

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCIANO DAVI PRETZEL

**QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO
CAMPO: Aplicação do Modelo Matemático QUAL-UFMG**

CAMPO MOURÃO

2017

LUCIANO DAVI PRETZEL

**QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO
CAMPO: Aplicação do Modelo Matemático QUAL-UFMG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO:

Aplicação do Modelo Matemático QUAL-UFMG

por

Luciano Davi Pretzel

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 28 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Eudes José Arantes

Prof. Dr. Cristiane Kreutz

Prof. Dr. Flavia Vieira da Silva Medeiros

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

A cultura acadêmica nutre a inteligência, mas não é o alicerce de uma vida. O aluno sai da escola conhecendo o mundo exterior, mas desconhecendo o anfiteatro de sua mente. Ele sabe discursar sobre o mundo físico, mas não sabe falar de si mesmo. É um gigante na ciência, mas um frágil menino diante de suas perdas e desafios. O mundo acadêmico está em crise. Ele dá diplomas, mas não prepara as pessoas para a escola da vida. Você está preparado apenas para as vitórias ou também para as derrotas?

Não é necessário que um trabalho seja grandioso para que tenha propósito. Algumas pessoas são capazes de ajudar milhares de outras e algumas podem ajudar apenas uma ou duas, em ambos os casos, o trabalho é igualmente importante. Todos nós temos que ter um bom propósito e trabalhar rumo a ele contribui para o bem de todos e naturalmente nos ajuda também. O trabalho com um propósito não é mais trabalho, mas uma extensão satisfatória de nos mesmos! O que você exerce tem um propósito?

Todos nós temos talentos a compartilhar, indivíduo por indivíduo. Não importa qual seja o seu trabalho, o que importa é se você está tentando dar uma contribuição consciente, com a esperança de criar um mundo melhor. A única maneira das coisas melhorarem é nós todos percebermos a interconexão que compartilhamos. Nada de bom pode ser feito sozinho. Vamos trabalhar juntos pelo bem de todos!

Augusto Cury e Bronnie Ware

RESUMO

Os modelos matemáticos possibilitam verificar a capacidade de autodepuração dos rios e orientar a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, tanto na prevenção quanto no controle da poluição. Este estudo teve o objetivo de desenvolver a modelagem matemática da bacia hidrográfica do Rio do Campo, por meio de dados quantitativos e qualitativos da água. A partir do programa QUAL-UFMG, foram estudados quatro diferentes cenários da bacia hidrográfica do Rio do Campo, simulando lançamentos de resíduos líquidos tratados e brutos e condições de vazão média (Q_{50}) e mínima (Q_{95}) dos corpos hídricos. Os resultados foram comparados com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 357/2005. Através dos gráficos dos perfis dos parâmetros de qualidade da água, verificou-se que a demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e coliformes termotolerantes foram os parâmetros mais prejudiciais a qualidade dos rios. Os cenários com vazões Q_{95} foram os mais críticos, por apresentarem concentrações dos referidos parâmetros mais divergentes do permitido pela resolução CONAMA nº 357/2005. Os parâmetros nitrito e nitrato não apresentaram complicações para atender a resolução, nem mesmo em condições de lançamento de resíduos líquidos brutos. Por fim, foram identificados quatro pontos críticos na bacia hidrográfica, visando orientar a atuação na gestão de recursos hídricos. Um dos pontos críticos foi o lago municipal e os outros três foram pontos a jusante dos lançamentos de efluentes. Estes resultados compõem banco de dados de modelagem de qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio do Campo, servindo de orientação para o desenvolvimento de novas pesquisas na área.

Palavras-chave: Autodepuração. Modelagem matemática. Recursos hídricos.

ABSTRACT

Mathematical models allow verify the self-purification capacity of rivers and guide the management of water resources in watershed, both in prevention and control of degradation. This study aimed to develop a mathematical modeling of Rio do Campo watershed through quantitative and qualitative water data. From the QUAL-UFMG program, four different scenarios of Rio do Campo watershed were studied, simulating discharges of liquid treated and raw waste, and medium (Q50) and minimum (Q95) flow conditions of the water bodies. The results were compared with the resolution of the Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357/2005. Through the graphs of the water quality parameters profiles, it was verified that the biochemical demand of oxygen, total phosphorus and thermotolerant coliforms were the most harmful parameters for the rivers quality. The scenarios with Q95 flow rates were the most critical because they presented concentrations of those parameters more divergent than resolution CONAMA n. 357/2005 allows. The parameters nitrite and nitrate had no complications to attend the resolution, even in launch conditions of raw liquid waste. Finally, four critical points were identified in the watershed, aiming to guide the management of water resources. One of the critical points was the municipal lake, followed by the three other points located downstream of the effluent releases. These results compose the water quality modeling database of Rio do Campo watershed, supporting the development of new research in the area.

Keywords: Autodepuration. Mathematical modeling. Water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Campo.	23
Figura 2 - Caracterização da bacia hidrográfica do Rio do Campo.	25
Figura 3 - Características dos cenários modelados na bacia hidrográfica do Rio do Campo.	27
Figura 4 – Diagrama unifilar simplificado da modelagem matemática da bacia hidrográfica do Rio do Campo.	33
Figura 5 – Gráfico da curva chave dos dados do posto fluviométrico localizado no Rio do Campo.	34
Figura 6 – Gráfico da curva de permanência da série histórica de dados do posto fluviométrico localizado no Rio do Campo.	35
Figura 7 – Segmentação da bacia hidrográfica do Rio do Campo em áreas de drenagem conforme pontos de interesse para modelagem matemática da qualidade da água.	36
Figura 8 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 1 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.	40
Figura 9 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 1 para o Rio Km 123.	40
Figura 10 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio Km 123.	41
Figura 11 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio Km 123.	41
Figura 12 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio Km 119.	41
Figura 13 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio Km 119.	42
Figura 14 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio do Campo.	42
Figura 15 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio do Campo.	42
Figura 16 - Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 1 para o Rio do Campo	43
Figura 17 - Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 1 para o Rio do Campo.	43
Figura 18 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 1 para o Rio do Campo.	44
Figura 19 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 2 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.	45
Figura 20 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio Km 123.	45
Figura 21 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 2 para o Rio Km 123.	45
Figura 22 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio Km 119.	46
Figura 23 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 2 para o Rio Km 119.	46
Figura 24 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio do Campo.	46

Figura 25 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 2 para o Rio do Campo.....	47
Figura 26 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio do Campo.....	47
Figura 27 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 3 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005....	48
Figura 28 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 3 para o Rio Km 123.	48
Figura 29 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio Km 123.....	49
Figura 30 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio Km 123.	49
Figura 31 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 3 para o Rio Km 119.	49
Figura 32 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio Km 119.....	50
Figura 33 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio Km 119.	50
Figura 34 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio do Campo.	50
Figura 35 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio do Campo.....	51
Figura 36 - Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 3 para o Rio do Campo	51
Figura 37 - Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 3 para o Rio do Campo.....	52
Figura 38 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 3 para o Rio do Campo.....	52
Figura 39 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 1 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005....	53
Figura 40 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio Km 123.....	53
Figura 41 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 4 para o Rio Km 123.	54
Figura 42 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio Km 119.....	54
Figura 43 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 4 para o Rio Km 119.	54
Figura 44 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio do Campo.....	55
Figura 45 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) no Cenário 4 para o Rio do Campo.....	55
Figura 46 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio do Campo.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da regionalização de vazão para as áreas de drenagem da bacia hidrográfica do Rio do Campo.	36
Tabela 2 – Vazões e coordenadas geográficas das captações de água e dos lançamentos de resíduos líquidos na bacia hidrográfica do Rio do Campo.....	37
Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros de qualidade da água dos pontos P1 e P2 a montante do Rio do Campo e do Rio Km 119.	37
Tabela 4 - Valores dos parâmetros de qualidade dos resíduos líquidos tratados.....	38
Tabela 5 - Valores médios dos parâmetros de qualidade dos resíduos líquidos brutos.	38
Tabela 6 – Padrões de qualidade da água, para corpos hídricos de Classe 2, segundo resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Dados Hidrológicos.....	13
3.2 Autodepuração dos corpos d'água	15
3.3 Modelos matemáticos.....	17
3.4 Legislação ambiental	21
4 MATERIAL E METODOS	23
4.1 Área de estudo	23
4.2 Modelo matemático QUAL-UFMG	26
4.3 Procedimento de modelagem e obtenção de dados	27
4.3.1 Procedimento da modelagem	27
4.3.2 Obtenção dos valores das vazões.....	29
4.3.3 Obtenção dos valores dos parâmetros de qualidade	30
4.3.4 Coeficientes da modelagem	31
4.3.5 Padrões ambientais	32
4.3.6 Distâncias das seções	32
5 RESULTADOS	33
5.1 Resultados do procedimento de modelagem e obtenção de dados.....	33
5.1.1 Valores das vazões	34
5.1.2 Valores dos parâmetros de qualidade	37
5.1.3 Valores dos coeficientes da modelagem K1, K2 e Kd	38
5.1.4 Valores dos padrões ambientais.....	39
5.2 Resultados dos cenários de modelagem matemática da qualidade da água.....	39
5.2.1 Cenário 1	39
5.2.2 Cenário 2	44
5.2.3 Cenário 3	47
5.2.4 Cenário 4	52
6 DISCUSSÕES	57
7 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Apesar da quantidade de água encontrada no Brasil, ainda ocorrem problemas de disponibilidade deste recurso pela heterogeneidade da sua distribuição. Os problemas hídricos são intra e inter-regionais, oriundos tanto da escassez quanto da abundância, bem como, da degradação causada em decorrência da poluição de origem doméstica e industrial (COSTA et al., 2010).

A quantidade e qualidade das águas em uma bacia hidrográfica são reflexos das características e das atividades antrópicas, como: a forma de uso, tipos de solo e relevo, a vegetação, o desmatamento, a presença de áreas urbanas, entre outros. Todas as atividades sobre essa área posteriormente refletem na condição das águas dos rios em toda sua extensão, sendo uma relação de causa e efeito, justificando a adoção da bacia hidrográfica como uma unidade territorial de planejamento, sendo que toda atividade de preservação colabora para a melhoria da qualidade da água (PARANÁ, 2010).

Dentre as diversas atividades humanas que afetam a qualidade das águas, o lançamento de efluentes, seja de origem doméstica ou industrial, pode acarretar na contaminação dos recursos hídricos com poluentes de características distintas, desencadeando inúmeras perturbações ao corpo receptor. A contaminação pode ser de origem química, física ou biológica, qualquer uma das formas alteram as características da água, sendo essencial o conhecimento das interações com os contaminantes para que se possa lidar da melhor forma possível com as fontes de poluição (PEREIRA, 2004).

Com vistas à preservação e manutenção da qualidade da água, se faz necessário conhecer as características e a dinâmica dos corpos hídricos, considerando que a contaminação dos rios por resíduos líquidos próximos às cidades tornou-se comum, devido principalmente aos sistemas de recolhimento e tratamento deficientes ou às vezes inexistentes. Os estudos hidrológicos possibilitam estabelecer os níveis de tratamento dos efluentes e a influência dos mesmos sobre o corpo d'água, bem como auxiliar nos planos de gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).

Através da análise da água obtêm-se dados para desenvolver modelagem matemática, verificando a capacidade de autodepuração dos rios, ou seja, constatar a propensão natural que os corpos hídricos têm em restabelecer o equilíbrio no meio

aquático, após alterações induzidas pelo despejo de efluentes (VON SPERLING, 1995).

Segundo Júnior (2010), com o uso de modelos matemáticos é possível simular diferentes cenários de desenvolvimento em uma bacia, considerando fontes pontuais ou difusas de poluição. Um modelo bem calibrado com dados reais também permite intervir e definir locais que devam concentrar esforços na gestão do recurso hídrico.

Nesse contexto, buscou-se com este trabalho gerar banco de dados que auxilie na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio do Campo, por meio da modelagem matemática com o programa QUAL-UFMG.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver modelagem matemática da bacia hidrográfica do Rio do Campo por meio de dados quantitativos e qualitativos da água.

2.2 Objetivos específicos

- Obter dados hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio do Campo para compor banco de dados de modelagem matemática da qualidade da água;
- Simular cenários de uso na bacia hidrográfica do Rio do Campo em diferentes condições hidrológicas;
- Apontar pontos críticos para atuação na gestão de recursos hídricos com base na legislação vigente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Dados Hidrológicos

O diagnóstico e o conhecimento do meio físico são indissociáveis da coleta e do armazenamento de dados ambientais e socioeconômicos, que resumem o inventário de uma determinada região ou bacia hidrográfica. Os recursos hídricos são um dos componentes do meio físico cuja alteração produz maior impacto no ambiente (JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007).

A bacia hidrográfica é a área delimitada topograficamente e drenada por um sistema de rios, ou seja, a área de terra total acima de algum ponto em um córrego ou rio que conflui o escoamento das águas e sedimentos para uma única saída, denominada exutório (BROOKS; FOLLIOTT; MAGNER, 1991). Também é a unidade essencial de planejamento em que a água é o agente unificador de integração no manejo, baseado na sua vital e estreita relação com os elementos naturais, portanto, conhecer o funcionamento hidrológico é fundamental para entender sua dinâmica (LIMA, 2008).

Os estudos hidrológicos baseiam-se essencialmente em elementos observados em campo, oriundos da coleta de dados básicos, por exemplo, o volume de precipitação, vazão dos rios e características qualitativas da água, portanto, o estabelecimento de postos de coleta e a sua manutenção ininterrupta ao longo do tempo são condições absolutamente necessárias aos estudos (PINTO et al., 2000).

Basicamente, os parâmetros da hidrologia podem ser divididos em três categorias, os climáticos, de escoamento e característicos do meio receptor. Em meio aos parâmetros do escoamento avalia-se a qualidade da água (TUCCI, 2001).

A qualidade da água é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, onde muitos componentes que alteram seu grau de pureza podem ser retratados de uma maneira ampla e simplificada, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas, que podem ser avaliadas através da análise do oxigênio dissolvido, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, temperatura, pH e coliformes (VON SPERLING, 2007).

Junto à categoria de escoamento, também se encontra os parâmetros referentes às descargas líquidas, que podem ser determinados através da medição de cotas e de vazões dos corpos hídricos (TUCCI, 2001).

A vazão é o valor do volume de água escoado por unidade de tempo em uma determinada seção do curso da água. Pode ser apresentada em valores máximos, médios e mínimos, de um determinado intervalo de tempo, associadas a dados de precipitação ou também na forma de vazão específica. A vazão específica representa a relação entre a vazão em uma seção do curso da água e área da bacia hidrográfica relativa a essa seção (PINTO et al., 2000).

Conhecer a precipitação é a forma de quantificar a entrada de água na bacia hidrográfica, enquanto o conhecimento das vazões máximas, médias e mínimas permite planejar as atividades que requerem o uso da água, bem como, realizar a avaliação da capacidade de autodepuração (BARBOSA et al., 2005).

A vazão possui comportamento aleatório, exigindo para sua adequada avaliação, a obtenção de séries históricas representativas e confiáveis nos postos fluviométricos instalados em bacias hidrográficas. Infelizmente, na maioria dos casos, os dados hidrológicos são reduzidos ou inexistentes, devido aos elevados custos de implantação, operação e manutenção da rede hidrométrica (COSTA et al., 2012). Devido a estas limitações os dados de vazões são insuficientes para cobrir grandes áreas, o que prejudica a gestão adequada dos recursos hídricos. Uma alternativa para contornar esse problema é a adoção de técnicas para a regionalização de vazões (OLIVEIRA, 2013).

A regionalização de vazão se caracteriza por um conjunto de procedimentos e métodos estatísticos que visam explorar ao máximo os dados de uma região, de forma a estimar a vazão de um local com ausência de dados. Também é conceituada pelo conjunto de modelos de cálculo de vazão que possibilitam a obtenção de vazões máximas, mínimas e médias de longo período, de forma simples e rápida (AMORIM; NETTO; MENDIONDO, 2005). Mesmo em um rio que possua uma estação fluviométrica, é bastante provável que o ponto a ser estudado nesse corpo d'água não irá ser o mesmo ponto em que está localizada a estação, restando assim ao pesquisador estimar a vazão para a zona de estudo com base nos dados da estação fluviométrica mais próxima (VON SPERLING, 2007).

A caracterização das vazões médias e mínimas é fundamental para os estudos de disponibilidade hídrica no licenciamento de captações d'água e de

lançamentos de resíduos líquidos para diluição. As vazões mínimas estão sendo muito utilizadas, pois representam a condição crítica da bacia, uma vez que ocorrem no período de estiagem, quando a oferta de água é comprometida e a capacidade de diluição é menor (OLIVEIRA, 2013).

Em estudos de autodepuração de corpos d'água, é importante a definição de uma vazão de referência, sendo a vazão Q_{95} umas das mais indicadas. Esta vazão caracteriza-se como a vazão mínima, em que 95% dos dados diários de vazão da série estudada são iguais ou superiores a ela, ou seja, 5% das vazões são inferiores (VON SPERLING, 2007).

3.2 Autodepuração dos corpos d'água

Em países em desenvolvimento, onde há maior carência de recursos, tem-se utilizado com maior frequência os corpos hídricos como complemento ao tratamento de esgotos, pois possuem a capacidade de assimilação de determinado volume e resíduos líquidos sem causar grandes impactos. Este tipo de ação demanda estudos de autodepuração, visando impedir que haja despejos acima do que possa suportar o corpo da água (VON SPERLING, 2007).

Diante das dificuldades de conter a contaminação dos rios, estudar e conhecer a capacidade de autodepuração possibilita controlar o lançamento de poluentes, através da estimativa da quantidade de efluentes que cada rio é capaz de receber sem que suas características naturais sejam prejudicadas (ANDRADE, 2010).

Do ponto de vista ecológico, a autodepuração pode ser entendida como a conversão dos compostos orgânicos em compostos inertes e não prejudiciais, ou seja, está relacionada ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após alterações induzidas pelo despejo de resíduos líquidos (VON SPERLING, 1995).

O oxigênio é o parâmetro utilizado tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água, pois possui medição simples e o seu teor pode ser expresso em concentrações quantificáveis e passíveis de modelagem matemática (VON SPERLING, 1995).

O corpo hídrico quando recebe matéria orgânica e sedimentos, tende a ter sua quantidade de oxigênio reduzida, devido à decomposição dos compostos orgânicos por bactérias aeróbias (SIQUEIRA; APRILE; MIGUÉIS, 2012), podendo ocasionar a mortalidade de peixes e gerar condições anaeróbias com emissão de odores (VON SPERLING, 2007).

Os principais fenômenos interagentes no consumo de oxigênio na água são a oxidação da matéria orgânica, a nitrificação e a demanda bentônica. (ANDRADE, 2010). A água possui diferentes gases dissolvidos e o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos, está presente nos corpos hídricos a partir da atmosfera e fotossíntese. A maior demanda por esse elemento ocorre principalmente na decomposição da matéria orgânica, que pode ser medida através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (ESTEVES,1998).

O nitrogênio também é um elemento presente na água, podendo ser encontrado na forma orgânica e amoniacal, denominada formas reduzidas, e como nitrito e nitrato, formas oxidadas (HESPANHOL, 2009). A transformação das formas nitrogenadas de matéria orgânica em nitritos e nitratos é denominada nitrificação, que é realizada pelas bactérias autotróficas (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), que utilizam o oxigênio dissolvido para realizar a conversão (ANDRADE, 2010).

O nitrogênio é responsável pelo crescimento de algas e em grandes concentrações pode ocasionar eutrofização do corpo hídrico, mas também é indispensável para o crescimento de microrganismos no tratamento de esgotos. Na forma amoniacal livre é diretamente tóxico aos peixes (VON SPERLING, 2007).

A matéria orgânica e o nitrogênio tem origem antropogênica do despejo de efluentes domésticos e industriais, entretanto, boa parte do nitrogênio também pode ser originada de excrementos animais ou pelo carreamento de processos erosivos em áreas agrícolas (NEVES; SILVA; CRESTANA, 2006).

O fósforo é considerado um grande poluente de cursos da água, especialmente os superficiais, devido à baixa capacidade de percolação. Da mesma forma que nitrogênio, quando em excesso, causa a eutrofização por meio do enriquecimento excessivo da água, que estimula o crescimento de algas e plantas que podem consumir o oxigênio e ocasionar mortandade de peixes (KLEIN; AGNE, 2012).

A temperatura também é um fator importante, pois em condições elevadas aumenta a taxa das reações e a taxa de solubilidade e transferência de gases (oxigênio). O pH pode influenciar no equilíbrio dos compostos químicos e afetar a vida aquática em valores afastados da neutralidade. Já os microrganismos cumprem o papel de converter a matéria orgânica e inorgânica, mas também podem indicar o potencial de uma água em transmitir doenças através dos organismos indicadores, como o grupo dos coliformes (VON SPERLING, 2007).

Os coliformes são indicadores de contaminação fecal e funcionam, de forma indireta, como um mecanismo de verificação da potencialidade do corpo hídrico em transmitir doenças. A origem destes organismos patogênicos é predominantemente humana, assim reflete na qualidade da saúde da população e nas condições de saneamento básico. A *Escherichia coli* é a principal representante dos coliformes fecais e é encontrada abundantemente no intestino humano e de alguns animais (VON SPERLING, 2007).

3.3 Modelos matemáticos

A partir de modelos matemáticos é possível simular a qualidade da água e o processo de autodepuração em rios, auxiliando na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, podendo atuar tanto na prevenção quanto no controle da poluição. As modelagens matemáticas possibilitam determinar trechos críticos de poluição, prever as alterações da qualidade da água ao longo do tempo e do espaço, bem como, definir a alocação de empreendimentos que geram resíduos líquidos e o nível de tratamento a ser empregado para atender os parâmetros legais (COSTA; TEIXEIRA, 2010).

Há diferentes tipos de modelos matemáticos com objetivos distintos, sendo a escolha etapa crucial para o exercício da modelagem (VON SPERLING, 2007). A seleção do modelo matemático ideal deve considerar o atendimento das necessidades do pesquisador e da bacia hidrográfica, não se restringindo apenas a trechos isolados do curso hídrico (SARDINHA et al., 2008; FLECK; TAVERES; EYNG, 2013). Durante a escolha, deve-se ter de forma clara os objetivos que definem a estrutura do programa a ser utilizado, bem como, verificar as variáveis a serem medidas e modeladas (VON SPERLING, 2007).

Dentre os diversos sistemas computacionais encontram-se o *Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)*, *3D Water Modelling System (MOHID)*, *SisBAHIA*, *QUAL-2E*, *QUAL-2K*, *QUAL-UFMG* e o clássico *Streeter-Phelps*. As primeiras formulações matemáticas utilizadas foram as do modelo proposto por Streeter e Phelps (1925), que permitem projetar o perfil do oxigênio dissolvido de um corpo hídrico, após lançamento de águas residuárias. A formulação passou a ser conhecida como o Modelo de Streeter–Phelps, qual detém a hipótese básica de que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático (ou taxa de desoxigenação dL/dt) é proporcional a concentração de matéria orgânica presente em dado instante de tempo, conforme equação (1) (ANDRADE, 2010).

$$\frac{dL}{dt} = -K_1.L \quad (1)$$

Onde:

- L – concentração de DBO remanescente ao fim do tempo t (mg/l);
- K_1 – coeficiente de desoxigenação (dia^{-1});
- t – tempo (dia).

Simultaneamente a desoxigenação, ocorre o processo de reoxigenação, reconstituindo o oxigênio através do intercâmbio de moléculas entre a água e gases atmosféricos. Pode-se caracterizar a reoxigenação por uma equação (2) de primeira ordem (VON SPERLING, 2007).

$$\frac{dD}{dt} = -K_2.D \quad (2)$$

Onde:

- D – déficit de oxigênio dissolvido (mg/l);
- K_2 – coeficiente de reoxigenação (dia^{-1});

Em uma situação relativamente simples, que considera somente a desoxigenação e reaeração atmosférica, o déficit de oxigênio com o tempo corresponde à resultante da junção dos efeitos de desoxigenação e reoxigenação, obtendo-se a equação (3) (VON SPERLING, 2007; ANDRADE, 2010).

$$\frac{dD}{dt} = K_1.L - K_2.D \quad (3)$$

A integração da equação (3) conduz a uma nova fórmula que calcula o déficit de oxigênio dissolvido (4) (STREETER; PHELPS, 1925).

$$D_t = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (4)$$

Onde:

- D_t – déficit de saturação de oxigênio dissolvido (mg/l);
- D_0 – déficit inicial de oxigênio dissolvido (mg/l);
- L – concentração de DBO no ponto de lançamento (mg/l);

A diferença entre a concentração de saturação do oxigênio (C_s) e o déficit de saturação do oxigênio em função do tempo (D_t), gera a concentração de oxigênio em dado tempo, formando uma nova equação (5) (ANDRADE, 2010).

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + (C_s - C_0) e^{-K_2 t} \right\} \quad (5)$$

Onde:

- C_t – concentração de oxigênio em dado tempo (mg/l);
- C_s – concentração de saturação do oxigênio (mg/l);
- C_0 – concentração de OD na mistura (mg/l);
- L_0 – concentração de DBO no ponto de lançamento (mg/l);

Ressalta-se que as equações descritas são apenas para situações aeróbias, quando a disponibilidade de oxigênio é igual ou maior que o seu consumo, caso contrário atinge-se a anaerobiose ($OD = 0$) (VON SPERLING, 2007).

Em resumo, o modelo clássico Streeter-Phelps possui estrutura que serviu de base para a maioria dos modelos mais avançados e disponíveis atualmente. Ele considera, no balanço do oxigênio, apenas dois processos: o consumo de oxigênio, pela oxidação da matéria orgânica durante a respiração, e a produção de oxigênio,

pela reaeração atmosférica. Além disso, adota as seguintes simplificações: sistema unidimensional; regime permanente com vazão e seção constante; e lançamento do efluente pontual e constante (ANDRADE, 2010).

O programa SisBahia® é capaz de realizar a modelagem de corpos de água costeiros e continentais, sendo mais indicado para canais rasos, que possuem dimensões horizontais preponderantes sobre a dimensão vertical, com a coluna de água bem misturada, onde a estratificação vertical é pouco relevante (FRANZ, 2010).

O modelo *Water Quality Analysis Simulation Program* (WASP) ajuda a interpretar e prever as respostas da qualidade da água e permite ao usuário investigar esquemas de até três dimensões e uma variedade de tipos de poluentes. É um dos modelos de qualidade de água mais amplamente utilizados nos Estados Unidos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016).

O QUAL-UFMG é um sistema computacional desenvolvido por Von Sperling (2007), capaz de simular as concentrações de constituintes da água ao longo dos rios através da utilização de um programa baseado no QUAL2-E, desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency* - USEPA. Possui um sistema unidimensional, baseado na solução de equações diferenciais de transporte de poluentes de advecção e dispersão, em todos os seus termos, por um esquema implícito de diferenças finitas, aplicável a rios dendríticos e de boa mistura (KNAPIK; FERNANDES; BASSANESI, 2011).

O modelo QUAL-UFMG foi elaborado em planilhas eletrônicas Excel® e possibilita a simulação simples e rápida dos seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo e suas frações (orgânico e inorgânico) e coliformes termotolerantes ou *E. coli*. Para o funcionamento são necessários os seguintes dados: vazões, valores dos parâmetros de qualidade, distâncias de seções, padrões ambientais e valores dos coeficientes de desoxigenação e reaeração (VON SPERLING, 2007).

O modelo QUAL-UFMG foi usado nas simulações de diversos cenários de cursos d'água do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no Distrito Federal e acredita-se que por sua facilidade de uso e fácil visualização de resultados, já prontamente comparados com a legislação, ele venha a ser usado

futuramente na maioria dos planos de gerenciamento de recursos hídricos (VON SPERLING, 2007).

Nesse contexto, os modelos matemáticos podem ser utilizados como ferramenta de planejamento, especialmente no manejo de bacias hidrográficas, que é caracterizado pelo processo de organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos naturais, a fim de produzir bens e serviços, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água (BROOKS et al., 1991).

3.4 Legislação ambiental

Desde a publicação da Constituição Federal do Brasil em 1988, está prevista a responsabilidade do poder público em promover a proteção dos elementos naturais (BRASIL, 1988). A partir desse texto desmembraram-se várias leis regulamentando diversas áreas, como a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9433/1997.

A Política Nacional de Recursos Hídricos é fundamentada no juízo de que a água é recurso natural limitado, de domínio público, dotado de valor econômico e que em situações de escassez deve ser destinada ao consumo humano e a dessedentação de animais. Trata, ainda, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para sua implementação e para atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que devem promover a gestão descentralizada com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Com o intuito de promover boas condições das águas, foram determinados diversos padrões ambientais, que são indicadores de qualidade, sendo considerados não conformes quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2014). Para a avaliação da qualidade da água dos corpos hídricos, utiliza-se como critério a resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que define os padrões de qualidade consoante às classes dos corpos da água (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005). Os padrões das águas residuárias lançadas em corpos hídricos são estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 430/2011.

Conforme a resolução nº 357/2005, a classificação das águas dos corpos de água doce (com salinidade inferior 0,5%) são divididos nas seguintes classes: Classe especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005). Segundo a portaria da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA nº019/1992, o enquadramento dos corpos hídricos foi baseado, de maneira preventiva, nas formas de uso preponderante das águas e adotou, em suma, todos os cursos da água como Classe 2 na Bacia Hidrográfica do Ivaí (SUPERINTENDÊNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992). Para os corpos hídricos de Classe 2, a determinação do CONAMA permite o uso para natação, mergulho, pesca, irrigação, proteção das comunidades aquáticas, consumo humano após tratamento convencional e entre outras atividades com os quais o público possa vir a ter contato direto (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Os corpos hídricos de Classe 2 devem manter nível mínimo de oxigênio dissolvido, respeitar limite máximo de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, bem como, não apresentar características como: efeitos tóxicos crônicos a organismos, materiais flutuantes, espumas não naturais, óleos e graxas, substâncias que comuniquem gosto ou odor, corantes provenientes de fontes antrópicas e resíduos sólidos objetáveis. Os níveis de nitrogênio estão subdivididos nas suas frações, amoniacal, nitrito e nitrato, e para o fósforo total, os padrões estão fragmentados de acordo com o tipo de ambiente (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Além das supracitadas resoluções, o estado do Paraná possui legislação estadual da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA nº 021/2009, que discorre sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento (SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2009).

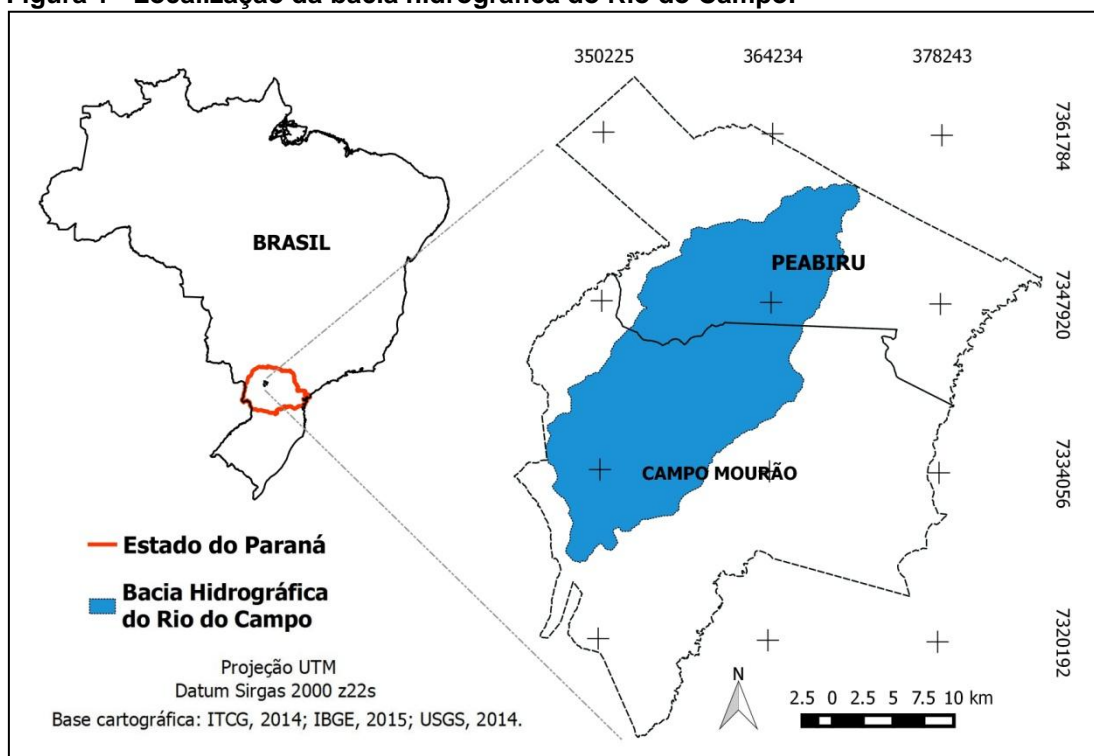
De forma mais restritiva que as legislações expostas, pode haver condicionantes definidas pelas instituições ambientais, como o Instituto das Águas do Paraná – AGUASPARANÁ e Instituto Ambiental do Paraná – IAP, que realizem estudos durante os processos licenciamento, impondo condicionantes de operação junto às outorgas e licenças ambientais.

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio do Campo está localizada na Mesorregião Centro Ocidental do Estado do Paraná (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2012) e ocupa área de 384 km², destes 247 km² no município de Campo Mourão, na sua porção a montante, e 137 km² no município de Peabiru, a jusante (Figura 1) (CRISPIM et al., 2012).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Campo.



A região está sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense e também na subunidade morfoescultural do Planalto de Campo Mourão. O relevo apresenta morfologia dominante com: baixa dissecação, topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha, modeladas em rochas de formação Serra Geral. A altitude média em relação ao nível do mar é de 550 m (MINEROPAR, 2006). Com relação às características pedológicas, encontram-se predominantemente Latossolos e

algumas regiões a presença de Argissolos, Neossolos e Nitossolos (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ, 2008).

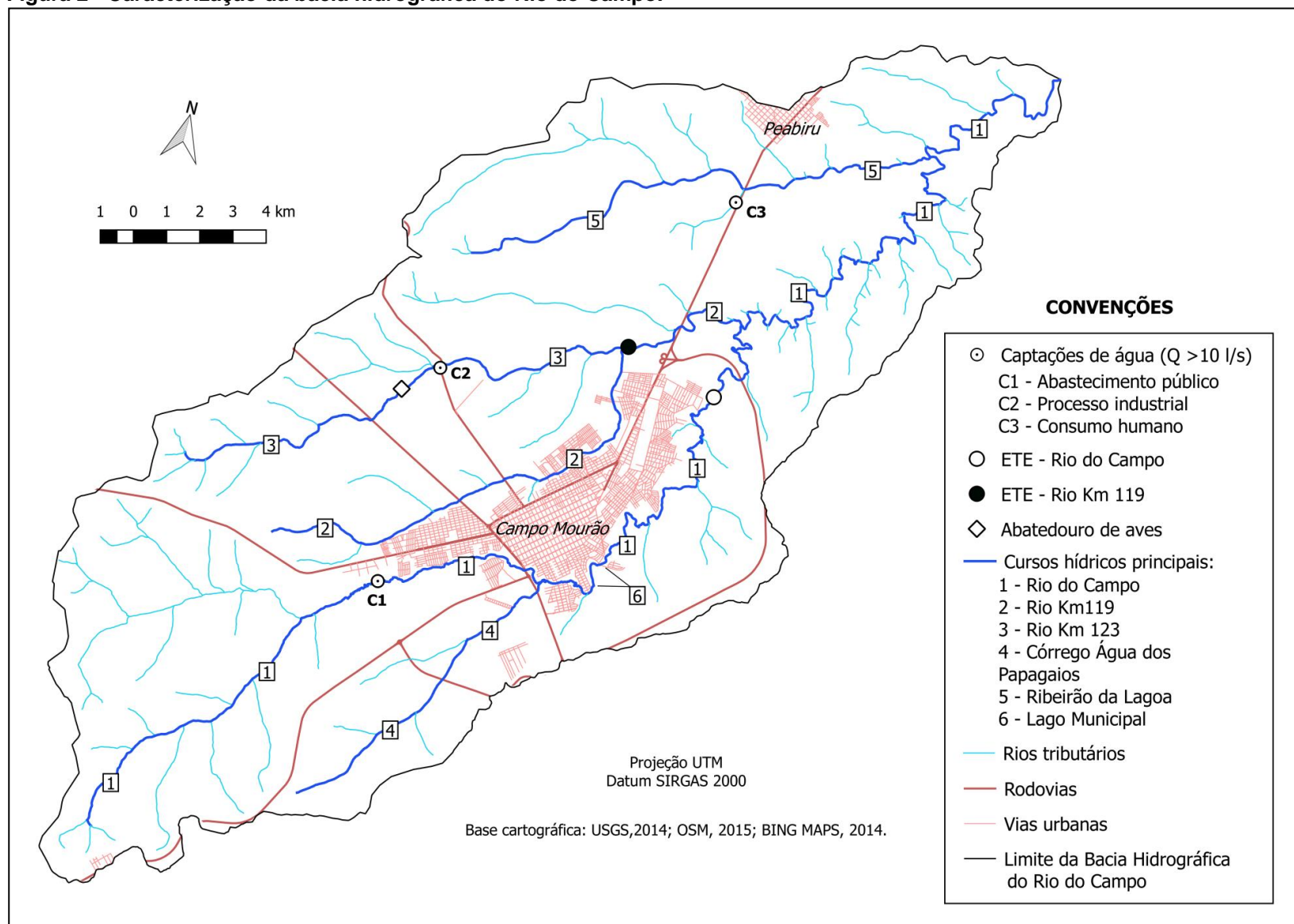
Conforme o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger, a região de Campo Mourão está sob influência do clima Cfa, caracterizado como subtropical, com temperaturas médias inferiores a 18°C nos meses mais frios e temperaturas médias superiores a 22°C nos meses mais quentes, com geadas pouco frequentes, verões quentes com concentração das chuvas e sem período de estiagem definido (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2000).

A vegetação na região é composta pela transição entre Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista, contando também com alguns fragmentos de Cerrado (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ, 2009). Muitas áreas apresentam a cobertura vegetal bastante degradada, principalmente os fragmentos de cerrado, que geralmente encontram-se sob constantes interferências antrópicas, lideradas pelas atividades agrícolas muito representativas.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população estimada no ano de 2017, para o município de Campo Mourão, alcançou o valor de 94153 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017a) e para o município de Peabiru, 14198 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017b).

A bacia hidrográfica em estudo tem como rio principal o Rio do Campo e maiores tributários, o Rio Km 119, Rio Km 123, Córrego Águas dos Papagaios e Ribeirão da Lagoa (Figura 2). O Rio do Campo e Km 119 se encontram limítrofes a área urbana, estando sob significativa influência das atividades antrópicas. Os cursos hídricos são utilizados para captação de água destinada ao abastecimento público do município de Campo Mourão e para diluição de efluentes tratados de estações de tratamento de esgoto e empreendimentos industriais (SILVA, 2014).

Figura 2 - Caracterização da bacia hidrográfica do Rio do Campo.



4.2 Modelo matemático QUAL-UFMG

Para realizar a modelagem matemática da qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio do Campo, foi utilizado o programa QUAL-UFMG, desenvolvido em planilhas Excel®, que permite simular as concentrações dos constituintes da água ao longo dos rios, através de uma programação baseada no modelo matemático QUAL2-E, utilizado mundialmente. De acordo com seu desenvolvedor, Von Sperling (2007), o QUAL-UFMG foi elaborado com algumas simplificações quando comparado ao QUAL2-E, de modo a adaptá-lo as condições dos rios brasileiros, proporcionando agilidade nos estudos e maior acessibilidade aos usuários.

O QUAL-UFMG é um modelo unidimensional, baseado na solução de equações diferenciais de transporte de poluentes de advecção e dispersão, em todos os seus termos, por um esquema implícito de diferenças finitas, aplicável a rios dendríticos e de boa mistura (KNAPIK; FERNANDES; BASSANESI, 2011). Para desenvolver a modelagem foram utilizados basicamente dos seguintes dados (VON SPERLING, 2007):

1. Valores das vazões dos corpos hídricos (m^3/s);
2. Valores das vazões dos despejos de resíduos líquidos (m^3/s);
3. Valores dos parâmetros de qualidade da água;
4. Valores dos parâmetros de qualidade dos resíduos líquidos;
5. Distâncias de seções (trechos) (km);
6. Padrões ambientais (legislação).

Os parâmetros de qualidade, tanto da água dos rios quanto dos resíduos líquidos, são divididos em:

- a) Demanda bioquímica de oxigênio – DBO_5 (5 dias a $20^\circ C$) (mg/l);
- b) Oxigênio dissolvido – OD (mg/l);
- c) Nitrogênio orgânico (mg/l);
- d) Nitrogênio amoniacal (mg/l);
- e) Nitrito (mg/l);
- f) Nitrato (mg/l);
- g) Fósforo orgânico (mg/l);
- h) Fósforo inorgânico (mg/l);

i) Coliformes termotolerantes (NMP/100ml).

Ao término da modelagem o QUAL-UFMG possibilita comparação imediata dos resultados com os padrões ambientais, que devem ser inseridos conforme legislação aplicada a cada corpo hídrico. Além dos gráficos dos perfis dos parâmetros de qualidade, o programa também gera gráfico do perfil da amônia livre, das vazões e dos componentes do balanço do oxigênio dissolvido, como demanda carbonácea e oxidação do nitrito.

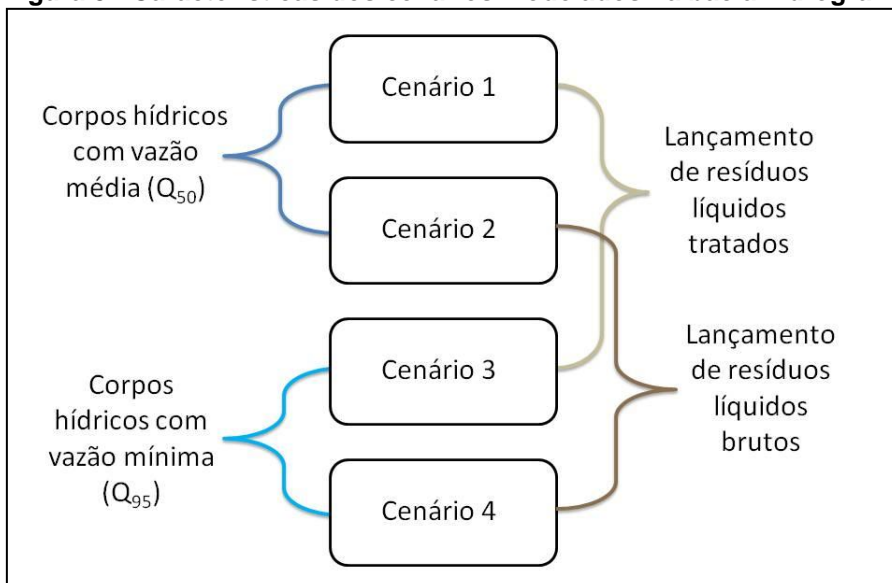
O QUAL-UFMG também necessita de dados que representam as condições da bacia hidrográfica, como temperatura da água e altitude média, bem como, os coeficientes de desoxigenação (K_1), reaeração (K_2) e decomposição (K_d).

4.3 Procedimento de modelagem e obtenção de dados

4.3.1 Procedimento da modelagem

A modelagem matemática da qualidade da água foi realizada através de quatro cenários de desempenho da bacia hidrográfica do Rio do Campo, que se diferem nas vazões dos corpos hídricos e na qualidade dos resíduos líquidos lançados para diluição (Figura 3).

Figura 3 - Características dos cenários modelados na bacia hidrográfica do Rio do Campo.



Cada cenário é composto por um arquivo Excel® segmentado em três planilhas de modelagem, sendo que a primeira refere-se aos cálculos do Rio do Campo e as demais aos tributários, Rio Km 119 e Rio Km 123. Os resultados das modelagens dos tributários foram acrescentados à modelagem do rio subsequente até alcançar a modelagem do rio principal.

O Córrego Água dos Papagaios e o Ribeirão da Lagoa não foram modelados individualmente, devido à ausência de dados de lançamentos de resíduos líquidos nestes cursos da água.

Os trechos dos rios contemplados pela modelagem matemática ficam entre os pontos de início da simulação e a foz do Rio do Campo. Logo, sobre cada rio modelado foi definido um ponto de início para os cálculos de autodepuração:

- P1: localizado no Rio do Campo, coincide com as coordenadas do ponto de obtenção de dados de qualidade da água. Longitude 354547,29m E e Latitude 7336861,68m S (Datum UTM, zona 22J);
- P2: localizado no Rio Km119, coincide com as coordenadas do ponto de obtenção de dados de qualidade da água. Longitude 355069,31m E e Latitude 7338786,36m S (Datum UTM, zona 22J);
- P3: localizado no Rio Km 123 sob as coordenadas Longitude 353799,12m E e Latitude 7342208,13m S (Datum UTM, zona 22J). Local não possui dados de qualidade da água.

O QUAL-UFMG dispõe de planilha para elaboração de diagrama unifilar, que visa facilitar à compreensão do sistema modelado e a localização as entradas de dados. Devido as grandes dimensões do diagrama elaborado no programa, também foi desenvolvido diagrama unifilar simplificado.

Junto ao Rio do Campo, encontra-se um lago pertencente ao Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, do município de Campo Mourão. Para simular as condições do lago foram alteradas nas planilhas de modelagem as dimensões do curso da água, conforme as larguras e profundidades médias do reservatório.

Ao final da modelagem, foi realizada a comparação dos resultados com os padrões ambientais da legislação, levantando os pontos críticos na bacia hidrográfica do Rio do Campo com intuito de orientar a gestão de recursos hídricos.

O banco de dados gerado por este estudo é formado pelo conjunto de arquivos Excel® gerados através das modelagens matemáticas.

4.3.2 Obtenção dos valores das vazões

Os dados de vazão dos corpos hídricos foram obtidos por intermédio de cálculos de regionalização de vazão, devido à existência de apenas um posto fluviométrico na bacia hidrográfica do Rio do Campo. A técnica de regionalização é um conjunto de procedimentos e métodos que visam estimar a vazão de um local com ausência de informações, por meio de dados de escoamento de um ponto próximo (AMORIM; NETTO; MEDIONDO, 2005).

A regionalização da vazão foi realizada através do cálculo do escoamento por unidade de área, ou seja, pela vazão específica, que é a razão entre a vazão e a área de drenagem de um posto fluviométrico. Ao multiplicar a vazão específica pela área de drenagem de outros pontos da bacia, geram-se as vazões regionalizadas.

O Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB (2015) disponibiliza série histórica de dados da estação fluviométrica sob nº 64671950, localizada no Rio do Campo, nas coordenadas: longitude 356000m E e latitude 7337820m S (Datum UTM, zona 22J). As medições que possuíam valores de cota e vazão foram alocadas em planilha do programa Excel®, construindo-se o gráfico da curva chave e obtendo a relação entre dados de cota e vazão, gerando sua respectiva equação. Posteriormente, a equação foi aplicada as cotas da série histórica de 2006 a 2010, estimando-se as vazões inexistentes.

Em seguida, foi construído o gráfico da curva de permanência para a referida série histórica de dados, que possibilitou encontrar as vazões Q_{50} e Q_{95} da estação fluviométrica.

A utilização das vazões Q_{50} e Q_{95} permitem o estudo de dois cenários na bacia hidrográfica do Rio do Campo, em condições médias de fluxo hídrico e outro em fluxo mínimo.

Após a obtenção do Q_{50} e Q_{95} foram realizados os cálculos de regionalização para as diversas áreas da bacia hidrográfica do Rio do Campo, que foi fragmentada em áreas de drenagem, conforme as elevações do relevo obtidas de imagens Modelo Digital de Terreno - MDE, da plataforma Earth Explorer da United

States Geological Survey – USGS (2014). O processamento das imagens foi realizado através do *software* livre QGIS, versão 2.16.3.

As vazões das captações de água e dos lançamentos de resíduos líquidos, da bacia hidrográfica do Rio do Campo, foram obtidas através das outorgas disponíveis no banco de informações do Instituto das Águas do Paraná – AGUASPARANÁ, com acesso público na rede mundial de computadores. Dentre as outorgas de captação encontradas, foram consideradas para a modelagem apenas as captações com vazão igual ou superior a 0,01 m³/s.

4.3.3 Obtenção dos valores dos parâmetros de qualidade

Os valores dos parâmetros de qualidade da água foram obtidos do projeto “Estudo integrado dos Recursos Hídricos da Bacia experimental do Rio Mourão”, financiado pelo do grupo setorial CT - Hidro do FINEP (CARVALHO et al., 2015). A partir do referido estudo foi possível obter dados médios a montante do Rio do Campo e a montante do Rio Km 119, pontos P1 e P2 respectivamente.

Tendo em vista a falta de dados de qualidade da água para o ponto P3, localizado no Rio Km 123, bem como, para os rios Ribeirão da Lagoa e Córrego Água dos Papagaios, foi realizada a extrapolação dos valores dispostos no estudo de Carvalho et al. (2015), tendo como critério o ponto mais próximo. Portanto, o ponto P3 e Ribeirão da Lagoa receberam os mesmos valores dos parâmetros do ponto P2 e o Córrego Águas dos Papagaios do ponto P1.

Visando o desenvolvimento de cenários de modelagem da bacia hidrográfica do Rio do Campo, foram arrançados valores de parâmetros de qualidade de resíduos líquidos tratados e brutos, para estações de tratamento de esgotos e abatedouros de aves. Os dados dos resíduos líquidos tratados foram pesquisados prioritariamente nos padrões legais, dispostos nas outorgas de lançamento de efluentes e legislação vigente, portanto, se tratam dos limites máximos permitidos para despejo em cursos hídricos. Os valores não encontrados nos padrões legais foram levantados através da literatura. Para o cenário com lançamentos de resíduos líquidos brutos foram obtidos os valores médios dos parâmetros de qualidade encontrados na literatura.

Para os dados de oxigênio dissolvido, nitrito e nitrato consideraram-se valores iguais à zero, devido à ausência desses elementos em resíduos líquidos com essa procedência. A concentração dos coliformes, do efluente tratado do

abatedouro de aves, também recebeu o valor zero, supondo a existência de processo de desinfecção no sistema de tratamento de efluentes do empreendimento.

4.3.4 Coeficientes da modelagem

Para modelagem com o programa QUAL-UFMG, também é necessário definir os coeficientes de desoxigenação (K_1), reaeração (K_2) e decomposição (K_d).

O valor utilizado para este coeficiente K_1 foi de 0,4, conforme fundamentação apresentada por Von Sperling (1995), qual cita dados típicos para temperatura de 20° C.

Para o cálculo do coeficiente K_2 encontrou-se a fórmula proposta por O'Connor e Dobbins (1958, apud VON SPERLING, 1995, p. 117), em que os resultados estão em função das características hidráulicas do corpo da água, especificamente velocidade (v) e profundidade (H) (Equação 6).

$$K_2 = 3,73 \cdot v^{0,5} \cdot H^{-1,5} \quad (6)$$

Onde:

- v = velocidade (m/s);
- H = profundidade (m).

A escolha da fórmula foi orientada pela faixa de aplicação da mesma, que é adequada para rios com profundidades entre 0,6 e 4,0 m e velocidades entre 0,05 e 0,8 m/s. Também foi admitido valor máximo para K_2 igual a 10.

O coeficiente de decomposição da matéria orgânica, encontrada na biomassa suspensa e no lodo de fundo, é denominado K_d . Thomann e Mueller (1987, apud VON SPERLING, 2007, p. 327) e *Environmental Protection Agency* (1985, apud VON SPERLING, 2007, p. 327) propõem uma equação em função da vazão (Q) do curso hídrico, com faixa de aplicação em profundidades entre 0,3 e 10 m e vazões entre 0,15 e 250 m³/s (Equação 7).

$$K_d = 1,80 \cdot Q^{-0,49} \quad (7)$$

Onde:

- $Q = \text{vazão (m}^3/\text{s)}$.

4.3.5 Padrões ambientais

Visando a comparação dos resultados da modelagem da qualidade da água com os padrões ambientais dispostos na legislação, utilizaram-se dados da resolução do CONAMA nº 357/2005, que classifica os corpos hídricos quanto à qualidade e finalidade de uso.

A portaria da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA nº019/1992, enquadra o Rio do Campo e seus afluentes como Classe 2. Portanto, foram utilizados os padrões de qualidade da água desta classe.

4.3.6 Distâncias das seções

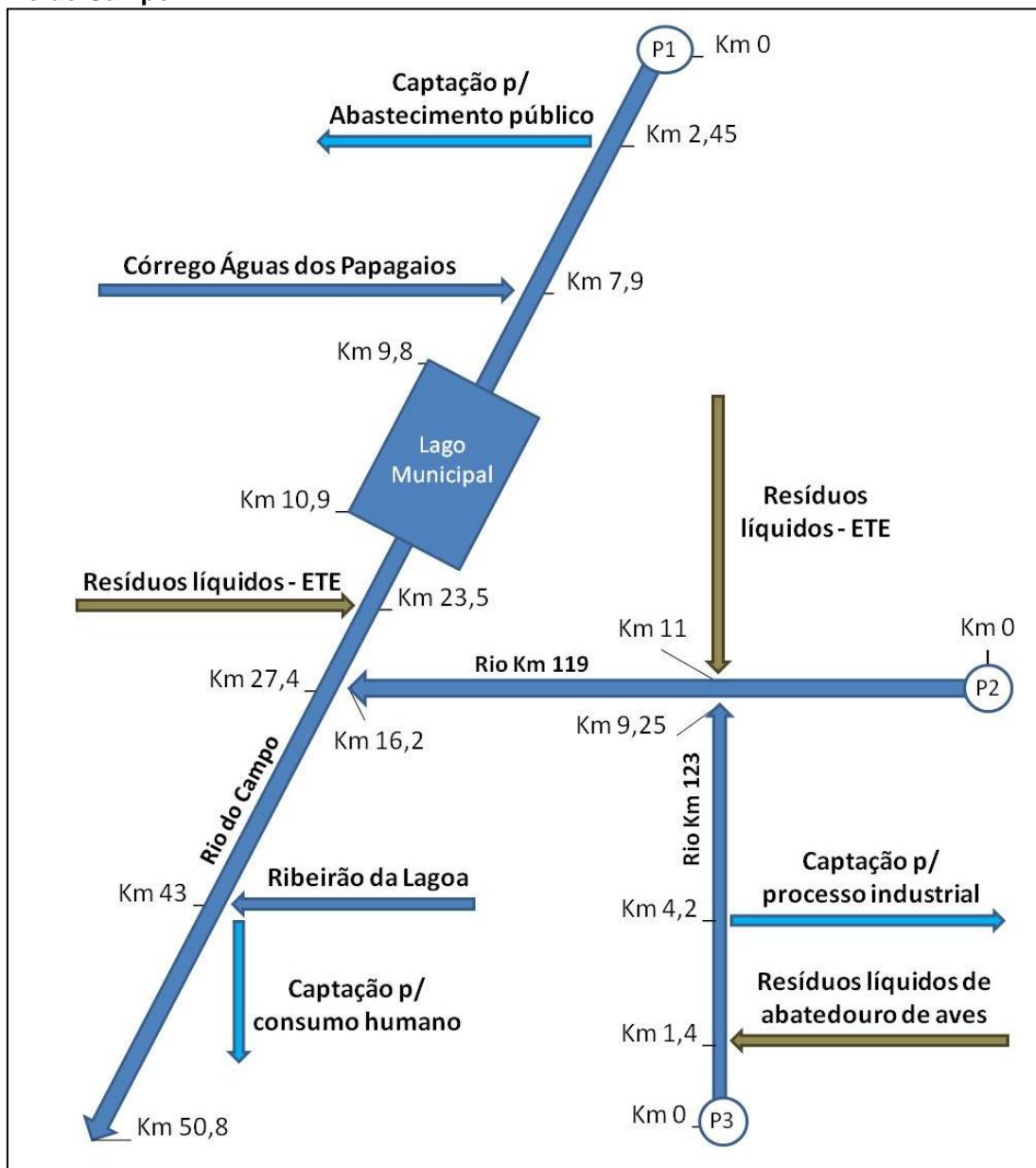
As distâncias das seções, ou também denominados trechos, que separam os pontos de lançamento de efluentes, entrada dos tributários e outros locais de interesse na modelagem, foram mensurados através do *software* livre QGIS, versão 2.16.3, que dispõe de ferramenta de medida que permitiu levantar os intervalos sobre imagens de satélite Bing Maps® (2014).

5 RESULTADOS

5.1 Resultados do procedimento de modelagem e obtenção de dados

Com o objetivo de elucidar o procedimento de modelagem da bacia hidrográfica do Rio do Campo, foi desenvolvido o diagrama unifilar simplificado (Figura 4). Conforme levantamento das seções, realizado com o *software* QGIS, verificou-se o comprimento de 50,8 km de modelagem do curso do Rio do Campo, 16,2 km do Rio Km 119 e 9,25 km do Rio Km 123.

Figura 4 – Diagrama unifilar simplificado da modelagem matemática da bacia hidrográfica do Rio do Campo.

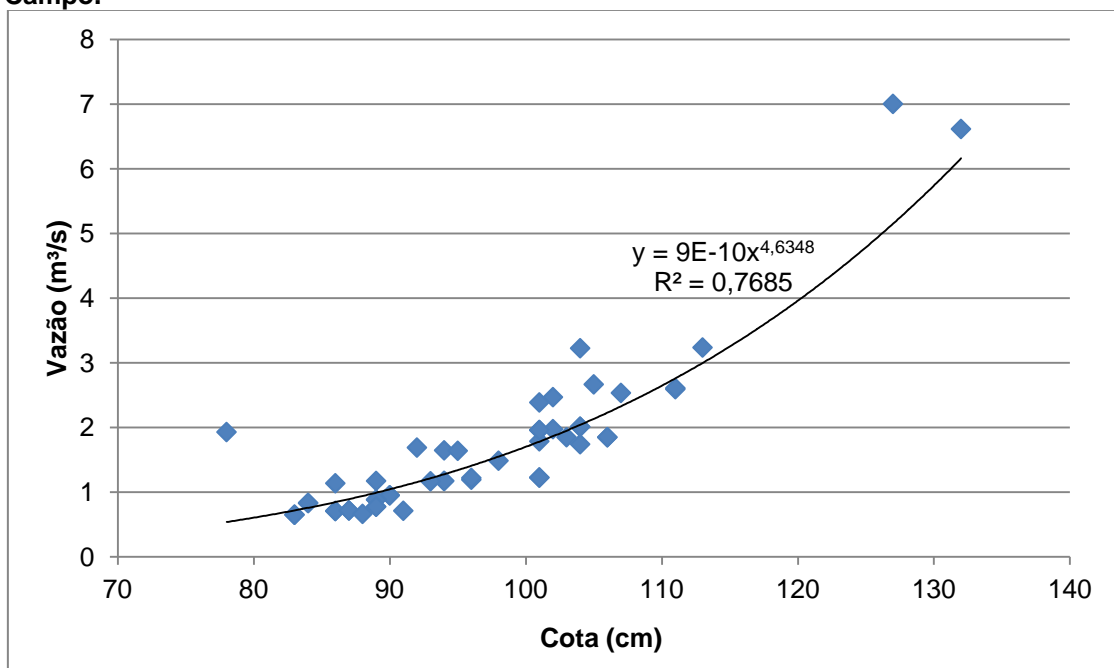


O levantamento realizado com programa QGIS também permitiu mensurar a seção do lago municipal, que possui comprimento igual a 1,1 km. A largura média do reservatório alcançou o valor de 105 m, na sua porção a montante, e média de 127 m a jusante. Foi considerada a profundidade inicial igual a 1 m, aumentando gradativamente até alcançar 2 m de profundidade na porção mais profunda, junto à barragem. Considera-se um lago raso, devido ao processo de assoreamento e formação de áreas de várzea, agravado pelo uso inadequado do solo a montante da bacia hidrográfica e pelo despejo de águas pluviais urbanas, que contribuem no acúmulo de sedimentos.

5.1.1 Valores das vazões

A partir da série de dados do posto fluviométrico da bacia hidrográfica do Rio do Campo, foi desenvolvido o gráfico da curva chave, visando realização dos cálculos de regionalização de vazão (Figura 5). Este gráfico possibilitou encontrar a equação (8) que representa a relação entre os valores de cota e vazão.

Figura 5 – Gráfico da curva chave dos dados do posto fluviométrico localizado no Rio do Campo.



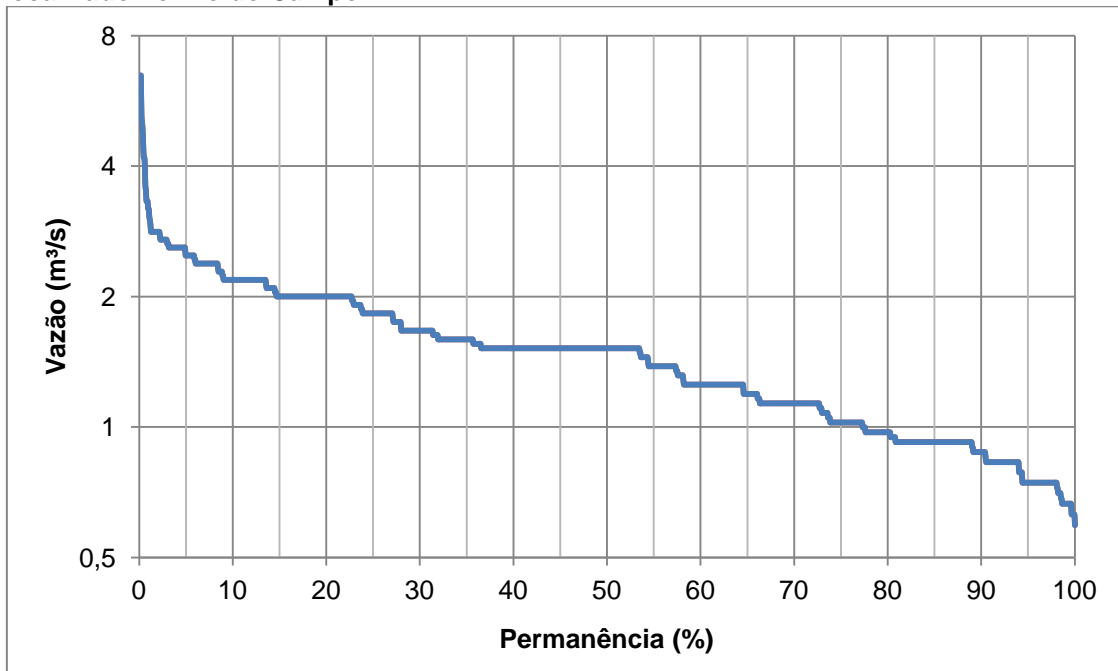
$$Q = 9 \cdot 10^{-10} \cdot H^{4,6348} \quad (8)$$

Onde:

- Q = vazão (m^3/s);
- H = cota (cm).

Seguidamente elaborou-se o gráfico da curva de permanência (Figura 6), qual expressa às vazões mínimas e médias, de acordo com suas respectivas probabilidades. Desse modo, obteve-se valor de 1, 519 m^3/s para Q_{50} e 0,7436 m^3/s para Q_{95} .

Figura 6 – Gráfico da curva de permanência da série histórica de dados do posto fluviométrico localizado no Rio do Campo.



O levantamento das áreas de drenagem da bacia hidrográfica do Rio do Campo (Figura 7) possibilitou encontrar a área de escoamento do posto fluviométrico, correspondente a 79,72 km^2 . A partir desse dado foi calculada a vazão específica, que alcançou o valor de 0,01905463 $m^3/s.km^2$ para Q_{50} e 0,009327296 $m^3/s.km^2$ para Q_{95} .

As vazões específicas foram multiplicadas com as áreas de drenagem das demais porções da bacia hidrográfica do Rio do Campo, gerando as respectivas vazões regionalizadas (Tabela 1).

Figura 7 – Segmentação da bacia hidrográfica do Rio do Campo em áreas de drenagem conforme pontos de interesse para modelagem matemática da qualidade da água.

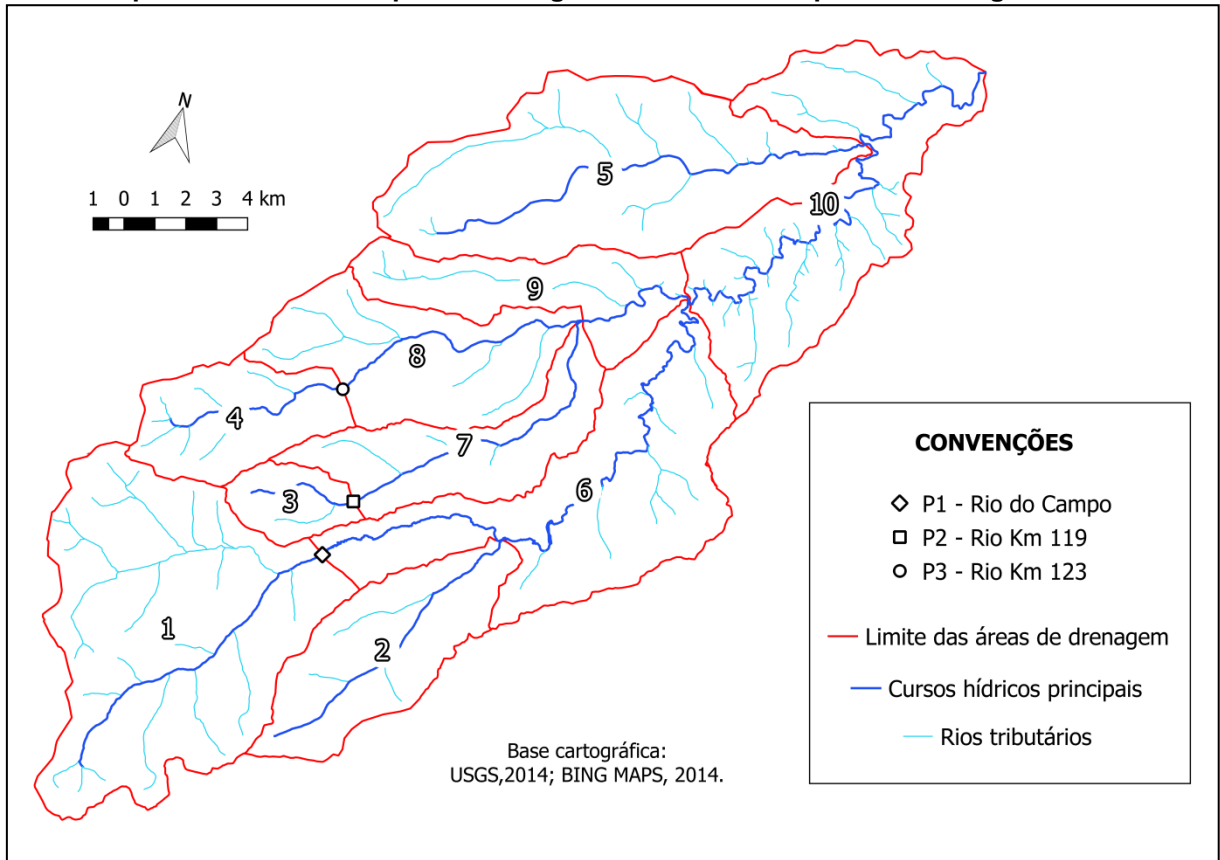


Tabela 1 – Resultados da regionalização de vazão para as áreas de drenagem da bacia hidrográfica do Rio do Campo.

Área de drenagem	Área (km ²)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)
1 – Montante de P1	76,224	1,452	0,711
2 – Córrego Água dos Papagaios	29,253	0,557	0,272
3 – Montante de P2	8,332	0,158	0,077
4 – Montante de P3	20,431	0,389	0,190
5 – Ribeirão da Lagoa	63,626	1,212	0,593
6 – Intermediária Rio do Campo	54,668	1,041	0,509
7 – Intemediária Rio Km 119	24,726	0,471	0,230
8 – Intermediária Rio Km 123	32,734	0,623	0,305
9 - Intemediária Rio Km 119	22,846	0,435	0,213
10 - Intermediária Rio do Campo	52,441	0,999	0,489
Área total da Bacia hidrográfica do Rio do Campo	385,281	7,341	3,593

Com relação às vazões das captações de água e dos lançamentos de resíduos líquidos, foram encontradas 3 captações e 3 pontos de lançamento, conforme os dados do Instituto das Águas do Paraná – AGUASPARANÁ (Tabela 2).

Tabela 2 – Vazões e coordenadas geográficas das captações de água e dos lançamentos de resíduos líquidos na bacia hidrográfica do Rio do Campo.

Tipo de outorga / Finalidade	Vazão (m³/s)	Coordenadas (UTM, zona 22J)	
		Longitude (m)	Latitude (m)
CAPTAÇÃO (Q > 0,01 m³/s)			
Abastecimento público (2 outorgas)	0,483	355277,078	7337583,866
Processo industrial	0,056	355431,538	7344284,360
Consumo humano	0,015	362750,442	7351405,907
LANÇAMENTO DE EFLUENTE			
Estação de Tratamento de Esgotos – Rio do Campo	0,067	363623,517	7345526,332
Estação de Tratamento de Esgotos – Rio Km 119	0,092	360571,357	7346257,484
Abatedouro de aves	0,032	354470,531	7343369,481

Fonte: INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (2017); INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (2017b).

5.1.2 Valores dos parâmetros de qualidade

A partir do estudo de Carvalho et al. (2015) obteve-se as médias dos parâmetros de qualidade da água para os pontos P1 e P2 (Tabela 3). Os dados de qualidade dos resíduos líquidos tratados e brutos foram obtidos conforme legislação e literatura específica (Tabela 4 e 5).

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros de qualidade da água dos pontos P1 e P2 a montante do Rio do Campo e do Rio Km 119.

Parâmetros	Pontos	
	P 1	P 2
Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)	7,62	7,55
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅ (mg/L)	2,82	3,06
Nitrogênio orgânico (mg/L)	0,46	0,36
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	1,04	1,32
Nitrito (mg/L)	0,26	0,20
Nitrato (mg/L)	0,20	0,16
Fósforo orgânico (mg/L)	0,08	0,05
Fósforo inorgânico (mg/L)	0,00	0,00
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	1810	1239
Temperatura (°C)	22	22

Fonte: CARVALHO et al. (2015).

Tabela 4 - Valores dos parâmetros de qualidade dos resíduos líquidos tratados.

Parâmetros	Empreendimentos	
	Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário	Abatedouro
Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)	0	0
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅ (mg/L)	60 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾
Nitrogênio orgânico (mg/L)	10 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	20 ⁽³⁾	20 ⁽³⁾
Nitrito (mg/L)	0	0
Nitrato (mg/L)	0	0
Fósforo orgânico (mg/L)	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾
Fósforo inorgânico (mg/L)	5 ⁽²⁾	5 ⁽²⁾
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	500000	0

Fonte: ⁽¹⁾ INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (2017b); ⁽²⁾ JORDÃO; PESSÔA, (2005); ⁽³⁾ CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2011).

Tabela 5 - Valores médios dos parâmetros de qualidade dos resíduos líquidos brutos.

Parâmetros	Empreendimentos	
	Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário	Abatedouro
Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)	0	0
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅ (mg/L)	400 ⁽²⁾	5448 ⁽¹⁾
Nitrogênio orgânico (mg/L)	35 ⁽²⁾	75 ⁽¹⁾
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	50 ⁽²⁾	125 ⁽¹⁾
Nitrito (mg/L)	0	0
Nitrato (mg/L)	0	0
Fósforo orgânico (mg/L)	5 ⁽²⁾	26 ⁽¹⁾
Fósforo inorgânico (mg/L)	10 ⁽²⁾	44 ⁽¹⁾
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	5 x 10 ⁷ ⁽³⁾	7,7x10 ⁹ ⁽⁴⁾

Fonte: ⁽¹⁾ DAMASCENO et al. (2009); ⁽²⁾ GONÇALVEZ; SOUZA (1997); ⁽³⁾ LINS (2010); ⁽⁴⁾ OLIVEIRA et al. (2011).

5.1.3 Valores dos coeficientes da modelagem K₁, K₂ e K_d

O valor utilizado para o coeficiente de desoxigenação (K₁) foi de 0,4, conforme fundamentação apresentada por Von Sperling (1995).

Os valores do coeficiente de reaeração (K₂) oscilaram conforme as vazões utilizadas nas modelagens. Nos cenários 1 e 2, com vazões Q₅₀, os valores de K₂ variaram de 1,85 a 1,9 no Rio do Campo, de 7,55 a 10 para o Rio Km 119 e no Rio Km 123 todos os valores atingiram o limite máximo estabelecido, no valor de 10. Na seção do lago municipal esses cenários apresentaram valores entre 0,10 e 0,40.

Nos cenários 3 e 4, os valores de K_2 variaram de 1,87 a 1,92 para a modelagem do Rio do Campo e para o Rio Km 119 e Rio Km 123 alcançaram o limite máximo estabelecido, no valor de 10. Na seção do lago municipal os dados de K_2 alcançaram valores entre 0,08 e 0,38.

Os valores do coeficiente de decomposição (K_d), nos cenários com vazão Q_{95} , variaram de 0,97 a 2,12 para a modelagem do Rio do Campo, de 1,73 a 6,21 para o Rio Km 119 e de 2,6 a 4,02 para o Rio Km 123. Nos cenários com vazão Q_{50} , variaram de 0,68 a 1,5 para a modelagem do Rio do Campo, de 1,24 a 4,38 para o Rio Km 119 e de 1,81 a 2,83 para o Rio Km 123.

5.1.4 Valores dos padrões ambientais

Os padrões ambientais seguem o que versa a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CANAMA nº 357/2005 para corpos hídricos de Classe 2 (Tabela 1).

Tabela 6 – Padrões de qualidade da água, para corpos hídricos de Classe 2, segundo resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.

Parâmetro	Valor
Oxigênio dissolvido - OD (mg/L)	≥5,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅ (mg/L)	≤5,0
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤3,7
Nitrito (mg/L)	≤1,0
Nitrato (mg/L)	≤10,0
Fósforo total (mg/L)	≤0,1
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	≤1000

Fonte: Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005).

5.2 Resultados dos cenários de modelagem matemática da qualidade da água

5.2.1 Cenário 1

Os resultados do Cenário 1 (resíduos líquidos tratados e vazões Q_{50}), apresentaram DBO₅, fósforo total e coliformes fora dos padrões da resolução CONAMA nº 357/2005. As concentrações do fósforo total apresentaram as maiores distâncias no curso hídrico fora dos limites da referida resolução (Figura 8).

Através dos perfis das concentrações dos parâmetros de qualidade (Figuras 9 a 15), é possível identificar que os trechos onde os padrões ambientais são ultrapassados, localizam-se imediatamente após os lançamentos de resíduos líquidos, exceto coliformes, que também estava em desacordo no início da modelagem.

Figura 8 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 1 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.

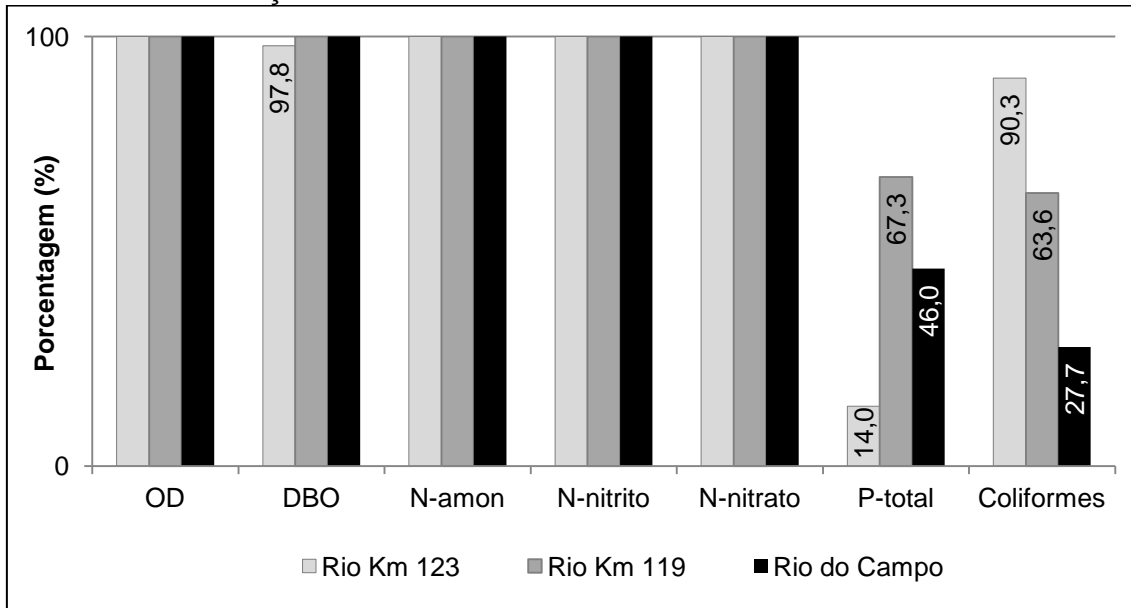


Figura 9 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 1 para o Rio Km 123.

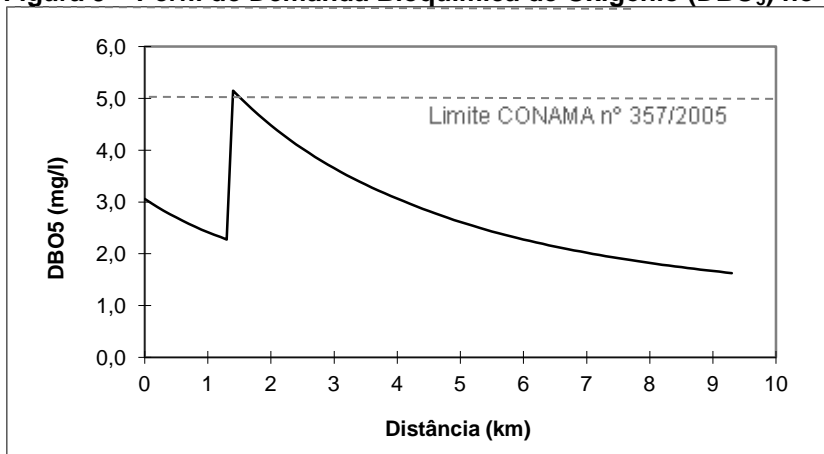


Figura 10 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio Km 123.

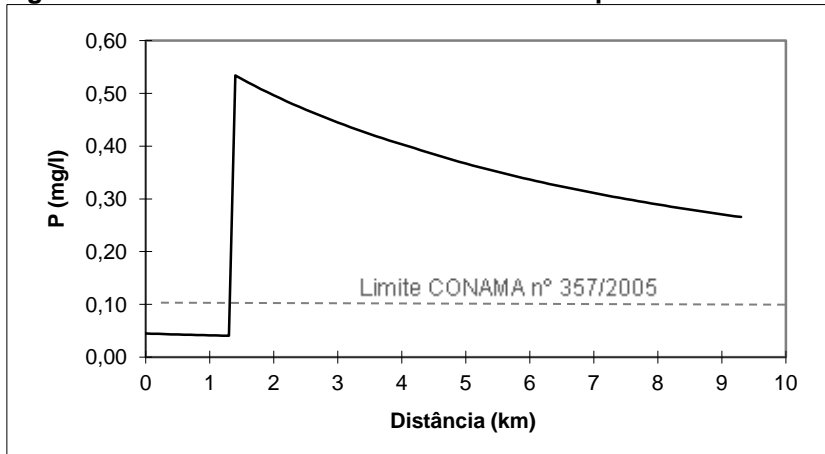


Figura 11 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio Km 123.

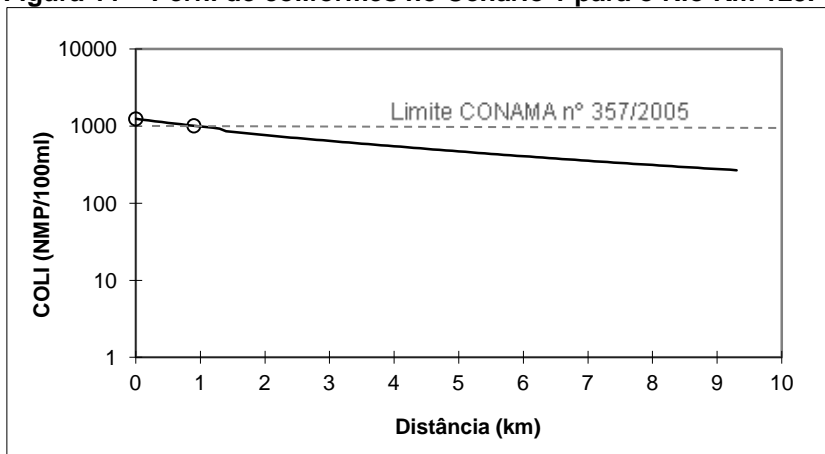


Figura 12 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio Km 119.

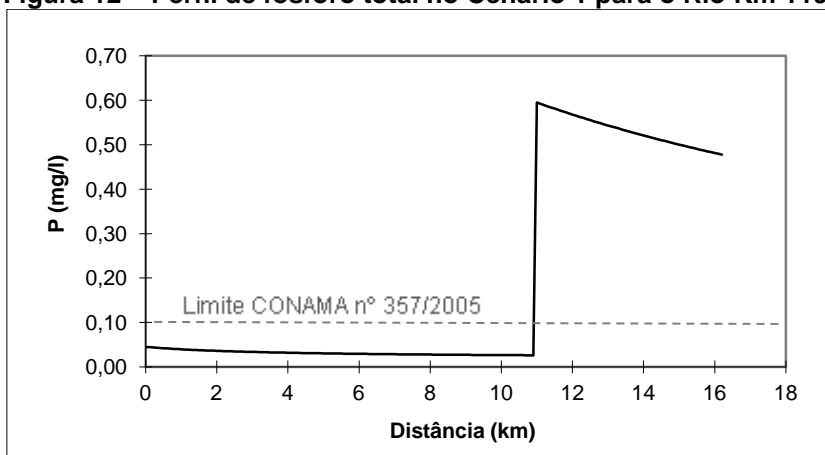


Figura 13 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio Km 119.

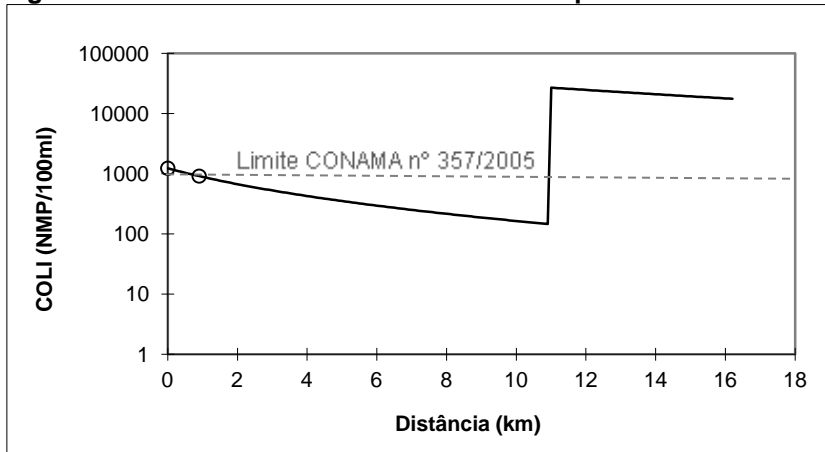


Figura 14 – Perfil de fósforo total no Cenário 1 para o Rio do Campo.

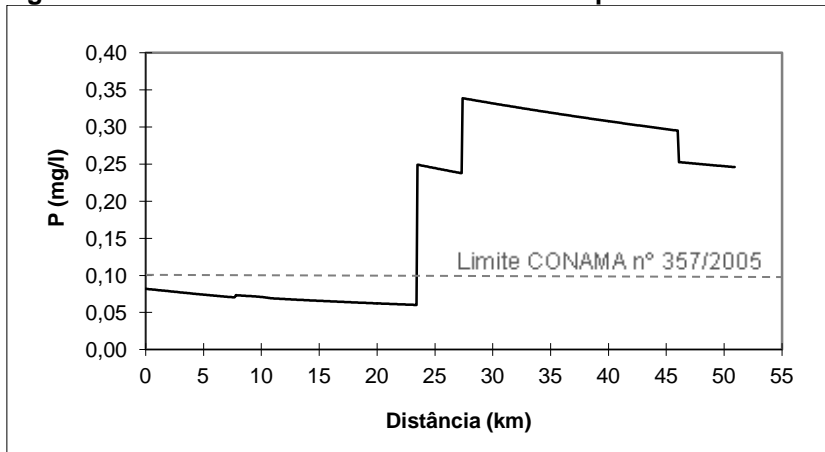
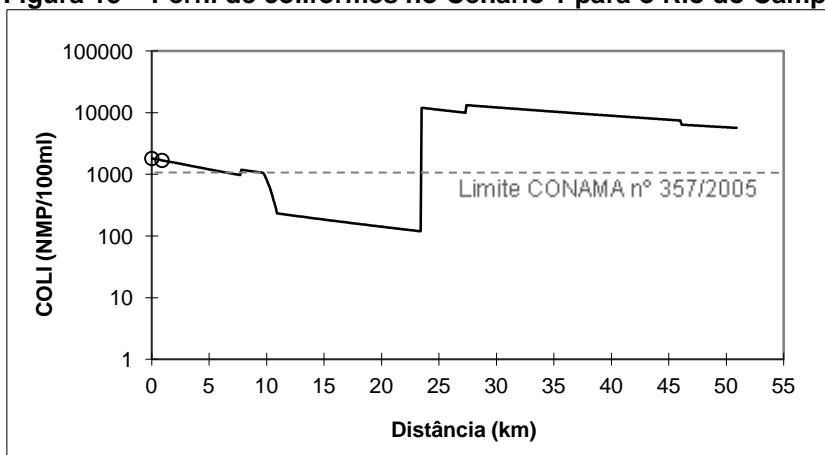


Figura 15 – Perfil de coliformes no Cenário 1 para o Rio do Campo.



O lago municipal exerce grande influência sobre a qualidade da água do Rio do Campo, onde se verifica depleção do oxigênio (km 10), bem como, da demanda bioquímica de oxigênio (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 1 para o Rio do Campo

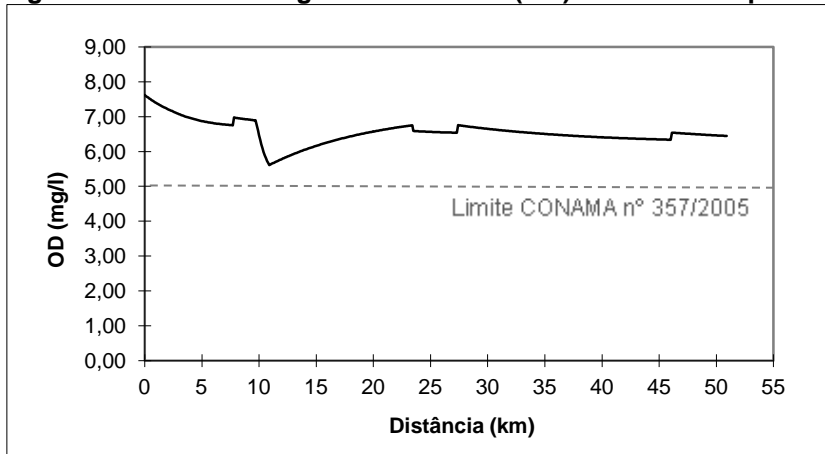
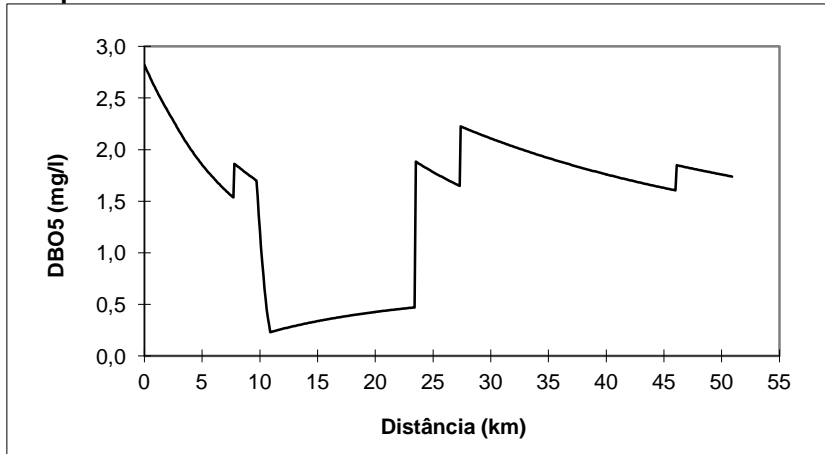
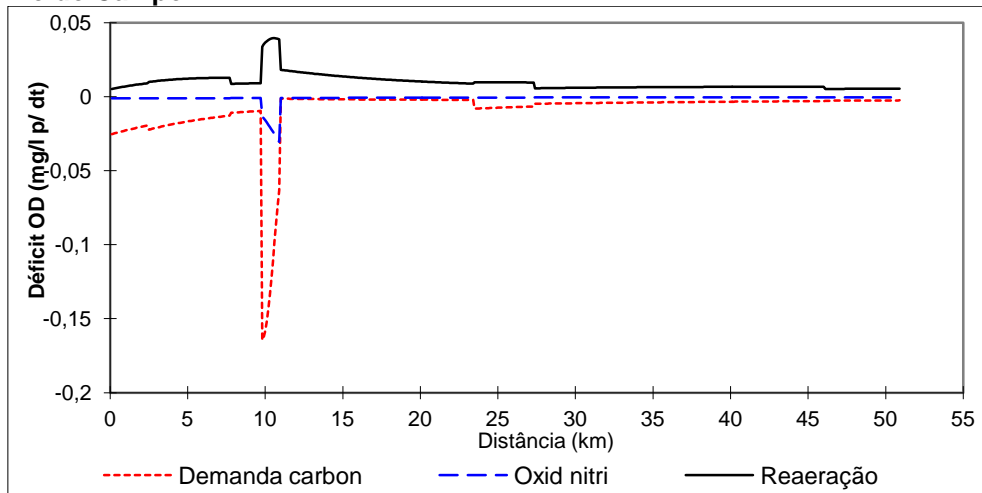


Figura 17 - Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 1 para o Rio do Campo



Na seção do Rio do Campo, onde se encontra o Lago Municipal (km 10), também ocorreu um grande pico dos valores de reeração atmosférica, demanda carbonácea e oxidação do nitrito (Figura 18).

Figura 18 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 1 para o Rio do Campo.



5.2.2 Cenário 2

Os resultados do Cenário 2 (resíduos líquidos brutos e vazões Q_{50}) apresentaram OD, DBO_5 , nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes fora dos padrões da resolução CONAMA nº357/2005. As concentrações do fósforo total apresentaram as maiores distâncias no curso hídrico fora dos limites da referida resolução (Figura 19).

Verificou-se que a partir dos pontos de lançamento de resíduos líquidos houve aumento dos valores das concentrações, exceto o OD, que se aproxima de zero, e nitrito e nitrato, que não ultrapassaram os padrões ambientais. Os gráficos de OD e DBO_5 evidenciam que até a foz da bacia hidrográfica do Rio do Campo, as concentrações dos parâmetros não atendem o exigido pela resolução CONAMA nº 357/2005 (Figuras 20 a 25).

Figura 19 – Percentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 2 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.

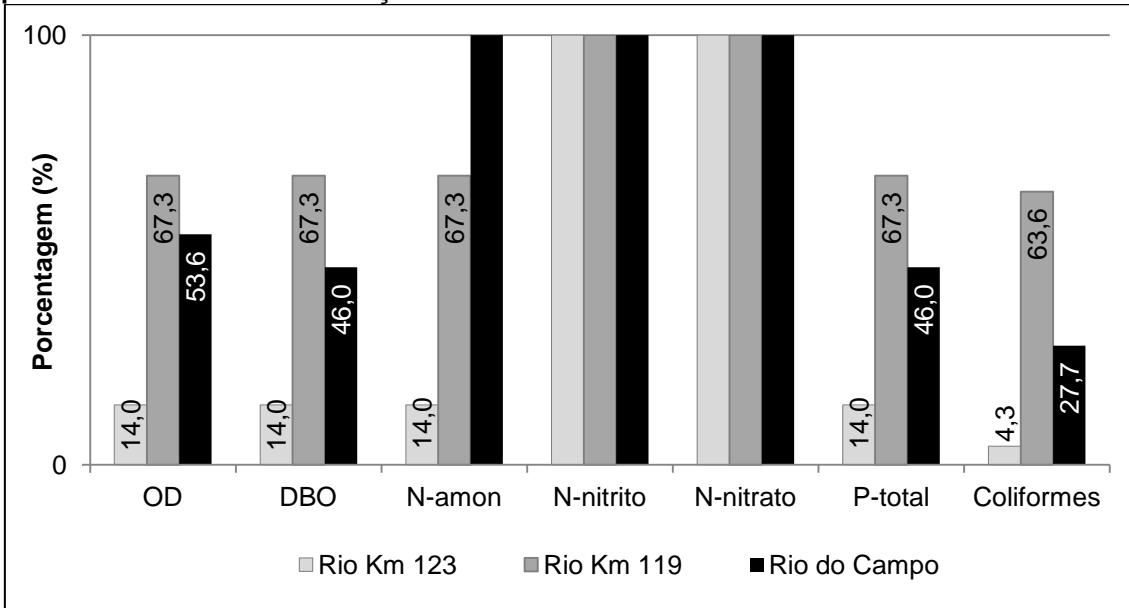


Figura 20 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio Km 123.

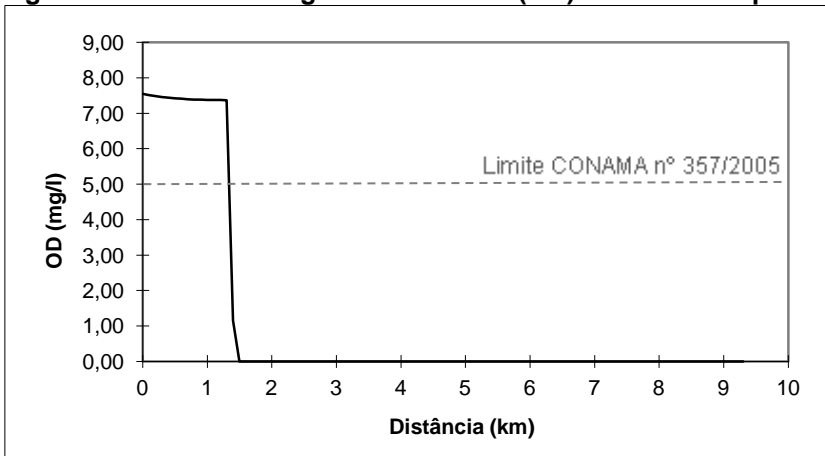


Figura 21 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 2 para o Rio Km 123.

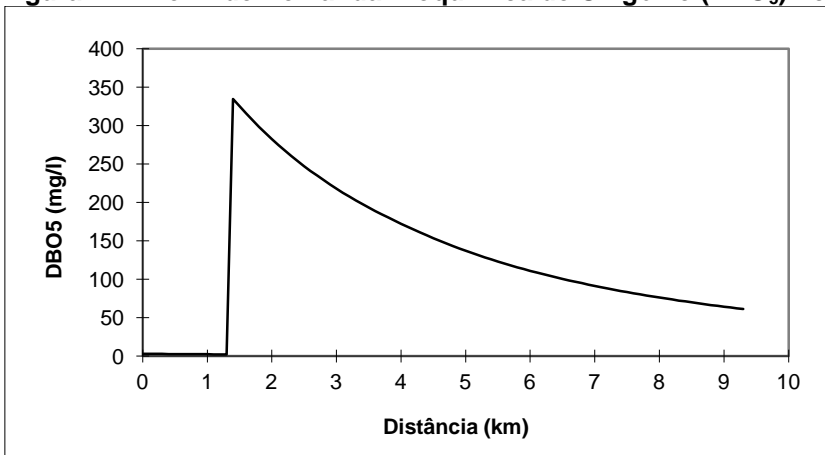


Figura 22 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio Km 119.

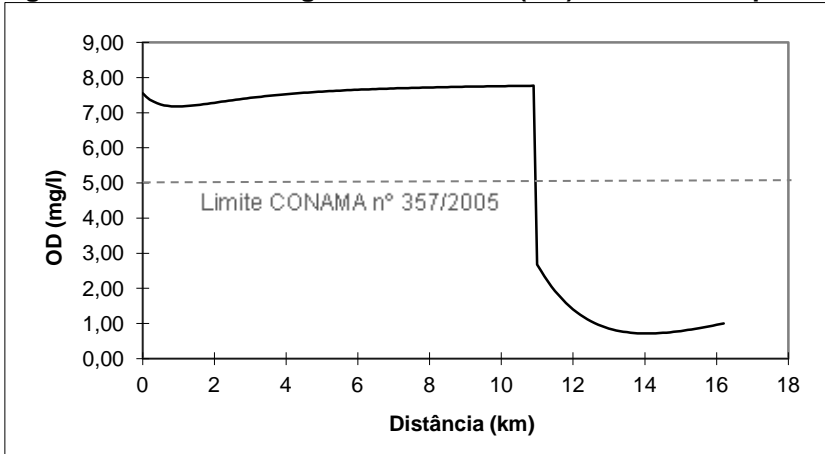


Figura 23 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 2 para o Rio Km 119.

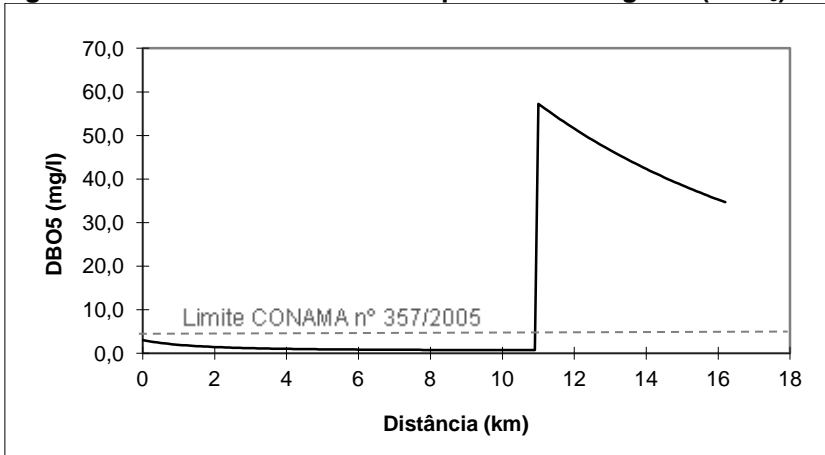


Figura 24 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio do Campo.

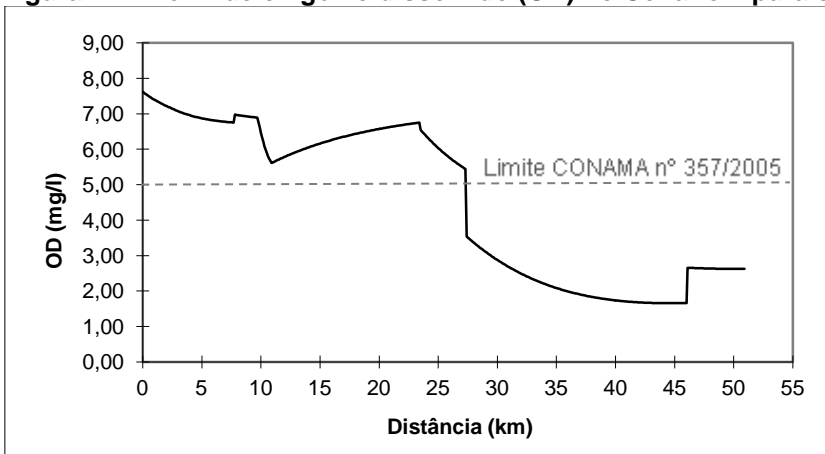
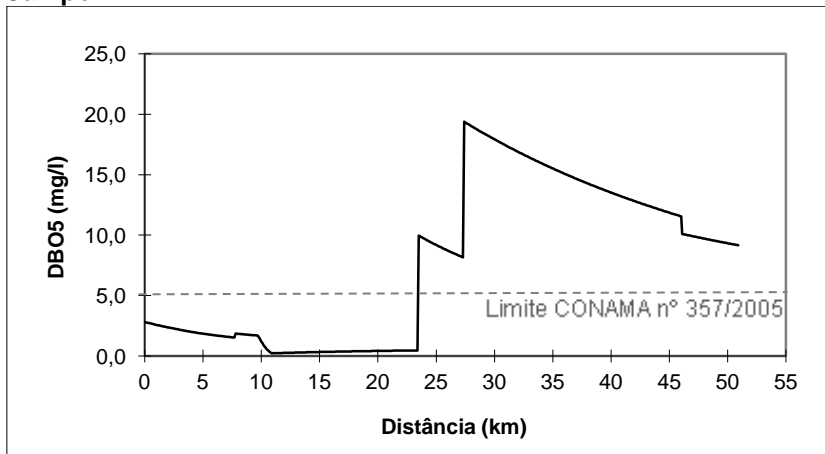
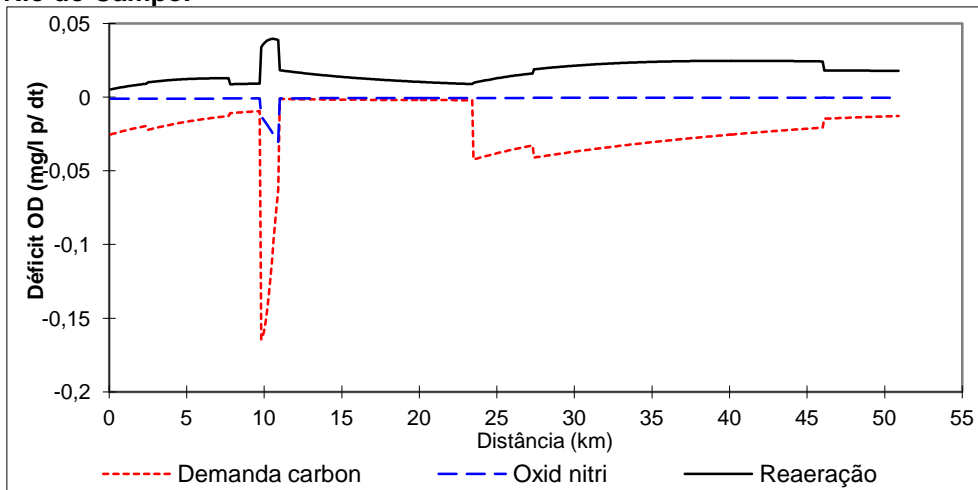


Figura 25 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 2 para o Rio do Campo.



No trecho do curso do Rio do Campo, onde se encontra o Lago Municipal (km 10), nota-se um grande pico dos valores de reatuação atmosférica, demanda carbonácea e oxidação do nitrito. Também se obteve dados elevados de demanda carbonácea a partir do lançamento de esgotos pela estação de tratamento de esgotos do Rio do Campo (Figura 26).

Figura 26 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 2 para o Rio do Campo.



5.2.3 Cenário 3

Os resultados do Cenário 3 (resíduos líquidos tratados e vazões Q_{95}) apresentaram DBO₅, fósforo total e coliformes fora dos padrões da resolução CONAMA nº 357/2005. As concentrações do fósforo total novamente apresentaram

as maiores distâncias no curso hídrico fora dos limites da referida resolução (Figura 27).

Através dos gráficos dos perfis dos parâmetros (Figuras 28 a 35), é possível identificar que os trechos onde os padrões ambientais são ultrapassados, localizam-se imediatamente após os lançamentos de resíduos líquidos, exceto coliformes, que também estava em desacordo no início da modelagem.

Figura 27 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 3 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.

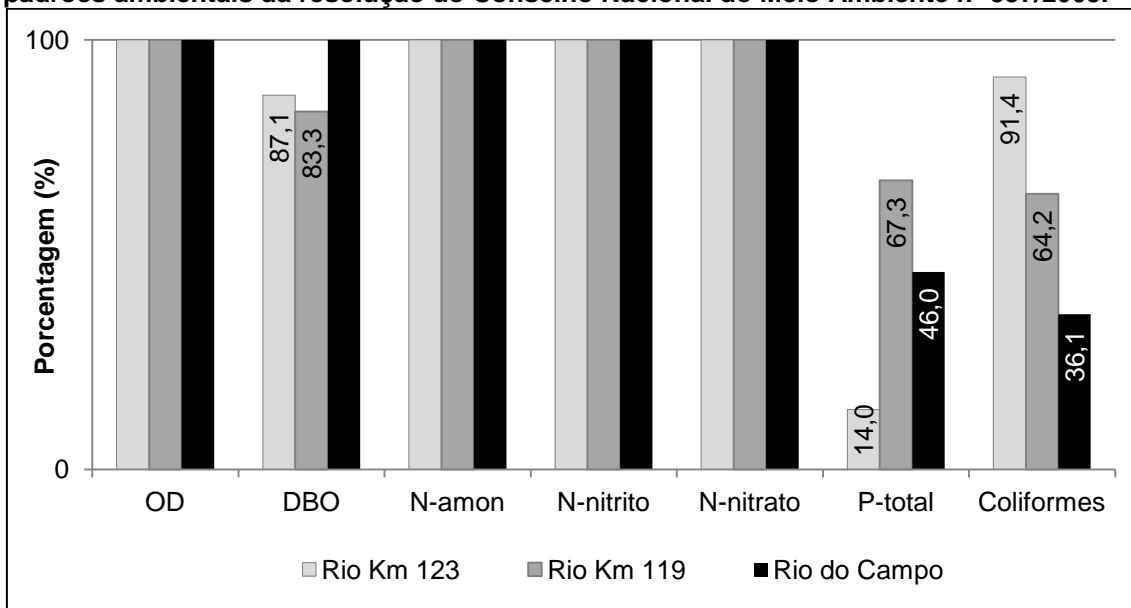


Figura 28 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 3 para o Rio Km 123.

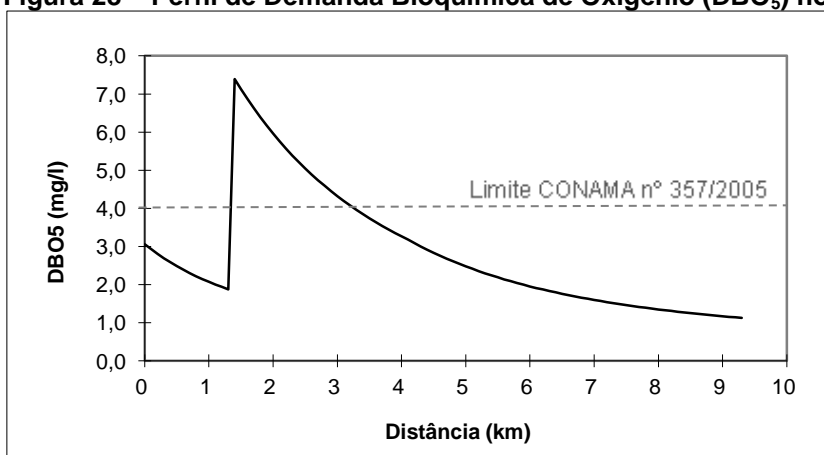


Figura 29 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio Km 123.

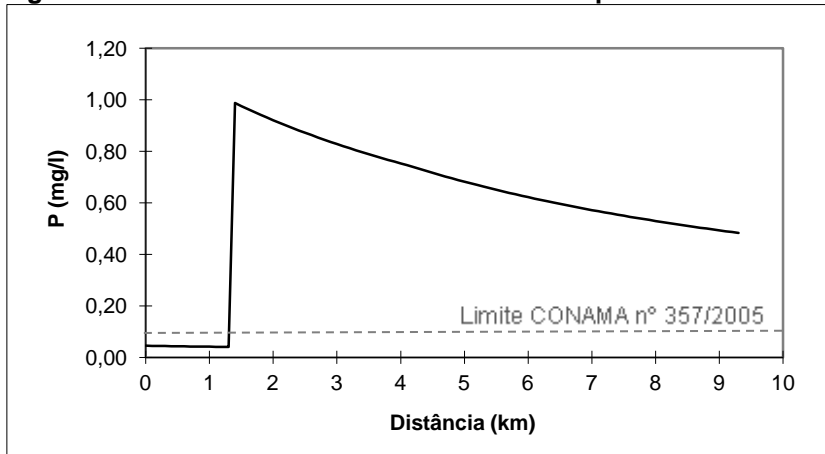


Figura 30 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio Km 123.

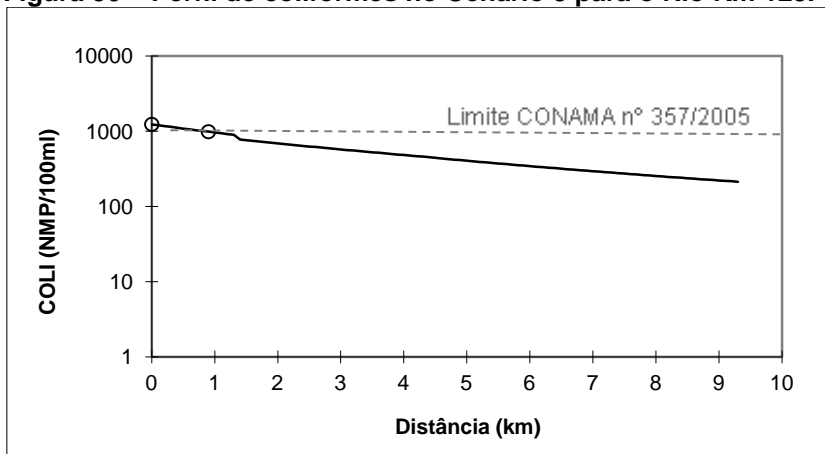


Figura 31 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 3 para o Rio Km 119.

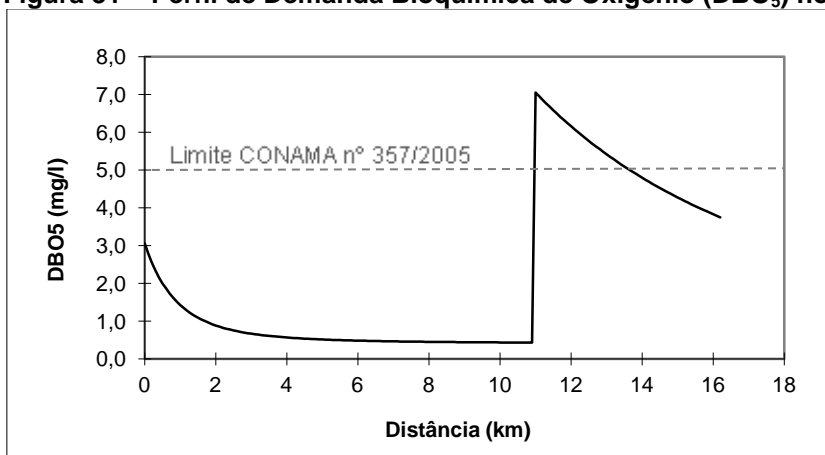


Figura 32 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio Km 119.

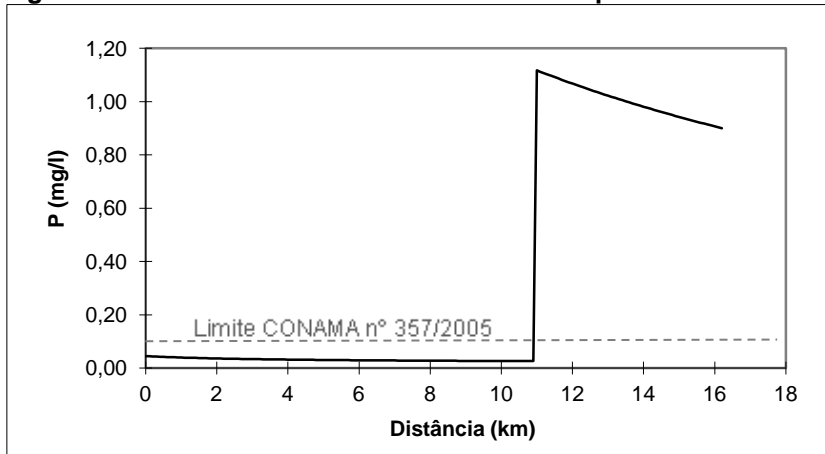


Figura 33 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio Km 119.

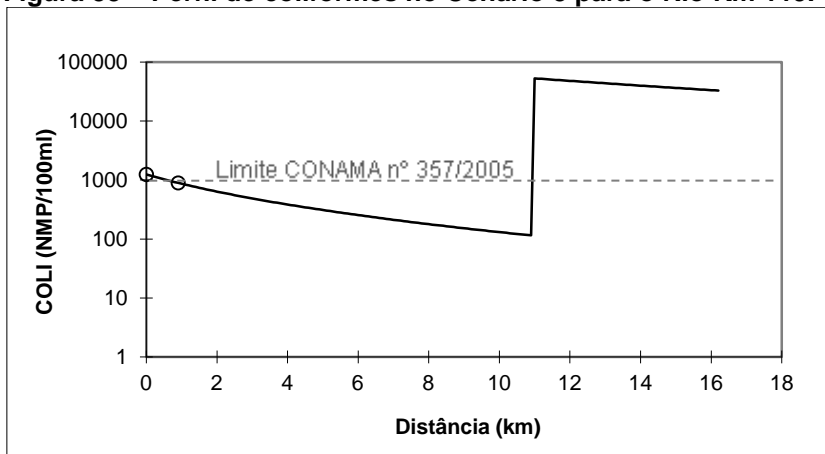


Figura 34 – Perfil de fósforo total no Cenário 3 para o Rio do Campo.

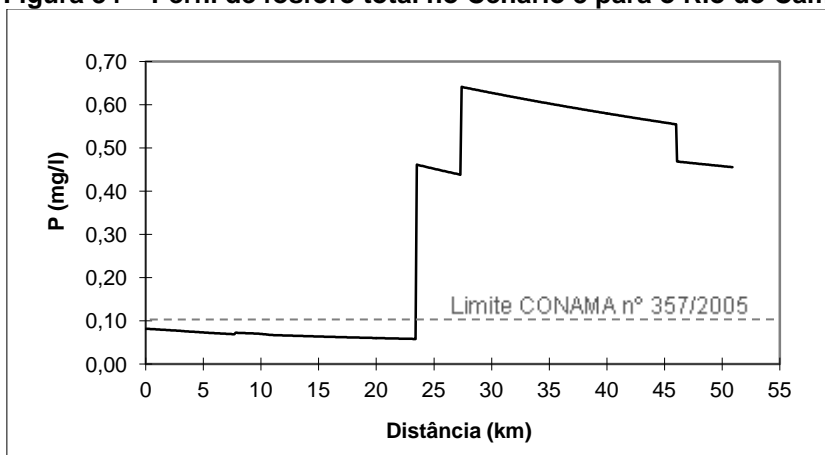
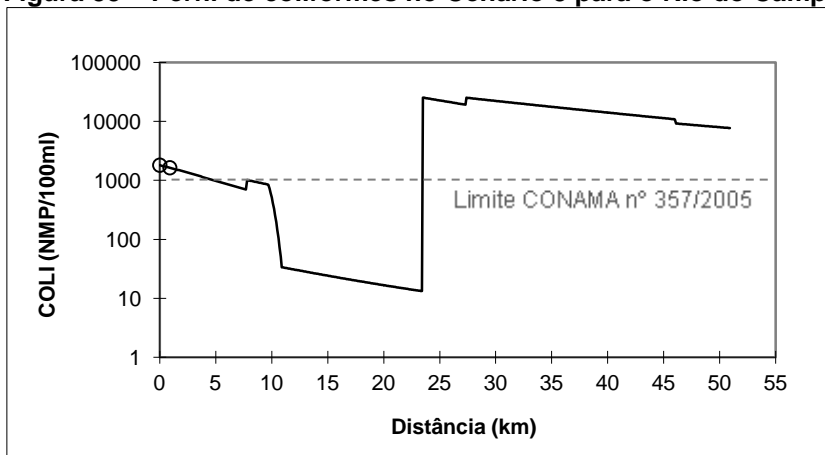


Figura 35 – Perfil de coliformes no Cenário 3 para o Rio do Campo.



O lago municipal novamente apresentou grande influência sobre a qualidade da água do Rio do Campo, onde se verifica depleção do oxigênio (km 10), bem como, da demanda bioquímica de oxigênio (Figuras 36 e 37).

Figura 36 - Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 3 para o Rio do Campo

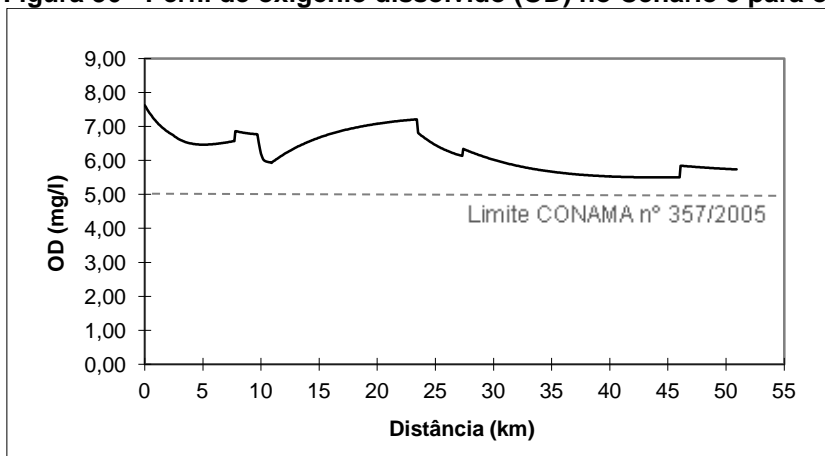
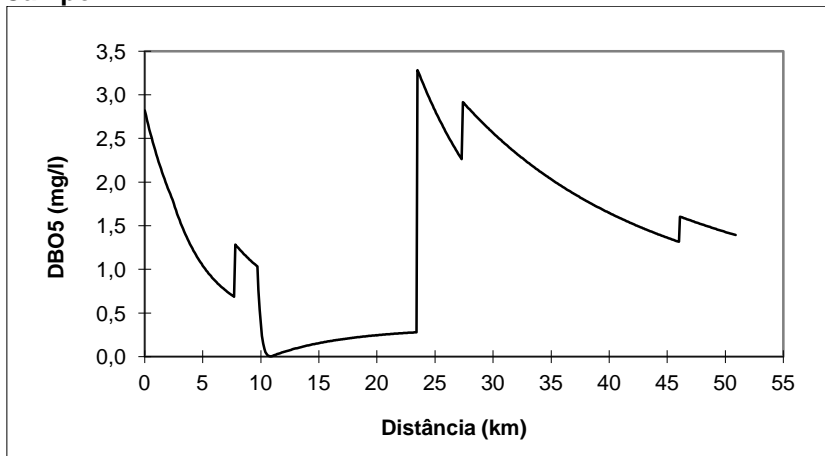
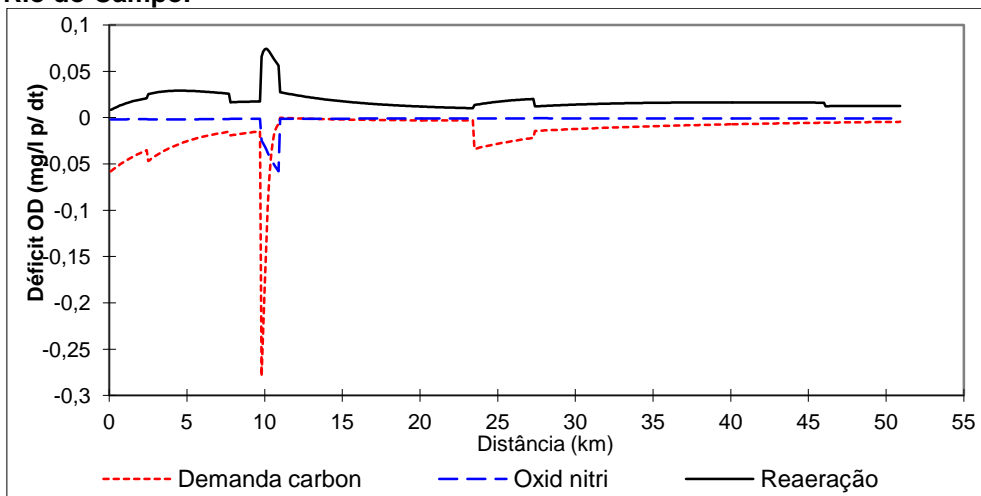


Figura 37 - Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 3 para o Rio do Campo.



Na seção do Rio do Campo, onde se encontra o Lago Municipal (km 10), também ocorreu um grande pico dos valores de reaeração atmosférica, demanda carbonácea e oxidação do nitrito (Figura 38).

Figura 38 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 3 para o Rio do Campo.



5.2.4 Cenário 4

Os resultados do Cenário 4 (resíduos líquidos brutos e vazões Q_{95}) apresentaram OD, DBO₅, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes fora dos padrões da resolução CONAMA nº 357/2005. As concentrações do fósforo total novamente alcançaram valores fora do limite da referida resolução em maior extensão no curso hídrico (Figura 39).

De modo análogo ao Cenário 2, verificou-se que a partir dos pontos de lançamento de resíduos líquidos, houve aumento das concentrações, exceto o OD, que se aproxima de zero, e nitrito e nitrato, que não ultrapassaram os padrões ambientais. Os gráficos de OD e DBO_5 evidenciam que até a foz da bacia hidrográfica do Rio do Campo, os valores dos parâmetros não retornam as condições exigidas pela resolução CONAMA nº 357/2005. Também se evidencia a ocorrência de trechos em condições de anaerobiose nos três cursos hídricos modelados (Figuras 40 a 45).

Figura 39 – Porcentagem da extensão dos cursos hídricos do Cenário 1 que atende aos padrões ambientais da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005.

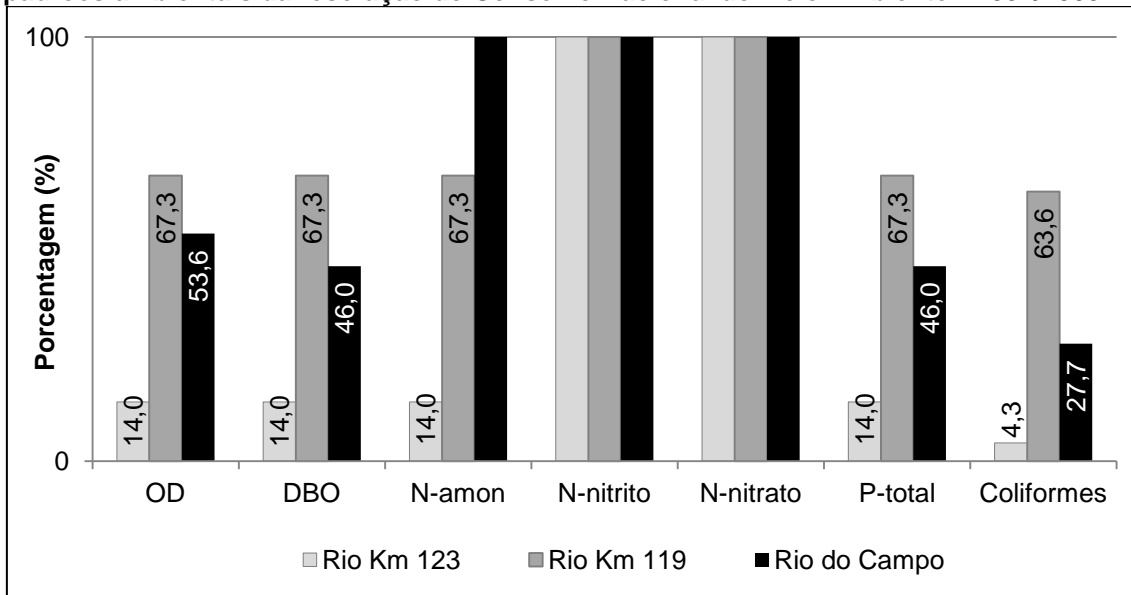


Figura 40 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio Km 123.

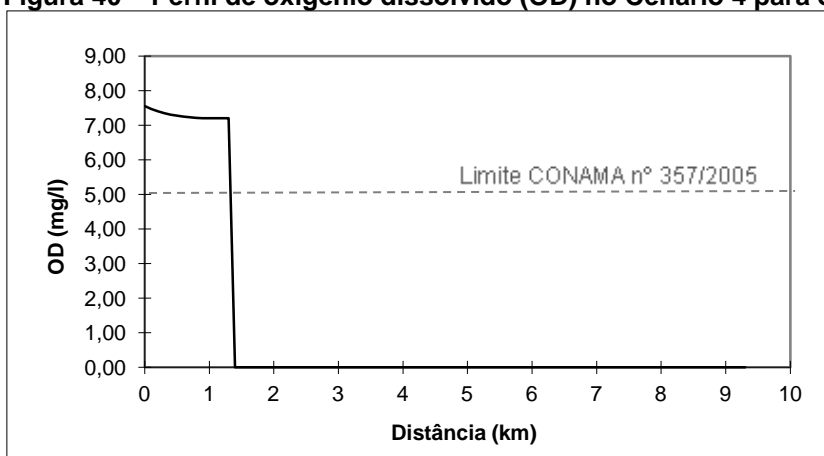


Figura 41 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 4 para o Rio Km 123.

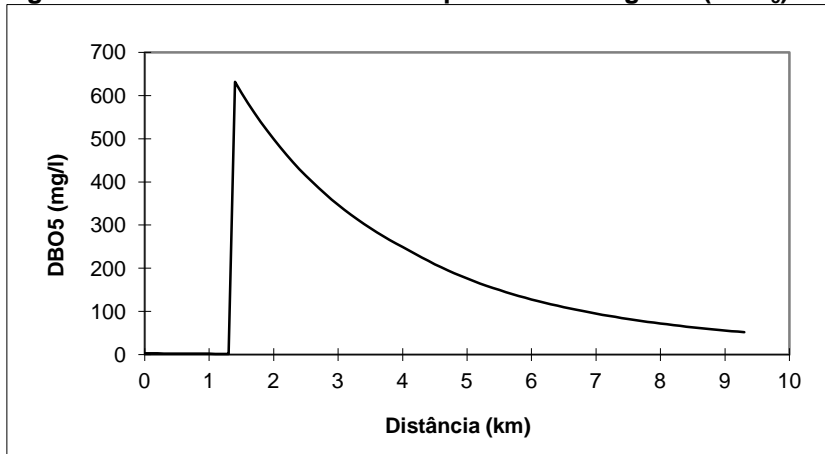


Figura 42 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio Km 119.

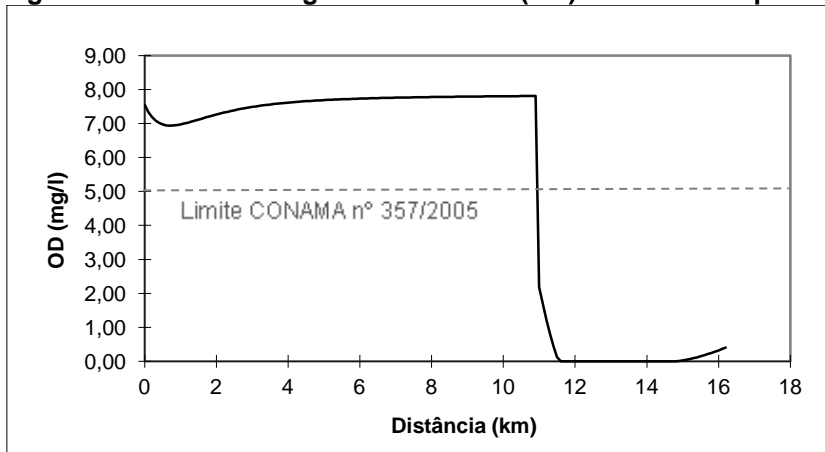


Figura 43 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 4 para o Rio Km 119.

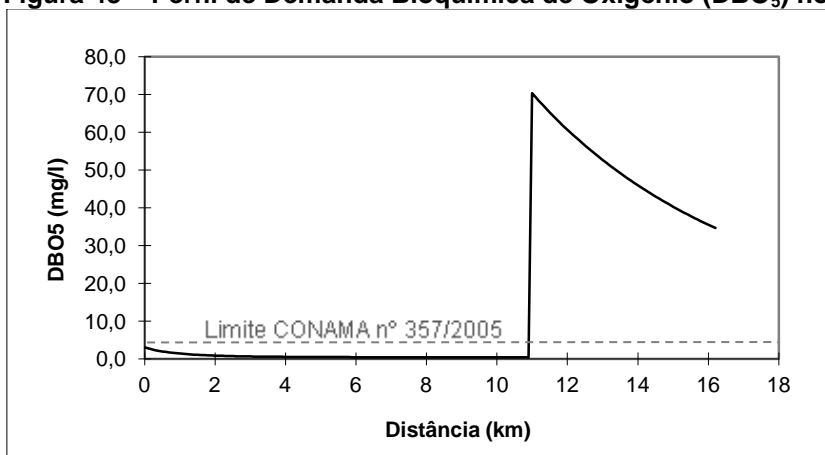


Figura 44 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio do Campo.

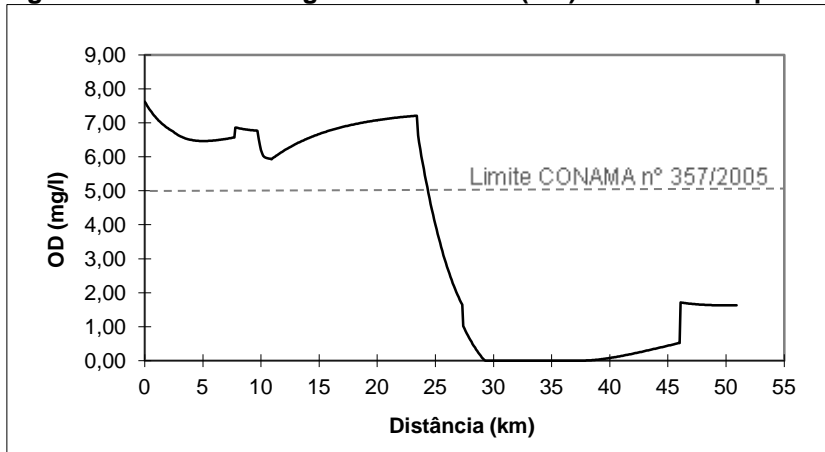
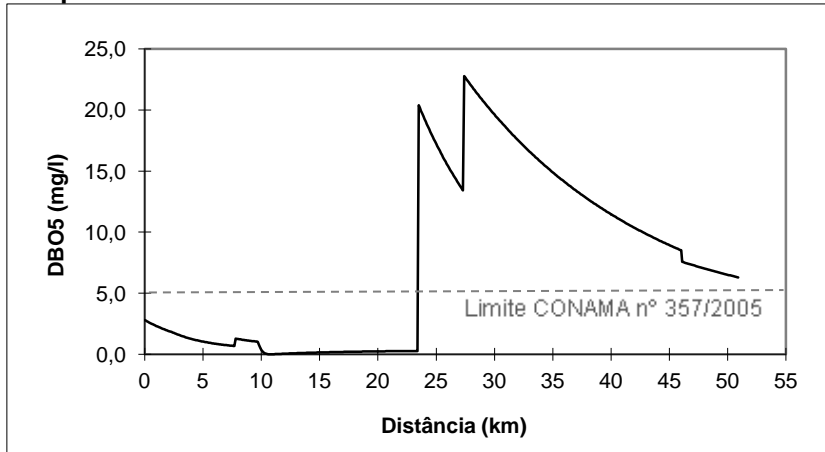
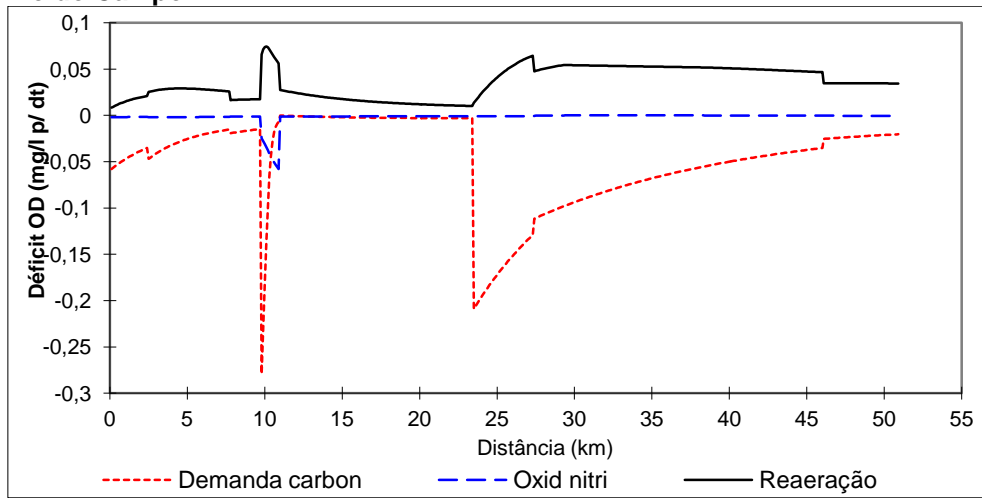


Figura 45 – Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) no Cenário 4 para o Rio do Campo.



No trecho do curso do Rio do Campo, onde se encontra o Lago Municipal (km 10), nota-se um grande pico dos valores de reatificação atmosférica, demanda carbonácea e oxidação do nitrito. Também se obteve dados elevados de demanda carbonácea a partir do lançamento de resíduos líquidos pela estação de tratamento de esgotos do Rio do Campo (Figura 46).

Figura 46 – Perfis de componentes do balanço de oxigênio dissolvido (OD) no Cenário 4 para o Rio do Campo.



6 DISCUSSÕES

Diante dos cenários estudados, o Cenário 1 é o que apresenta melhor qualidade da água, devido suas características, como o lançamento de resíduos líquidos tratados e a maior vazão na bacia hidrográfica. Entretanto, ainda nota-se que os padrões da Classe 2 dos corpos hídricos, dispostos na resolução CONAMA nº 357/2005, não são atendidos.

No Rio Km 123, após o lançamento de resíduos líquidos do abatedouro de aves (km 1,4), há ocorrência de concentrações de DBO_5 em desacordo com os padrões ambientais em todos os cenários. A outorga de lançamento de efluentes do empreendimento permite descargas de resíduos líquidos com DBO_5 máxima de 50 mg/l, porém, conforme o Cenário 1, essa concentração não é adequada para que o Rio Km 123 mantenha seus níveis de DBO_5 de acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005. A situação é mais crítica no Cenário 3, quando é realizada a modelagem com a vazão mínima (Q_{95}), havendo trecho maior do rio em desacordo com a resolução.

Ante o exposto, a referida seção localizada no Rio Km 123, trata-se de um ponto crítico que deve ser considerado na gestão da bacia hidrográfica do Rio do Campo, sendo recomendado o levantamento de maior número de dados, visando realizar estudo específico que defina o limite adequado de lançamento. Ao encontrar o valor do limite, podem ser necessárias alterações nas condicionantes da outorga e consequente adequação do sistema de tratamento de efluentes do abatedouro de aves.

De modo análogo ao Rio Km 123, o Rio Km 119 apresenta DBO_5 em desacordo com a legislação após o lançamento de efluentes da estação de tratamento de esgotos, na modelagem com vazões Q_{95} (Cenário 3). A seção também se trata de um ponto crítico, qual carece de estudos para definição dos limites de lançamento e adequações cabíveis quanto à outorga e sistema de tratamento.

Ressalta-se, que quanto mais elevada à concentração de DBO_5 , mais o corpo hídrico tende a ter sua quantidade de oxigênio reduzida, devido à decomposição dos compostos orgânicos por bactérias aeróbias, que podem ocasionar a morte de peixes e outros organismos aquáticos (SIQUEIRA; APRILE; MIGUÉIS, 2012).

A partir dos cenários também se evidencia a dificuldade em manter as concentrações de fósforo e coliformes de acordo com os padrões ambientais. Em todas as modelagens realizadas, nos quatro diferentes cenários, houve seções com a concentração destes parâmetros excedendo os limites da legislação.

Os dados iniciais de qualidade da água, dos pontos P₁ e P₂, já apresentavam concentração de coliformes em desacordo com os limites da resolução CONAMA nº 357/2005, devido a possíveis lançamentos de esgoto de forma irregular a montante dos corpos hídricos. Ressalta-se, que os coliformes são indicadores de contaminação fecal e funcionam, de forma indireta, como um mecanismo de verificação da potencialidade do corpo hídrico em transmitir doenças. A origem destes organismos patogênicos é predominantemente humana, estabelecidas no intestino e excretadas junto com as fezes, assim refletem na qualidade da saúde da população e nas condições de saneamento básico (VON SPERLING, 2007).

As concentrações de fósforo dos resíduos líquidos do abatedouro de aves, nos cenários que consideram o lançamento de efluentes tratados (Cenários 1 e 3), representam o resultado de um tratamento com 89% de eficiência se comparados aos dados utilizados no lançamento bruto (Cenários 2 e 4). A maioria dos processos de tratamento de esgoto gera efluentes com teores de fósforo que são pouco menores do que os do esgoto bruto (MOTA; VON SPERLING, 2009), indicando que as concentrações reais nos resíduos líquidos lançados no Rio Km 123, podem ser maiores do que os valores utilizados nos cenários desse estudo.

As fontes artificiais mais importantes de fósforo nos rios são provenientes dos esgotos domésticos e das atividades industriais. Segundo Chao, Yabroudi e Morita (2011), o problema do fósforo agrava-se pelo fato de que as estações de tratamento de esgotos não foram projetadas para remoção de nutrientes, nem mesmo aquelas que lançam à montante de outras captações ou em área de proteção de mananciais.

Em geral, as estações são compostas por sistema primário e secundário de tratamento, não havendo processo subsequente de remoção de nutrientes, sendo encontrado fósforo nos efluentes em concentrações elevadas.

Apesar dos avanços obtidos com a Lei nº 9.433/97, raríssimas são as bacias hidrográficas que possuem legislação que estabeleça os limites das cargas de fósforo (CHAO, 2006). Para a bacia hidrográfica do Rio do Campo não há

regulamentação legal dos limites de fósforo para lançamentos de resíduos líquidos, nem mesmo nas outorgas de lançamento de efluentes ou nas licenças ambientais.

A resolução CONAMA nº 430/2011, discorre que o órgão ambiental competente pode definir padrões específicos para o parâmetro fósforo. Entretanto, o dispositivo não se enquadra as condições dos cenários estudados, pois se refere apenas a corpos receptores com registro histórico de cianobactérias e a trechos onde ocorra a captação de água para abastecimento público. Apesar de haver captações para abastecimento público no Rio do Campo, a concentração de fósforo ultrapassa o limite somente à jusante desse local, especificamente após os lançamentos de efluentes. Mas esta situação não exige a atenção sobre a área, pois havendo outras atividades a montante da bacia hidrográfica, podem ocorrer alterações negativas na qualidade da água destinada ao consumo humano.

O fósforo é considerado um componente de grande importância nos fenômenos de eutrofização e tem recebido atenção em ações que buscam melhorar a qualidade da água dos rios, por ser considerado um fator limitante no crescimento de algas, inclusive algas tóxicas como as cianobactérias (CHAO; YABROUDI; MORITA, 2011). A principal preocupação verificada com a presença de cianobactérias em mananciais é a capacidade que algumas espécies possuem em produzir toxinas, denominadas cianotoxinas, as quais podem, em função da concentração, atingir severamente tanto homens quanto animais (LAPOLLI; CORAL; RECIO, 2014).

O excesso de fósforo também causa a eutrofização, devido o enriquecimento excessivo da água que estimula o crescimento de algas e plantas que podem consumir o oxigênio e ocasionar mortandade de peixes. É considerado um grande poluente de cursos da água, especialmente os superficiais, devido à baixa capacidade de percolação (KLEIN; AGNE, 2012).

Portanto, assim como a DBO_5 , é importante que sejam definidos limites de lançamentos para os parâmetros fósforo e coliformes. Compreende-se que a remoção de fósforo de efluentes deve ser avaliada à luz de soluções tecnológicas e economicamente viáveis para o enfrentamento dos problemas ambientais, entretanto, tem sido negligenciada pelos mecanismos de gestão de recursos hídricos (CHAO, 2006).

Os valores dos parâmetros de qualidade da água dos rios ultrapassam os limites da resolução CONAMA nº 357/2005, predominantemente, após o lançamento

de resíduos líquidos. Verifica-se que para os cenários estudados com lançamento de esgoto bruto, os rios modelados não apresentaram capacidade de autodepurar as cargas de poluentes até a foz da bacia hidrográfica do Rio do Campo. Para as concentrações de fósforo e coliformes, também não houve condições de autoduperação até mesmo nos cenários que consideraram lançamentos de resíduos líquidos tratados (Cenários 1 e 3). As cargas dos poluentes, quando não assimiladas pelo corpo hídrico, acabam alcançando grandes distâncias e atingindo a qualidade da água de uma ampla região.

Ao exceder os padrões da Classe 2, da resolução CONAMA nº 357/2005, os corpos hídricos podem ser enquadrados como Classe 3 ou Classe 4. A problemática gerada por esta questão é a limitação dos usos da água. Diferente da Classe 2, as atividades previstas para corpos hídricos das classes 3 e 4 não incluem a recreação de contato primário, como natação e mergulho, bem como, atividades de aquicultura e pesca e a destinação da água para irrigação de culturas que promovam contato direto com o ser humano, como hortaliças, frutíferas ou mesmo jardins, parques e campos de esporte e lazer.

Os parâmetros nitrito e nitrato não apresentaram concentrações acima dos limites, nem mesmo nos cenários 2 e 4, onde foram simulados lançamentos de resíduos líquidos brutos. Evidencia-se que nas condições modeladas na bacia hidrográfica do Rio do Campo, não houve complicações com estes parâmetros para atender a resolução CONAMA nº 357/2005.

Os valores de nitrogênio amoniacal ultrapassaram o limite da resolução nas simulações com lançamento de resíduos líquidos brutos, cenários 2 e 4. Nesses cenários também foram verificadas seções dos cursos hídricos com valores de oxigênio dissolvido iguais a zero. O Cenário 2 alcança esta condição apenas no Rio Km 123 e no Cenário 4, ocorre em todos os rios modelados, devido a utilização das vazões Q_{95} .

Por meio dos gráficos dos perfis de modelagem do Rio do Campo, notam-se as alterações na qualidade da água causadas pelo lago municipal (km 10). Os reservatórios possuem elevado Tempo de Detenção Hidráulica – TDH, quando comparados aos trechos de cursos hídricos, ou seja, apresentam tempo médio de permanência da água maior no sistema, desde sua entrada até a saída.

Com o aumento do tempo de detenção hidráulica no lago municipal, houve maior remoção da DBO_5 , fósforo, nitrogênio e coliformes nessa seção do Rio do

Campo. Entende-se que esse quadro é positivo, pois melhora as características da água, principalmente no que concerne a remoção de coliformes, que excederam o limite máximo permitido antes do lago. Entretanto, não deve haver a queda da concentração de oxigênio dissolvido a níveis inferiores a resolução CONAMA nº 357/2005, como o ocorrido nos cenários estudados.

A demanda carbonácea se trata de um dos componentes de consumo do oxigênio dissolvido, especificamente, da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios. O quadro evidenciado no lago municipal também gerou elevada demanda carbonácea, devido a este componente possuir relação direta com o tempo de detenção hidráulica. Portanto, com o aumento do TDH, há a elevação da demanda carbonácea e consequente a elevação do consumo de oxigênio dissolvido no lago.

A boa reaeração que ocorre no lago compensa parte das demandas por oxigênio dissolvido, requeridas na decomposição da matéria orgânica e nutrientes. Desse modo, não permite que o limite da resolução do CONAMA nº 357/2005 seja ultrapassado e que forme um ambiente com escassez de oxigênio.

Os valores elevados de demanda carbonácea encontrados após os despejos de resíduos líquidos, são provenientes da elevada concentração da DBO_5 , pois esta demanda também tem relação direta com a matéria orgânica biodegradável na água. Segundo Salla et al. (2013), a demanda carbonácea e a reaeração natural dos rios são os processos mais atuantes na autodepuração.

O estudo realizado por Teodoro et. al. (2013) utilizando o QUAL-UFMG, demonstrou que a modelagem matemática da qualidade da água, alternando vazões mínimas, médias e máximas, interferiu minimamente na quantidade de oxigênio dissolvido no rio. Entretanto, os cenários deste estudo demonstram que ocorre maior reaeração em vazões mínimas (Q_{95}) e consequentemente maior concentração de oxigênio dissolvido na água. Na seção do lago municipal esta diferença é aparente, tal que nos cenários com vazões médias (Q_{50}) atinge-se pico de reaeração de 0,04 mg/l por delta t e em vazões mínimas (Q_{95}) atinge-se 0,074 mg/l por delta t.

Os valores do coeficiente de reaeração (K_2) no lago municipal são reduzidos (0,08 a 0,4), entretanto, o reservatório ainda apresentou elevada reaeração. Isso ocorre, devido ao aumento do tempo de detenção hidráulica. Realmente, o lago possui características propícias a reaeração, pois o carreamento de sedimentos aos rios levou ao seu assoreamento, deixando-o com baixa profundidade, o que

proporciona uma lâmina da água mais rasa, ou seja, propícia à mistura do oxigênio ao longo da profundidade (VON SPERLING, 2007).

Embora não tenha sido evidenciada situação discordante no lago municipal, quanto aos limites dos parâmetros de qualidade da água, esse local também deve ser abordado como um ponto crítico na bacia hidrográfica, pois os níveis de oxigênio no trecho, conforme resultados dos cenários, flutuam entre 5 e 6 mg/l, sendo 5 mg/l o mínimo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005. Portanto, havendo o aumento da DBO₅ acima das condições expostas nesse estudo, o padrão ambiental para a classe poderá ser ultrapassado.

Os valores do coeficiente de reaeração (K_2) dos cursos hídricos (1,85 a 10), obtidos através das fórmulas, são significativamente superiores aos dados de Fair et al. (1973, apud VON SPERLING, 2007, p. 332) e Arceivala (1973, apud VON SPERLING, 2007, p. 332), quais demonstram valores de K_2 maiores que 1,61 para corpos hídricos com excelente reaeração, como rios rasos com corredeiras e quedas d'água. Von Sperling (2007) aponta, que em algumas situações, preferencialmente em rios não profundos, os dados propostos pelos referidos autores podem resultar em melhores ajustes do que os valores obtidos com as fórmulas hidráulicas.

A variação entre os regimes de vazão demonstrou que houve maior remoção da DBO₅ e coliformes ao longo dos rios, nos cenários com vazões Q_{95} (Cenários 3 e 4). Esta situação ocorre devido às vazões menores acarretarem na diminuição da velocidade do fluxo da água. Com a diminuição da velocidade, conseqüentemente há o aumento do tempo de detenção hidráulica nos trechos do curso hídrico, o que propicia o maior consumo das cargas poluentes na água por unidade de comprimento percorrida no rio.

Quanto às vazões mínimas e médias utilizadas nas modelagens, verificaram-se concentrações inferiores dos parâmetros em cenários com vazões Q_{50} (Cenários 1 e 2). Esses resultados convergem com o constatado por Teodoro et. al. (2013), que aponta valores menores de DBO₅ em vazões médias, devido à diluição das concentrações dos parâmetros com maior volume de água.

Ressalta-se, que os cenários estudados consideraram apenas três empreendimentos na bacia hidrográfica do Rio do Campo. De acordo com as licenças do Instituto Ambiental do Paraná (2017), com acesso público através da rede mundial de computadores, podem ser encontrados outros empreendimentos,

quais não apresentavam conjunto de dados para modelagem matemática até a data de elaboração deste estudo.

Ante o exposto, os cenários podem encontrar-se em situação ainda mais críticas, entretanto, estas modelagens também requerem maior número de dados de qualidade da água dos corpos hídricos para se obter afirmações mais apuradas. Desse modo, sugere-se a obtenção de mais informações e a continuidade das modelagens da qualidade água da bacia hidrográfica do Rio do Campo, visando incrementar o banco de dados gerado por este estudo e busca por soluções das problemáticas encontradas nos pontos críticos.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que nas condições que foram modelados os cenários da bacia hidrográfica do Rio do Campo, os parâmetros mais prejudiciais à qualidade da água foram DBO_5 , fósforo total e coliformes termotolerantes. Os cenários com vazões mínimas (Q_{95}) foram os mais críticos, por apresentarem concentrações desses parâmetros mais divergentes dos limites da resolução CONAMA nº 357/2005.

Os parâmetros nitrito e nitrato atenderam integralmente aos limites estabelecidos pela resolução, até mesmo nos cenários com lançamento de resíduos líquidos brutos.

Também se constatou que os limites máximos de DBO_5 , prescritos nas outorgas de lançamento de efluentes dos empreendimentos localizados no Rio Km 123 e Rio Km 119, são elevados e acarretam no não atendimento da resolução CONAMA nº 357/2005, principalmente em condições com vazão mínima (Q_{95}).

O fósforo total se apresenta como um parâmetro de difícil controle, por conta da sua baixa capacidade de percolação. Esse elemento, juntamente com os coliformes, excederam os limites em todas as modelagens realizadas, podendo comprometer os usos da água em uma ampla região da bacia hidrográfica.

Evidenciou-se, também, que o lago municipal proporcionou o aumento do tempo de detenção hidráulica no trecho do Rio do Campo, causando diferentes reações, como a remoção de poluentes, aumento da reaeração atmosférica e o elevado consumo de oxigênio dissolvido.

Ante o exposto, foram identificados quatro pontos críticos na bacia hidrográfica do Rio do Campo, sendo: a) o lago municipal, quanto ao consumo de oxigênio dissolvido; b) a seção do Rio Km 123, localizada após o lançamento de resíduos líquidos pelo abatedouro de aves, com relação às concentrações da DBO_5 ; c) a seção do Rio Km 119, localizada após o lançamento de resíduos líquidos pela estação de tratamento de esgotos, com relação às concentrações da DBO_5 ; d) todas as seções a jusante dos lançamentos de resíduos líquidos, com relação às concentrações de fósforo total e coliformes termotolerantes.

Ressalta-se, que são encontrados outros empreendimentos potencialmente poluidores na bacia hidrográfica do Rio do Campo, que não foram considerados nesse estudo devido à ausência de dados.

Este estudo busca orientar a gestão de recursos hídricos, portanto, ainda há a necessidade da continuidade das modelagens para se obter afirmações mais apuradas, visando incrementar o banco de dados gerado e solucionar as problemáticas encontradas nos pontos críticos evidenciados.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. L. C.; NETTO, A. P. O. MEDIONDO, E. M. Estudo de métodos para regionalização de vazão. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Livro de resumos do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos...** João Pessoa: 2005. p. 641-641.
- ANDRADE, L. N. de. Autodepuração dos Corpos D'água. **Revista da Biologia**, Vitória - Es, v. 5, p.16-19, dez. 2010.
- ANDRADE, L. N. de. AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA. **Revista da Biologia**. V. 5, p. 16-19. 2010.
- BARBOSA, S. E. da S.; JUNIOR, A. R. B.; SILVA, G. Q. da; CAMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V. de C. Geração de Modelos de Regionalização de Vazões Máximas, Médias de Longo Período e Mínimas de Sete Dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Minas Gerais, v. 10, n. 1, p. 64-71, jan. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a07.pdf>>. Link Acesso em: 10 mai. 2017.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
- BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; MAGNER, J. A. **Hydrology and the Management of Watersheds**. 2. ed. Iowa: Iowa State University Press, 1991. 391 p.
- CARVALHO, K. Q.; LIMA, S. B.; PASSIG, F. H.; GUSMÃO, L. K.; SOUZA, D. C.; KREUTZ, C.; BELINI, A. D.; ARANTES, E. J. Influence of urban area on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil. **Brazilian Journal Biology**, v. 75, n. 4, p.96-106, 2015.
- CHAO, I. R. S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. 157 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.
- CHAO, I. R. S.; YABROUDI, S. C.; MORITA, D. M. Remoción de fósforo de efluentes de lagunas de estabilización empleando lodo de estaciones de tratamiento de agua. **Interciência**, vol. 36, n.10, p. 774-778, 2011.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.
- COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do

estado do Pará. Belém - Pa, **Revista Brasileira de Meteorologia**, Cidade, v. 27, n. 4, p. 413-422, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v27n4/05.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. Aplicação de Modelo de Autodepuração para Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão do Ouro, Araraquara-SP. **Revista Uniara**, Araraquara-SP, v. 13, n. 1, p.49-62, jul. 2010.

COSTA, M. R. da; BORBA, A. L. S.; OLIVEIRA, J. L. de; PEREIRA, H. R de O.; FRANÇA, A. F. de. A Proteção das Águas: Recurso Natural Limitado. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, 2010, São Luiz –MA. **Anais...** . São Luiz - MA. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/evento_PAP003042.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2017.

CRISPIM, J. de Q.; MALYSZ, S. T.; CARDOSO, O.; JUNIOR, S. N. P. 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**, Campo Mourão, v. 3, n. 4, p.781-790, 2012. Edição Especial.

DAMASCENO, S.; MEES, J. B. R.; COSTA JUNIOR, I. L.; BALDESSAR, V. T.; SHUMMAN, M. S. de. Caracterização e readequação de sistema de tratamento de efluentes de frigorífico de aves. In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 2009, Florianópolis - SC. **Anais...** . Florianópolis - SC. Disponível em: <<http://sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/086.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FLECK, L.; TAVERES, M. H. F.; EYNG, E. Principais modelos matemáticos de qualidade da água e suas aplicações: uma revisão. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, vol. 1, n.7, p. 47-62, 2013.

FRANZ, G. A. S. **Desenvolvimento, Aplicação e Análise do Modelo de Qualidade da Água e Eutrofização do Sisbahia®**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde – Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2017.

GONÇALVES, F. B.; SOUZA, A. P. de S. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história, teoria e prática**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

HESPANHOL, K. M. H. **Monitoramento e Diagnóstico da Qualidade da Água do Ribeirão Morangueiro**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná. 2000**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Consulta às Licenças Ambientais Concedidas pelo IAP (vigentes)**. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1081>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malhas digitais**. 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipal/pais/municipio_2015/Brasil/BR/br_unidades_da_federacao.zip>. Acesso em: 12 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Informações Estatísticas**. 2017a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/campo-mourao/panorama>>. Acesso em: 12 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Informações Estatísticas**. 2017b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/peabiru/panorama>>. Acesso em: 12 out. 2017.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – AGUASPARANÁ. **Dados para Download – Outorgas de Captações**. 2017a. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/OUTORGAS_DOWNLOAD/20171003_Out_Captacao.zip>. Acesso em: 10 de out. 2017.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – AGUASPARANÁ. **Dados para Download – Outorgas de Lançamento de Efluentes**. 2017b. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/OUTORGAS_DOWNLOAD/20171003_Out_Efluentes.zip>. Acesso em: 10 de out. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Solos – Estado do Paraná**. 2008. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Formações Fitogeográficas – Estado do Paraná**. 2009. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Divisão Político-Administrativa do Paraná - 2014**. 2014. Disponível em:

<http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Divisas_Municipais/municipios_pr_2014_UTM_SAD69.rar>. Acesso em: 23 abr. 2017.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. **Relação dos Municípios do Estado Ordenados Segundo as Mesorregiões e as Microrregiões Geográficas do IBGE – Paraná.** 2012.

Disponível em: <

http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_parana.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2017.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

JÚNIOR, P. R. M. **Aplicação do Modelo de Autodepuração de Qualidade das Águas QUAL-UFMG.** 144 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2010.

JUNIOR, R. M. de C.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTTI, F. D. Modelagem Geoestatística a partir de Parâmetros de Qualidade da Água (IQA-NSF) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Castelo (ES) Usando Sistema de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia.** V. 59, n. 3. p. 241-253. 2007.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de Nutriente à Poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p.1713-1721, set. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; BASSANESI, K. Qualidade da Água da Bacia do Rio Iguaçú: Diferenças Conceituais entre os Modelos QUAL2E e QUAL2K. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 2, p.75-88, jun. 2011.

LAPOLLI, F. R.; CORAL, L. A.; RECIO, M. Á. L. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. **Revista DAE**, n.185, p. 10-17, 2014.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** 2. ed. Piracicaba, 2008. 253 p.

LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).** 275 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná.** 2006. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorforlogico_Parana_2006.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

MOTA, S. B. M.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 430 p.

NEVES, F. F.; SILVA, F. das G. B. da; CRESTANA, S. Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 4, p.311-317, dez. 2006.

OLIVEIRA, A. B. de M.; AMORIM, ORRICO, A. C. A.; ORRICO, JÚNIOR M. A. P.; SUNADA, N. da S.; CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, vol. 58, n.6, p. 690-700, 2011.

OLIVEIRA, V. A. de. **Regionalização de Vazões nas Regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais**. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2013.

OPEN STREET MAPS – OSM. 2017. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/#map=12/-23.9986/-52.3687>>. Acesso em: 15 de out. 2017.

PARANÁ. SECRETARIA DE ESTADO E MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEMA. **Bacias Hidrográficas do Paraná: Série histórica**. Curitiba, 2010. 138 p.

PEREIRA, R. da S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH – UFRGS. V. 1, n. 1. P. 20-36. 2004.

PINTO, N.L. de S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. e GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia básica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blücher Ltda., 2000. 278 p.

SALLA, M. R.; PEREIRA, C. E.; FILHO, J. E. A; PAULA, L. M. de; PINHEIRO, A. M. Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 18, n.2, p. 105-114, 2013.

SARDINHA, D. de S.; CONCEIÇÃO, F. T. da; SOUZA, A. D. G. de.; SILVEIRA, A.; JULIO, M. de; GONÇALVES, J. C. de S. I. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 13, n. 3, p. 329-338, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEMA. Resolução nº 021/09 – SEMA. Curitiba, 22 de abril de 2009.

SILVA, V. B. da. **A Qualidade da Água no Alto Curso do Rio do Campo, Município de Campo Mourão-PR**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014. Disponível em: <<http://sites.uem.br/pge/documentos-para-publicacao/dissertacoes-1/dissertacoes-2014-pdfs/Valquiriabrilhadorsilva.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). **Acta Amazônica**, vol. 42, n. 3, p. 413-422, 2012.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS - HIDROWEB. **CAMPO MOURÃO ETA SANEPAR (64671950)**. 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=64671950>>. Acesso em: 31 de ago. 2015.

STREETER, H. W.; PHELPS. E. B. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin nº 146**. United States Public Health Service, Washington D.C.: U.S., 1925.

SUPERINTENDÊNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE - SUREHMA. Bacia do Rio Ivaí - Portaria SUREHMA N°019/92 de 12 de maio de 1992. **Portarias de Enquadramento dos Cursos D`Água do Estado do Paraná**. 1992.

TEODORO, A.; IDE, C. N.; RIBEIRO, M. L.; BROCH, S. A. O.; SILVA, J. B. da. Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFMG: estudo de caso no Rio Taquarizinho (MS). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande - Ms, v. 18, n. 3, p.275-288, set. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n3/1413-4152-esa-18-03-00275.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade UFRGS/ABRH, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/water-quality-analysis-simulation-program-wasp>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Earth Explorer – SRTM 1 Arc-Second Global**. 2014. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 de out. 2017.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte - MG: Editora UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 7 v, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1995. 243 p.