textura arenosa média na alta bacia	58
Figura 11	- Processo de erosão em sulcos e deposição nas margens da estrada.....	59
Figura 12	- A figura mostra readequação nas margens da estrada vicinal.....	59
Figura 13	- Processo erosivo em solo trabalhado no sentido pendente a vertente.....	60
Figura 14	- Resíduos lançados às margens da estrada vicinal.....	60
Figura 15	- Área urbana do município de Campo Mourão.....	61
Figura 16	- Resíduos na área de preservação permanente.....	62
Figura 17	- Assoreamento no Parque do Lago Joaquim Teodoro de Oliveira.....	62
Figura 18	- Localização dos pontos de coleta de água na sub- bacia hidrográfica do rio do Campo.....	63
Figura 19	- Temperatura da água (a); e oxigênio dissolvido (b)	66

Figura 20	- Variação da vazão (a); e pH (b).....	67
Figura 21	- Variação da bactéria <i>E. coli</i>	67
Figura 22	- Sólidos suspensos totais (a); e Turbidez (b).....	68
Figura 23	- Precipitação (a); e concentração de sst e a turbidez (b), (04 de julho de 2012).....	69
Figura 24	- Precipitação (a); e concentração de sst e a turbidez (b), (13 de maio de 2013).....	69
Figura 25	- Variação da DBO ₅ (a); e fósforo (b).....	70
Figura 26	- Variação da concentração de ferro (a); e manganês(b).....	70
Figura 27	- Variação da concentração de chumbo (a); e de cobre (b).....	71
Figura 28	- Variação da concentração de cromo (a); e de zinco (b).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de declividade e de relevo.....	50
Tabela 2 - Comprimento da rede de drenagem.....	52
Tabela 3 - Classes de interpretação para valores de densidade de drenagem.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Parâmetros de qualidade para águas doce de classe II	48
Quadro 2	- Descrição dos pontos de coleta.....	64
Quadro 3	- Condições do tempo durante as coletas.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas
CERH	Agência Nacional de Águas
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EMATER	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
PGAIM	Programa de Gestão Ambiental Integrada em Microbacias
PELRH	Plano estadual de recursos hídricos
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PNQA	Programa Nacional de Qualidade da Água
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E GESTÃO.....	16
2.1.1	Gestão dos recursos hídricos	18
2.2	QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
2.2.1	Composição do substrato rochoso	19
2.2.2	O clima	20
2.2.3	A cobertura vegetal	20
2.2.4	O tipo de solo	21
2.2.5	Características da bacia hidrográfica	21
2.2.6	Erosão hídrica	22
2.2.7	Manejo do solo	24
2.2.7.1	Sistema Convencional.....	25
2.2.7.2	Sistema Conservacionista.....	25
2.2.7.2.1	<i>Sistema de Plantio Direto</i>	27
2.2.8	Atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica	28
2.2.9	Programas de manejo do solo no Paraná	30
2.3	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	32
2.4	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	34
2.4.1	Parâmetros físicos	34
2.4.2	Parâmetros químicos	35
2.4.2.1	Elementos-traço.....	36
2.4.3	Parâmetros biológicos	39
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40

3.1	HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO.....	40
3.2	CLIMA.....	42
3.3	VEGETAÇÃO.....	43
3.4	SUBSTRATO ROCHOSO.....	43
3.5	HISTÓRICO E SITUAÇÃO ATUAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO.....	43
4	METODOLOGIA	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	PARÂMETROS FÍSICOS DA SUB-BACIA DO RIO DO CAMPO.....	52
5.2	USO E MANEJO DO SOLO.....	57
5.3	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA.....	63
5.4	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MONITORADOS.....	65
6	CONCLUSÃO	73
7	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para desenvolvimento e manutenção da vida, de acordo com Rebozas; Braga; Tundisi (2006), a quantidade de água é constante na natureza, variando a sua distribuição temporal e espacial. No entanto, nem sempre a água disponível é de boa qualidade. O Brasil é um país rico em água, mas este recurso está distribuído de maneira irregular no território. Por outro lado, onde a água existe em quantidade satisfatória muitas vezes sua qualidade está comprometida.

A qualidade da água é composta por características físicas, químicas e biológicas, a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, define como condições de qualidade da água a “qualidade da água apresentada por um segmento de corpo d’água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade”.

Para que se tenha água de qualidade é necessária uma gestão eficiente no que se refere aos recursos hídricos, no Brasil um passo importante para a gestão essa gestão foi a criação da Lei nº 9.433/97 que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e define a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação. Uma prática importante para a gestão dos recursos hídricos é o monitoramento de parâmetros que compõem a qualidade da água, que fornece dados que permite avaliar as condições de qualidade das águas dos corpos hídricos.

O presente estudo foi realizado no alto curso do rio do Campo, no município de Campo Mourão - PR. O estudo se justifica, pois o rio do Campo é o manancial de abastecimento que contribui com 80% da água servida à população do município. Além do uso para o abastecimento público as águas do rio do Campo ainda são utilizadas para diluição de esgoto tratado, dessedentação de animais e abastecimento de pulverizadores para aplicação de defensivos agrícolas. A bacia hidrográfica do rio do Campo tem 7% de sua área urbanizada e 74% ocupada por culturas anuais. Por ser um manancial de abastecimento e sabendo que as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica geram resíduos que podem comprometer a qualidade da água do manancial, considera-se importante a realização do monitoramento e o estudo da qualidade da água desta bacia.

O monitoramento realizado neste estudo teve o apoio da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, responsável pelas análises laboratoriais; do Grupo de Estudo do Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá - GEMA/UEM e do Laboratório de Pesquisa

Geoambiental LAPEGE/UNESPAR, que disponibilizaram equipamentos, laboratórios e materiais para demais análises.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água do rio do Campo no município de Campo Mourão-PR, tendo como referência os padrões estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Os parâmetros avaliados foram a temperatura da água, a turbidez, o oxigênio dissolvido (OD), o potencial hidrogeniônico (pH), fósforo, coliformes fecais (*E. coli*), e elementos traço como Cu, Zn, Pb, Cd, As, Ni, Cr, Se, Mn e Fe. Esses parâmetros foram escolhidos levando-se em consideração as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica estudada, e por estarem entre os parâmetros monitorados com maior frequência na avaliação da qualidade da água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A qualidade da água está relacionada a vários fatores como as características físicas da bacia hidrográfica e as atividades que nela são desenvolvidas. “A bacia hidrográfica corresponde à área drenada por um rio ou conjunto de rios” (CHRISTOFOLETTI, 1999). “Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica” (PORTO; LA LAINA PORTO, 2008, p.45).

2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E GESTÃO

A bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade de análise por diversas áreas do conhecimento. Conforme Christofolletti (1999) a bacia hidrográfica é um exemplo de sistema aberto no qual ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. Os sistemas envolvidos na análise ambiental funcionam dentro de um ambiente, fazendo parte de um conjunto maior, uma bacia pode ser considerada um sistema na sua grandeza de estruturação. A bacia hidrográfica de quarta ordem representa um sistema, em seu interior possui bacias de terceira ordem, segunda ordem e primeira ordem. Do ponto de vista hidrológico “a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se os volumes evaporados, transpirados e infiltrados” (TUCCI et al., 2012).

Com o entendimento das relações existentes na bacia hidrográfica ela passou a ser a unidade adotada para o gerenciamento dos recursos hídricos. Segundo Porto e La Laina Porto (2008), a gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990, entretanto anteriormente várias iniciativas de sucesso na área de gestão de recursos hídricos foram baseadas no recorte geográfico da bacia hidrográfica.

No Brasil, os primeiros trabalhos realizados em bacia hidrográfica estavam voltados para a conservação dos solos. Conforme Valente e Gomes (2005), o Brasil foi adotando os termos Manejo de Microbacias¹ e Manejo Integrado de Microbacias, o termo integrado passou a demonstrar uma preocupação com todos os recursos da bacia, entretanto a água não estava

¹ Microbacia: termo utilizado na área de conservação do solo para designar bacia hidrográfica de pequena extensão.

em destaque. O Paraná se insere neste contexto, os programas de manejo e conservação dos solos realizados em bacias hidrográficas são apresentados no item sobre manejo do solo.

Os primeiros estudos envolvendo pesquisas em bacias hidrográficas, tendo como objetivo verificar a influência de diferentes situações de cobertura vegetal sobre os cursos d'água surgiram na Suíça. No final do século XIX e início do século XX, outros estudos foram realizados na Inglaterra, no Japão e nos Estados Unidos (VALENTE; GOMES, 2005).

No Brasil, devido aos problemas relacionados ao uso da água, em 1976 o Ministério das Minas e Energia e o governo do estado de São Paulo fizeram um acordo para melhorar as condições sanitárias das Bacias do Alto Tietê e Cubatão. O êxito desta experiência levou a constituição em 1978, do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas - CEEIBH, e a subsequente criação de Comitês Executivos em diversas bacias hidrográficas, no estado. “Esses comitês tinham apenas atribuições consultivas², e dele participavam apenas órgãos de governo. Mesmo assim, constituíram-se em importantes embriões para a evolução futura da gestão por bacia hidrográfica” (PORTO; LA LAINA PORTO, 2008).

Na década de 1980, técnicos representantes de órgãos governamentais do estado do Rio Grande do Sul estudaram formas de gerenciamento de recursos hídricos em diversos países, sobretudo, os modelos adotados na França, na Alemanha, na Inglaterra e nos Estados Unidos. Foi valorizado o modelo contendo comitê por bacia com poder deliberativo, assim, o modelo francês, com essas características, mostrou-se forte referência para formulação do modelo brasileiro. Em 1988, foi criado o Comitê do Rio dos Sinos que é considerada a primeira experiência brasileira na instituição de comitê de bacia tendo como referência o modelo francês. Também em 1988 foi promulgada a Constituição Federal, a qual atribuiu à União, no seu artigo 21, inciso XIX, a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (ANA, 2012).

Em 1989, a Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH aprova a Carta de Foz de Iguaçu, que sugere os princípios que a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos deveria seguir. Destacam-se aqui os princípios 1 e 2:

1. O gerenciamento dos recursos hídricos deve ser integrado, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos, considerando as fases aérea, superficial e subterrânea no ciclo hidrológico.
2. A unidade geográfica básica a ser adotada para o gerenciamento dos potenciais hídricos é a bacia hidrográfica, como decorrência de condicionante natural que governa as interdependências entre as disponibilidades e demandas de recursos hídricos em cada região.

² Consultivo: emite pareceres, mas não tem poder de decisão.

Na década de 1990 foram criados no estado de São Paulo, o Conselho de Recursos Hídricos - CRH, e os comitês de bacia hidrográfica, com atuação em unidades hidrográficas do território paulista. Outros estados também aprovaram suas políticas ampliando a participação da sociedade civil e dos usuários de água na gestão (ANA, 2011).

2.1.1 Gestão dos recursos hídricos

Em 1997 foi promulgada a Lei nº 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelecendo a bacia hidrográfica como a base territorial de planejamento e gestão da água, bem como prevendo a criação de comitês de bacia (ANA, 2011). Um dos seus instrumentos é o Plano Nacional de Recursos Hídricos, que deve ser elaborado por bacia hidrográfica, por estado e para o país.

Considerando a importância de se estabelecer uma base organizacional que contemple bacias hidrográficas como unidade de gerenciamento para a implementação da Política Nacional e do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, a resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003, institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Essa divisão tem por finalidade orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Essa resolução considera região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou bacia hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

No estado do Paraná a Lei nº 12.726/99 institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Considerando que a área de implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos é a bacia hidrográfica, a resolução nº 49 Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH de 20 de dezembro de 2006, adota uma ou mais Unidades Hidrográficas para fins de gerenciamento dos recursos hídricos e formação dos comitês de bacia hidrográfica. A resolução define Unidade Hidrográfica como a área cuja abrangência pode ser a bacia hidrográfica na sua totalidade, conjunto de bacias hidrográficas ou parte de bacias hidrográficas.

Os comitês de bacia podem atuar na totalidade de uma bacia hidrográfica, em sub-bacia hidrográfica ou grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas. Compete aos comitês de bacia no âmbito de sua área de atuação: promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos; aprovar o

Plano de Recursos Hídricos da bacia; acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas, entre outras atribuições.

Os comitês de bacia ocupam papel importante no gerenciamento dos recursos hídricos. No Paraná já foram implantados os seguintes comitês: Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira; Comitê da Bacia do Tibagi; Comitê da Bacia do Jordão; Comitê de Bacia Paranapanema; Comitê do Piraponema; Comitê dos rios Cinza, Itararé, Paranapanema I e II; Comitê da Bacia do Paraná 3; Comitê do Baixo Iguaçu; Comitê do Baixo Ivaí; Comitê da Bacia Litorânea e por último o Comitê da Bacia do Alto Ivaí, no qual está inserida a bacia hidrográfica rio do Campo (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2014).

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A água quimicamente pura (H_2O) é encontrada na natureza somente quando ela está sob a forma de vapor. Durante seu movimento no globo terrestre, denominado ciclo hidrológico a água sofre alterações nas suas características, que podem ocorrer pela influência tanto de fatores naturais quanto antrópicos. Na atmosfera quando as moléculas de água se condensam, gases são dissolvidos nela e impurezas começam a se acumular. Ao atingir a superfície a água dissolve uma série de substâncias que são incorporadas a ela (PÁDUA e FERREIRA, 2010).

Dentre os fatores que podem influenciar na qualidade da água estão: o substrato rochoso; o clima; o tipo de solo; as características físicas da bacia hidrográfica; o uso e o manejo do solo, a cobertura vegetal e as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica. Esses fatores vão influenciar os processos físicos que ocorrem nas vertentes como o escoamento superficial e erosão, como na composição química, física e biológica das águas devido à entrada de sólidos, substâncias químicas e micro-organismos.

2.2.1 Composição do substrato rochoso

A composição do substrato rochoso influencia a qualidade da água controlando materiais químicos originados através da meteorização³. A água é solvente universal, nela dissolvem-se todas as substâncias. Nos pequenos cursos fluviais a qualidade da água reflete a

³ Meteorização: intemperismo, decomposição.

distribuição espacial dos diversos tipos de rocha. Na superfície terrestre, depois do cálcio, a sílica e o ferro são os principais elementos transportados em solução, mas as suas proporções variam de acordo com o processo de meteorização (CHRISTOFOLETTI, 1981). O transporte de solutos pode ocorrer durante o deflúvio⁴ ou por drenagem interna (SANTOS, D., et al., 2006)

2.2.2 O clima

Para Libâneo (2008), o clima é o principal fator de origem natural que afeta as características das águas, no que se refere ao regime de precipitações. Os efeitos do regime de precipitações nas características das águas naturais poderão se manifestar mais ou menos intensamente dependendo das características da bacia hidrográfica. Quando a vazão de um rio sofre decréscimo significativo, a capacidade de diluição e de assimilação da carga afluenta também se reduz. Se a carga for constante conseqüentemente eleva-se a concentração dos elementos presentes na água.

2.2.3 A cobertura vegetal

A cobertura vegetal promove a proteção contra o impacto das gotas de chuva e diminui a velocidade do escoamento da enxurrada devido ao aumento de atrito na superfície e reduzindo o poder erosivo. A água precipitada é interceptada pelas folhas, quando cai sobre um solo com cobertura vegetal, parte da água evapora ou reprecipita para o solo. Ao atingir o solo a água se infiltra até que este esteja saturado, a partir daí é gerado o escoamento superficial (TUCCI et al., 2012).

O papel hidrológico da bacia hidrográfica é transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo. No entanto as mudanças na cobertura do solo alteram o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Nas bacias urbanas a cobertura é alterada, a impermeabilização reduz a infiltração da água no solo provocando o aumento do escoamento superficial e o pico da vazão (TUCCI et al., 2012).

⁴ Deflúvio: escoamento na superfície.

2.2.4 O tipo de solo

A composição química do solo influencia a composição química da água, tanto pelo transporte de materiais em solução⁵ como em suspensão que chegam aos corpos d'água. As propriedades físico-químicas do solo determinam a resistência do solo à ação erosiva da água, a taxa de infiltração da água e conseqüentemente, maior ou menor escoamento superficial, (BOTELHO, SILVA, 2012; BERTONI, LOMBARDI NETO, 2008).

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2008) o conhecimento das características físicas do solo como a textura a estrutura e a porosidade é de grande importância na orientação dos trabalhos de manejo e controle contra erosão. A textura é um dos fatores que influem na maior ou na menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Solos de textura arenosa apresentam espaços porosos grandes e baixa proporção de partículas argilosas (a argila atua como uma ligação entre as partículas grandes). Pequena quantidade de enxurrada que escorre na superfície pode arrastar grande quantidade de materiais. No solo argiloso de modo geral, o espaço poroso é menor e a infiltração da água é reduzida, o que aumenta o escoamento na superfície, entretanto a força de coesão das partículas é maior, o que faz aumentar a resistência à erosão.

2.2.5 Características da bacia hidrográfica

Os processos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios. De acordo com Christofolletti (1981, p.65), o estudo e a análise dos cursos de água só podem ser realizados em função da perspectiva global do sistema hidrográfico.

Para Silva et al. (2003) os parâmetros morfométricos podem explicar, em muitos casos, os altos índices de degradação dos cursos d'água pelo aporte de sedimentos, uma vez que conforme o arranjo espacial da hidrografia local, esses cursos d'água podem receber alta porcentagem do solo que é removido pela erosão, caracterizando alto coeficiente de remoção de sedimentos. Conforme Christofolletti (1981, p.61) os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas mais elevadas para as áreas mais baixas, enquanto que os fenômenos atuantes sobre as vertentes regulam o tipo de material a ser fornecido aos rios, e aos demais meios de transporte de material detrítico.

É impossível considerar as vertentes e os rios como entidades separadas porque, como membro de um sistema aberto que é a bacia de drenagem,

⁵ Solução: dissolvido em água

estão continuamente em interação [...] Conforme o tipo de material originado na fonte (vertente) será o tipo de material ocorrente no meio ambiente de sedimentação (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A topografia do terreno exerce acentuada influência sobre a erosão. O tamanho e a quantidade de material transportado pela água de escoamento superficial dependem da velocidade com que ela escorre, e esta é determinada pelo comprimento da vertente, e pelo grau de declividade do terreno (fator LS). A energia do escoamento na superfície tende a se concentrar e ser mais alta nas rampas mais longas, resultando em grande número de sulcos e causando as maiores perdas de solo nas partes mais baixas dos grandes lançantes. Quanto maior o grau de declividade e o comprimento da rampa, maior será a velocidade da água e a capacidade erosiva (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2008; BOTELHO, SILVA, 2012; SIMÕES, COIADO, 2003).

A forma da encosta também é importante, e está relacionada a concentração ou dispersão dos fluxos de água. Encostas côncavas acabam concentrando maior volume de água, propiciando a saturação dos poros e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade de infiltração do solo, acelerando o escoamento superficial. Encostas convexas atuam como zonas dispersoras de água e, devido a maior declividade, contribuem para aumentar a velocidade do escoamento superficial (VITTE; GUERRA, 2012).

2.2.6 Erosão hídrica

A erosão hídrica é um processo natural, no entanto com a interferência do homem esse processo é intensificado. O processo erosivo está relacionado aos demais fatores já discutidos como: o tipo de solo; a ação das chuvas; ao tipo de cobertura vegetal; à declividade do terreno e ao uso e manejo do solo.

A água que escorre ganha energia pelo aumento de massa no seu movimento ou pelo aumento de velocidade que adquire por uma rápida mudança na declividade do terreno. A erosão é máxima quando a enxurrada contém quantidade suficiente de material abrasivo para desprender a maior quantidade possível que a enxurrada seja capaz de transportar. Se a superfície de um terreno está protegida contra o impacto das gotas pouco solo será transportado correspondendo às partículas que se soltam pelas concentrações de enxurrada. Comumente a erosão causada pela água pode ser laminar, que é a lavagem da superfície do solo; em sulcos que é a concentração da água escorrendo em pequenos sulcos ou erosão em

voçorocas que se desenvolve quando os sulcos foram bastante erodidos em largura e profundidade.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2008), essa classificação omite a erosão por salpicamento ou efeito do impacto da gota de chuva. As gotas de chuva desprendem as partículas do solo no local que sofre o seu impacto, rompendo os torrões, reduzindo-os a partículas menores transportando-as por salpicamento. Nas superfícies planas, o material salpicado tende a ser esparramado na superfície do solo em todas as direções quando as gotas caem na direção vertical; nesse caso, há um balanço de movimento das partículas que saem e das partículas que chegam. Quando as gotas atingem terrenos declivosos, a maior parte das partículas se movimentam morro abaixo; dessa forma grandes quantidades de solo podem ser transportadas unicamente pela ação do impacto das gotas da chuva.

Assim, para controlar a erosão, é preciso deter não somente o escoamento da enxurrada que transporta as partículas de solo como também o efeito da dispersão dos agregados do solo, eliminando o desprendimento das partículas causado pelas gotas de chuvas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A erosão laminar é a forma de erosão menos notada e por isso a mais perigosa. Quando se acumula na superfície, a água se move morro abaixo, e raramente se movimentam em uma lamina uniforme sobre a superfície da terra; isso aconteceria se a superfície do solo fosse lisa e uniformemente inclinada, o que raramente pode acontecer, pois ela é quase sempre irregular. Cada pequena porção de água toma um caminho de menor resistência, concentrando em pequenas depressões e ganhando velocidade a medida que a lamina água e a declividade do terreno aumentam.

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar sulcos mais ou menos profundos. É ocasionada por chuvas de grande intensidade em terrenos de elevada declividade e em grandes lançantes. As voçorocas são ocasionadas por grandes concentrações de enxurradas que passam no mesmo sulco, ampliando-o, pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e em profundidade (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2008; LEPSCH, 1993).

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2008) “as diferenças em erodibilidade⁶ do solo sugerem que, suas propriedades, e as condições proporcionadas pelo uso do solo, especialmente o cultivo, são da maior importância no processo de erosão pela água”. Em

⁶ Erodibilidade: vulnerabilidade ou suscetibilidade a erosão.

estudo realizado no noroeste do Paraná, Gasparetto e Souza (2012) aplicaram a Equação Universal de Perdas de Solo em áreas destinadas ao uso agrícola sobre o Latossolo Vermelho, o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Gleissolo. Os autores verificaram que, as maiores perdas de solo situam-se em regiões que se encontram desprovidos de cobertura vegetal, expostas à erosividade da chuva nos meses de verão, e também com maior comprimento de rampa e grau de declive (fator topográfico -LS). E onde as condições topográficas, os tipos de solo e os valores de erosividade são iguais e somente o uso do solo é diferente, os valores de perdas de solo obtidos são muito maiores.

Além de remoção do solo e nutrientes o que prejudica a produção agrícola, são removidos também substâncias químicas. Esses materiais removidos são transportados se depositando nas áreas mais baixas e nos cursos d'água podendo provocar poluição. Conforme Poletto (2008) o sedimento pode ser considerado um compartimento controlador da qualidade ambiental, por sua capacidade de armazenar compostos. Para Bertoni e Lombardi Neto (2008) o controle dessa poluição química pode ser efetuado, aplicando os fertilizantes na quantidade mínima necessária pra a produção das culturas evitando os excessos, e reduzindo ao mínimo a enxurrada e as perdas de solo pela erosão. Ou seja, se a erosão for controlada, o que pode ser alcançado por meio de práticas conservacionistas, a poluição da água associada à erosão também será controlada.

2.2.7 Manejo do solo

O manejo adequado do solo agrícola é extremamente importante para a conservação do solo e da água. “O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas para propiciar condições favoráveis à sementeira, ao desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas” (EMBRAPA, 2003). O preparo inicial do solo proporciona condições para a germinação, a emergência e o estabelecimento das plantas. Permite também reduzir a população inicial de plantas invasoras. A operação deve permitir ainda o aumento da infiltração de água, de modo a diminuir as perdas de água e sedimentos por erosão a um mínimo tolerável.

Dos diferentes sistemas de manejo de solo e suas características utilizadas em diferentes regiões produtoras do mundo, destacam-se:

Sistema Convencional: combinação de uma aração (arado de disco) e duas gradagens, feitas com a finalidade de criar condições favoráveis para o estabelecimento da cultura.

Sistema Conservacionista: qualquer sistema de preparo do solo que reduza a perda de solo ou água (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2013).

2.2.7.1 Sistema convencional

O preparo convencional é realizado basicamente em duas etapas, que são o preparo primário e o secundário. O preparo primário é realizado com arados ou grades pesadas, que visam afrouxar o solo, sendo utilizada também para incorporação de corretivos, de fertilizantes, de resíduos vegetais e de plantas daninhas, ou para a descompactação superficial. Os equipamentos de discos permitem melhor mistura desses ao solo.

A segunda etapa, chamada preparo secundário, consiste na operação de destorroamento e de nivelamento da camada arada de solo por meio de gradagens do terreno (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2013).

A utilização constante de um mesmo tipo de equipamento, como a grade pesada ou o arado de discos, que trabalha sempre em uma mesma profundidade, pode provocar compactação do solo logo abaixo da camada preparada, podendo resultar na diminuição da taxa de infiltração de água no solo e no aumento da erosão. Com o propósito de minimizar os impactos negativos do preparo do solo, deve-se proceder ao planejamento integrado das atividades, por meio da adequação de equipamentos e do calendário de trabalho, evitando-se, por exemplo, as operações em períodos com maior potencial de compactação do solo (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2013).

2.2.7.2 Sistema conservacionista

No sistema conservacionista, todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo, repor os nutrientes do solo denominam-se práticas conservacionistas. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), estas práticas podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As práticas vegetativas consiste em utilizar a vegetação para defender o solo contra a erosão, quanto mais densa for à vegetação menor será a erosão do solo. Dentre as práticas vegetativas podem ser citadas a rotação de cultura, as plantas de cobertura e a cobertura morta. Rotação de culturas é o sistema de alternar em um mesmo terreno, diferentes culturas em uma sequência de acordo com um plantio definido. Essa rotação auxilia no controle de ervas daninhas e insetos; ajuda

na manutenção da matéria orgânica e do nitrogênio no solo; no aumento da produção e na redução de perdas do solo.

As plantas de cobertura se destinam a manter o solo coberto durante o período chuvoso, a fim de reduzir os efeitos da erosão e melhorar as condições físicas e químicas do solo. Além de proteger a matéria orgânica do solo contra os efeitos da ação direta dos raios solares, produz matéria orgânica para incorporação ao solo, o que melhora sua estrutura e capacidade de retenção de umidade. A cobertura morta com palha ou resíduos vegetais protege o solo do impacto das gotas de chuva, faz diminuir o escoamento da enxurrada e incorpora ao solo a matéria orgânica. Contribui ainda para a conservação da água e diminui a temperatura do solo, reduzindo as perdas por evaporação.

As práticas de caráter edáfico são práticas conservacionistas como a adubação verde, a adubação química e a calagem que além do controle de erosão, mantêm ou melhoram a fertilidade do solo. A adubação verde é a incorporação ao solo de plantas especialmente cultivadas para esse fim ou de outras vegetações cortadas quando ainda verdes para serem enterradas. Essas plantas protegem o solo contra a ação direta da chuva quando estão vivas e, depois de enterradas, melhoram as condições físicas do solo pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica.

As práticas mecânicas consistem em estruturas artificiais mediante a disposição adequada de porções de terra, com a finalidade de quebrar a velocidade do escoamento da enxurrada e facilitar a infiltração da água no solo. Destaca-se aqui o plantio em contorno e o terraceamento.

O plantio em contorno ou em nível consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal a vertente, em nível. Essa prática cria pequenas depressões na superfície, que funcionam como pequenas barreiras ao escorrimento e à formação da enxurrada pelo aumento da rugosidade superficial, além de armazenarem a água até que esta se infiltre. Quando bem conduzido, esse tipo de plantio é uma das práticas mecânicas mais eficientes para as terras de cultivo. Seu efeito resulta no aumento da produção e na diminuição das perdas de solo. A eficácia pode variar de acordo com o tipo de solo e a declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; DENARDIN et al., 2009).

O terraceamento é tido como uma das práticas mais antigas e eficientes para controlar a erosão nas terras cultivadas. O terraço diminui o comprimento dos lançantes, e interrompe o fluxo laminar reduzindo a perda do solo e assim, a formação de sulcos em regiões com alta precipitação, e retendo mais águas em zonas mais secas. O terraceamento se torna mais

eficiente quando usado em combinação com outras práticas, como o plantio em nível, cobertura morta e culturas em faixas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Há diversos tipos de terraços, o terraço base larga é o mais comum, caracterizado por ser bastante largo, raso e de suave inclinação, pode ser facilmente cruzado por máquinas agrícolas e permite o plantio em todas as dimensões. É uma das formas mais seguras de proteger o solo contra os efeitos da erosão, pode ser empregado tanto em cultura anuais, culturas perenes ou pastagens. A vantagem desse tipo de terraço é a de não perder área de cultura anual, já que o terreno pode ser plantado. O terraço base larga pode ser indicado também para terrenos de pouca declividade como 0,5% quando a topografia seja formada de grandes lançantes, com a finalidade de reduzir a erosão produzida por grandes concentrações de enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

2.2.7.2.1 *Sistema de Plantio Direto*

No Brasil, a abordagem da Agricultura Conservacionista é amplamente contextualizada no âmbito do Sistema Plantio Direto (DENARDIN et al., 2009). O Sistema de Plantio Direto – SPD, é uma prática conservacionista que teve grande desenvolvimento a partir da década de 1990 no Brasil e já se encontra bastante difundida entre os agricultores. Nesse sistema procura se-manter o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Essa cobertura tem por finalidade proteger o solo do impacto das gotas de chuva, do escoamento superficial e das erosões hídricas e eólicas. Definido como o processo de semeadura em solo não revolvido, o preparo do solo limita-se ao sulco da semeadura, procedendo-se a semeadura, a adubação e, eventualmente a aplicação de herbicidas em uma única operação (CRUZ et al., 2006).

O plantio direto, é entendido como um sistema com os seguintes fundamentos: a eliminação/redução das operações de preparo do solo; uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas; formação e manutenção da cobertura morta; rotação de culturas; e o uso de semeadoras específicas. As vantagens ou desvantagens do SPD dependem de uma série de fatores e características do solo e do clima da região onde esse sistema é ou será utilizado (CRUZ et al., 2006).

2.2.8 Atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica

As atividades desenvolvidas pelo homem tanto na área rural como na área urbana geram resíduos provocando mudanças no ambiente, a poluição da água, por exemplo, pode ser uma consequência das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica. Segundo Danilo Santos et al. (2006, p.182),

poluente é uma substância química, ou elemento químico, fora do seu local de origem, em concentrações capazes de promover efeitos adversos aos seres vivos [...] No entanto, a maioria das substâncias inorgânicas e elementos químicos classificados como poluentes estão naturalmente presentes nos solos e sedimentos, pois são derivados de minerais que compõe a rocha e que por sua vez, origina o solo. Porém essa ocorrência normalmente se dá em muito baixas concentrações, por isso não são identificados como problema. Eles passam a preocupar como poluentes quando entram na cadeia alimentar, podendo causar danos à saúde.

Para Mota (1995); Schiavetti e Camargo (2002), a poluição hídrica é caracterizada por qualquer alteração nas condições naturais de um recurso hídrico de modo a torná-lo prejudicial para os seres que dele dependam ou que dificulte ou impeça um uso definido a ele. Mota (1995) ressalta que a contaminação é um caso particular, quando a água recebeu micro-organismos patogênicos ou substâncias químicas ou radioativas que possam causar prejuízos à saúde do homem.

Segundo Minella e Merten (2006, p.343),

Parte significativa dos impactos negativos à qualidade da água é causada pelos sedimentos erodidos, especialmente daqueles originados de áreas com presença de poluentes, como os agrícolas, os de mineração e os urbanos. Sedimentos são vetores de poluentes, pois sua natureza geoquímica (agregados formados pela presença de partículas primárias, óxidos e matéria orgânica) permite tanto a adsorção, como a liberação de poluentes capazes de afetar severamente a biota aquática e a qualidade da água.

De acordo com Gastaldini e Mendonça (2003), poluentes podem ser liberados para o ambiente na forma de gases, de substâncias dissolvidas ou na forma de material particulado. As fontes de poluição são de origem pontual, quando podem ser identificadas, ou difusa, quando se torna difícil a identificação da fonte poluidora. Para os autores não existe uma clara divisão entre estas fontes, pois em nível regional ou mesmo local, as fontes difusas podem resultar de um grande número de fontes pontuais. Os poluentes resultantes das atividades agrícolas, por exemplo, normalmente são considerados como poluição de origem difusa.

No meio rural as águas de escoamento superficial carregam sedimentos, matéria orgânica como folhas e dejetos de animais; sólidos; agrotóxicos; fertilizantes e micro-

organismos patogênicos (MOTA, 1995). Entre os caminhos possíveis dos pesticidas após serem adicionados ao solo, têm-se: vaporização e perda na atmosfera, absorção pelo solo; infiltração e perda por lixiviação; transformação por reações químicas; e por último, decomposição por microorganismos. A persistência dos pesticidas no solo é variável, alguns duram apenas poucos dias, enquanto outros podem permanecer por mais de 10 anos (VITTE; GUERRA, 2012).

Conforme Danilo Santos et al. (2006), mesmo considerando que atualmente os compostos orgânicos sintéticos altamente tóxicos já não são produzidos ou deixaram de ser aplicados no ambiente, a agricultura ainda pode ser uma importante fonte de poluição dos recursos hídricos. O uso indiscriminado de agrotóxicos, mesmo aqueles com menor persistência no ambiente devido sua maior facilidade de degradação, também pode causar algum efeito sobre o ecossistema. Por existir uma grande diversidade de princípios ativos para diversos tipos de cultivos, um grande número de moléculas orgânicas com diferentes graus de solubilidade na água e persistência no ambiente são lançadas na natureza todos os anos.

A área urbana contribui para a alteração da qualidade da água, em grande parte pela poluição de fontes difusas, o escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, carrega o material solto ou solúvel até os corpos d'água. Para esse tipo de poluição contribuem:

O lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, os resíduos de combustíveis, óleos e graxas deixados por veículos, poluentes do ar, etc. Ligações clandestinas de esgotos, efluentes de fossas sépticas, vazamentos de tanques enterrados de combustível, restos de óleo lubrificante, tintas, solventes e outros produtos tóxicos despejados em sarjetas e bueiros também contribuem para o aumento das cargas poluidoras. A veiculação dessas cargas aos rios ocorrem por meio do escoamento superficial direto ou pela rede de drenagem urbana (BARROS; PORTO; TUCCI, 1995, p.395).

Segundo Mota (1995) a qualidade da água de drenagem depende do período que a mesma ocorre. Os maiores valores de poluentes são observados no início do escoamento superficial (LIBÂNEO, 2008; MOTA, 1995; TUCCI, 2009). Na figura 1, é possível observar o hidrograma (vazão ao longo do tempo) e o polutograma (concentração ao longo do tempo), no qual se observa que a maior carga (Q. C) ocorre no início da chuva.

Quanto às fontes pontuais, para Gastaldini e Mendonça (2003), “as águas residuárias de origem doméstica e industrial, sem tratamento ou com tratamento inadequado, representam a maior fonte de poluição pontual em termos globais.” As atividades industriais são responsáveis pelo lançamento de efluentes do processo industrial, em alguns casos de forma

clandestina. Quando autorizados pelos órgãos competentes devem estar de acordo com normas específicas de lançamento.

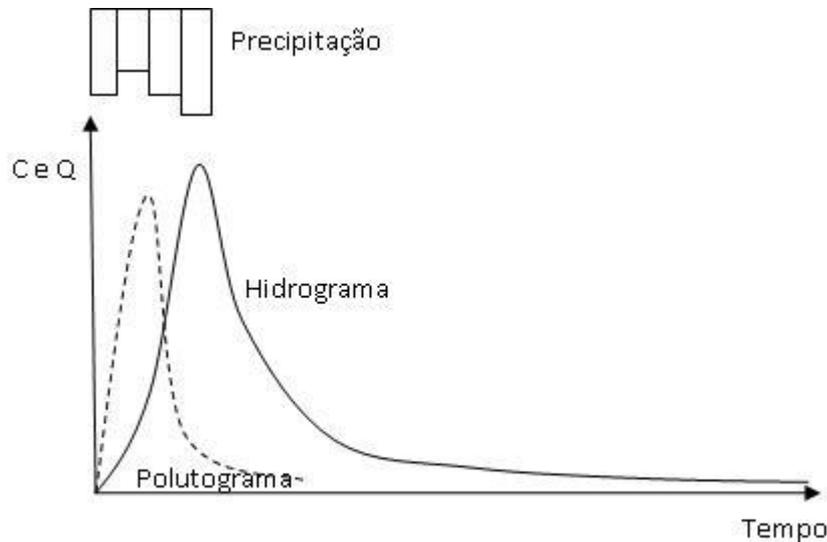


Figura 1- Vazão (Q), concentração (C) versus tempo (t)
Fonte: Tucci (2009).

É importante destacar que os corpos d'água têm capacidade de depurar as cargas poluidoras através de fenômenos de natureza química, físico-química e biológica (ANDREOLI et al., 2003; MOTA, 1995). No entanto alguns poluentes não são completamente assimilados podendo permanecer por muito tempo no corpo hídrico.

2.2.9 Programas de manejo do solo no Paraná

Em 1975 foi lançado pelo governo do Paraná o Programa Integrado de Conservação dos Solos – PROICS, com o objetivo de controlar a erosão hídrica em áreas de agricultura intensiva por meio de práticas mecânicas como o terraceamento e plantio em nível visando a conservação do solo e da água. No ano de 1983 foi lançado o Programa de Manejo Integrado do Solo – PMIS. Esse programa teve por objetivo geral, a implantação do uso e manejo adequado do solo, segundo sua aptidão agrícola, por meio de recomendações de práticas de controle à erosão, recuperação e manutenção das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Em 1987 o governo do Paraná lançou o Programa de Manejo Integrado do Solo e da Água – PMISA, que incluía, além do terraceamento e adequação de estradas, a correção da acidez, a adubação verde e reflorestamento. O programa PMISA evoluiu para a

implementação do sub-programa de Manejo e Conservação do Solo em Microbacias Hidrográficas do Programa de Manejo e Conservação do Solo - PARANÁ RURAL (1990-1995). Esse programa acrescentou às iniciativas anteriores a integração das práticas de manejo e conservação sobre um espaço delimitado a microbacia⁷ (COSTA et al., 2006).

Outros programas deram continuidade às ações de manejo e conservação do solo como o Projeto Paraná 12 meses (1999-2006) que teve por objetivo viabilizar a recuperação dos solos agrícolas. O programa além de orientar e capacitar o produtor rural subsidiou financeiramente a adoção de práticas mecânicas de controle a erosão, a construção de cercas para proteção de mananciais, a aquisição de mudas e sementes para reflorestamento conservacionista, aquisição de insumos agrícolas, equipamentos de plantio direto para tração animal, adequação de estradas rurais, dentre outros subsídios.

No ano de 2008, foi lançado Programa de Gestão Ambiental Integrada em Microbacias - PGAIM. Desenvolvido em parceria pelas secretarias da Agricultura, Meio Ambiente, Planejamento, Desenvolvimento Urbano, Assuntos Estratégicos, Transportes, SANEPAR e COPEL. Semelhante aos demais programas desenvolvidos teve por objetivo melhorar a qualidade das águas por meio da gestão ambiental integrada, incluindo o uso, manejo e conservação adequada do solo, da água e das florestas nos ambientes urbano e rural, promovendo a utilização correta das terras. As ações foram focadas em microbacias hidrográficas, com prioridade para as bacias de captação de água para consumo humano (EMATER, 2013).

Atualmente está sendo desenvolvido o Programa Patrulha no Campo, lançado em 2011. O programa institui o conceito de construção e manutenção de estradas rurais no estado, em integração com as lavouras. Programa repassa máquinas e equipamentos a consórcios de municípios para recuperação e modernização de estradas rurais. Esse programa é coordenado pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento- SEAB, e executado pela Companhia de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná – CODAPAR (EMATER, 2013).

O governo do estado por meio do Decreto nº 6515/2012 institui o programa Estradas da Integração - Estradas Rurais Integradas aos Princípios e Sistemas Conservacionistas. Implementado e coordenado pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, destinado a promover ações articuladas entre órgãos e entidades do governo do estado, municípios e consórcios intermunicipais. Dentre os objetivos do programa está o de realizar

⁷ Microbacia: termo utilizado na área de conservação do solo para designar bacia hidrográfica de pequena extensão.

os trabalhos nas estradas rurais de forma a preservar os recursos naturais, especialmente a água e o solo (PARANÁ, 2012).

Esses programas deram algum resultado, o PMIS, PMISA e PARANÁ RURAL destinaram recursos para os trabalhos de conservação do solo na bacia hidrográfica do rio do Campo que na época encontrava-se em estado de degradação. Os trabalhos realizados serão descritos no histórico da bacia hidrográfica.

2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para a gestão dos recursos hídricos é preciso ter informações sobre variáveis que indiquem a quantidade disponível e a qualidade das águas, essas informações serão obtidas se houver redes de monitoramento que gerem dados confiáveis. A informação sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos (BRAGA; PORTO; TUCCI, 2006).

A Agência Nacional de Águas - ANA (2009) define monitoramento como um conjunto de práticas que visam o acompanhamento de determinadas características de um sistema, sempre associado a um objetivo. No monitoramento da qualidade das águas naturais são acompanhadas as características físicas, químicas e biológicas da água. O monitoramento é realizado em intervalos regulares de tempo, de modo a gerar informações que possam ser utilizadas para definição das condições presentes da qualidade da água.

De acordo com Braga, Porto; Tucci (2006) a situação de monitoramento da qualidade da água no Brasil é bastante deficitária”, o número de estações é pequeno e a distribuição irregular. A ANA reconhece que hoje no Brasil o monitoramento de qualidade da água é insatisfatório, a mesma opera uma rede básica de qualidade da água que conta com 1.340 pontos em todo o país. São analisados em campo quatro parâmetros (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura) por sondas multiparamétricas, durante as campanhas de medição de vazão. Segundo a ANA (2012) existem lacunas geográficas e temporais no monitoramento da qualidade da água no Brasil em razão, principalmente da falta de recursos. Há também problemas relacionados à falta de padronização para coleta, preservação e análise das amostras, frequência das campanhas de monitoramento e parâmetros monitorados, o que torna difícil a comparação entre as regiões e o acompanhamento da evolução da qualidade da água.

Frente a situação apresentada a ANA lançou o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas - PNQA. Participam do PNQA a ANA que é a instituição coordenadora

e executora das atividades de âmbito nacional; os órgãos estaduais de meio ambiente e recursos hídricos que aderirem ao programa como executores das atividades regionais; universidades e instituições de pesquisas. A ANA entende que os estados devem continuar sendo os principais responsáveis pelo estabelecimento e operação de redes de qualidade da água. A proposta é de que o PNQA oriente recursos da união para apoiar a implantação, ampliação, operação e manutenção das redes estaduais em pontos de monitoramentos identificados como de interesse nacional, acordando com as entidades estaduais, a frequência e o conjunto mínimo de parâmetros a serem monitorados. O PNQA tem por finalidade:

- I - analisar a tendência de evolução da qualidade das águas superficiais;
- II - avaliar se a qualidade atual das águas atende os usos estabelecidos pelo enquadramento dos corpos d'água superficiais;
- III - identificar áreas críticas com relação à poluição hídrica;
- IV - aferir a efetividade da gestão sobre as ações de recuperação da qualidade das águas superficiais; e
- V - apoiar as ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização.

Em 22 de julho de 2013, foi criada pela resolução nº 903 da ANA, a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas - RNQA, que deverá ser implantada até 2020. A densidade de pontos de monitoramento da RNQA deve variar de acordo com as características de cada região do país. Além da medição da vazão serão monitorados 22 parâmetros mínimos de qualidade da água. Neste cenário os estados devem trabalhar de forma conjunta com a ANA, para que os objetivos do PNQA sejam concretizados.

No estado do Paraná, segundo o relatório elaborado pelo Instituto das Águas do Paraná e Secretaria do Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, foi realizado um estudo para selecionar estações consideradas estratégicas para o monitoramento. Foram avaliadas as principais características de uso e ocupação do solo, e dos usuários dos recursos hídricos situados ao longo das bacias hidrográficas do estado. Por meio do cruzamento destas características e da avaliação do seu grau de ocorrência, foram definidas áreas de potencial utilização dos recursos hídricos e de maior ou menor potencial de risco à contaminação. Devido aos condicionantes ambientais e antrópicos, as bacias hidrográficas do estado foram divididas em 51 áreas estratégicas de gestão (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ; SEMA, 2010).

O monitoramento dos corpos d'água é uma prática necessária para a gestão dos recursos hídricos, pois permite o acompanhamento da evolução da qualidade da água. A importância do monitoramento dos recursos hídricos é evidenciada pela quantidade de água

consumida proveniente de mananciais superficiais. Atualmente 80,4% da água tratada e distribuída pela SANEPAR é proveniente de mananciais superficiais (SANEPAR, 2013).

2.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA define como parâmetro de qualidade da água: “substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água” e como padrão: “o valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente”. A mesma resolução classifica as águas doces segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes. A classe especial dentre outros usos, pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano, após a desinfecção; a classe I pode ser destinada ao consumo humano, após tratamento simplificado; a classe II pode ser destinada ao consumo humano, após tratamento convencional; a classe III podem ser destinadas ao consumo humano após o tratamento convencional ou avançado e a classe IV não é destinada ao consumo humano. A seguir são descritos os parâmetros contemplados no monitoramento da qualidade da água analisados nesta pesquisa.

2.4.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos têm relação com os parâmetros químicos e biológicos e podem influenciar estes ou ser influenciado por eles. Nas estações de tratamento, águas com grande concentração de partículas encarecem o tratamento. Esses parâmetros também estão relacionados ao aspecto estético da água, a seguir são descritos a turbidez, a temperatura da água e os sólidos totais em suspensão.

De acordo com Libâneo (2008), é intrínseca a relação entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos. A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc. (CETESB, 2011). Conforme a ANA (2009), a principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando na época das chuvas as águas pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d'água.

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Há diversas frações de sólidos presentes na água

(sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis) (CETESB, 2011). Neste estudo serão avaliados apenas os sólidos totais em suspensão. Relacionando a carga de sedimento em suspensão à vazão, Leopold e Maddock (1953 apud CHRISTOFOLETTI, 1981, p.73) verificaram que a quantidade de carga aumenta em proporção com a vazão.

A causa principal é que a carga detrítica não provem só da ação abrasiva do rio sobre o fundo e as margens, mas principalmente da lavagem sobre as vertentes efetuadas pelo escoamento superficial. Tais fatos sugerem também que a maior parte da carga detrítica é transportada durante as fases de cheia e enchentes, quando os débitos são muito elevados (LEOPOLD; MADDOCK, 1953 apud CHRISTOFOLETTI p.73, 1981).

Conforme Christofolletti (1981), nos rios brasileiros, de forma geral, a carga em suspensão é considerada pequena, sendo quase sempre inferior a 100mg L^{-1} , contudo é bem maior que a carga dissolvida, principalmente nos meses da estação chuvosa. É importante considerar o fato dos sedimentos em suspensão afetarem a composição química da carga dissolvida. Isso porque alguns minerais irão ser dissolvidos, outros poderão causar a precipitação de determinados íons dissolvidos.

Outro parâmetro físico é a temperatura da água, que sofre influência de fatores como latitude, altitude, estação do ano e período do dia. A temperatura é um parâmetro importante, pois influencia vários parâmetros físico-químicos, além de os organismos aquáticos serem afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância (ANA, 2012).

2.4.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos também influenciam e são influenciados pelas características dos parâmetros físicos e biológicos. A redução do oxigênio pode provocar desequilíbrios ecológicos resultando na morte de peixes e outros organismos aeróbios (MOTA, 1995). Dentre os parâmetros químicos normalmente monitorados estão o pH, OD, DBO_5 e o fósforo.

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas no ambiente aquático. Compreende intervalo de 0 a 14, valores de pH inferiores a 7 indicam condições ácidas, e superiores indicam condições alcalinas das águas naturais. O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias, na distribuição das formas livre e ionizada de diversas compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos (LIBÂNEO, 2008).

Conforme Pádua e Ferreira (2010), o oxigênio é essencial a todas as formas de vida aquática, incluindo os organismos responsáveis pela depuração em águas naturais. As fontes

de OD são a atmosfera e a fotossíntese, sua distribuição nos corpos líquidos ocorre pela movimentação da massa d'água (CETESB, 2011). As variações nos teores de OD estão associadas aos processos físicos químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. A redução pode ocorrer por razões naturais, principalmente pela respiração dos organismos presentes no ambiente aquático, por perdas para a atmosfera, decomposição da matéria orgânica e oxidação de íons (LIBÂNIO, 2008; ESTEVES, 1998).

A DBO normalmente é considerada como a quantidade de oxigênio consumida durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. A DBO_5 é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C, representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água por decomposição microbiana aeróbica. Os maiores aumentos de DBO_5 num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica (CETESB, 2011; ANA, 2009).

O fósforo origina-se da dissolução de compostos do solo, detergentes e decomposição da matéria orgânica. Apresenta-se nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico e é o principal fator limitante ao desenvolvimento de algas e plantas no meio aquático. Assim como o Nitrogênio, o seu aporte aos corpos d'água pode ter origem antrópica. Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo são comumente inferiores a 0,02 mg/L (LIBÂNIO, 2008).

2.4.2.1 Elementos-traço

Os elementos-traço são os elementos químicos que ocorrem na natureza de um modo geral, em pequenas concentrações. Outras denominações para este grupo são frequentemente encontrados na literatura: “metais pesados”, “metais traços”, “micronutrientes” etc. A denominação mais aceita atualmente é elemento-traço (ESTEVES, 1998; SANTOS, D., et al., 2006).

Os elementos-traços não são degradáveis, podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade, os locais de fixação final desses elementos são os solos e os sedimentos. A toxicidade de uma dada concentração de um metal presente em um curso de água natural depende do pH e da quantidade de carbono dissolvido e em suspensão. As interações como complexação e adsorção podem remover de forma satisfatória alguns íons metálicos (BAIRD, 2002).

Como já citado a maioria das substâncias inorgânicas e elementos químicos classificados como poluentes estão naturalmente presentes nos solos e sedimentos, normalmente ocorre em baixas concentrações. Conforme Poletto (2008, p.130) “o chumbo (Pb), o cádmio (Cd), o níquel (Ni), o cobre (Cu), o cromo (Cr), e o Zinco (Zn) são metais reconhecidamente ligados a poluição ambiental de origem antrópica”. No presente estudo os elementos analisados foram: cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As), níquel (Ni), cromo (Cr), selênio (Se), manganês (Mn) e ferro (Fe).

O cobre ocorre naturalmente em todas as plantas e animais e é um nutriente essencial em baixas doses. As fontes de cobre para o ambiente incluem minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulação de latão, efluentes de estação de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do cobre, além das fontes industriais e da precipitação atmosférica. Estudos indicam que a concentração de 20mg/L de cobre ou um teor total de 100mg/L por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem, com lesões no fígado. Para os peixes as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas. Concentrações acima de 0,5mg/L são letais para alguns tipos de peixes e doses acima de 1,0mg/L são letais para micro-organismos (CETESB, 2011).

A presença de zinco é comum nas águas superficiais naturais, em concentração geralmente abaixo de 10µg/L. O zinco faz parte da composição dos solos e rochas sendo um elemento essencial ao corpo humano em pequenas quantidades, é prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito elevadas. O zinco e seus compostos são usados na fabricação de ligas e latão, galvanização do aço, suplementos vitamínicos, protetores solares etc. (CETESB, 2011).

O cádmio é liberado ao ambiente por efluentes industriais, principalmente de produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar. A concentração de cádmio em águas não poluídas é normalmente 0,1 µg/L (CETESB, 2011). Embora seja bastante solúvel em água, geralmente os seres humanos recebem pequena parcela de cádmio por ingestão direta da água ou inalação do ar. A maior parte de exposição ao cádmio vem da dieta alimentar (BAIRD, 2002).

O chumbo tem ampla aplicação industrial, como na fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros, ligas metálicas etc. A erosão de depósitos naturais também é uma fonte potencial de contaminação da água, a presença deste metal na água ocorre por deposição atmosférica ou lixiviação do solo. O chumbo tende a se acumular no corpo humano

e pode afetar quase todos os órgãos e sistema do corpo, sendo que o mais sensível é o sistema nervoso (PÁDUA, FERREIRA, 2010; CETESB, 2011).

A concentração de níquel nas águas superficiais naturais podem chegar a 0,1mg/L; valores elevados podem ser encontrados em área de mineração. A maior contribuição antropogênica para o ambiente é a queima de combustíveis, além da mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes, e sorvetes aromatizados. A ingestão elevada causa irritação gástrica e o efeito adverso mais comum a exposição ao níquel é uma reação alérgica; cerca de 10 a 20% da população é sensível ao metal.

O cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estrutura da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira entre outros usos. A poluição da água por cromo deve-se principalmente a efluentes industriais e depósitos naturais (PÁDUA; FERREIRA, 2010). Na maioria das águas superficiais contém entre 1 e 10 µg/L de cromo (CETESB, 2011).

O manganês ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação da água. Raramente atinge concentrações de 1,0mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2 mg/L ou menos. O manganês e seus compostos são usados na indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outros. O manganês é um elemento essencial para muitos organismos incluindo o ser humano (CETESB, 2011).

O ferro origina-se da dissolução de rochas e solos, por ser um dos elementos mais abundantes, é comumente encontrado nas águas naturais (LIBÂNIO, 2008). O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico (CO₂) da água. Nas águas superficiais o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Os efluentes industriais também podem contribuir de maneira importante. O ferro não constitui um tóxico, no entanto pode trazer diversos problemas para o abastecimento público da água, confere cor e sabor a água, provoca manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do depósito em canalizações e o desenvolvimento de ferro bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos o ferro além de ser padrão de potabilidade, é também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais. As águas que contém ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa (CETESB, 2011).

2.4.3 Parâmetros biológicos

O meio aquático é habitado por um grande número de vegetais e animais, dentre elas os microrganismos tipicamente aquáticos ou os que são introduzidos na água a partir de uma contribuição externa. As bactérias usadas como indicador da poluição da água por material fecal são os coliformes, que vivem normalmente no organismo humano em grande quantidade. Essas bactérias não são de maneira geral patogênicas, e indicam a contaminação de uma amostra de água por fezes, e a possibilidade da presença de organismos patogênicos, que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica. Os coliformes são os melhores indicadores da presença de bactérias patogênicas na água, pois tem comportamento semelhante às mesmas (MOTA, 1995).

Coliformes termotolerantes são um grupo de bactérias capazes de fermentar a lactose nas temperaturas de 44°C-45°C, com a produção de ácido, gás e aldeído. A bactéria *E.coli* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes, cujo *habitat* exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidade elevada (CONAMA, 2005). A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada para este estudo compreende 161,8km², é denominada aqui como sub-bacia do rio do Campo por não abranger toda a bacia deste rio, mas apenas a área drenada pelo alto curso do rio do Campo até sua confluência com o rio Km123 um dos seus afluentes. A sub-bacia está localizada nos municípios de Campo Mourão-PR e Peabiru-PR (Figura 2).

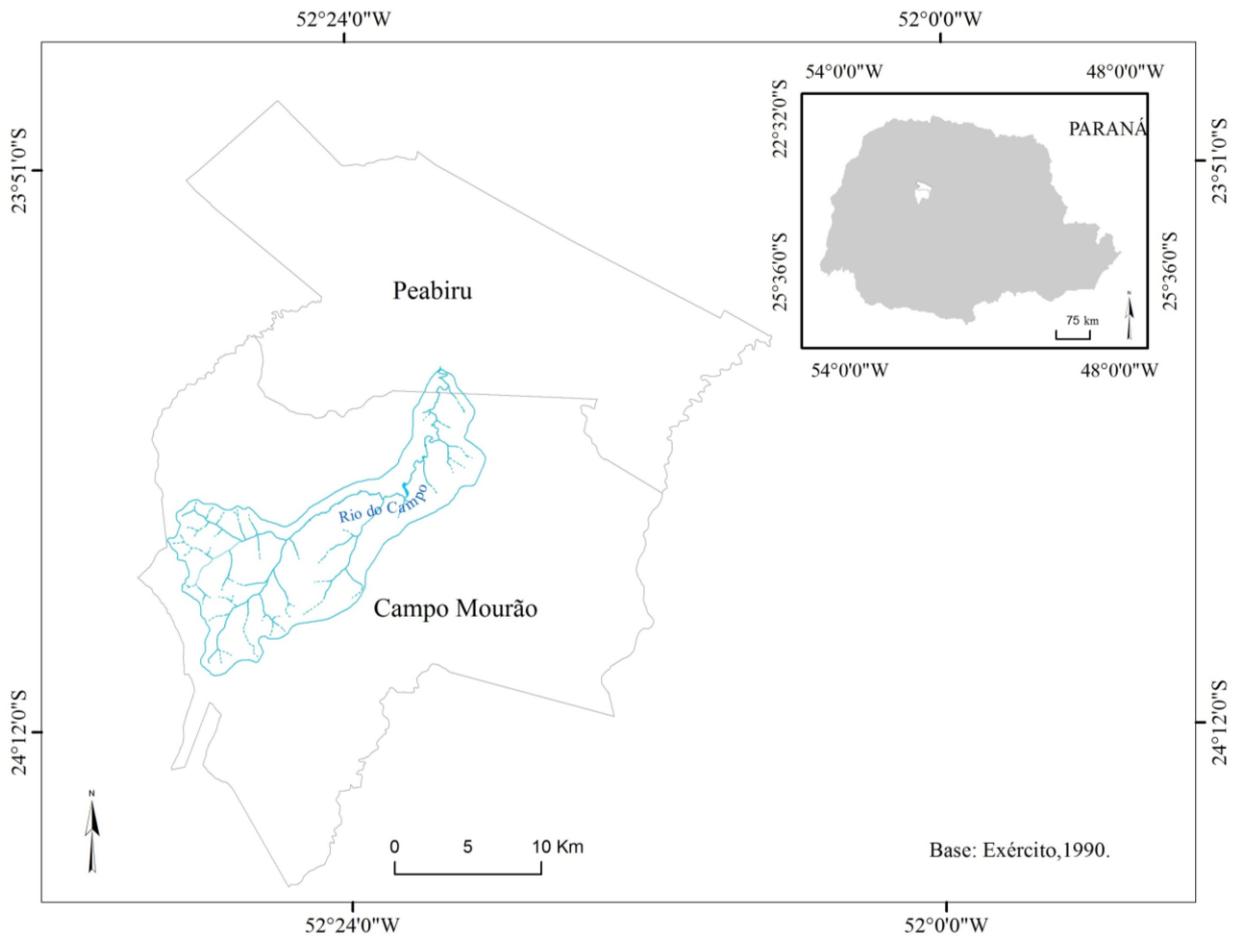


Figura 2 - Localização da sub-bacia hidrográfica do rio do Campo

3.1 HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO

O município de Campo Mourão foi distrito do município de Guarapuava até 1943, e depois de Pitanga, do qual se emancipou em 10 de outubro de 1947 (IPARDES, 2013). A área do município é de 763,637km², e faz limites com os municípios de Peabiru, Farol, Mamborê, Corumbataí do Sul, Luiziana e Araruna. Conforme Simionato (2008), o desenvolvimento da região de Campo Mourão aconteceu no século XIX. O registro das primeiras pessoas que

tiveram propriedades legalizadas na região hoje pertencente ao município datam de 25 de setembro de 1893, e foi realizado em Guarapuava. Os expedicionários guarapuavanos povoaram as terras de Campo Mourão no intuito de criar gado bovino. Em 1893, chegaram a Campo Mourão numa expedição 120 homens. Em 1908 foi aberta a primeira estrada (Estrada Boiadeira) ligando campo Mourão a Guarapuava.

Segundo Onofre (2009), o grande impulso de ocupação na região ocorreu entre as décadas de 1930 e 1940. Em 1939 o governo inicia os serviços de colonização das terras devolutas, demarcando as terras, planejando uma sede urbana e ao entorno os lotes rurais. A demarcação foi elaborada por meio do Departamento de Geografia Terras e Colonização (D.G.T.C) e pela 8ª Inspetoria de Terras, até agosto de 1949, a partir daí efetuou-se a comercialização da terra.

As primeiras indústrias instaladas no município datam da década de 1930, foram duas fábricas de cachaça, e uma serraria, esta instalada no local que hoje conhecido como Pedreira da Codusa. A partir de 1950 a região de Campo Mourão teve um grande desenvolvimento, muitas pessoas chegavam ao município para trabalhar em lavouras ou para iniciar novas atividades na cidade. Na área urbana nesta década se instalavam várias empresas para atender a região nas necessidades de serviços mecânicos, ferramentas agrícolas, máquinas e peças. Na década de 1950 foram instalados em Campo Mourão o Banco do Estado do Paraná, o Banco do Brasil e a Caixa Econômica Federal em 1960 (SIMIONATO, 2008).

No campo extraía-se a madeira, dentre elas o *Cedrela fissili* (Cedro), *Ocotea Puberula* (Canela), *Ocotea porosa* (Imbuia), *Handroanthus avellanadae* (Ipê-roxo), *Chrysophyllum gonocarpum* (peroba branca) e *Araucária angustifolia* (Pinheiro do Paraná). As atividades desenvolvidas inicialmente eram o cultivo da erva-mate, da cana-de-açúcar, milho, café e a criação de gado bovino (SIMIONATO, 2008). As lavouras eram cultivadas por trabalho manual e com uso de animais, tratores existiam apenas cinco na região (COAMO, 2010).

Os primeiros experimentos de trigo na região de Campo Mourão foram realizados pelo agrônomo José Aroldo Galassini, no período de abril a setembro de 1969, com pesquisa de competição de variedades, adubação, calagem e época de plantio. Logo foi implantada a soja, lavoura que atualmente ocupa grande parte das terras cultivadas intercalada com o milho. Os agricultores passaram a se preocupar com a venda da produção, foi quando surgiu a ideia de montar uma cooperativa de produtores rurais. Em 28 de novembro de 1970 foi fundada a Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda - COAMO, hoje Agroindustrial Cooperativa. Com a COAMO veio aumentou a produção de trigo na região, a cooperativa cresceu, em 1975

instalou a Fazenda Experimental, a Loja de Peças, e implantou o primeiro moinho de trigo (COAMO, 2010).

Conforme Onofre (2009), a repartição de terra em Campo Mourão, foi baseada primeiramente em pequenos lotes, com base na agricultura familiar. Com as mudanças ocorridas no sistema de produção agrícola as pequenas propriedades foram incorporadas pelas grandes propriedades. A produção de subsistência foi substituída pelas lavouras de mercado como a soja, o trigo e o milho. A agricultura é uma atividade importante na economia do município, e predominante na área da bacia hidrográfica do rio do Campo. No entanto a área urbana do município vem crescendo, na última década surgiram vários bairros aumentando a área impermeabilizada. A população de Campo Mourão era de 87.194 habitantes em 2010, e o grau de urbanização é de 94,82% (IPARDES, 2013).

3.2 CLIMA

Na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo o clima é do tipo Subtropical - Cfa, conforme a classificação climática de Köppen. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C, sendo que as geadas são pouco frequentes. Os verões quentes, com temperatura média acima de 22°C no mês mais quente e tendência de concentração de chuvas nos meses de verão (CAVIGLIONE et al., 2000). De acordo com os dados de precipitação média mensal do período 1998-2011, os meses mais chuvosos são outubro, janeiro e fevereiro (Figura 3).

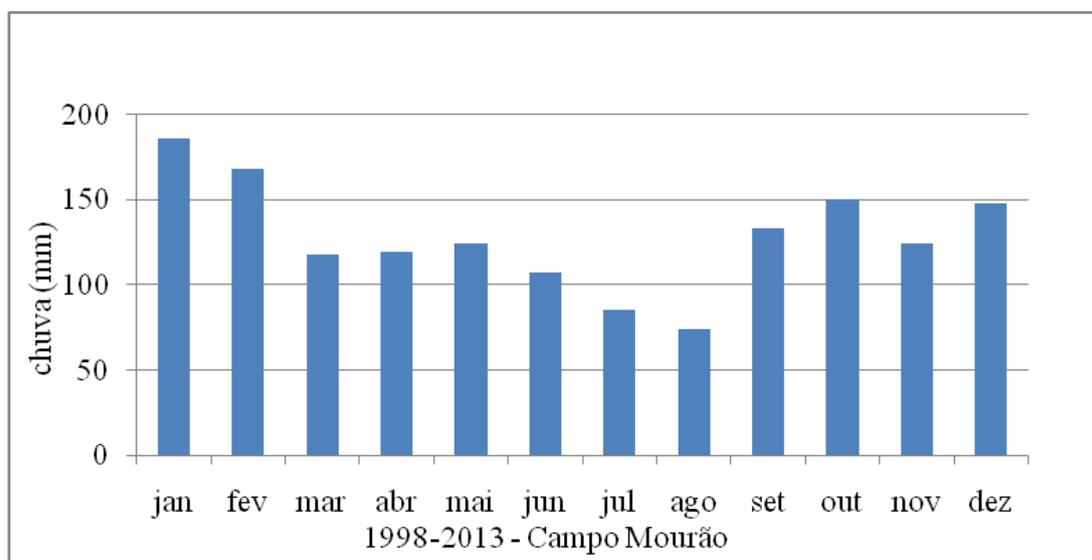


Figura 3 – Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do rio do Campo - (1998-2013)
Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR (2013).

3.3 VEGETAÇÃO

Na área de estudo a formação vegetal original é constituída por Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta com Araucária), Savana Arborizada (Cerrado), e Floresta Estacional Semidecidual (ITCG, 2009). O cerrado está presente no interflúvio da bacia hidrográfica do rio do Campo, ocupando a zona limítrofe entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual.

3.4 SUBSTRATO ROCHOSO

O substrato rochoso da bacia hidrográfica é composto predominantemente por rochas ígneas da Formação Serra Geral e por arenitos da Formação Caiuá, presentes na alta bacia. Conforme Soares et al. (1980), a principal característica da Formação Caiuá é sua uniformidade litológica, representada por arenitos de muito finos a médios, com estratificação cruzada de grande porte que sugerem deposição eólica. A bacia hidrográfica do rio do Campo está sobre o Terceiro Planalto Paranaense ou planalto de *trapp* do Paraná, na porção média entre os rios Ivaí e Piquiri (MAACK, 2002).

3.5 HISTÓRICO E SITUAÇÃO ATUAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO

Nos anos 1960 a bacia hidrográfica do rio do Campo apresentava problemas como a erosão do solo, desmatamento generalizado, erosão nas estradas vicinais e poluição do manancial por agrotóxico. Esses problemas mobilizaram na década de 1970, instituições públicas e privadas que sob a coordenação do Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER iniciaram diversos trabalhos, que visavam o reequilíbrio ambiental na bacia hidrográfica. Os trabalhos realizados foram descritos por Guimarães (2009) e estão citados abaixo:

- Terraceamento mecânico nas propriedades rurais e adequação das estradas integrando-as às propriedades;
- Adoção do sistema de plantio direto, inicialmente esse sistema foi adotado por agricultores pioneiros na safra 1973, a prática foi disseminada e gradativamente o preparo convencional do solo foi substituído pelo plantio direto;

- Ações de educação ambiental foram desenvolvidas junto aos agricultores, a professores e alunos, principalmente na década de 1990;
- O controle biológico de pragas da soja, foi iniciado no começo da década de 1980 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA Soja, e adotado por diversos agricultores. O controle biológico da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*) é realizado pelo *Baculovirus anticarsia*, já o *Tissolcuss basalis* (parasitoide de ovos do percevejo da soja), começou a ser utilizado na década de 1990. No ano de 1994, foi instalada na MBH do rio do Campo a Unidade de Multiplicação do *Tissolcuss basalis*. Com o controle biológico de lagartas e percevejos da soja houve redução do número de aplicações de inseticidas nas lavouras. A unidade de multiplicação foi desativada, e os agricultores não deram continuidade ao controle biológico das pragas.
- Implantação de abastecedores comunitários: os abastecedores comunitários são utilizados para a captação da água destinada ao uso nos pulverizadores agrícolas para a aplicação de defensivos, evitando o abastecimento direto nos rios (SANEPAR, 2002; GUIMARÃES, 2009);
- A reposição da vegetação ciliar nas margens dos rios foi realizada visando recuperar áreas degradadas e reduzir o risco de assoreamento e poluição, esta ação se deu principalmente na década de 1980 e contava com a participação dos agricultores rurais;
- Em 27 de junho de 1983, a bacia hidrográfica rio do Campo foi declarada área de preservação permanente pela Lei municipal nº 380.

“A microbacia hidrográfica do rio do Campo foi a primeira microbacia hidrográfica do Brasil a desenvolver e executar um projeto de manejo de solos e água em sua extensão total” (GUIMARÃES, 2009 p.189). No ano de 1998 a bacia do rio do Campo obteve o primeiro lugar no Prêmio Paraná Ambiental na categoria de Proteção dos Recursos Hídricos, oferecido pela FIEP - Federação das Indústrias do Paraná; IAP e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Houve melhora nos índices de turbidez da água, em 1982 a média anual do índice de turbidez era de 157UNT e passou para 41UNT no ano de 1999. Essa redução do índice de turbidez resultou numa economia de 25% no tratamento da água (SANEPAR, 2002).

Num estudo realizado utilizando imagens de satélite, antigas e atuais Lima (2009), verificou que as áreas de preservação ao longo do rio do Campo tiveram uma recuperação gradual, concentrada principalmente a partir de 1994, porém ainda existem vários pontos de desmatamento na área de vegetação ripária.

Para Guimarães (2009) as ações desenvolvidas e os resultados previstos foram alcançados. A experiência pode avançar com a efetiva participação dos parceiros e decisão política de investir recursos públicos federais, estaduais e municipais em pesquisa e assistência técnica e extensão rural oficial. Quando as entidades públicas se afastam do processo a tendência é um retorno por parte dos agricultores às práticas menos sustentáveis ambientalmente.

A SANEPAR participa de ações voltadas para a conservação na bacia hidrográfica do rio do Campo utilizando principalmente recursos do Programa Fundo Azul - Fundo Rotativo do Meio Ambiente. Esse programa foi criado com o objetivo de financiar projetos de recuperação e preservação de mananciais. Para a utilização dos recursos do Fundo Azul é necessário que os projetos sejam desenvolvidos em parceria com outras instituições (SANEPAR, 2002). Em 2011 foi doado pela SANEPAR, um abastecedor comunitário na comunidade Alto Alegre beneficiando cerca de 20 agricultores.

A readequação das estradas rurais tem sido realizada frequentemente numa parceria entre a Prefeitura Municipal de Campo Mourão, SANEPAR e EMATER. Por vezes o trabalho fica incompleto devido à falta de adequação do cronograma de atividades ao calendário agrícola. Dependendo da fase do cultivo não é possível realizar trabalho nas estradas e margens das propriedades, já que a terra é revolvida para manutenção das bacias de captação.

No ano de 2002 foi elaborado sob a coordenação da SANEPAR o Plano de Gestão e Manejo do Manancial do rio do Campo. Este plano de gestão contempla os Programas de Uso e Manejo do Solo Urbano; de Monitoramento de Recursos Hídricos; o Programa de Educação Ambiental e Programas de Pesquisas e Levantamentos Complementares. O Programa de Gestão contempla ainda os Projetos de Implantação de Uma Área de Proteção Ambiental do Manancial e Formação das Câmaras de Apoio Técnico.

Conforme descrito no Plano de Gestão, a constituição de Câmaras de Apoio Técnico é o instrumento mais indicado, para dar suporte institucional à gestão integrada de um manancial de abastecimento público. As pequenas bacias hidrográficas não comportam o aparato institucional previsto na PERH, como os comitês de bacia, agências de águas, no entanto a legislação estadual dá abertura para a participação das câmaras técnicas existentes em áreas de proteção de mananciais de abastecimento público, no comitê de bacia legalmente instituído na bacia hidrográfica a que este manancial pertence (SANEPAR, 2002).

As Câmaras de Apoio Técnico, no estado do Paraná, tiveram origem a partir da instituição da Área Especial de Interesse Turístico do Marumbi - AEIT do Marumbi, em 1985. O objetivo era criar um mecanismo descentralizado que permitisse a união de esforços

dos distintos órgãos públicos envolvidos e da comunidade a partir de organizações não governamentais no processo de gestão na área da Serra do Mar. O mecanismo se demonstrou eficiente, os problemas eram trazidos para discussões e decisões, que se davam de maneira descentralizada com a participação dos diferentes órgãos envolvidos (SANEPAR, 2002).

Dentre as ações contempladas no plano de gestão algumas foram realizadas. A Câmara de Apoio Técnico da bacia do rio do Campo foi constituída em 2008 por representantes das seguintes instituições: SANEPAR, Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER-PR; Prefeitura Municipal de Campo Mourão; Colégio Agrícola de Campo Mourão; Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR campus de Campo Mourão; Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus de Campo Mourão; Centro Integrado de Ensino Superior - CIES; Instituto Ambiental do Paraná - IAP; Cooperativa Agroindustrial - COAMO; Secretaria da Agricultura e Abastecimento - SEAB; Associação dos Moradores da bacia do rio do Campo - RIOCAM; Associação de Desenvolvimento Comunitário do Distrito de Piquirivaí - ADECOP; Associação dos Eng. Agrônomos - AEACM de Campo Mourão.

Quanto ao monitoramento de recursos hídricos a SANEPAR vem realizando alguns trabalhos, mas não de forma contínua como previsto no Plano de Gestão. No período 2009-2011 foi realizado monitoramento no alto curso do rio do Campo e no rio Águas das Barras seu principal afluente. O monitoramento realizado neste estudo também teve apoio da SANEPAR e foi realizado entre Junho de 2012 e julho de 2013.

Projetos no âmbito local têm sido desenvolvidos na bacia hidrográfica rio do Campo, como o Projeto de Recuperação e Proteção de Nascentes localizadas em propriedades de pequenos produtores rurais (CRISPIM et al., 2012). Outro projeto que pode ser destacado é o de implantação do sistema de tratamento de esgoto por zona de raízes ou *Wetland*. Este sistema implantado na propriedade rural para tratar o esgoto doméstico, com o objetivo é evitar que o esgoto produzido contamine os cursos d'água e o lençol freático (PAROLIN; CRISPIM; KAICK, 2012). Ambos os projetos foram desenvolvidos no período 2009-2011 e foram financiados pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e tiveram apoio do Instituto Ambiental do Paraná – IAP (informação verbal, 2013).

Atualmente está sendo desenvolvido na bacia hidrográfica o projeto Mil Árvores, idealizado por uma empresa privada, a Christófoli Biosegurança, este projeto conta com a parceria do Laboratório de Pesquisa Geoambiental – LAPEGE da Universidade Estadual Campus de Campo Mourão - UNESPAR, Companhia de Paranaense de Energia Elétrica -

COPEL, da Prefeitura Municipal de Campo Mourão e do Instituto Ambiental do Paraná - IAP. O projeto foi lançado em 2011 com objetivo de reflorestar áreas degradadas em bacias hidrográficas da região de Campo Mourão, em 2012 o projeto iniciou uma nova fase além de realizar o plantio de árvores passou a trabalhar com projetos socioambientais (informação verbal)⁸.

A bacia hidrográfica do rio do Campo está inserida na região hidrográfica do Alto Ivaí. A Resolução nº 82 CERH/PR, de 28 de maio aprovou a composição do Comitê da Bacia do Alto Ivaí, do qual fazem parte três dos integrantes da Câmara de Apoio Técnico da bacia hidrográfica do rio do Campo. A mesma resolução aprova a destinação de recursos para a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Ivaí.

⁸ Informação fornecida pelo Professor Dr. Jefferson de Queiroz Crispim, da UNESPAR - Campus de Campo Mourão, em junho de 2013.

4 METODOLOGIA

Os parâmetros para o monitoramento da qualidade da água foram escolhidos levando-se em consideração as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica e por representar aqueles monitorados com maior frequência pelos órgãos competentes na avaliação da qualidade da água. Foram monitorados os seguintes parâmetros: a temperatura, a turbidez, o oxigênio dissolvido (OD), a DBO₅, o potencial hidrogeniônico (pH), o fósforo e os coliformes termotolerantes (*E. coli*), os elementos traço (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Ni, Cr, Mn, Fe, Se) e a vazão. O quadro 1 apresenta os valores padrões estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, para os parâmetros monitorados. Como o rio do Campo ainda não foi enquadrado nas classes de qualidade estabelecidas pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, considera-se rio de classe II.

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade para águas doce de classe II*

PARÂMETRO	PADRÕES
Turbidez	Até 100 UNT
DBO 5 dias a 20°C	Até 5mg/L O ₂
OD, em qualquer amostra	Não inferior a 5mg/L O ₂
Fósforo total	Até 0,1 mg/L P
pH	6,0 a 9,0
**Coliformes termotolerantes	não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.
Arsênio total	0,01 mg/L As
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01mg/L Pb
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Cobre dissolvido	0,009mg/L Cu
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Selênio total	0,01 mg/L Se
Zinco total	0,18 mg/L

*Resolução nº 357/2005 CONAMA, modificada

** A *Escherichia coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes

A pesquisa de campo teve início em março de 2012, com o reconhecimento da área de estudo e escolha dos pontos de amostragem. Os pontos de coleta foram determinados de acordo com o tipo de uso e ocupação do solo e a facilidade de acesso ao local. Foram realizadas sete campanhas entre junho de 2012 e maio de 2013. As coletas foram realizadas sempre de montante para a jusante, iniciando-se as 09:00 horas. As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno, a uma profundidade de 20cm da superfície e preservadas em gelo até a entrega no laboratório. A coleta e a preservação das amostras foram realizadas de acordo com metodologia descrita no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA; CETESB 2011).

Os parâmetros OD e o pH foram analisados em campo utilizando o medidor de oxigênio e pHmetro Digimed®. A DBO₅, o fósforo, e a bactéria *E. coli* foram analisados pelo laboratório da SANEPAR. A DBO₅ foi determinada pelo método respirométrico; o fósforo total foi determinado pelo método colorimétrico e o número da bactéria *E. coli* foi determinado pelo método do Substrato Enzimático. A turbidez, expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) e foi determinada pelo método nefelométrico, utilizando Turbidímetro Hach®-2100P, no Laboratório de Sedimentologia do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente GEMA/UEM. Para determinar a vazão foi medida a velocidade da corrente através do molinete Hidromec®, em verticais a 50% da profundidade e 0.5m de distância entre elas. A vazão foi determinada empregando-se a fórmula:

$$Q = L.P.V$$

Para análise dos elementos-traço presentes na água foram separadas alíquotas de 500ml em triplicata para cada ponto de coleta. Em seguida as amostras foram acidificadas com ácido nítrico PA, e reduzidas ao volume de 25ml, por meio de aquecimento a 105°C. As amostras reduzidas foram transferidas para balões volumétricos de 50 ml e o volume aferido com água deionizada. O branco foi preparado utilizando 500ml de água deionizada acidificada com ácido nítrico PA. A concentração de elementos-traço foi determinada por espectrometria de absorção atômica no laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da UEM.

Os sólidos suspensos totais foram determinados por filtração, conforme metodologia descrita por Orfeo (1995). Os filtros foram identificados e colocados na mufla por um período de 1 hora a temperatura constante de 480°C. A seguir os filtros foram colocados no dessecador por 20 minutos, e pesados em balança analítica de precisão até obter peso constante. Para a filtração foi utilizada bomba a vácuo e filtros de microfibras de vidro (0,2µm - GF 52-C φ 47mm). Os filtros contendo as amostras foram secos em estufa à temperatura de

105°C durante 24h, depois foram colocados no dessecador por 20 minutos, e pesados em balança analítica de precisão até obter peso constante.

Para a análise do uso do solo e análise morfométrica da bacia hidrográfica (foi gerado um banco de dados no *Software ArcGIS®*, tendo como base cartas topográficas digitalizadas e georreferenciadas. Foram utilizadas as cartas topográficas de Campo Mourão-PR, Folha SG.22-V-B-I-1; Carta Topográfica de Peabiru-PR, Folha SF 22-Y-D-IV- Carta Topográfica de Farol - PR, Folha SG.22-V-A-III-2, Ministério do Exército, escala de 1:50.000, projeção Universal Transversa de Mercator, *Datum* horizontal SAD-69,1990 (ITCG, 2010).

A partir das cartas topográficas foram vetorizadas as curvas de nível e elaborada a carta de declividade e do relevo da bacia hidrográfica. A declividade do terreno é o ângulo formado entre o terreno e o plano do horizonte, o valor pode ser expresso em graus ou em porcentagem. O relevo foi classificado em seis classes de declividade e expresso em porcentagem (Tabela 1) conforme metodologia proposta por Humberto Santos et al. (2006).

Tabela 1- Classes de declividade e de relevo

Classes de declividade	Relevo
0-3%	Plano
3-8%	Suave ondulado
8-20%	Ondulado
20-45%	Forte ondulado
45-75%	Montanhoso

Fonte: Humberto Santos et al. (2006).

A partir da vetorização da rede de drenagem, procedeu-se a delimitação da bacia hidrográfica; a forma da bacia; a densidade de rios (D_r); a densidade de drenagem (D_d) e a ordenação hierárquica dos canais. A hierarquia dos canais foi realizada conforme metodologia proposta por Strahler (1959 apud CHRISTOFOLETTI, 1981).

Para caracterizar a forma da bacia, foi empregado o Índice de circularidade dado pela equação:

$$I_c = 12,57 * A / P^2$$

A densidade de rios (D_r) é a relação existente entre o número total de rios e a área da bacia hidrográfica, sua finalidade é comparar a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como o quilômetro quadrado por exemplo. Pela metodologia de ordenação de Strahler (1952) apud Christofolletti (1981), o número de canais corresponde à quantidade de rios de primeira ordem. A densidade de rios é calculada pela fórmula:

$$D_r = N/A$$

A Dd foi inicialmente definida por Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1981), e pode ser calculada pela equação:

$$Dd = L_t/A^*$$

Para a classificação do uso do solo foi utilizada a imagem do satélite *Landsat 5 TM* (2011), cena 223/077. A classificação do uso da terra foi realizada no *Software ArcGIS®*, com uso da ferramenta *Maximumlikelihood Classifi* do *Arctoolbox*.

Os dados de chuvas diária (período 2012-2013) e chuvas mensal (período 1998-2013) foram obtidos junto ao Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, posteriormente foram tratados em planilhas do *Software Microsoft Excel 2007®*. Para a o preenchimento de falhas existentes nesta estação foi utilizada a metodologia de Villela e Mattos (1975 apud BALDO, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PARÂMETROS FÍSICOS DA SUB-BACIA DO RIO DO CAMPO

A área da sub-bacia do rio do Campo é de 161,8km², os dois principais rios que formam o rio do Campo são os rios Águas do Boldão e Águas das Barras, suas nascentes estão situadas no divisor de águas entre as bacias do rio Piquiri e do rio Ivaí. Após percorrer aproximadamente 54km o rio do Campo desemboca no rio Mourão e este no rio Ivaí. A rede de drenagem da sub-bacia (Figura 4) é composta por 51 canais de 1ª ordem, 15 canais de 2ª ordem, 4 canais de 3ª ordem e 1 canal de 4ª ordem o rio do Campo (Tabela 2).

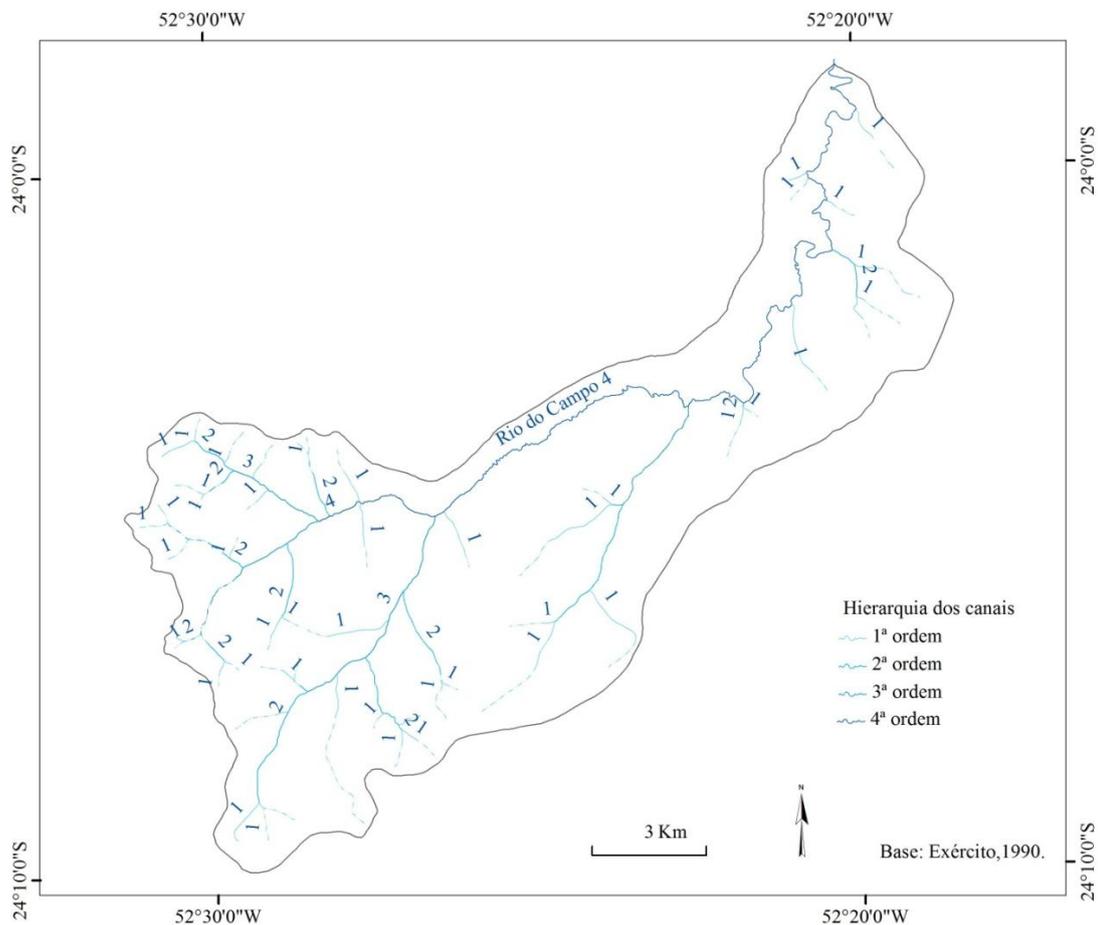


Figura 4 - Hierarquia dos canais de drenagem na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo

Tabela 2 - Comprimento da rede de drenagem

Ordem dos canais	Comprimento dos canais (km)
51 canais de 1ª ordem	59,051
15 canais de 2ª ordem	27,851
4 canais de 3ª ordem	14,769
1 canal de 4ª ordem	31,634
Comprimento total da rede de drenagem	133,305

Quanto a forma da bacia hidrográfica, empregando-se o Índice de circularidade o valor obtido foi de 0.3 que corresponde a forma alongada. A densidade de rios (D_r) é de 0.3, este cálculo é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área, sobre a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1981). Verifica-se que na alta bacia há uma maior densidade de canais curtos de 1ª ordem, característica que favorece a ocorrência de processos erosivos.

A densidade de drenagem (D_d) obtida para a bacia hidrográfica do rio do Campo foi de $0.8\text{km}/\text{km}^2$, o que indica média densidade de drenagem (Tabela 3) de acordo com as classes de interpretação para valores de densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1969 apud SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003).

Tabela 3 - Classes de interpretação para valores de densidade de drenagem

Classes de valores ($\text{Km}(\text{Km}^2)^{-1}$)	Interpretação
Menor que 7,5	Baixa densidade de drenagem
Entre 7,5 e 10,0	Média densidade de drenagem
Maior que 10,0	Alta densidade de drenagem

Fonte: Christofolletti (1969, apud SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003).

O relevo da bacia hidrográfica do rio do Campo foi classificado em 5 classes de acordo com a declividade. Verifica-se que 36% da área da bacia hidrográfica corresponde ao relevo plano (0-3% de declividade), 38% da área corresponde ao relevo suave ondulado (3-8% de declividade), 24% da área ao relevo ondulado (8-20% de declividade) e aproximadamente 2% da área corresponde ao relevo forte ondulado (20-45% de declividade).

Segundo Humberto Santos et al. (2006), as distinções das classes de declividade são empregadas para subsidiar informação sobre o emprego de equipamentos agrícolas e facilitar as inferências sobre suscetibilidade à erosão. Conforme pode ser observado na figura 5, as classes de relevo favorecem o cultivo agrícola e uso de maquinários. Os terrenos com maior declividade predominam nas áreas próximas aos cursos d'água o que favorece a remoção e transporte de sedimentos para os cursos d'água em dias chuvosos.

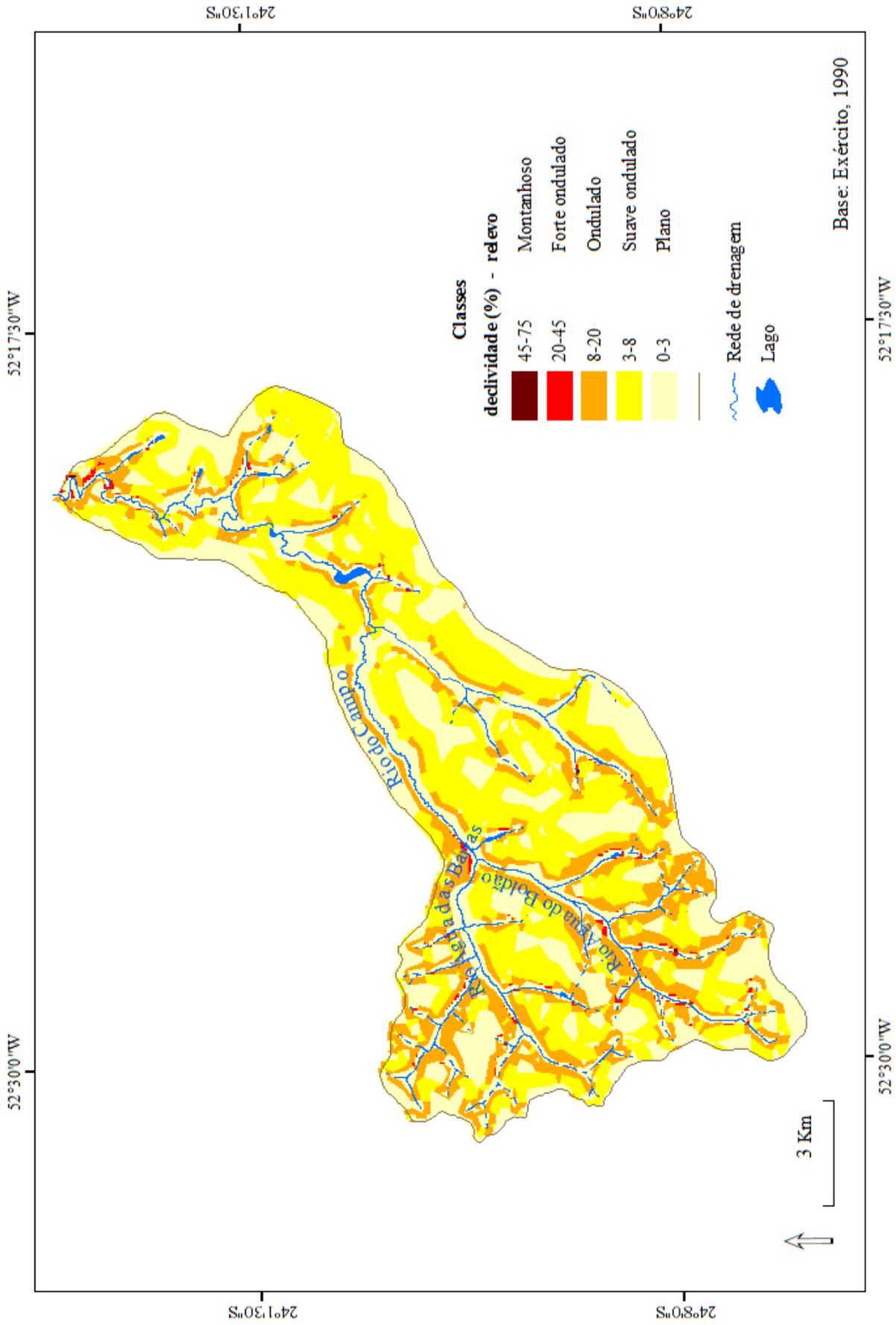


Figura 5- Classes de declividade na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo

Os solos encontrados na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo, conforme o mapa de classificação dos solos da EMBRAPA (2006), são os Latossolos Vermelhos, os Argissolos Vermelhos e os Nitossolos Vermelhos. Os Latossolos Vermelhos ocupam 84% da área de estudo, enquanto os Argissolos Vermelhos ocupam 13,6% da área. Os Nitossolos Vermelhos ocupam 2,3% da área localizados próxima a confluência com rio km123 (Figura 6).

Os Argissolos são originados da Formação Caiuá, conforme FNMA; GEMA (1998) esse tipo de solo apresentam restrições quanto ao uso intensivo. A presença desse tipo de solo em locais de declives mais acentuados, como sendo áreas de fragilidade a processos erosivos, o manejo incorreto desse tipo de solo pode acarretar o surgimento de vários tipos de feições erosivas como sulcos, ravinas e voçorocas (GASPARETTO; SOUZA, 2003).

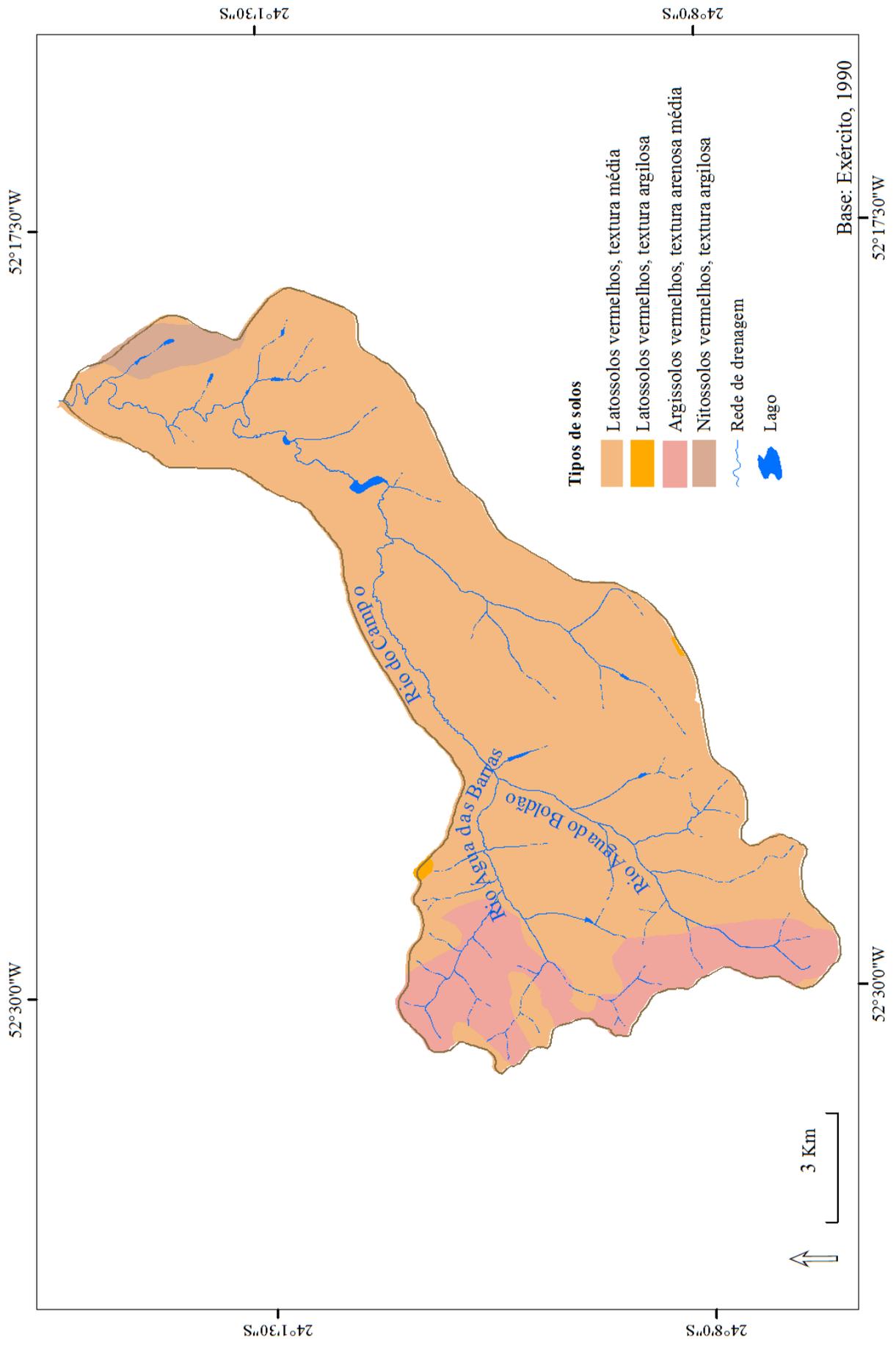


Figura 6- Tipos de solos na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo
Adaptação: ITCG/EMPRA (2006)

5.2 USO E MANEJO DO SOLO

Na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo 74% da área é ocupada pela agricultura, os principais cultivos são soja, milho e trigo. A vegetação ocupa aproximadamente 18% da área e as pastagens ocupam menos de 0,5% da área (Figura 7).

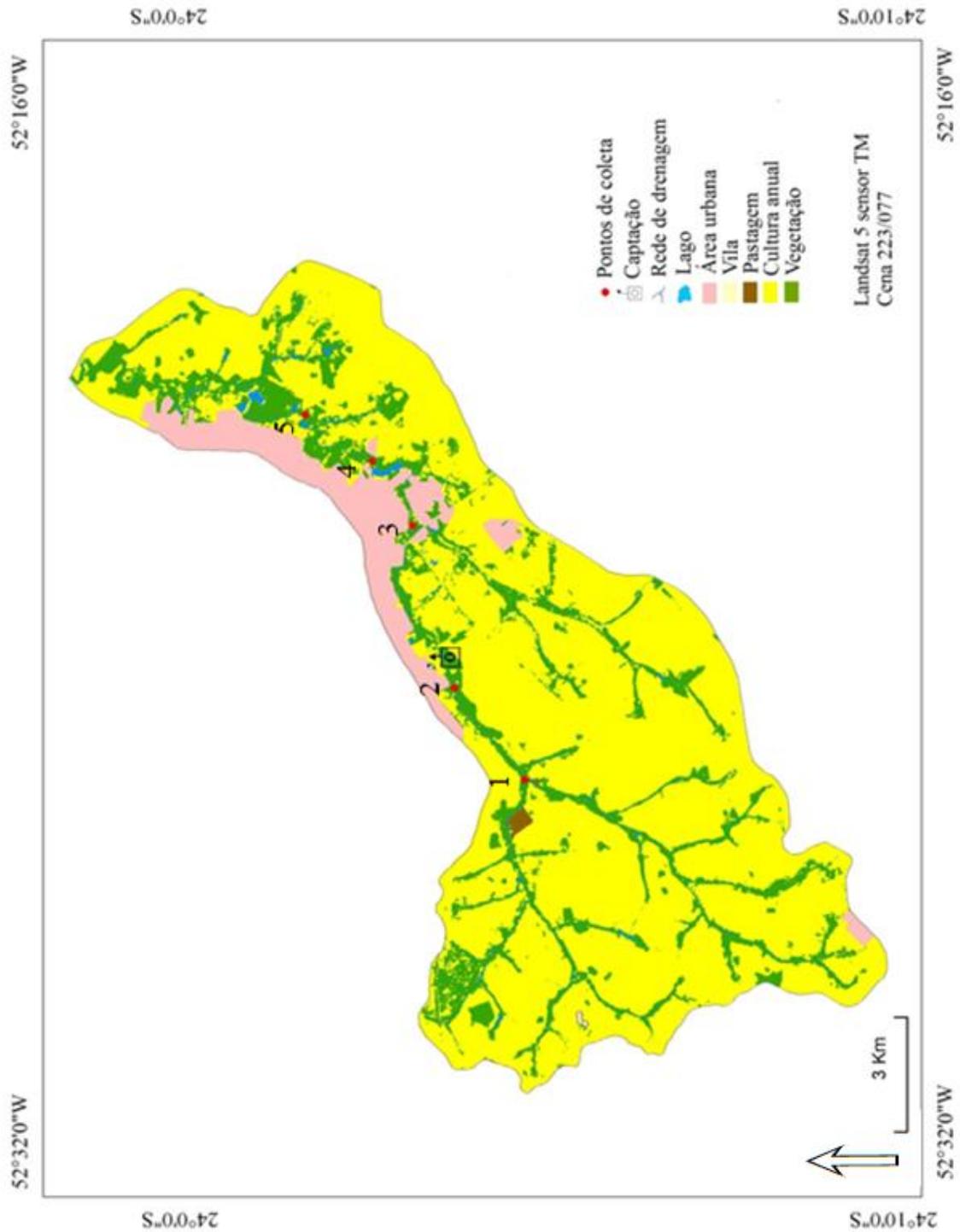


Figura 7: Uso do solo na sub-bacia do rio do Campo
 Fonte: DGI/INPE (2011).
 Organização: a autora.

Quanto ao manejo do solo foi verificado que o Sistema de Plantio Direto, prática adotada no final da década de 1980, é mantido pela maioria dos agricultores na sub-bacia hidrográfica (Figura 8). Os terraços base larga atualmente não estão sendo mantido em todas as propriedades na sub-bacia hidrográfica rio do Campo. Foram identificados vários pontos de erosão laminar, erosão em sulcos e ravinas. Nas figuras 9 e 10 respectivamente pode ser observado erosão laminar e erosão em sulco, ambas situadas em solo de textura arenosa média na alta bacia.



Figura 8- Cultivo da soja sob Sistema de Plantio Direto evidenciando a palhada que protege o solo (maio de 2013)



Figura 9- Erosão laminar em solo de textura arenosa média na alta bacia do rio do Campo (maio de 2013)



Figura 10 - Erosão em sulco em solo de textura arenosa média na alta bacia (dezembro de 2013)

Na figura 11 pode ser observado erosão em sulco às margens da estrada vicinal, este ponto está localizado numa área com declividade entre 8 e 20%, sobre Latossolos de textura

média. Foram realizados trabalhos de manutenção da estrada vicinal e das bacias de contenção (Figura 12), no entanto essa área sofreu reincidência de processo erosivo, devido à manutenção inadequada a montante da vertente. Isso demonstra que os trabalhos de conservação do solo devem ser realizados de forma integrada, a falta de manejo adequado na alta vertente resulta em processos erosivos nos terrenos situados na baixa vertente. O solo removido é carregado para as partes mais baixas do terreno assoreando as bacias de contenção podendo chegar até os rios causando alta turbidez e comprometendo a qualidade da água.



Figura 11- Processo de erosão em sulcos e deposição nas margens da estrada (julho de 2013) Figura 12 - A figura mostra readequação das margens da estrada vicinal (setembro, 2013)

As formas de manejo apresentadas não estão restritas a área de estudo desta pesquisa, segundo Costa et al. (2006) o estado do Paraná retrocedeu nas ações de preservação dos seus recursos naturais. Muitos agricultores têm negligenciado os princípios básicos de um bom Sistema de Plantio Direto, retirando os terraços e executando semeadura e tratos culturais pendente abaixo. A retirada dos terraços tem causado a degradação rápida de muitas estradas rurais e o retorno de elevados níveis de erosão e custos de manutenção. Conforme Caviglioni et al. (2010), devido a adoção do Sistema de Plantio Direto muitos agricultores removeram um terraço a cada dois ou todos os terraços.

Uma avaliação atualizada de espaçamento entre terraços foi realizada pelos pesquisadores do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. O estudo foi realizado numa bacia hidrográfica situada no Terceiro Planalto Paranaense, utilizando como critério as perdas de solo simuladas pela Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE) associada ao geoprocessamento. O estudo concluiu que a remoção parcial ou total de terraços compromete a conservação do solo e o controle da erosão e que os terraços com espaçamentos recomendados pelo IAPAR foram eficientes e devem ser mantidos em sistema de plantio direto, por ser uma prática eficiente no controle da erosão (CAVIGLIONI et al., 2010).

O uso de maquinários e o cultivo no sentido pendente da vertente é outra prática comum, sendo observada em vários pontos na sub-bacia hidrográfica, independente do tipo de solo e declividade, ocorrendo principalmente às margens das estradas vicinais. Normalmente isso ocorre por que é mais fácil manobrar as máquinas, uma vez que economiza tempo, porém é uma prática contrária ao sistema conservacionista. O caminho deixado pelos maquinários facilitam o escoamento concentrado da água e conseqüentemente o desenvolvimento de feições erosivas (Figura 13).

Outro problema verificado e que pode causar impacto ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo é o lançamento de resíduos sólidos às margens das estradas, (Figura 14). Dentre os resíduos que podem ser encontrados estão rejeitos de construção civil, plásticos, sofás, eletrodomésticos entre outros.



Figura 13- Processo erosivo em solo trabalhado no sentido pendente a vertente (setembro 2013)



Figura 14- Resíduos lançados às margens da estrada vicinal (setembro de 2013)

Na área urbana do município que corresponde a 7% da sub-bacia, destacam-se como possíveis fontes de impactos: as águas da drenagem urbana; resíduos sólidos e esgotos domésticos e industriais. Conforme pode ser observado na figura 15, a cidade está situada sobre um divisor de águas, ocupando terrenos da sub-bacia do rio do Campo e da bacia do rio Km119, sendo assim as águas da drenagem urbana são destinadas a estes dois rios. Como já citado, a área urbana contribui para a alteração da qualidade da água em grande parte pela poluição de fontes difusas, o escoamento superficial sobre áreas impermeáveis carrega o material solto ou solúvel até os corpos d'água, conforme Barros; Porto; Tucci (1995) por meio da rede de drenagem ocorre a veiculação de cargas poluidoras nos corpos hídricos.

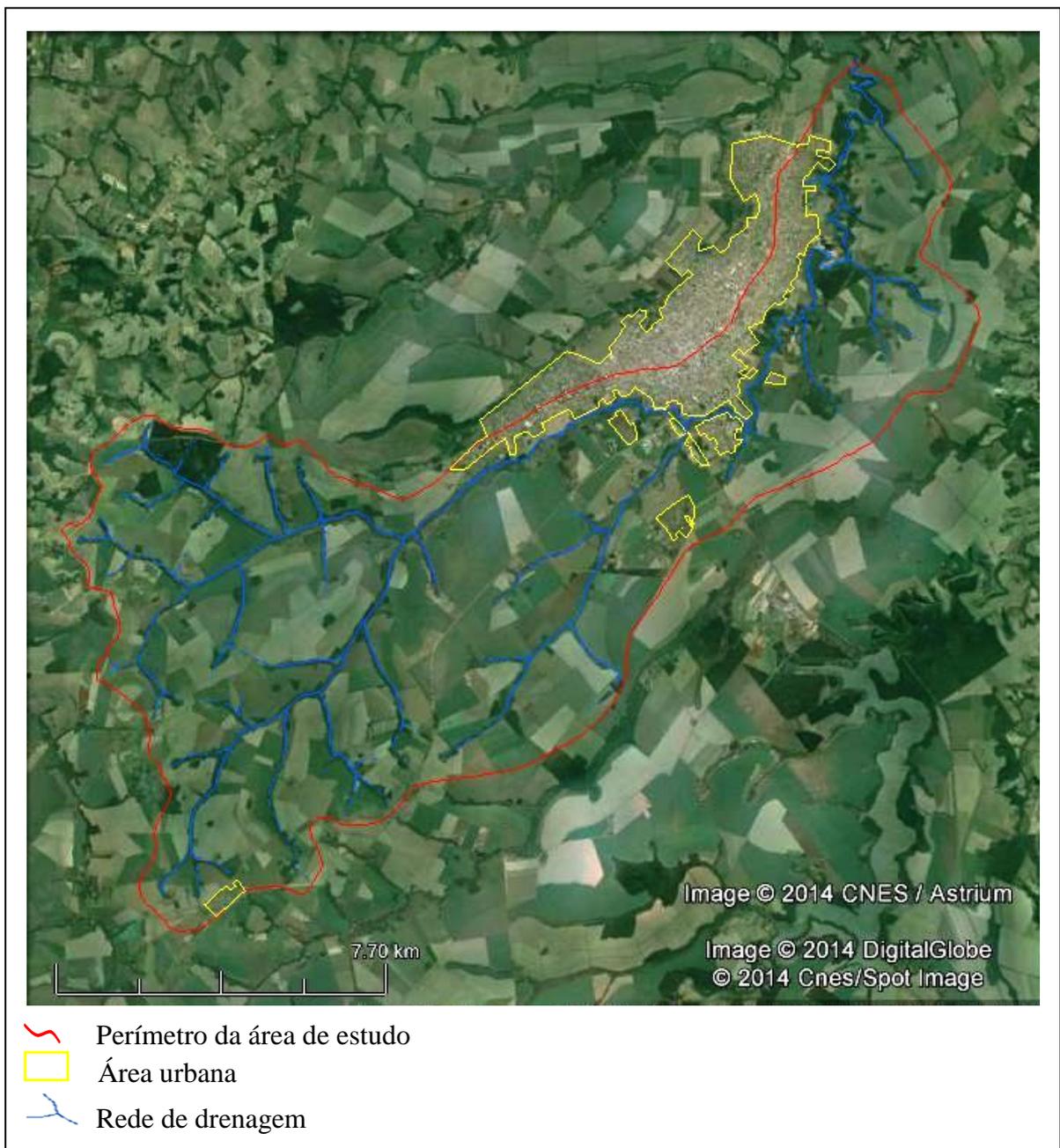


Figura 15: Área urbana do município de Campo Mourão (2014)
Fonte: Google Earth (2014).

Quanto ao esgoto sanitário, a estimativa é de que 80% das residências na área urbana do município de Campo Mourão sejam atendidas pela rede coletora de esgoto. Conforme informações disponibilizadas pela SANEPAR (2013), todo o esgoto coletado é tratado antes de retornar aos rios. No entanto, há situações em que o proprietário não faz a ligação do esgoto doméstico à rede coletora ou faz a ligação de forma incorreta ligando o sistema de esgoto doméstico às galerias pluviais, fato este que pode contribuir para poluição dos mananciais. Atualmente a SANEPAR está vistoriando as residências para verificar esta

situação, quando é identificadas ligações do esgoto feitas de maneira incorreta o responsável é notificado e tem um prazo para regularizar a situação. Caso isso não ocorra no prazo determinado, o processo deverá ser encaminhado aos órgãos competentes para as devidas providências (informação verbal⁹).

No segmento que o rio do Campo percorre o perímetro urbano de Campo Mourão foram encontrados resíduos sólidos tanto na área de preservação permanente como no leito do rio. Foram observados resíduos como plásticos, garrafas *pet* entre outros, parte desses resíduos são oriundos das vias públicas e calçadas, pois quando estes encontram-se dispostos de maneira inadequada são transportados pelas águas do escoamento superficial e/ou pelas galerias pluviais até o rio. Foram observados também amontoados de resíduos ficando evidente o lançamento direto na área de preservação permanente (Figura 16).

No curso médio do rio do Campo, porém ainda no perímetro urbano do município de Campo Mourão, está localizado o Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, este Parque tem sido objeto de discussão em virtude de assoreamento e da necessidade de dragagem, o que gera custo aos cofres públicos. Na figura 17, é possível observar os sedimentos retidos pelo lago. No período de realização deste estudo o lago foi esvaziado para dragagem, alterando a dinâmica de escoamento do rio, fato que pode ter influenciado na quantidade de sedimentos verificado nas amostras coletadas à jusante do Parque.



Figura 16- Resíduos na área de preservação permanente (abril de 2012)



Figura 17 - Assoreamento no Parque do Lago Joaquim Teodoro de Oliveira (junho de 2013)

⁹ Informação verbal fornecida pelo Diretor Regional Ambiental da SANEPAR, Donizeti Aparecido da Silva em novembro de 2013.

5.3 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Os pontos de coleta 1 e 2 estão localizados na área rural a montante da captação de água da SANEPAR para abastecimento público, os pontos 3, 4 e 5, estão localizados no perímetro urbano do município de Campo Mourão (Figura 18).

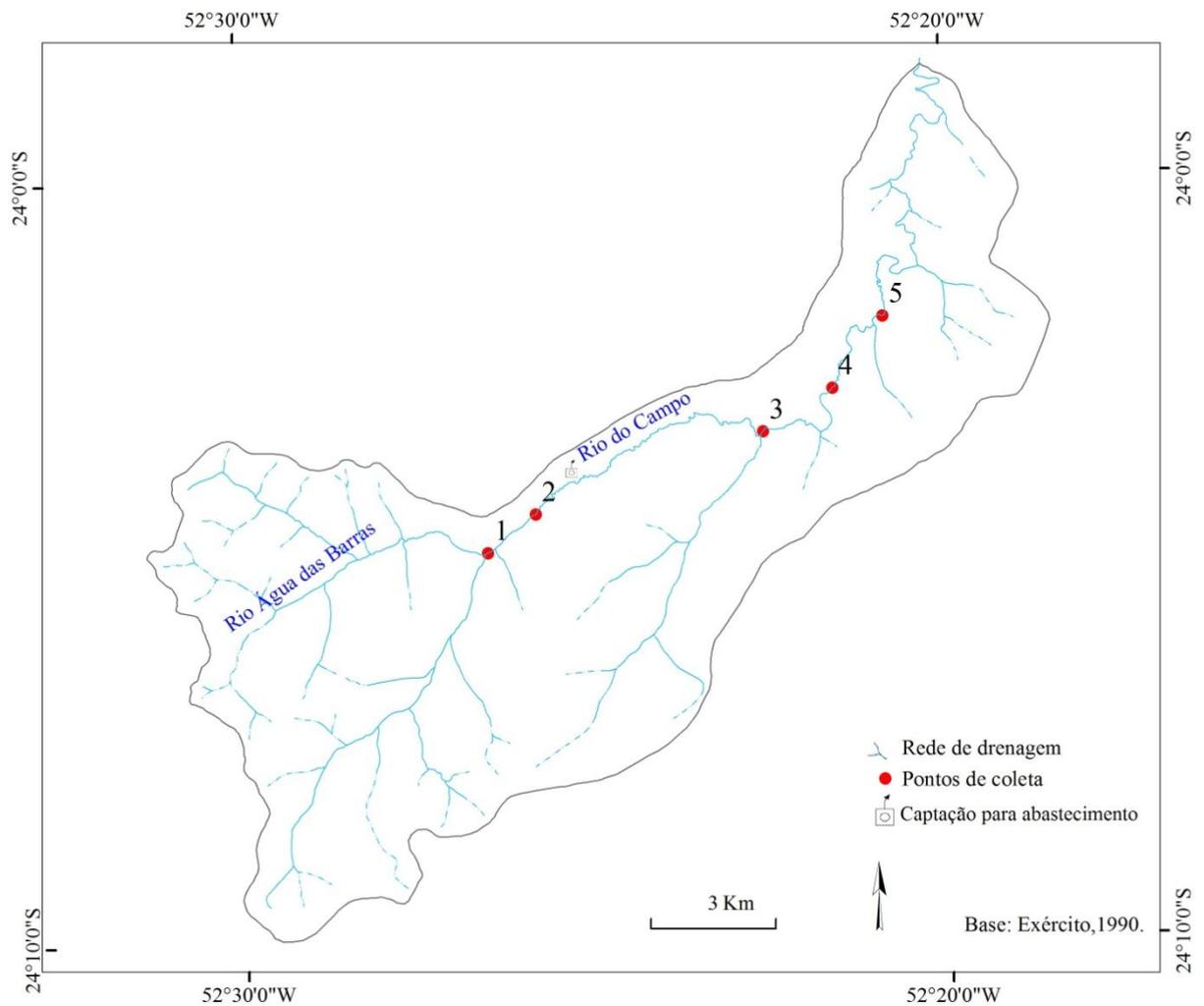


Figura 18 – Localização dos pontos de coleta de água na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo

Quadro 2 - Descrição dos pontos de coleta

<p>Ponto 1: o canal mede 4 metros de largura, o rio corre sobre rochas vulcânicas básicas, formando corredeiras. A vegetação riparia está preservada promovendo sombreamento do rio, as vertentes são ocupadas por cultivos anuais.</p>	
<p>Ponto 2: o canal mede 4m de largura, o leito apresenta pouco desnível e presença de sedimentos de fundo. Na margem direita a vegetação ripária está preservada, vertentes os solos são destinados à agricultura, enquanto na margem esquerda desenvolve-se uma área de várzea, onde a vegetação é composta por gramíneas.</p>	
<p>Ponto 3: a largura do canal é de 5,20m, está situado na área urbana, a vegetação ripária encontra-se preservada em ambas as margens. A vertente direita é destinada ao cultivo anual, seguida de área urbanizada, na vertente esquerda a área urbanizada está a aproximadamente 200m de distância. À montante deste ponto, o rio do Campo recebe o rio Água dos Papagaios, o qual é receptor de efluentes industriais.</p>	
<p>Ponto 4: este ponto está a aproximadamente 200m à jusante do Parque do Joaquim Teodoro de Oliveira. Nesta seção a largura do canal é de 6m, o rio corre sobre rochas vulcânicas básicas, ambas as vertentes estão em fase de ocupação por novos condomínios residenciais.</p>	
<p>Ponto 5: a largura do canal é de 7m, na margem direita do rio a vegetação riparia é preservada e na vertente as terras são destinadas ao cultivo anual. Na margem esquerda a área de preservação permanente é intercalada por gramíneas, a baixa vertente é ocupada por uma pequena área de pastagem e a média e alta vertente é ocupada pela área urbanizada.</p>	

5.4 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MONITORADOS

Os resultados obtidos em cada campanha são apresentados por parâmetro e interpretados com base nos padrões estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA. O quadro 3 apresenta as informações a respeito das condições do tempo nas datas em que foram realizadas as coletas, pois efeitos de lixiviação de escoamento superficial provocados por chuvas influenciam na variação da concentração de determinados parâmetros (ANA; CETESB, 2011).

Quadro 3- Condições do tempo durante as coletas

Data	Condições do tempo
04/06/2012	Chuva durante a coleta, a altura precipitada no intervalo de uma hora foi de 0,4mm/h no ponto 3; de 5.6mm/h no ponto 4 e de 9,4mm/h no ponto 5.
13/08/2012	Tempo bom.
01/10/2012	Tempo bom.
03/12/2012	Tempo bom, no dia anterior a coleta foi registrado precipitação de 9,8mm/24h.
04/03/2013	Tempo bom.
13/05/2013	Na sexta campanha, foi iniciada coleta com tempo bom, ocorrendo chuva durante a coleta, a altura precipitada no intervalo de uma hora foi de 0,2mm/h para o ponto 4, e 4,2mm/h no ponto 5.
16/07/2013	A sétima campanha foi realizada com tempo bom, nos primeiros 14 dias de julho havia chovido 70mm. Nessa campanha foi registrada a maior vazão média (4,92m ³ /s).

A temperatura da água apresentou variações sazonais e diárias, sendo que as maiores temperaturas foram registradas nas coletas realizadas nos meses de dezembro e março (Figura 19a). A concentração de OD permaneceu dentro dos valores permitidos pela resolução do Resolução nº357/2005 do CONAMA, em todas as análises realizadas (Figura 19b). Isso deve estar relacionado às características do canal que pelo desnível proporciona velocidade ao escoamento e permite aeração da massa d'água.

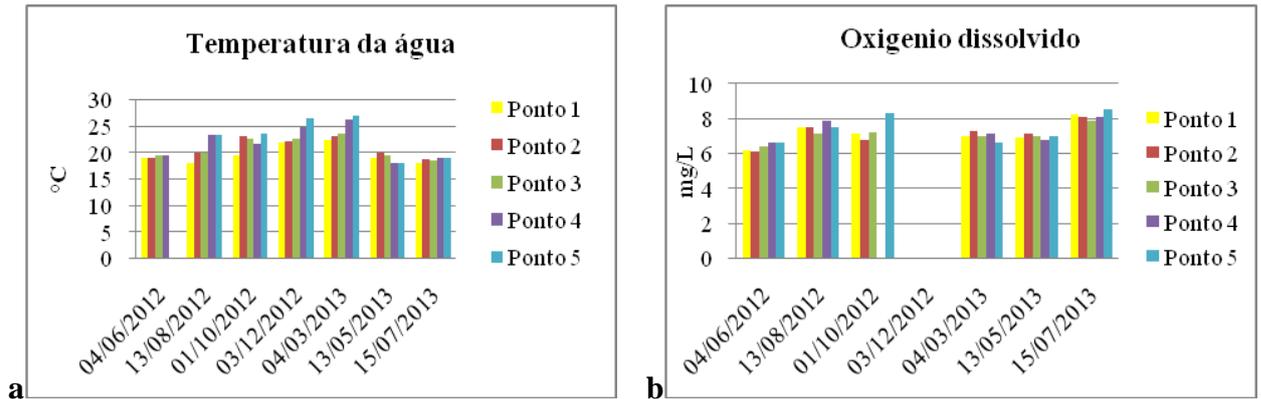


Figura 19 - Temperatura da água (a); e oxigênio dissolvido (b)

O pH na primeira campanha apresentou-se levemente ácido (<7) em todos os pontos amostrados. Na segunda campanha o pH manteve-se dentro dos valores estabelecidos pela Resolução nº357/2005 do CONAMA. Na terceira campanha o pH apresentou valores abaixo de 7 em todas as amostras. Na quarta campanha foi registrado pH abaixo de 7 nos pontos 4 e 5. Na quinta e sexta campanha foi registrado pH básico (>7) em todas as amostras. Na sétima campanha foi registrado pH abaixo de 7 em todas as mostras. Os valores mais altos foram registrados nas campanhas de verão e outono, sendo que o maior valor 9,8 (pH alcalino) foi constatado no ponto 1, na campanha de verão (04/03/2013).

A predominância de pH levemente ácido nas amostras analisadas, deve ser influenciada principalmente pela presença dos solos ácidos na sub-bacia. Na quinta e sexta campanha a vazão aumentou e a água apresentou pH básico em todos os pontos, o que descarta a possibilidade de fontes pontuais (como esgotos por exemplo). Conforme Libâneo (2008) o pH entre 4,5 e 8,2 a acidez está associada a presença de CO_2 liberado no processo de decomposição da matéria orgânica, que ao reagir com a água produz o ácido carbônico que ao dissociar-se libera íons H^+ reduzindo o pH. Infere-se que o pH da água na quinta e sexta coleta pode ter se elevado devido a diminuição da concentração de íons presentes na água uma vez que a vazão aumentou. Outro fato observado que pode ter contribuído para elevação do pH, é a prática de calagem no solo agrícola, uma vez que choveu nos dias anteriores a coleta.

Na sétima campanha a vazão aumentou ainda mais, porém a água apresentou pH ácido (Figura 20a). Por esta razão infere-se que a acidez na sétima campanha pode ter origem na quantidade de matéria orgânica presente na água veiculada pelo escoamento resultante das chuvas ocorridas nos dias anteriores a esta coleta. Neste caso a decomposição da matéria orgânica produziria CO_2 e conseqüentemente reduziria o pH (Figura 20b).

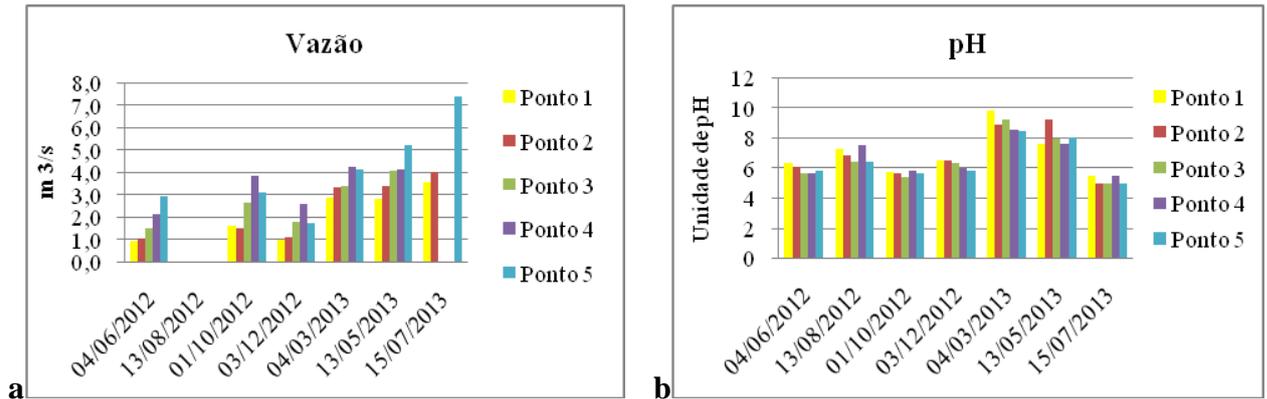


Figura 20- Variação da vazão (a); e pH (b)

A bactéria *E. coli* (Figura 21), na primeira campanha apresentou número acima do valor máximo permitido - VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA em todos os pontos de coleta, no ponto 3 houve aumento considerável no número de *E. coli* em relação aos pontos 1 e 2, sendo que o ponto 5 apresentou o maior número de *E. coli* (60 mil/100ml). O valor elevado de *E. coli* nesse ponto está associado à poluição difusa oriunda do escoamento superficial provocado pela chuva durante a coleta.

Na segunda campanha a bactéria *E. coli* apresentou número acima do VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA nos pontos 1, 3, 4 e 5. Na terceira campanha apenas a amostra coletada no ponto 3 apresentou número de *E. coli* acima do VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

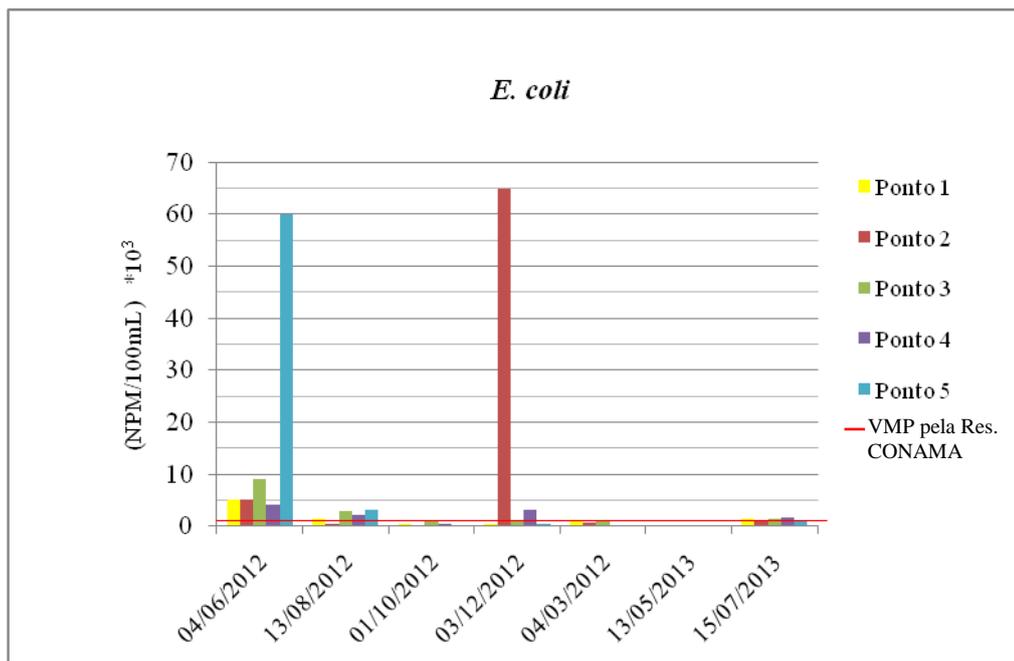


Figura 21- Variação da bactéria *E. coli*

Na quarta campanha as amostras analisadas dos pontos 2, 3 e 4 apresentaram número de *E. coli* acima do VMP, o número elevado de *E. coli* (65mil/ml) encontrado no ponto 2 não foi possível atribuir a uma causa específica, pois coleta foi realizada com tempo bom e não foram identificados fontes de contaminação próxima a esse ponto de coleta. Nas amostras analisadas na quinta campanha a *E. coli* apresentou número acima do VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA apenas no ponto 3. Na sexta campanha não foi possível realizar a análise da bactéria *E. coli*; na sétima campanha a *E. coli* apresentou número acima do VMP nos pontos 3, 4 e 5. Verifica-se que a bactéria *E. coli* apresentou número acima do VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA em todas as amostras coletadas no ponto 3. Este ponto está sujeito a receber efluentes da área urbana, além de estar localizado à jusante da confluência do rio do Campo com o rio Água dos Papagaios, o qual recebe efluentes de lagoas de tratamento de dois frigoríficos e de uma malharia.

Para os sólidos suspensos totais (Figura 22a) não há valores de referência, no entanto este parâmetro está relacionado a diversos outros como a turbidez e a concentração de elementos químicos que o compõe. Na primeira e na sexta campanha as amostras analisadas apresentaram aumento na concentração de sólidos suspensos no ponto 5 em relação aos demais pontos analisados, as duas coletas foram realizadas em dia chuvoso.

Na sexta e sétima campanha a quantidade de sólidos suspensos aumentou nos pontos 4 e 5, se comparadas às amostras da terceira quarta e quinta campanha, isso pode ter ocorrido devido a influência do lago do Parque Joaquim Teodoro de Oliveira à montante do ponto 4. Os lagos são caracterizados por reter sedimentos devido a diminuição da velocidade da água dos rios quando estes desembocam neste ambiente. Na sexta campanha o lago estava vazio para realizar dragagem e no momento da coleta não foi observado nenhum trabalho no local, com o lago vazio o rio flui livremente o que pode ter influenciado nos resultados.

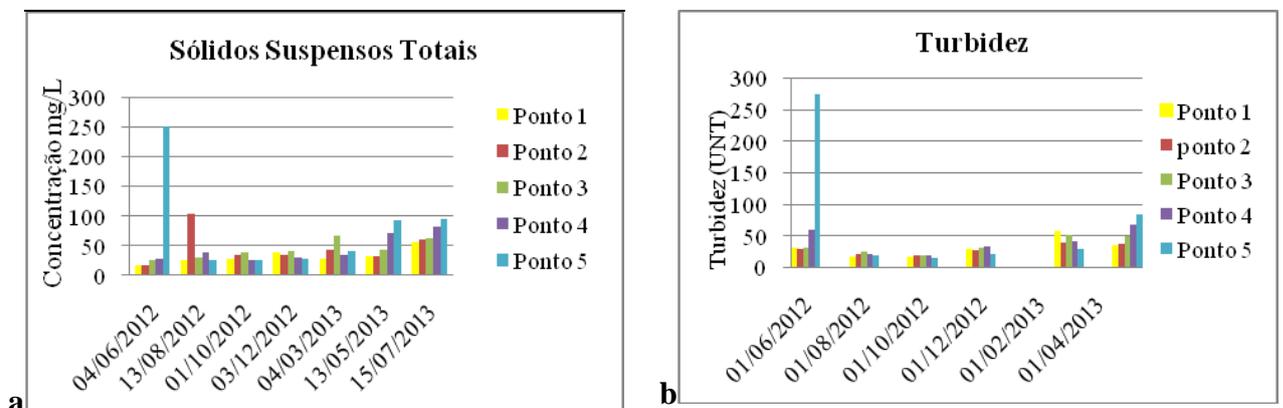


Figura 22 – Sólidos suspensos totais (a); e Turbidez (b)

A turbidez apresentou o maior valor na primeira campanha no ponto 5 (274UNT) ultrapassando o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA (Figura 22b)., neste ponto a coleta foi realizada com chuva sendo observado escoamento superficial, evidenciando a relação deste com o aumento de sólidos suspensos e consequentemente da turbidez da água (Figura 23 a,b). Na sexta campanha a turbidez apresentou o segundo valor mais alto, mas não ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA, a coleta foi realizada com tempo chuvoso porem a altura precipitada foi baixa não sendo observado escoamento superficial no local da coleta (Figura 24 a, b). Nas demais campanhas os valores registrados ficaram dentro do VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA.

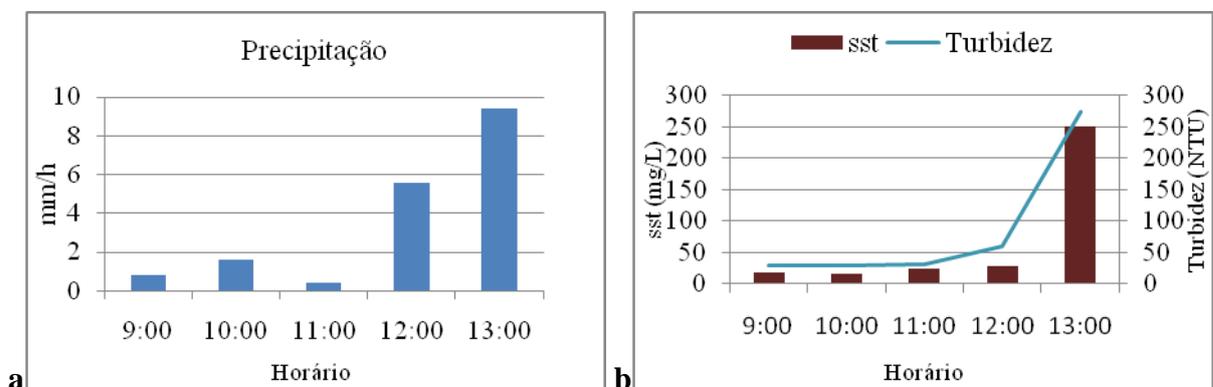


Figura 23 - Precipitação (a); e concentração de sst e a turbidez (b), (04 de julho de 2012)

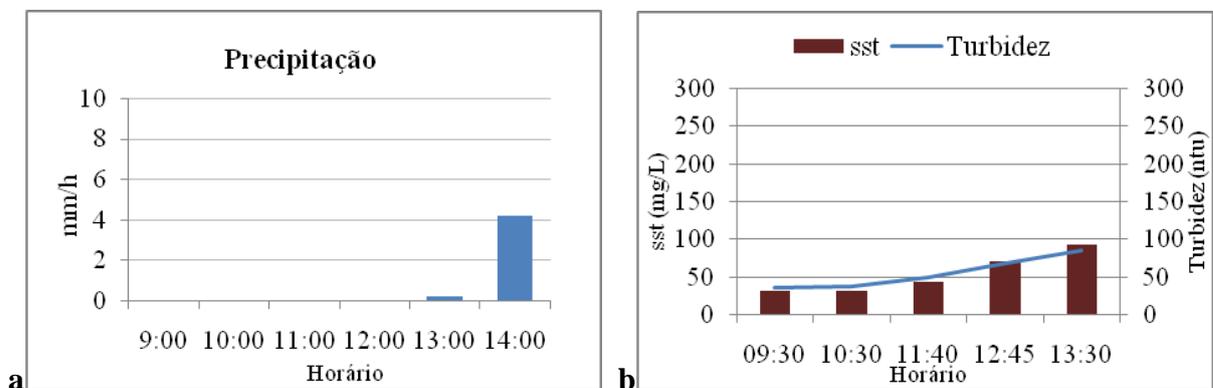


Figura 24 - Precipitação (a); e concentração de sst e a turbidez (b), (13 de maio de 2013)

A DBO₅ alcançou o VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA na primeira campanha no ponto 5, o aumento da DBO₅ neste ponto pode estar relacionado ao aumento de matéria orgânica transportada pelo escoamento superficial decorrente da chuva durante a coleta. Nas demais coletas a DBO₅ permaneceu dentro do VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA (Figura 25a). O teor de fósforo ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA no ponto 5 na primeira, na sexta e na sétima campanha (Figura 25b), segundo Libâneo (2008) o fósforo pode originar-se da dissolução de compostos do solo e de matéria

orgânica. Conforme Silveira (2002), a disponibilidade de fósforo no solo aumenta em função da matéria orgânica decomposta. Os fertilizantes utilizados na agricultura são compostos por fósforo o que pode ter contribuído também para aumento da concentração. Na figura 25b verifica-se que os maiores concentrações de fósforo ocorreram na primeira e na sexta campanha quando foi registrado chuva durante a coleta e, na sétima campanha que foi realizada após um período chuvoso, o que acarreta a entrada de material difuso das áreas drenadas. Nesta campanha o rio encontrava-se em margens plenas, sendo registrada a maior vazão média.

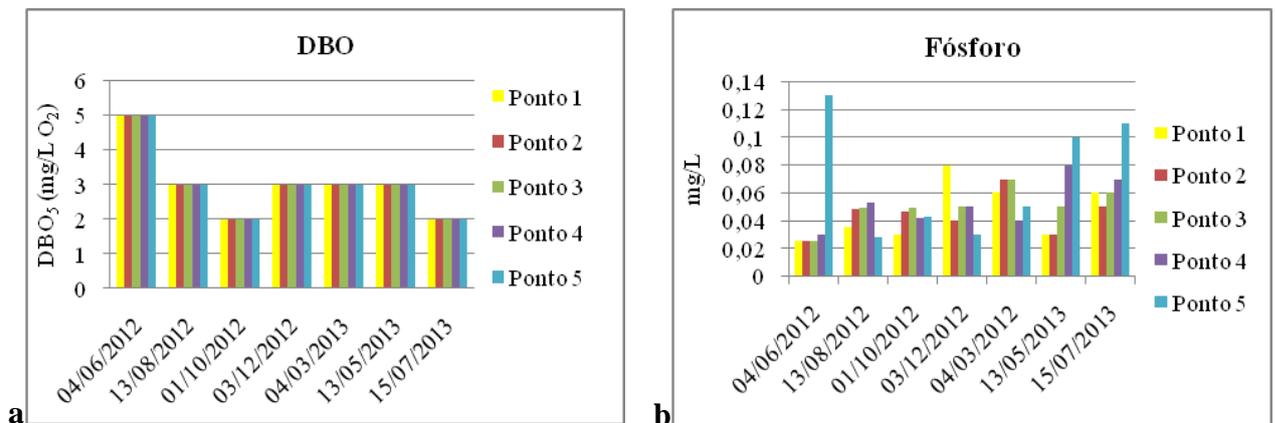


Figura 25- Variação da DBO₅ (a); e fósforo (b)

O elemento ferro ultrapassou o VMP pela Resolução n°357/2005 do CONAMA, em todos os pontos e em todas as campanhas, os valores mais altos foram registrados no ponto 5 em dia chuvoso (Figura 26a). Situação semelhante à encontrada por Dalla Villa (2010) em estudo da qualidade da água realizado num córrego no noroeste do Paraná, no qual verificou teor de ferro acima do VMP pela Resolução n° 357/2005 do CONAMA em todas as amostras realizadas, sendo que o teor de ferro aumentou nas estações chuvosas. No entanto o ferro é um elemento que compõe as rochas vulcânicas básicas e os solos predominantes na sub-bacia hidrográfica do rio do Campo.

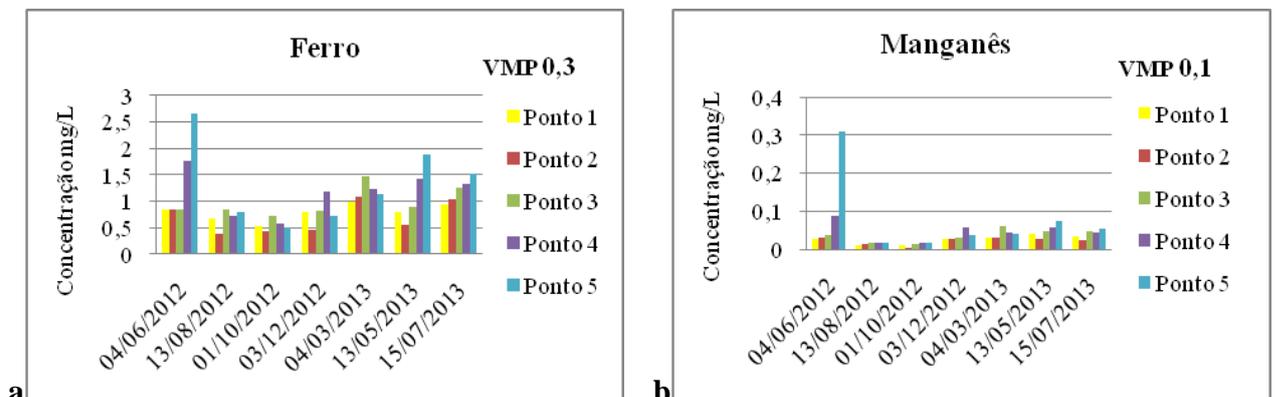


Figura 26 – Variação da concentração de ferro(a); e manganês (b)

O manganês ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 CONAMA somente na primeira campanha no ponto 5 (Figura 26b).

A associação entre precipitação, turbidez e o aumento da concentração de ferro e manganês foi verificada por Alves et al. (2008) em estudo realizado no rio Pirapó. Ressalta-se que para os parâmetros ferro e manganês, a portaria 2914 do Ministério da Saúde permite valores superiores ao VMP na água potável, desde que: “esses elementos estejam complexados com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde; os VMP dos demais parâmetros do padrão de potabilidade não sejam violados; as concentrações de ferro e manganês não ultrapassem 2,4 e 0,4 mg/L, respectivamente”.

A concentração do chumbo na primeira campanha alcançou o VMP pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA no ponto 5 em dia chuvoso (Figura 27). Na segunda, na terceira, na quarta e na quinta campanha o chumbo apresentou concentração dentro do VMP pela Resolução nº 357/2005; nas demais campanhas o chumbo não foi detectado. Esse elemento pode ter origem em fonte natural como a lixiviação dos solos ou antrópica como inseticidas e usos industriais, a maior concentração na primeira coleta está relacionada ao escoamento superficial verificado durante a coleta.

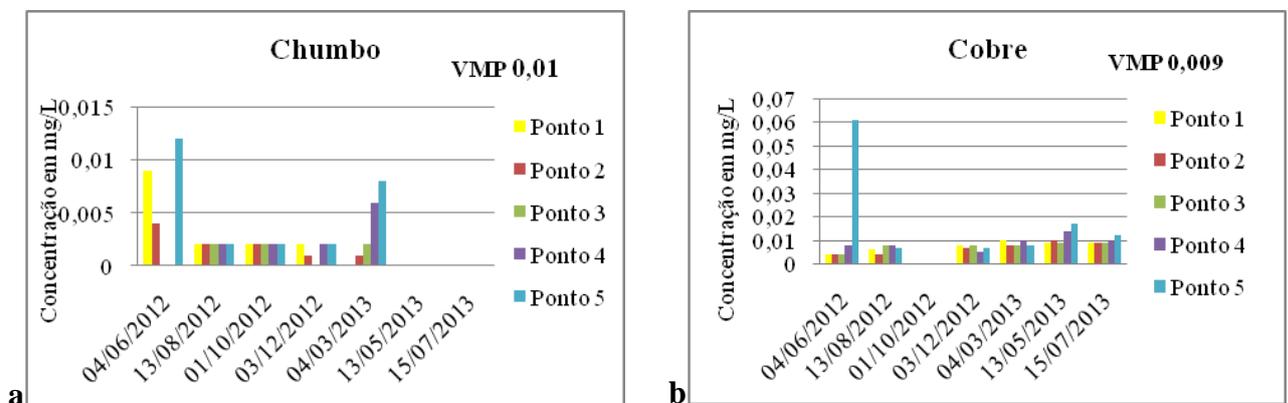


Figura 27- Variação da concentração de chumbo (a); e de cobre (b)

A concentração do cobre (Figura 27) ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA na primeira campanha no ponto 5 em dia chuvoso. Na segunda campanha a concentração do cobre ficou dentro do VMP pela da Resolução nº357/2005. Na terceira campanha o cobre não foi detectado. Na quarta campanha o cobre apresentou concentração dentro do VMP pela Resolução nº357/2005, na quinta campanha o cobre ultrapassou o VMP da Resolução nº 357/2005 do CONAMA nos pontos 1 e 4. Na sexta campanha o cobre ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA nos pontos 2,4 e 5. Na sétima campanha o cobre ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA nos pontos 4

e 5. O cobre é encontrado nas rochas e solos, mas pode ocorrer a contaminação da água através do uso agrícola e do escoamento superficial.

A concentração do zinco ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 CONAMA somente na terceira coleta no ponto 2 (Figura 28). O zinco é um micronutriente encontrado em rochas e solos (CETESB, 2010). Conforme Silveira (2002) a solubilidade do zinco é dependente do pH, estudando os Latossolos Vermelhos na região de Campo Mourão, o autor verificou baixo pH natural, indicativo de grande potencial para lixiviação e, correlação positiva entre os teores de zinco e de matéria orgânica no solos. No ponto dois onde foi encontrada a maior concentração do zinco, o rio está à margem de uma área de várzea, o que pode ter influenciado a concentração desse elemento devido a quantidade de matéria orgânica nesse ambiente, porém, o zinco não apresentou concentração elevada nos demais pontos e coletas. O cromo foi detectado apenas na primeira coleta nos pontos 1, 2 e 3, mas sua concentração permaneceu dentro do VMP pela Resolução nº357/2005 CONAMA (Figura 28). O cromo pode estar presente em fertilizantes que contenham em sua composição níveis consideráveis de cromo, como os nitrogenados, os fosfatados e os superfosfatados (CETESB, 2007), o que poderia explicar a presença desse elemento nos pontos 1 e 2, situados na área rural.

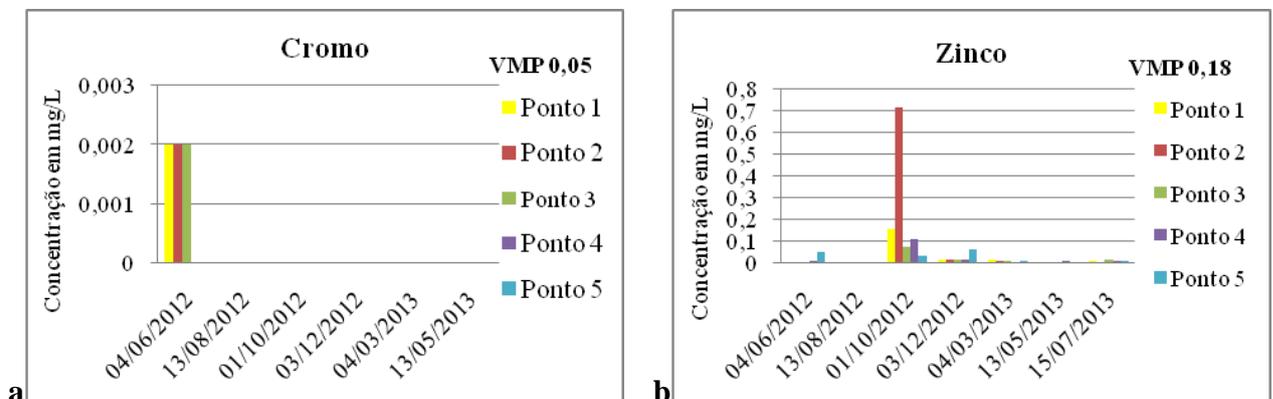


Figura 28- Variação da concentração de cromo (a); e de zinco (b)

Os elementos-traço, cádmio, arsênio, níquel e selênio não foram detectados em nenhuma das amostras.

6 CONCLUSÃO

Os dados obtidos nessa pesquisa evidenciaram que as maiores alterações nos parâmetros da qualidade da água, estão associadas com as precipitações ocorridas na sub-bacia do rio do Campo.

A partir das cartas de solo, de declividade e da rede de drenagem, verifica-se que na alta bacia ocorrem os solos de textura média e textura arenosa média, a maior densidade de canais e os terrenos apresentam as maiores declividades. Esses fatores associados à ocorrência de chuvas favorecem o desenvolvimento de processos erosivos e a entrada de sedimentos no corpo hídrico, e pode ocorrer em maior ou menor quantidade de acordo com a cobertura do solo e as práticas de manejo adotadas.

O oxigênio dissolvido é um dos indicadores mais importante da qualidade da água, esse parâmetro permaneceu dentro dos valores estabelecidos pela Resolução nº357/2005 do CONAMA, mesmo quando outros parâmetros apresentaram-se alterados.

A bactéria *E.coli*, ultrapassou o VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA em todas as amostras analisadas no ponto 3, condição que pode estar relacionada ao lançamento de esgotos pois esse ponto está sob influência da área urbana.

Verifica-se que as amostras coletadas durante os períodos de precipitação apresentaram aumento nas concentrações de vários parâmetros analisados (*E. coli*, sst, turbidez, fósforo, ferro, manganês, cobre e chumbo). Esses resultados evidenciam a influência da precipitação e escoamento superficial na qualidade da água devido ao aporte de sedimentos no corpo hídrico.

O ferro apresentou valores acima do VMP pela Resolução nº357/2005 do CONAMA (0,3mg/L) em todas as amostras. Os elementos traços, cádmio, arsênio, níquel e selênio não foram detectados em nenhuma das amostras.

Diante das condições apresentadas é necessária uma gestão integrada na bacia hidrográfica buscando preservar esse manancial. É importante que seja feito o manejo adequado do solo, com o emprego de práticas conservacionistas que minimizem o escoamento superficial causado pelas águas das chuvas, e conseqüentemente reduzam a perda de solo da sub-bacia hidrográfica e a entrada de sedimentos nos corpos d'água.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; PEREIRA FILHO, I. A.; VIANA, J. H. M.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. **Plantio Convencional**. Ageitec-Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_32_59200523355.html>. Acesso em: 10 de novembro de 2013.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. **Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó - Maringá Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos**. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 30, n° 1, p. 39-48, 2008.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Caderno de capacitação em recursos hídricos. v.1, Brasília, 2012.

_____. **Indicadores De Qualidade: Índice De Qualidade Das Águas**. ANA, 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em 29 de Janeiro de 2013.

_____. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas-PNQA**. Acesso em: 23/01/2013. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Estrutura/PNQA.aspx>>.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **GUIA NACIONAL DE COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS: DE ÁGUA, SEDIMENTO, COMUNIDADES AQUÁTICAS E EFLUENTES LÍQUIDOS**. Brasília, 2011.

ANDREOLI, C. V. (Org.). **Mananciais de Abastecimento: Planejamento e Gestão**. Estudo de caso do Altíssimo Iguçu. Curitiba: Sanepar/Finep, 2003.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2ª ed. Tradução: Maria Angela Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

BARROS, M. T.; PORTO, R. L. L.; TUCCI, C. E. M. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1ª ed. 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOLSAS, A. da C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2006, p.145-158.

CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAUJO, A. G. de; BARBOSA, G. M. de C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R. Espaçamento entre terraços em plantio direto. IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. Londrina, Boletim técnico nº 71, agosto de 2010.

CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L. R; CARAMORI, P; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em junho de 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006/ CETESB.** São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **Relatório da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2011.** Apêndice C Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publica>>.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Blücher Ltda, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Transporte fluvial de sedimentos.** In: CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1981.

COAMO - Agroindustrial Cooperativa. **História.** Jornal COAMO, Campo Mourão, ed. 399, nov. 2010. Disponível em: <<http://www.coamo.com.br/jornalcoamo/nov10/digital/historia.html>>. Acesso em: 21 de julho de 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº357 de 17 de março de 2005.** Dispões 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 da outras providencias. Brasília, 2005.

COSTA, A.; VIEIRA, M. J.; BRAGAGNOLO, N.; MUZILLI, O.; PAN, W. **Programas de Conservação do Solo e da Água em Microbacias: o caso do Paraná, resultados obtidos e novos desafios.** In: II SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA. Passo Fundo, 2006.

CRISPIM , J. Q. **Projeto Mil Árvores.** Informação verbal, 2013.

CRISPIM, J.Q.; MALYSZ, S. T.; CARDOSO, O.; PAGLIARINI JUNIOR, S, N° **Conservação e proteção de nascentes por meio do solo cimento em pequenas propriedades agrícolas na bacia hidrográfica rio do campo no município de Campo Mourão – PR.** Revista Geonorte, Edição Especial, V.3, N°4, p. 781-790, 2012.

CRUZ, J.C. (Org). **Cultivo do Milho:** manejo de solos sistema plantio direto. 2ªed. Embrapa Milho e Sorgo, sistemas de produção. Dezembro, 2006.

DENARDIN, J. E.; SANTI, A.; WIETHÖLTER, S.; SILVA JUNIOR, J. P.; FAGANELLO, A. **Manejo e conservação do solo: agricultura conservacionista**. Embrapa Trigo. Sistemas de Produção, 4, ISSN 1809-2985 Versão Eletrônica, Set/2009.

EMATER. Projeto Estradas de Integração. Disponível em;<<http://www.emater.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=128>> Acesso em novembro de 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manejo do solo**. Embrapa Soja, sistema de produção, Janeiro 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/manejo.htm>>. Acesso em julho de 2013.

ESTEVES, F. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FNMA; GEMA. **Atlas Geoambiental do Município de Campo Mourão-Pr**. Universidade Estadual de Maringá, 1998.

GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA, M. L. **Contexto Geológico-Geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense**. In: I ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 2003, Maringá. Anais... Maringá: UEM, 2003. p. 53-65.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. Conceitos para a avaliação da qualidade da água. In: DIAS DE PAIVA, J. B.; CALDURO DIAS PAIVA, H. M. (Org.). **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

GUIMARÃES, R. C. Qualidade do ambiente produtivo rural - Campo Mourão. In: INSTITUTO EMATER. **ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS DA EXTENSÃO RURAL DO PARANÁ**. Curitiba, 2009, 200 p. (V.I).

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ; **Comitês de Bacia hidrográfica**. <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=204>. Acesso em 2014.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ; SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HIDRICOS - SEMA. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Produto 3.2 e 2.2, revisão final, 2010.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **CADERNO ESTATÍSTICO MUNICIPIO DE CAMPO MOURÃO**. Julho, 2013.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Formações Fitogeográficas - Estado do Paraná. 2009.** Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: julho de 2011.

LEPSCH, I. F. **Solos: formação e conservação**. 5ª ed. São Paulo: Melhoramentos, 1993.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2ª ed. Campinas: Átamo, 2008.

LIMA, A. S. **Utilização de Geotecnologias em Análise Multitemporal Para Diagnóstico da Evolução do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio do Campo – Pr.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) Curso de Geografia da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão, 2009.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** 3ªed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. **Aplicação das características químicas e físicas dos sedimentos na modelagem dos processos de emissão de sedimentos em bacia hidrográficas.** In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.). **Qualidade dos sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, 2006. 397p.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos.** 2ªed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

ONOFRE, G. R.; OLIVEIRA, D. R.; SUZUKI, J.C. **A formação do espaço mourãoense: o esquecimento das lutas e a intensificação do capital no campo.** In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 2009, São Paulo, pp. 1-28.

ORFEO, O. **Sedimentología del río Paraná en el área de confluencia com el río Paraguay.** Tesis Doctoral, 290p, Univ. Nacional de la Plata, Facultad de Ciencia Naturales e Museo, La Plata, Argentina, 1995.

PÁDUA, L. P.; FERREIRA, A. C. S. **Qualidade da água para consumo humano.** In: HELLER, L.; PÁDUA, L. P. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

PARANÁ. Decreto Nº 6515 DE 21/11/2012.Publicado no DOE em 21 nov. 2012.

PAROLIN, M.; CRISPIM, J. Q.; KAICK, T. S. V. **Tratamento de esgoto por zona de raízes: análise e eficiência.** Rev. GEOMAE, Campo Mourão, v.3-nº1, 2012, p.45-57.

POLETO, C. (Org.). **Ambiente e sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, 2008. 404p.

PORTO, M. F. A.; LA LAINA PORTO, R. **Gestão de Bacias Hidrográficas.** Estud. av. vol.22 nº.63 São Paulo 2008.

REBOLSAS, A. C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras, 2006.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Dados SISWEB, 2012/2013** (recebimento dos dados em 2013).

SANEPAR- Companhia de Saneamento do Paraná. Informação verbal. Donizetti Aparecido da Silva (2014).

SANEPAR- Companhia de Saneamento do Paraná. Relatório 2002.

SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A.; SANTOS, M. A. S. **Poluentes orgânicos e inorgânicos.** In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.). **Qualidade dos sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, 2006. 397 P.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. il. Inclui apêndices.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, BA: Editus, 2002.

SILVA, M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SIMIONATO, E. **Campo Mourão Sua Gente...Sua Historia**. 3ª ed. Revista e Ampl. Campo Mourão: Kromoset Artes Gráficas Ltda, 2008.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos erosivos. In: DIAS DE PAIVA, J. B.; CALDURO DIAS PAIVA, H. M. (Org.). **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. **Dados de precipitação - Estação Meteorológica de Campo Mourão**. Cód: 24035222/ LAT: 24°05'S/ LONG:52°36'O/ ALT: 616m, 2013.

SILVEIRA, H.; OLIVEIRA, D. L. A. O.; ANDRADE, A. A.; SILVA, A. V. **AValiação de algumas características físicas e químicas de Latossolo sob vegetação relictual de Cerrado e plantio direto em Campo Mourão-PR**. Boletim de geografia, V. 20, N.1 2002.

SOARES, P. C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. **Ensaio de caracterização do Cretáceo no Estado de São Paulo**: Grupo Bauru. *Rev. Bras. Geoc.*, 10, nº 3, p. 177-185, 1980.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Vazão de referência**. 2009. Disponível em: <<http://rhama.net/wordpress/?paged=16>>. Acesso em agosto de 2013.

TUNDISI, J. G. **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos**. *Rev. USP*, São Paulo, nº70, p. 24-35, junho/agosto, 2006.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas de Cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VILLA, M. E. C. D. **Fontes de poluição da bacia do córrego Pinhalzinho II em Umuarama –PR. 2010**. Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Maringá, 2010.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.