

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CAMPO MOURÃO
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCAS TUPINÁ PERIN

**USO DO MODELO QUAL-UFMG NO ESTUDO DA QUALIDADE
DA ÁGUA E DA CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DO RIO
KM119 – CAMPO MOURÃO-PR**

CAMPO MOURÃO

2013

LUCAS TUPINÁ PERIN

**USO DO MODELO QUAL-UFMG NO ESTUDO DA QUALIDADE
DA ÁGUA E DA CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DO RIO
KM119 – CAMPO MOURÃO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Coordenação de Ambiental – COEAM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharelado.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2013

Dedico este trabalho a meus pais, Carlos e Sylvia, e minha avó Nair pelo exemplo, compreensão nos momentos de ausência, meus irmãos e amigos pelo apoio e força nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

À Deus,

Aos meus pais Olivio Carlos Perin e Sylvia Rossi Tupina Perin, meus Irmãos Carlos Perin, e Fernando Perin, pelo amor, carinho compreensão em todos esses anos.

A minha Avó Nair Rossi, pelo apoio, pelo amor, pela atenção e toda ajuda nessa minha etapa da vida.

Ao professor e orientador Dr. Eudes José Arantes, pelo exemplo profissional e pessoal, e pela paciência, atenção, orientação e apoio.

A todos os professores da coordenação de Ambiental e de Civil da Universidade pelo exemplo, esclarecimentos conselhos, ensinamentos e sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Aos meus amigos e a Ana Paula Trevisan, pelo apoio e compreensão, nos momentos bons e nos momentos difíceis de mau humor e de chateação.

Enfim a todos que me ajudaram direta e indiretamente nessa jornada e realização de uma grande etapa da minha vida. Muito Obrigado!

*"A felicidade não depende do que nos falta,
mas do bom uso que fazemos do que temos."*

Thomas Hardy

RESUMO

PERIN, LUCAS T. **Uso do Modelo QUAL-UFMG no estudo da qualidade da água e da capacidade de Autodepuração do Rio Km119 – Campo Mourão - Pr.** 2013. 44F. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL) – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. CAMPO MOURÃO, 2013.

O uso de modelos matemáticos que simulam as condições de qualidade da água torna-se uma ferramenta importante para quantificar a capacidade de autodepuração do rio, e seus usos futuros. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a situação e a simulação de cenários futuros para o rio Km 119 localizado na cidade de Campo Mourão – PR, utilizando como ferramenta de apoio o modelo matemático de qualidade da água QUAL – UFMG. Os dados para calibração do modelo foram obtidos de três campanhas de amostragem de água. Os parâmetros simulados foram: oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). As simulações de prognóstico foram feitas para cenários com efluente bruto, efluente com eficiência de 70% e 90% no tratamento, sendo os efluentes de um laticínio e de uma estação de tratamento de esgoto. Na calibração verificou-se que a qualidade da água do rio Km 119 apresenta boas condições. Porém, se o efluente não tiver tratamento, poucos trechos do rio estão em conformidade com a Resolução nº 430/11 do CONAMA para rios classe 2. Para o cenário com 90% no tratamento o rio Km 119 entra em conformidade com a resolução de 100% para OD e 97,3% para DBO no trecho estudado. Assim, para uma melhor gestão dos recursos hídricos da bacia é necessário que intensifique o controle sobre as fontes poluidoras e que se crie e se desenvolva uma rede de monitoramento nos rios próximos a cidade de Campo Mourão, deste modo melhorando a qualidade da água dos rios de toda a região.

Palavras-chave: Autodepuração, Modelo de Streeter & Phelps, Recursos Hídricos, modelagem matemática, qualidade da água, QUAL-UFMG.

ABSTRACT

PERIN, LUCAS T. **Use of Model QUAL-UFMG in study of Quality of Water and the ability of depuration river Km119 - Campo Mourao-Pr.** 2013 44 sheets. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2013.

The use of mathematical models to simulate the conditions of water quality becomes an important tool to quantify the self-purification capacity of the river, and its future uses. This study aims to evaluate the situation and the simulation of future scenarios for the river Km 119 in the city of Campo Mourão – PR. The tool used to support the mathematical model water quality was QUAL - UFMG. Calibration data for the model were obtained from three samplings for water of river. The simulated parameters were: dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD). The simulations were made for prognostic effluent, the effluent with an efficiency of 70% and 90% in the treatment, and the effluent of a dairy and a wastewater treatment station. In the calibration it was found that the water quality in the river Km 119 presents good condition. However, if the effluent treatment has not so few stretches of the river in accordance with Resolution nº 430/11 of CONAMA rivers to Class 2. And with 90% efficiency comes in accordance with the resolution of 100% for DO and 97.3% for BOD in the river stretch under study. Thus, for better management of water resources of the watershed is necessary to intensify control over pollution sources and that create and develop a network of monitoring in rivers near the city of Campo Mourão, thereby improving water quality rivers throughout the region.

Keywords: self-purification, Model Streeter & Phelps, Water Resources, mathematical modeling, water quality, QUAL-UFMG.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SEGMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FLUVIAL HIPOTÉTICO.	21
FIGURA 2 - TRECHO DO RIO DIVIDIDO EM ELEMENTOS COMPUTACIONAIS.	22
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS CONSTITUINTES SIMULADOS NO MODELO QUAL-UFMG E DE INTER-RELAÇÕES.	24
FIGURA 4- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO EM RELAÇÃO AO ESTADO DO PARANÁ.	26
FIGURA 5 - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO KM 119.	27
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DOS PONTOS DE COLETA.	29
FIGURA 7 - MOLINETE DE HÉLICE	32
FIGURA 8 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DA VELOCIDADE NO RIO.	33
FIGURA 9 - (A) PERFIS DE DBO E (B) PERFIL DE OD.	35
FIGURA 10 – DIAGRAMA UNIFILAR DE SIMULAÇÃO DO RIO KM 119	39
FIGURA 11 – INCREMENTO DE VAZÃO AO LONGO DO TRECHO SIMULADO.	44
FIGURA 12 (A) – SIMULAÇÕES DE OD (BRUTO) E (B) - SIMULAÇÕES DE DBO (BRUTO)	45
FIGURA 13 - PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO (ESGOTO BRUTO).	45
FIGURA 14 (A) - SIMULAÇÕES OD PARA ESGOTO (70%) E (B) - SIMULAÇÕES DBO PARA ESGOTO (70%).	46
FIGURA 15 – PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO (70% EFICIÊNCIA).	47
FIGURA 16(A) – SIMULAÇÕES OD PARA ESGOTO (90%) E (B) – SIMULAÇÕES DBO PARA ESGOTO (90%).	47
FIGURA 17 – PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO AO ENQUADRAMENTO (90% EFICIÊNCIA).	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DISTANCIA ENTRE OS TRECHOS ESTUDADOS.....	28
TABELA 2 - PARÂMETROS ANALISADOS COM SEUS MÉTODOS E METODOLOGIA UTILIZADA.....	30
TABELA 3 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM CADA SEÇÃO ESTUDADA.....	31
TABELA 4 - DADOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO DO MODELO.....	38
TABELA 5 - DADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NAS CAMPANHAS.....	40
TABELA 6- PARÂMETROS HIDRÁULICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM.	43

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - VALORES DE K1 USUALMENTE UTILIZADO.	36
QUADRO 2 - VALORES DO COEFICIENTE K2.....	36

LISTA DE SIGLAS

OMS	Organização Mundial de Saúde
USEPA	US Environmental Protection Agency
QUAL	Stream Water Quality Model
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	12
2.OBJETIVOS.....	14
2. 1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Monitoramento da Qualidade da Água	15
3.3 O modelo de Streeter e Phelps.....	18
3.4 Modelagem Matemática da qualidade Da água QUAL 2E	19
3.5 Modelagem Matemática da qualidade Da água QUAL-UFMG.....	23
4.MATÉRIAS E MÉTODOS	26
4.1 Caracterização da área de estudo.....	26
4.2 Caracterização das seções de coleta	28
4.3 Parâmetros.....	30
4.4 Medidas de Vazão.....	31
4.5 Coletas e Análises.....	33
4.6 Calibração do modelo	34
4.6.1 Parâmetro de desoxigenação da matéria orgânica (K_1)	35
4.6.2 Parâmetro de reaeração (K_2).....	36
4.6.3 Parâmetro de decomposição da DBO no rio (K_d).....	37
4.7 Validação do Modelo.....	37
4.8 Simulação de Cenários	37
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Parâmetros Analisados.....	40
5.2 Medidas de Vazão.....	42
5.3 Modelo Matemático QUAL-UFMG	44
6.Conclusão	49
7.Referências	51

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos principais recursos naturais fundamental a qualquer ser vivo. Sua disponibilidade é necessária não somente em quantidade, mas também em qualidade. Para ser consumida pelo homem a água não pode conter substâncias tóxicas e patógenos que provocam doenças.

Segundo Orssatto (2008) o lançamento de esgotos ou despejos industriais orgânicos em um determinado rio aumenta a concentração de matéria orgânica no meio, com isso, desencadeia a proliferação de bactérias que aumenta a atividade total de respiração e, por conseguinte ocorre uma demanda maior de oxigênio.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 25 milhões de pessoas no mundo morram por ano em virtude de doenças transmitidas pela água, como cólera e diarreias. A OMS indica que nos países em desenvolvimento, em 2010, 75% da população rural e 25% da população urbana não dispõem de abastecimento de água potável.

Segundo Von Sperling (2005), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, de maneira geral pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, que se deve aos seguintes fatores: Condições Naturais e Interferência dos seres Humanos.

Os monitoramentos de parâmetros de qualidade de águas nos corpos hídricos são de extrema importância, principalmente aqueles que fornecem água para a população, visando à prevenção de possíveis agravantes a saúde pública e também para poder desenvolver ações de recuperação dos corpos hídricos já fortemente impactados por ações antrópicas consideradas deletérias (BARRETO, 2009).

Dentre as diferentes metodologias de monitoramento ambiental a modelação da qualidade hídrica constitui-se em uma valiosa ferramenta utilizada para simulação dos processos de transporte e autodepuração de um corpo d'água. Este método permite antever e avaliar para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um efetivo e/ou passível corpo receptor de descargas poluentes e contaminantes (LIMA et. al., 1997).

O Sistema de Modelagem da Qualidade da Água QUAL 2E foi desenvolvido pela agência americana de proteção ambiental. O programa é um dos mais utilizados nos dias atuais por pesquisadores de várias partes do mundo. No Brasil, em especial, o mesmo já vem sendo aplicado há mais de uma década, sendo tido como instrumento de auxílio na tomada de decisões quando no gerenciamento dos recursos hídricos (BÁRBARA, 2006).

A utilização de modelos de qualidade da água em ambientes naturais é uma ferramenta de grande utilidade para o gerenciamento dos recursos hídricos. No caso do transporte de poluentes em cursos de água naturais, a equação da advecção-dispersão é amplamente utilizada na sua forma unidimensional para prever a distribuição espacial e temporal da substância dissolvida, quer o lançamento tenha ocorrido intencional ou acidentalmente (DEVENS et. al, 2006).

Uma ferramenta simples para a modelagem da qualidade da água e de crescente utilização é a plataforma QUAL-UFMG, criada por von Sperling (2007). O programa em Excel QUAL-UFMG, desenvolvido em planilhas, tem como objetivo possibilitar a modelagem de rios através da utilização de um modelo baseado no QUAL2-E, desenvolvido pela US Environmental Protection Agency (USEPA).

O QUAL-UFMG permite a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), Fósforo Total e suas frações (orgânico e inorgânico), Coliformes Termotolerantes ou *E. coli*.

O presente trabalho utilizara o sistema supra descrito para avaliar a qualidade da água no Rio Km 119, localizado na cidade de Campo Mourão – PR, utilizando o modelo matemático QUAL-UFMG, de forma a gerar uma ferramenta de apoio à gestão de recursos hídricos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo será utilizar o modelo matemático QUAL-UFMG com o intuito de avaliar a situação atual do Rio Km 119 e simular cenários futuros, verificando a influência de uma Estação de Tratamento de Esgoto e um Laticínio, da cidade de Campo Mourão - PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a qualidade da água, nas seções de monitoramento; através da determinação dos parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Temperatura, Turbidez, Condutividade.
- Quantificação dos parâmetros hidráulicos para modelagem do modelo como vazão, velocidade média e profundidade.
- Calibrar o modelo, possibilitando a simulação de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).
- Simulação de cenários do processo de autodepuração do rio Km 119 com lançamento de efluentes, nas seguintes condições, sem tratamento (bruto) com 70% de eficiência e 90% de eficiência no tratamento.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para Santos (2009), o objetivo de monitorar um corpo hídrico é a obtenção de informações sobre a qualidade de suas águas, para posterior utilização dessas informações para subsidiar a gestão de recursos hídricos e a tomada de decisões.

Segundo Sardinha et. al. (2008), dentre os recursos naturais fundamentais, a água é o que possui maior destaque, pois sua disponibilidade é necessária a todo tipo de vida no planeta, bem como para a maioria dos meios de produção. A disponibilidade de água significa que ela estará presente não somente em quantidade, mas também que sua qualidade seja satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos.

Quando há um lançamento de esgoto sanitário e/ou industrial in natura em um corpo hídrico, dependendo das vazões do esgoto e do corpo receptor, pode haver sérios prejuízos à qualidade da água do corpo hídrico receptor. Pode haver um declínio na quantidade de oxigênio dissolvido afetando os organismos aquáticos que dele dependem, além de muitos outros prejuízos como a emissão de gases sulfídricos e a contaminação de animais e seres humanos através do contato com essa água (SARDINHA et. al., 2008).

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água pode ser comparado aos padrões das legislações pertinentes, como a resolução 430/11 do CONAMA que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, que complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Para subsidiar as ações de conservação da qualidade das águas frente a este quadro, os instrumentos de outorga de uso da água e licenciamento das atividades potencialmente poluidoras necessitam de fundamentação técnica respaldada na capacidade assimilativa dos corpos d'água receptores. Para tal estabelecemos um sistema de monitoramento da qualidade das águas,

baseado no conceito de cargas poluentes, capaz de usar as informações existentes, complementando-as de modo a adequar a rede de coleta às necessidades de representatividade, seleção de variáveis e frequência amostral (IAP, 2011).

Em relação aos recursos hídricos, o Estado do Paraná está sub-dividido em 16 bacias hidrográficas. A rede de monitoramento da qualidade das águas é composta por 164 estações em rios.

Para estes pontos, estão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, dois tipos de informações: parâmetros de qualidade de água e Índices de Qualidade de Água - IQA. Os diversos parâmetros que qualificam a água vêm sendo analisados e processados, assim como o IQA vem sendo calculado, desde o início dos anos 80 (IAP, 2011).

É através destes parâmetros da água, pela Resolução do CONAMA 430/11 podem-se definir os usos para os recursos hídricos. Entretanto, a operação de uma rede de monitoramento de qualidade das águas permite obter uma grande quantidade de dados analíticos, sendo difícil sua compilação e apresentação de uma maneira sintética para uso na gestão dos recursos hídricos. Projetos com objetivos específicos, como o PNMA - Programa Nacional do Meio Ambiente, também tem seus dados inseridos no SIH (IAP, 2011).

Se o corpo hídrico for lótico ocorre a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido com exceção de áreas com forte remanso. Com o aumento da velocidade do rio proporciona o aumento da solubilidade do oxigênio na água. A presença de altas taxas de matéria orgânica na água causa o crescimento de algas que produzem oxigênio aumentando a concentração de OD. O acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos promovem ainda a produção de gás sulfídrico(H_2S), metano (CH_4).

3.2 MODELOS MATEMÁTICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os modelos matemáticos são técnicas que permitem representar alternativas propostas para simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerente ao conhecimento técnico científico.

Modelo matemático é o processo de transcrever conceitos físicos, químicos e biológicos de qualquer sistema para um conjunto de equações matemáticas. Com isso, os modelos matemáticos permitem representar propostas alternativas e simular condições reais, que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerentes ao conhecimento científico (TUCCI, 1998).

Atualmente, existem diversos sistemas computacionais disponíveis com modelos de qualidade da água que podem ser aplicados em lagos e reservatórios. Alguns destes sistemas podem ser utilizados gratuitamente, como o WASP, o MOHID, DESERT, STELLA, QUASAR, SisBAHIA, QUAL-2E, QUAL-2K e o clássico Streeter e Phelps.

O WASP (*Water Quality Analysis Simulation Program*) é um modelo dinâmico que possui dois compartimentos (coluna de água e sedimento). O OHID é um modelo desenvolvido no Instituto Superior Técnico na universidade Técnica de Lisboa. O modelo pode ser utilizado em uma, duas ou três dimensões, sendo composto por diferentes módulos (FRANZ, 2010).

DESERT (*“DEcision Support system for Evaluating River basin sTrategies”*) desenvolvido pelo Instituto de Sistemas, Informática e Segurança (*“Institute of Systems, Informatics and Safety”* - ISIS) em Laxenburg na Austria é um outro programa utilizado para a modelagem de rios e reservatórios que simula o impacto das concentrações de nutrientes (nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio) na água de rios. Apresenta a limitação de disponibilizar apenas um número pré-determinado de cenários e a desvantagem de não considerar as fontes de poluição difusas (IVANOV, 1995).

STELLA® (*“Systems Thinking for Education and Research”*) é um software de modelagem e simulação gráfica de sistemas naturais e complexos. Possui a vantagem de ter uma interface simples e visual e de, a partir do sistema em estudo, propor as equações matemáticas e solucioná-las

automaticamente. Apresenta uma escala mais abrangente de visão do sistema para a modelagem. Apresenta a desvantagem de não ser um *software* livre (ISEE, 2008).

QUASAR (“*Quality Simulation Along River System*”) é um programa que combina a modelagem de fluxo e da qualidade das águas de um rio, incluindo nitrato, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, íon amônio, temperatura e pH dentre outros. Este modelo apresenta a vantagem de permitir a representação do número de detalhes do processo, variando de acordo com o propósito do modelo e das variáveis determinantes requeridas (WHITEHEAD, 1997).

O SisBAHIA considera onze parâmetros para qualificar a água, sendo eles a salinidade, temperatura, amônia, nitrato, nitrogênio orgânico, biomassa de fitoplâncton, DBO, OD, fósforo inorgânico, fósforo orgânico, clorofila_A. Esse modelo é aplicado em escoamentos 2DH (bidimensional na horizontal) ou em camadas selecionadas em 3D, e essa modelagem foi desenvolvida na mesma base numérica do modelo Euleriano de transporte advectivo-difusivo (ROSMAN, 2011).

O SisBAHIA é indicado para corpos hídricos rasos em que a largura seja maior que a profundidade, com estratificação vertical insignificante e colunas de água bem misturadas. O diferencial desse programa está nas reações cinéticas que são especificadas para cada substância analisada (ROSMAN, 2011).

Tendo em vista a utilização dos modelos de STREETER E PHELPS e QUAL-2E e QUAL-UFMG, no presente trabalho, os mesmos serão descritos a seguir em tópicos separados.

3.3 O MODELO DE STREETER E PHELPS

O modelo de Streeter-Phelps, criado em 1925 através do desenvolvimento de equações elaboradas por Streeter e Phelps, tem o intuito de simular a demanda bioquímica de oxigênio e o oxigênio dissolvido sendo muito útil para iniciar um estudo de autodepuração de corpos hídricos. Tais

equações são à base da maioria dos modelos de qualidade da água existentes na atualidade e têm sido melhoradas em vários centros de pesquisa espalhados pelo mundo (FONSECA, 2008; BROWN e BARNWELL, 1987)

Conforme Tucci (1998), o modelo de Streeter e Phelps foi desenvolvido para rios de regime de escoamento permanente uniforme. Além disso, ele pressupõe mistura imediata, considerando apenas o efeito advectivo do transporte de massa e a fase carbonácea no consumo da matéria orgânica. As principais limitações do modelo são que ele não leva em consideração a demanda bentônica; só funciona em decomposição aeróbia; não considera a sedimentação da matéria orgânica e não inclui a reoxigenação advinda da fotossíntese.

O modelo de Streeter – Phelps é baseado em uma descarga constante de poluentes, não prevendo a entrada de tributários ou lançamentos. Além disso, a reaeração depende também do grau de agitação ao qual a massa de água esta exposta, fato que o modelo citado não leva em consideração e de outros fatores, como velocidade de deslocamento da água, a profundidade do canal, acidentes topográficos, ação do vento entre outros. (DELLOSSO, 2009).

3.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA QUAL 2E

O modelo de simulação da água Stream Water Quality Model – QUAL 2E, 1987, distribuído pelos US Environmental Protection Agency – USEPA, é um modelo de qualidade das águas superficiais que permite simular 15 variáveis indicativas de qualidade das águas em cursos de água ramificados e bem misturados, usando o método das diferenças finitas para a solução da equação unidimensional do transporte e de reação dos constituintes.

O modelo QUAL 2E é uma ferramenta de planejamento da qualidade da água muito útil por operar os dois tipos de regime, permanente e dinâmico. Quando for adotado regime permanente, o modelo pode simular o impacto dos despejos de esgoto na qualidade da água do rio, podendo também identificar a magnitude e as características de qualidade da fonte não pontual de despejos. Quando for adotado o regime dinâmico, o usuário pode analisar variações de

oxigênio dissolvido ocorridas durante o dia devidas à fotossíntese realizada pelas algas(OPPA, 2007).

O modelo QUAL 2E permite a incorporação de descargas pontuais, tributários, captações, incrementos de vazão e poluentes relacionados às fontes difusas. Hidraulicamente, limita-se à simulação de períodos de tempo em que, tanto a vazão ao longo do curso principal, quanto às entradas e retiradas sejam constantes (KNAPI et. al., 2008)

O modelo permite simular o comportamento temporal ou espacial de até 15 parâmetros indicativos da qualidade, tais como: Oxigênio Dissolvido (OD); Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Temperatura; Algas (pelo método da clorofila A); Nitrogênio Total (orgânico, amônia, nitrito, nitrato); Fósforo Total – orgânico e inorgânico (dissolvido); Coliforme Fecal; um constituinte não conservativo arbitrado; e três constituintes conservativos arbitrados (LIMA et. al., 1997).

Segundo Linfield e Barnwel (1987) o modelo divide o rio em trechos com propriedades hidrogeométricas (declividade, seção transversal do canal, rugosidade, etc.) uniformes. Cada trecho é subdividido em elementos computacionais de mesmo comprimento. A figura 1 exemplifica a segmentação de um sistema fluvial hipotético, demonstrado de forma esquemática.

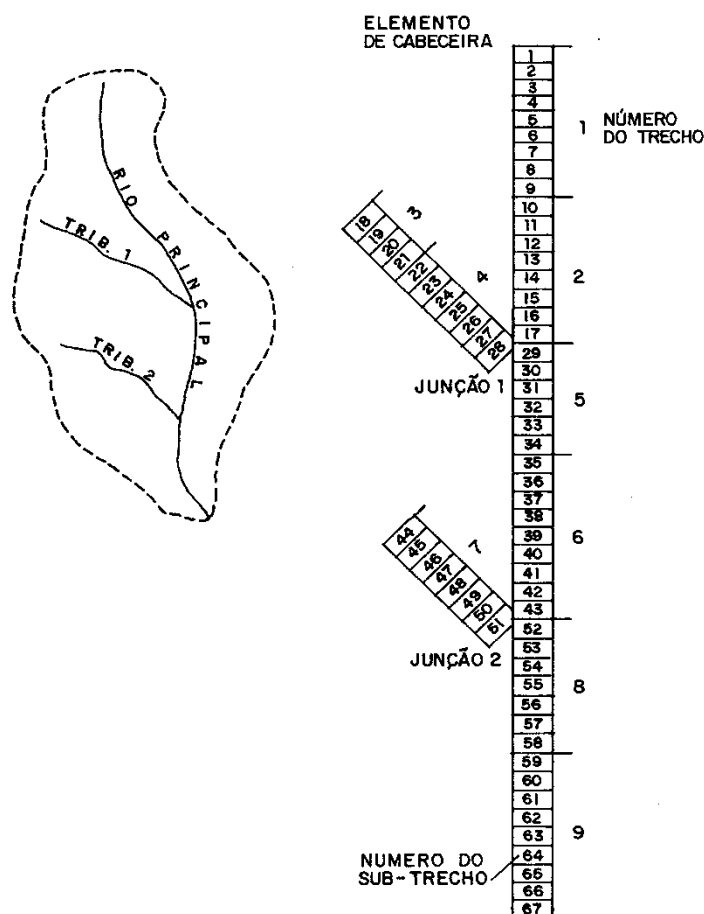


Figura 1 - Segmentação de um Sistema Fluvial Hipotético.

Fonte: Linfield e Barnwel (1987)

A equação do modelo QUAL 2E é a de transporte de massa unidimensional com integração numérica espaço-temporal, cuja solução é obtida pelo método das diferenças finitas, através de um esquema implícito de regressão, que é o método de resolução numérica das equações diferenciais. Essa equação inclui os efeitos da advecção, dispersão, diluição, reações e interações entre os constituintes, entradas e retiradas de água. A Figura 2 mostra um trecho do rio dividido em elementos computacionais i . Para cada elemento i um balanço hidrológico é escrito em termos de vazão de montante para jusante Q_{i-1} , fontes externas Q_{xi} e vazão de jusante Q_i (LINFELD e BARNWEL, 1987).

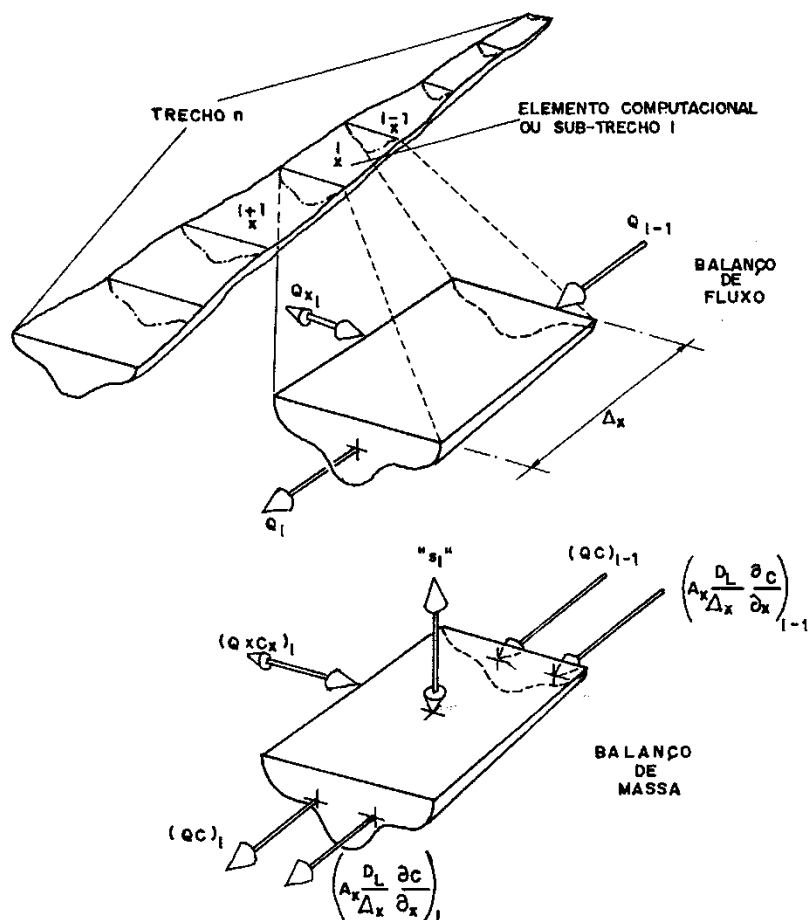


Figura 2 - Trecho do rio dividido em elementos computacionais.
Fonte: Linfield e Barnwel (1987)

A equação básica do modelo é a de transporte de massa unidimensional, levando em conta os efeitos da advecção e da dispersão. Cada componente de qualidade da água é integrada no espaço e tempo e a equação para cada componente, pode ser descrita de acordo com a equação (1) (PALMIERI, 2004).

$$\frac{\partial M}{\partial t} A = \frac{\partial (A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial (A_x \bar{\mu} C)}{A_x \partial x} dx + (A_x dx) \frac{dC}{dt} + s$$

Eq. (1)

Onde,

M = Massa (M)

x= Distância (L)

t = Tempo (T)

C = Concentração da substancia desejada (ML^{-3})

A_x = Área da seção transversal (L^2)

D_L = Coeficiente de dispersão longitudinal ($L^2 T^{-1}$)

μ = velocidade média do curso d'água (LT^{-1})

s = Fontes ou sumidouros externos da substancia analisada (MT^{-1}).

3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA QUAL-UFMG (VON SPERLING, 2007)

O modelo matemático QUAL-UFMG permite a modelagem de rios através do programa no Excel que foi baseado no modelo QUAL-2E, desenvolvido pela USEPA como descrito no tópico acima. O modelo possibilita uma simulação rápida e simples, até para usuários sem conhecimento do QUAL -2 E.

O QUAL-UFMG possibilita a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio; Demanda bioquímica de oxigênio; Oxigênio dissolvido; Nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato); Fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico); Coliformes termotolerantes (fecais) ou *E. coli*.

A figura 3 mostra as principais semelhanças entre os constituintes modelados. A estrutura é bastante similar ao QUAL2-E, porem com algumas simplificações, como a não inclusão das algas em todas suas inter-relações com os demais constituintes. Isso foi feito para simplificar o modelo, já que a representação dos processos que envolvem as algas é extremamente complexa e os valores dos coeficientes são de difícil determinação. As algas são importantes para a simulação de ambientes lênticos, porem nos casos dos rios, a maior parte dos usuários do modelo QUAL2-E opta por não incluir o componente das algas.

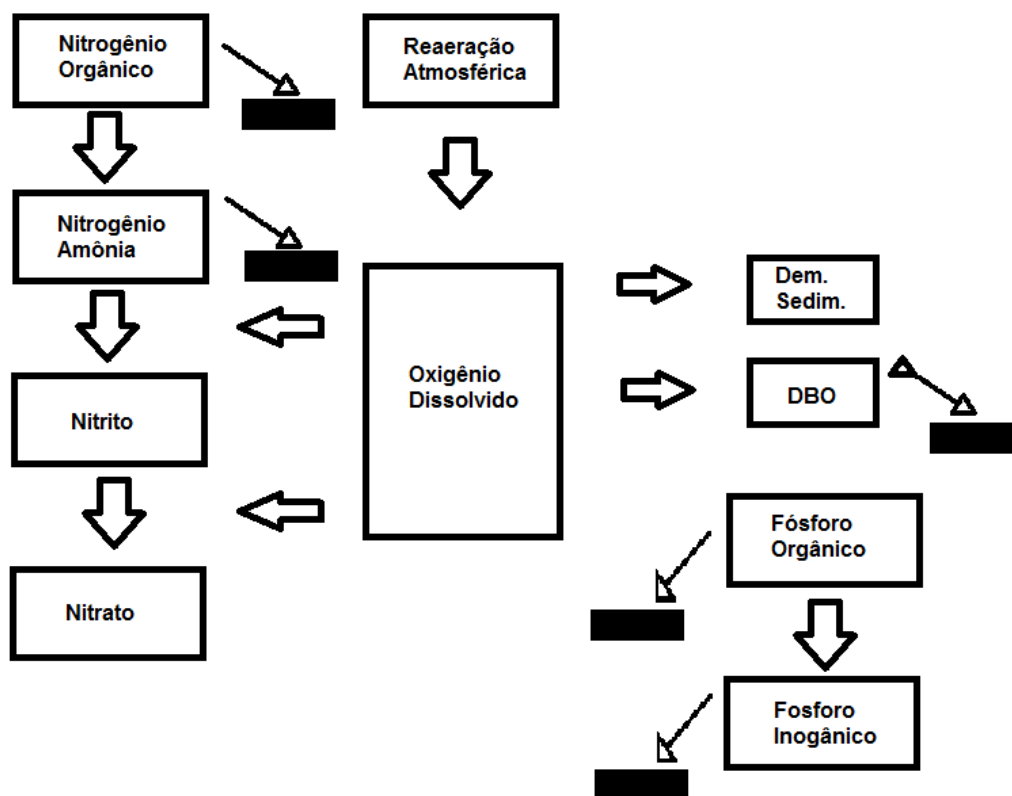


Figura 3 - Representação esquemática dos constituintes simulados no modelo QUAL-UFMG e de inter-relações.

Outras simplificações introduzidas são, a não consideração da dispersão longitudinal, o efeito da dispersão longitudinal pode ser desprezado na maior parte das simulações que envolvem rios e também a integração pelo método de Euler, uma forma de interação mais simples, e de fácil compreensão pelo usuário na planilha do Excel. A principal desvantagem é a necessidade de curtos passos de integração. Pelo fato do modelo QUAL-UFMG não ter grandes requisitos computacionais, podem ser adotados curtas distancias de integração, sem que isso gere tempos de cálculos excessivos.

O modelo QUAL-UFMG foi utilizado para simulações de diversos cenários para cursos d'água componentes do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Por sua facilidade de uso, e também pela simples interface, com os gráficos gerados, e por estar em português, o modelo possa ser usado em grande parte das aplicações em que se utiliza outros modelos como o QUAL2-E.

Após a entrada dos dados os resultados podem ser facilmente visualizados através de gráficos contidos do programa. E o atendimento a

resolução também é mostrado em forma de gráficos que são expressos pelo potencial da distancia do percurso em comprimento com a legislação para casa parâmetro de qualidade estudado.

4. MATÉRIAS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado no município de Campo Mourão, estado do Paraná, localizado no Terceiro Planalto, entre os paralelos 23° 58' e 24° 10' de latitude sul e entre os meridianos 52° 39' e 52° 20' de longitude oeste, com extensão territorial aproximada de 757,11 km², como apresentada na Figura 4. O município faz parte da Mesorregião Ocidental do Centro do Paraná (MARCOTTI & MARCOTTI, 2011).

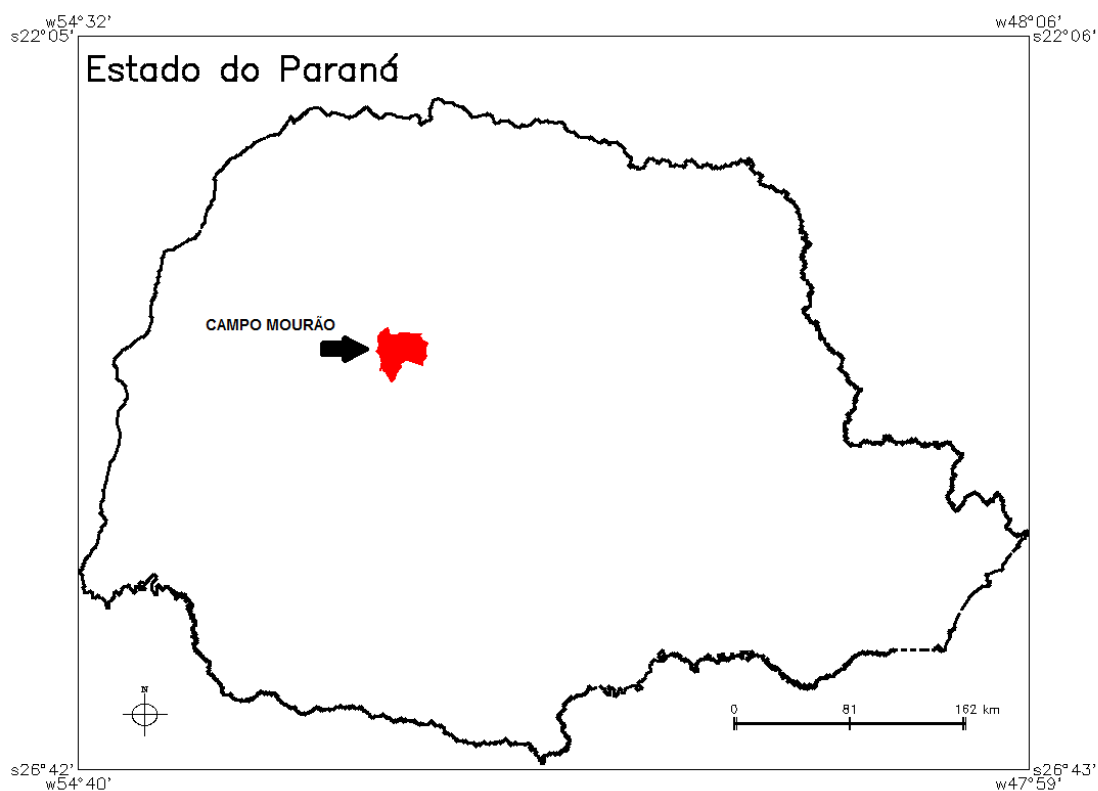


Figura 4- Localização da área em estudo em relação ao estado do Paraná.

Fonte: CARNEIRO, 2010

A maior parte do município é recoberta por rochas ígneas efusivas básicas, da Formação Serra Geral, originadas pela sequência de derrames basálticos de Trapp ocorridos entre os períodos Jurássico Superior e Cretácio

Inferior, chegando a atingir espessuras de 1.157 m no município de Campo Mourão (MAACK, 2002).

O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, sem estação seca definida, com temperatura média anual de 21,5° C, verões quentes e ocorrências de geadas pouco frequentes no inverno. A precipitação média total anual é de 1.655,43 mm com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e escassez no inverno (IAPAR, 2000).

A bacia hidrográfica do rio Km 119 (Figura 5) ocupa uma área de 3.301 ha e pertencente à bacia hidrográfica do rio Mourão, afluente do rio Ivaí, tributário do rio Paraná. O rio Km 119 é classificado como de 2ª ordem de grandeza, predominantemente urbano, com 16.432,66 m de extensão, desde sua nascente principal a 600 m s.n.m. até seu nível de base a 500 m s.n.m. (VERSORI, 2007). Seus principais afluentes são córregos do Quati e água das Cruzinhas.

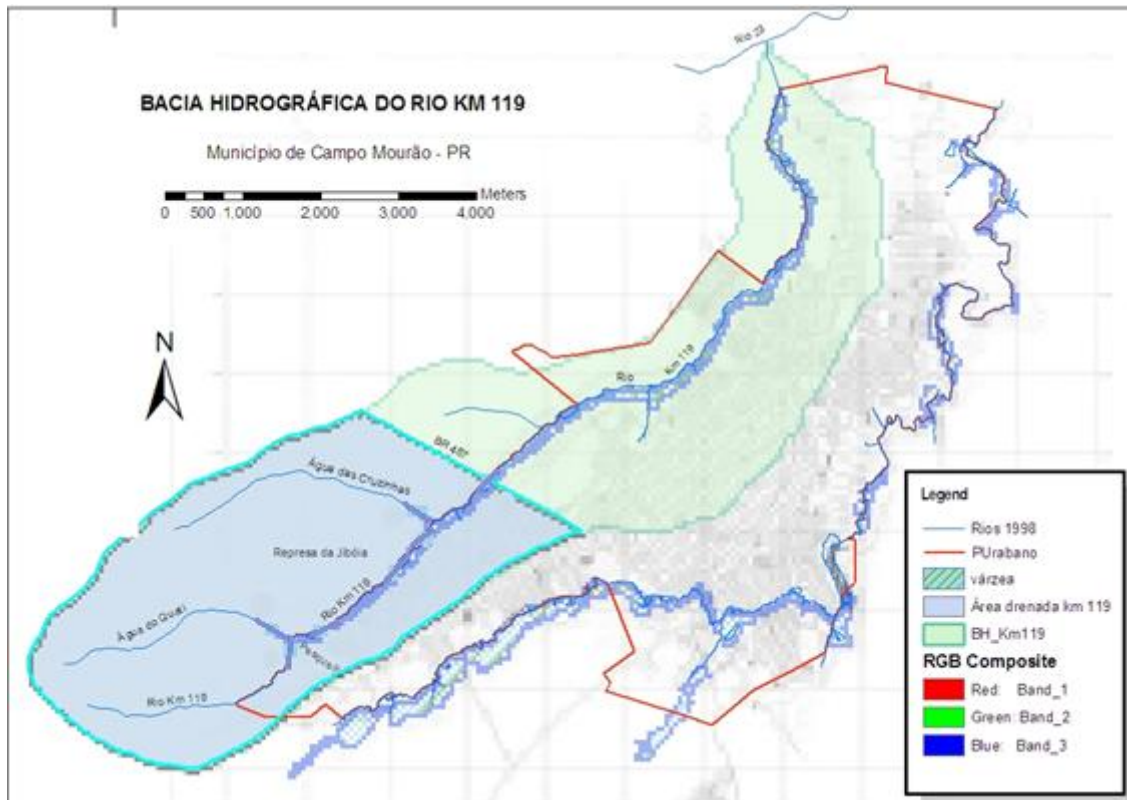


Figura 5 - Bacia Hidrográfica do Rio Km 119.
Fonte: TREVISAN 2009

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS SEÇÕES DE COLETA

As seções de coleta foram escolhidas visando buscar a melhor representatividade das características da região, deste modo foram escolhidos 6 seções:

Seção 1: localizado próximo a nascente do rio Km 119, caracterizado com pouca vegetação ao seu entorno, baixa profundidade e baixa vazão.

Seção 2: localizado na ponte próxima a Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Campo Mourão, vazão mais alta que na seção anterior, e pouco mais profundo, pouca vegetação ao entorno e aparentemente alguns pontos de lançamentos e efluentes.

Seção 3: localizado após o lançamento do efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Campo Mourão, área com vegetação ao entorno, lançamento junto com o rio Km 123.

Seção 4: localizada no rio Km 123 a montante da confluência com o rio Km 119, alta vazão, e vegetação em grande quantidade.

Seção 5: localizado após o lançamento do efluente e a confluência entre os 2 rios, recebe bastante interferência da população, raso e com forte vazão, pouca vegetação, e uma pequena corredeira.

Seção 6: localizado as margens da rodovia BR 317, na ponte sentido Peabiru, local bastante degradado, fundo e com alta vazão, pouca vegetação, e com restos da ponta que tinha antes.

Como pode ser observado na Figura 6.

A tabela 1 mostra a distancia entre as seções de coleta e efluentes com base de entrada do modelo.

Tabela 1 – Distancia entre os Trechos estudados.

Seção	Seção	Distancia
S ₁	S ₂	11,3 Km
S ₂	S ₃	700 m
S ₃	S ₄	100m
S ₄	S ₅	1 Km
S ₅	S ₆	1,2 Km
S ₁	Laticínio	1,1 Km
S ₁	ETE	12 Km
S ₁	Rio 1	2,75 Km
S ₁	Rio 2	4,7 Km



Figura 6 - Localização da área de estudo e dos pontos de coleta.
Fonte: Google Earth/2013.

4.3 PARÂMETROS

Foram realizadas análises de 7 parâmetros físicos químicos de qualidade da água utilizando-se as metodologias descritas em EATON (2005), no tabela 2 estão apresentados os parâmetros analisados.

Tabela 2 - Parâmetros analisados com seus métodos e metodologia utilizada.

Parâmetros	Método de Análise	Método nº	Referência
pH	Potenciométrico	SM 4500	EATON, 2005
Temperatura	Termômetro	SM 2550	EATON, 2005
Turbidez	Turbidímetro	SM 2130	EATON, 2005
Oxigênio dissolvido	Eletrométrico	SM 4500-O	EATON, 2005
DBO ₅	Titulométrico	SM 5210_D	EATON, 2005
DQO	Espectrofotométrico	SM 5220_D	EATON, 2005
Condutividade	Eletrométrico	SM 2510-B	EATON, 2005

Porem os parâmetros utilizados para o uso do modelo foram DBO₅ e OD, visando assim uma melhor representação dos dados.

4.4 MEDIDAS DE VAZÃO

Foram realizadas medições de vazão, nos dias 21/08/2012, 07/11/2012, 24/01/2013 e 29/01/2013 os equipamentos utilizados para realização da vazão foram o molinete e Flow Tracker, como mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Equipamentos utilizados em cada seção estudada.

Seção	Equipamento Utilizado	Data
S ₁	Flow Tracker	21/08/12 – 07/11/12 – 29/01/13
S ₂	Molinete	24/01/13
S ₃	Molinete	24/01/13
S ₄	Molinete	24/01/13
S ₅	Molinete	24/01/13
S ₆	Molinete/Flow Tracker	24/01/13 – 29/01/13

Flow Tracker, utiliza tecnologia exclusiva ADV® da SonTek para medir velocidades em duas ou três dimensões em um ponto localizado à 10 cm do transmissor acústico. Isso permite uma medição do fluxo natural, livre de quaisquer variações causadas pelo próprio aparelho.

Nas medições das vazões das seções S2, S5 e S6 o método utilizado foi do molinete fluviométrico de Newton (Figura 7), um equipamento destinado a medir a velocidade da água em qualquer profundidade do curso d'água.



Figura 7 - Molinete de hélice
Fonte: Corrêa, 2007

O molinete hidráulico faz suas hélices girarem mais rapidamente conforme a velocidade do fluxo de água que passa pelas mesmas (CORRÊA, 2007), realizando medidas a cada 0,5 metros na largura do rio, orientadas por uma trena, depende da largura do rio, até 5m a cada 0,5m e maior que 5m a cada 1m. Em cada medição é efetuada uma leitura à 60% da profundidade, caso o rio possua profundidade menor que 0,6 metros, e duas leituras, 20 e 80% da profundidade, verificada quando a profundidade do rio está entre 0,6 e 1,2m. A profundidade a cada 50 cm e a rotação do molinete são registradas como mostra a Figura 8, as rotações são convertidas em medidas de velocidades por equação empírica calibrada em laboratório específico. Com os valores de velocidade e o cálculo da área da seção do rio obtido pelo produto da profundidade com a distância de 0,5 m entre as medidas, as vazões são determinadas.

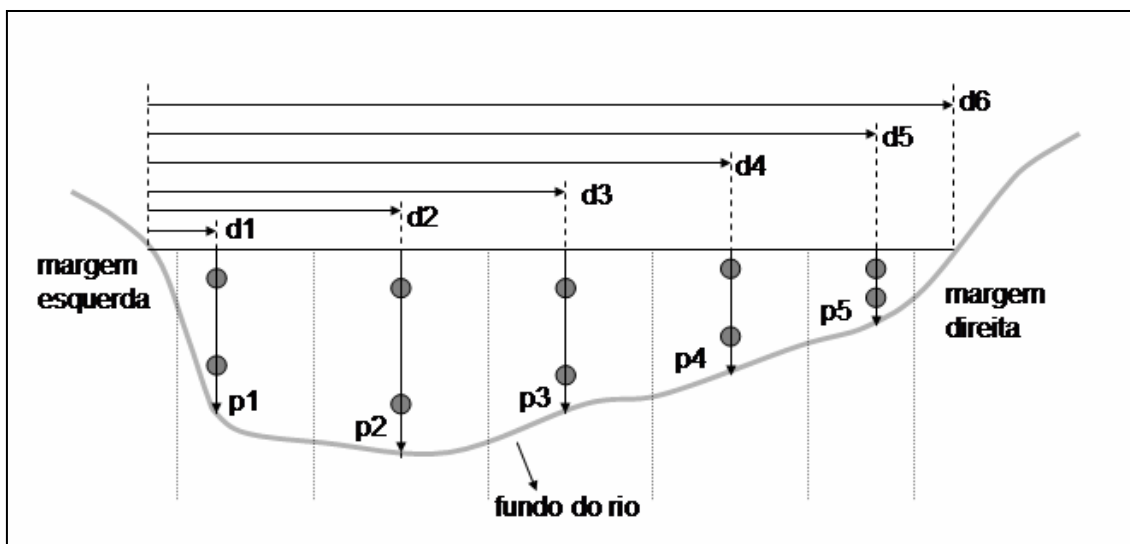


Figura 8 - Desenho esquemático de uma seção transversal de um corpo hídrico, para medição de vazão, com a indicação das verticais, distâncias (d) e profundidades (p).
FONTE: BARRETO (2006).

4.5 COLETAS E ANÁLISES

Os procedimentos de coletas da água do Rio Km 119 foram baseados na NBR 9897, de Junho 1987, que descreve o planejamento de amostras de efluentes líquidos e corpos receptores. Estas coletas e análises simples foram realizadas nos dias 06/12/2012, 19/12/2012, 24/01/2013 e 13/03/2013 e foram realizadas sempre no período da manhã, entre 9h e 12h, seguindo a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th.

Os dados da Seção S1 foram obtidos pelas coletas feitas pelo projeto do CT-HIDRP FINEP, coletas realizadas nos dias 19/10/2013, 22/11/2013, 12/12/2013, 28/01/2013, e resultado realizado no laboratório de Solo de Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campús Campo Mourão.

Os valores de OD, pH, temperatura, condutividade utilizados foram obtidos através de medições por sonda multiparamétrica da marca HANNA, modelo HI9828, diretamente nas seções de coleta. Amostras de águas superficiais foram coletadas, armazenadas e levadas para o laboratório terceirizado, ACQUA SOLLUS onde foi realizado a análise de DBO₅ e DQO e

no o laboratório de solos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campo Mourão (UTFPR - CM), onde foi realizado a análise de turbidez.

Os resultados obtidos foram calculados pelo modelo matemático da qualidade da água QUAL-UFMG e também comparados de acordo com as legislações pertinentes, a resolução 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA.

4.6 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração pode ser considerada procedimento primordial na utilização de um modelo. Esse processo permite ao usuário ajustar os parâmetros das equações matemáticas à realidade física, química e biológica dos recursos hídricos, de maneira a resultar uma simulação com precisão satisfatória as características reais do rio (OPPA, 2007).

O processo de calibração consiste em variar parâmetros do modelo para obter um resultado satisfatório entre os dados calculados pelo modelo e os dados observados. Um modelo matemático de qualidade da água devidamente calibrado é considerado instrumento importante ao apoio à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. (BÄUMLE, 2005)

Os parâmetros mais utilizados e que melhor se ajustam à modelagem de qualidade de água são: o Oxigênio Dissolvido e a Demanda Bioquímica de Oxigênio, que são de extrema importância no estudo da capacidade de autodepuração.

O trabalho calibrou o modelo de Streeter-Phelps com base em dados medidos no rio Km 119, utilizando valores de OD e DBO₅ medidos em diferentes posições ao longo do percurso do rio.

A modelagem do oxigênio dissolvido é dividida em cinética da desoxigenação e cinética da reaeração. A cinética da desoxigenação abrange

os coeficientes de desoxigenação (K_1) e o coeficiente de decomposição da DBO no rio (K_d), e a cinética de reaeração o coeficiente de reaeração (K_2).

Os perfis de OD e DBO_5 resultantes da calibração podem ser representados pela figura 9 a e b abaixo.

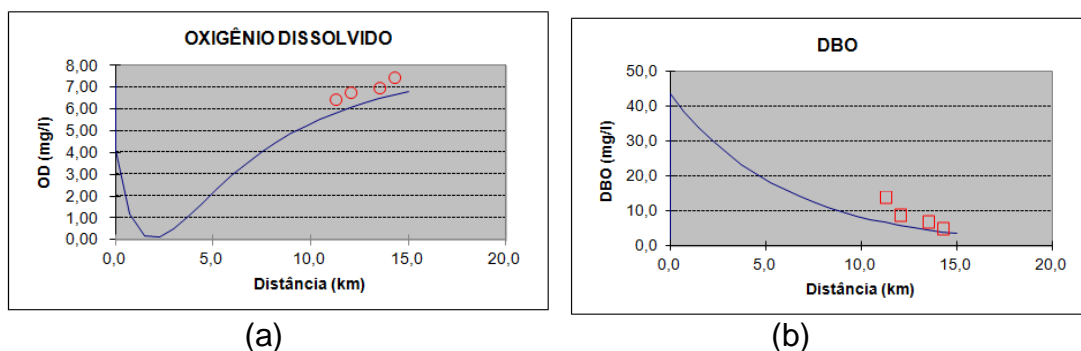


Figura 9: (a) Perfis de DBO e (b) Perfil de OD.

4.6.1 Parâmetro de desoxigenação da matéria orgânica (K_1)

O parâmetro K_1 representa a taxa de degradação em meio líquido. Esse coeficiente depende das características da matéria orgânica, temperatura e da presença de substâncias inibidoras. Efluentes tratados são exemplos de substâncias inibidoras, pois possuem uma taxa de degradação lenta. Isso ocorre devido à estabilização vagarosa do que resta do tratamento, já que a matéria orgânica facilmente assimilada foi removida (VON SPERLING, 2005).

O Quadro 1, são apresentados os valores para K_1 usualmente utilizados.

Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO (K_1 , K_s , K_d e K_r) (base e, 20°C)							
Origem	K_1 (laborat)	Rios rasos			Rios profundos		
		Decomp. K_d	Sediment. K_s	Remoção K_r (= K_s+K_d)	Decomp. K_d	Sediment. K_s	Remoção K_r (= K_s+K_d)
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50-1,00	0,10-0,35	0,60-1,35	0,35-0,50	0,05-0,20	0,40-0,70
Curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,25	0,45-1,05	0,30-0,45	0,00-0,15	0,30-0,60
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,10	0,45-0,90	0,30-0,45	0,00-0,05	0,30-0,50
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20

Nota: rios rasos: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 m; rios profundos: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 m

Quadro 1 - Valores de K_1 usualmente utilizado.

Fonte: Von Sperling (2007).

4.6.2 Parâmetro de reaeração (K_2)

A reaeração é o principal fator responsável pela introdução de oxigênio nos corpos d'água (VON SPERLING, 2005).

O coeficiente de reaeração atmosférica é representado pelo K_2 . Esse parâmetro é frequentemente empregado em função da profundidade e da velocidade do curso d'água. O Quadro 2 apresenta as opções para K_2 .

Valores do coeficiente K_2 segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (base e, 20°C)		
Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação aproximada
O'Connor & Dobbins (1958)	$3,73 \cdot v^{0,5} \cdot H^{-1,5}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,05m/s \leq v < 0,8 m/s$
Churchill et al (1962)	$5,0 \cdot v^{0,97} \cdot H^{-1,67}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,8m/s \leq v < 1,5 m/s$
Owens et al (apud Branco, 1978)	$5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,6m$ $0,05m/s \leq v < 1,5 m/s$

Notas:

- v: velocidade do curso d'água (m/s)
- H: altura da lâmina d'água (m)
- Faixas de aplicabilidade adaptadas e ligeiramente modificadas de Covar (apud EPA, 1985), para efeito de simplicidade

Quadro 2 - Valores do coeficiente K_2

Fonte – VON SPERLING (2005)

4.6.3 Parâmetro de decomposição da DBO no rio (K_d)

O coeficiente de decomposição da DBO no rio foi baseado nas características hidráulicas do corpo hídrico, vazão e profundidade, desde que esta esteja entre 0,3 e 10 m e aquela entre 0,15 m³/s e 250 m³/s.

O coeficiente de remoção de DBO efetiva no rio (k_d) foi obtido em função da profundidade e vazão conforme a equação:

$$K_d = 1,8Q^{-0,49}$$

Em que: Q= Vazão em m³. s⁻¹

4.7 VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo consiste em confirmar o ajuste dos parâmetros obtidos na calibração do modelo. Isso é feito comparando-se o resultado do modelo, mantendo-se os parâmetros previamente determinados na calibração, com uma nova série de dados medidos ou observados. Caso o modelo resulte em bons ajustes ao novo conjunto de dados, considera-se que o modelo está validado. Caso contrário, deve-se refazer a calibração (REIS, 2009).

Validação é a verificação do modelo já calibrado, utilizando uma série de dados de campo diferente daquela utilizada na calibração. A calibração do modelo é adequada quando os valores observados forem semelhantes no decorrer da série.

4.8 SIMULAÇÃO DE CENARIOS

Foi feita a simulação para 3 cenários distintos contendo um laticínio e uma estação de tratamento com lançamento de seus efluentes no Rio Km 119, com efluente de concentração bruta, 70% de eficiência no tratamento e de 90%

de eficiência. A modelagem de OD e DBO foi realizada do ponto mais próximo a nascente do rio até a ponte da BR 317 sentido Peabiru. Com uma extensão de aproximadamente 14,2 Km.

Os valores encontrados para K_1 , K_d e K_2 , foram retirados da literatura como citados anteriormente.

Os dados de lançamentos de DBO e OD utilizados na simulação da Estação de Tratamento de Esgoto foram retirados da própria SANEPAR, que passou informações sobre a vazão média de lançamento, e os parâmetros realizados através de coletas, e do Laticínio por problemas em coletas de dados junto a empresa, foram retirados de trabalhos em pesquisas feitas para que os parâmetros fossem próximos ao real, os dados utilizados na simulação e como entrada no modelo estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados utilizados na simulação do modelo.

Empreendimento	Situação do Efluente	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	Vazão (m³.s⁻¹)
ETE	Bruto	50	3	0,090
ETE	70% Eficiência	15	7	0,090
ETE	90% Eficiência	5	7	0,090
Laticínio	Bruto	100	2,5	0,140
Laticínio	70% Eficiência	30	6,7	0,140
Laticínio	90% Eficiência	10	7	0,140

A figura 10 ilustra o diagrama unifilar de simulação do rio Km 119.

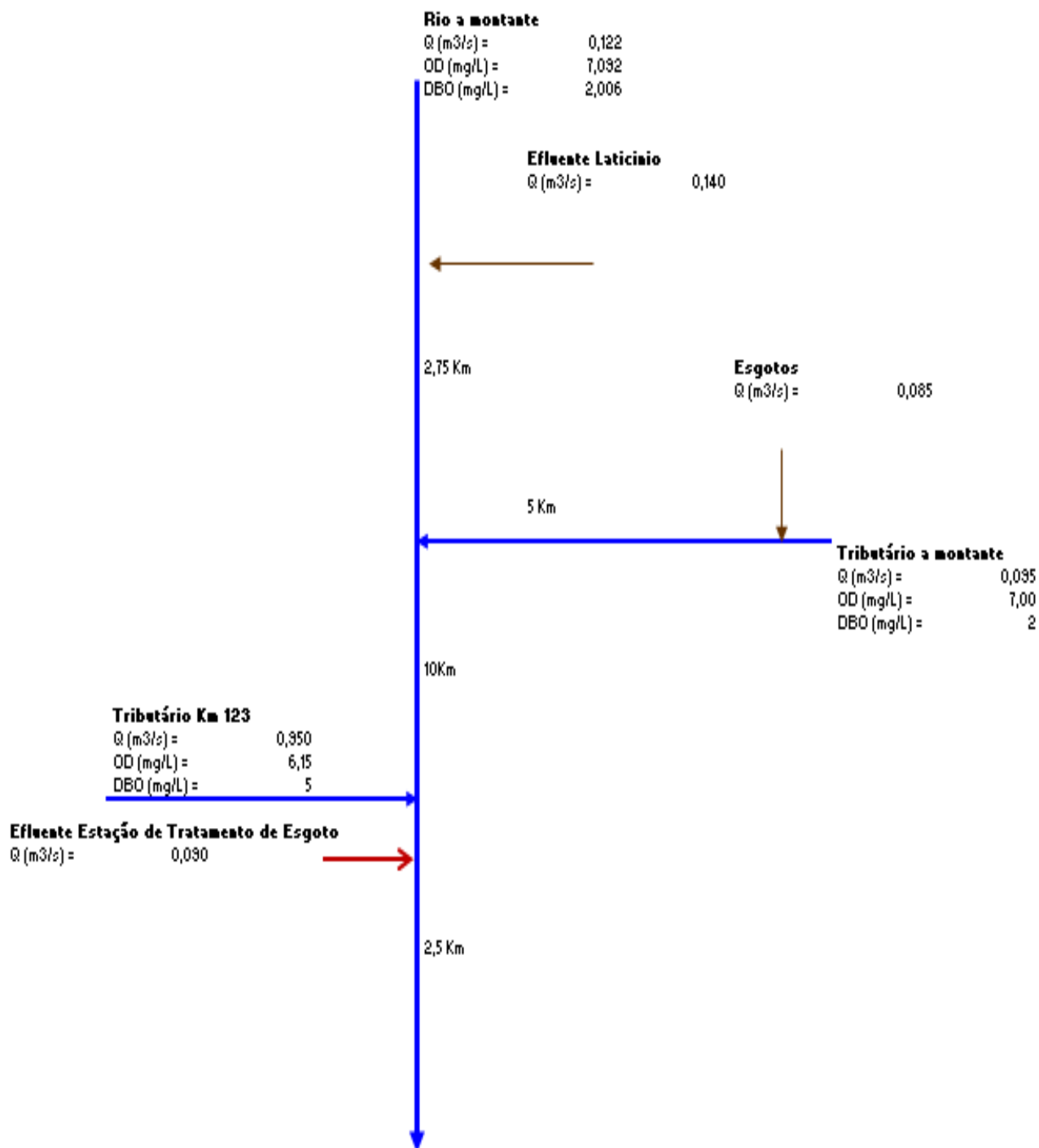


Figura 10 – Diagrama Unifilar de simulação do Rio Km 119

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros Analisados

Os dados analisados nas campanhas estão representados na Tabela X onde se podem observar poucas diferenças entre os resultados dos dias que foram feitas as coletas, o período que foi realizado a coleta foi basicamente chuvoso, sendo que todas às vezes de ida a campo o tempo estava fechado e com chuva em boa parte da semana.

Tabela 5 - Dados dos parâmetros analisados nas campanhas.

	DBO (mg.l ⁻¹)	DQO (mg.l ⁻¹)	OD (mg.l ⁻¹)	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (UNT)	Condutividade (µs.cm ⁻²)
Seção 1							
19/10/2012	0,72	NR	6,22	21,8	6,22	19,9	NR
22/11/2012	3,8	NR	8,7	25	6,14	16,1	NR
12/12/2012	1,5	NR	5,6	24,64	6,53	17,3	NR
28/01/2013	3	NR	7,74	23,4	6,59	20,25	NR
Seção 2							
06/12/2012	2,23	6	5,5	27	7,25	16,3	51
19/12/2012	4,58	12,98	6,9	26,55	6,94	31,9	57
24/01/2013	10,38	28,16	7,06	23,86	6,54	13,8	40
13/03/2013	3,6	6,8	6,96	23,8	6,95	64,5	42
Seção 3							
06/12/2012	8,18	22,5	5,1	26	7,01	20,6	126
19/12/2012	9,38	28,56	6,68	26,2	6,7	29,8	120
24/01/2013	37,29	94,35	7,42	23,32	6,81	38,8	41
13/03/2013	15,6	45,6	6,5	23,7	6,98	56,8	102
Seção 4							
13/03/2013	5,6	14,7	6,68	22,84	6,96	67	51
Seção 5							
06/12/2012	4,86	13,05	3,6	24	6,95	14,2	125
19/12/2012	8,34	24,23	5,6	23,95	6,73	31,7	91
24/01/2013	8,15	22,5	5,59	22,21	6,36	13,3	68
13/03/2013	6,79	18,06	6,68	22,84	6,96	63	51
Seção 6							
06/12/2012	4,01	12,12	4,9	24,7	6,9	17	106
19/12/2012	6,12	19,04	5,87	24,09	6,72	38,1	78
24/01/2013	7,65	20,77	5,65	22,32	6,6	13,9	59
13/03/2013	5,64	17,68	6,15	22,3	6,85	79,2	45

*NR – Parâmetro não Determinado

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) da água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica.

Quando analisados os valores obtidos nas campanhas, observa-se que, nos dias de coleta 19/12/2012 e 24/01/2013, as concentrações encontradas ultrapassam o padrão estabelecido pela resolução do CONAMA de 5 mg/L O₂ para um rio de classe 2, nas seções 2, 3, 5 e 6. Estas maiores concentrações podem ser explicadas, devido os índices pluviométricos nos dias anteriores as coletas, e também por possíveis lançamentos de efluente sem tratamento adequado no trecho estudado, indicando pontos de poluição ao longo do percurso.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO.

O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial, observado este aumento na seção 3 o qual possui a maior média dentre os outros pontos, podendo ter ocorrido no local um despejo industrial clandestino e pelo período chuvoso, e pela seção estar próxima a um ponto de lançamento de efluente.

O oxigênio dissolvido (OD) é representado pela quantidade de oxigênio atmosférico dissolvido na água ou efluente devido à diferença de pressão parcial, vem da fotossíntese biótica aquática ou pela difusão do gás, este presente na superfície da água. A Resolução 357 estabelece valores superiores a 5 mg.l⁻¹ para rios classe 2. Nas coletas realizadas os valores não ultrapassam o indicado pela resolução, com valores acima do permitido, apenas na seção 5, na campanha do dia 06/12/2012 com valor de 3,9, que pode ser indicado devido a possível lançamento de efluentes sem tratamento adequado próximo ao local de coleta.

Turbidez é a medição da resistência da água à passagem de luz. É provocada pela presença de material fino (partículas) em suspensão (flutuando/dispersas) na água. A turbidez é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto, nas seções analisadas apresentam-se

valores abaixo dos 100 UNT exigidos pela Resolução 357 para classificação de corpos d'água como classe 2. Porém com valores altos nos dias de coleta 13/03/2013, com valores entre 20,25 e 79,2, decorrentes a carregamentos de sedimentos devido a fortes chuvas durante as semanas antecedentes a coleta e a falta de vegetação as margens do trecho estudado do rio.

O pH é uma medida que estabelece a condição ácida ou alcalina da água. Os valores estiveram abaixo do limite estipulado pela resolução do CONAMA que indica entre 6 e 9. Com valores entre 6,14 e 7,25. Os valores de pH abaixo de 6,0 afetam a capacidade tampão do ecossistema aquático.

A temperatura em todas as campanhas de coleta de manteve com valores entre, 21,8 e 27 °C, indicativo do clima nos dias de idas a campo.

Segundo a Resolução CONAMA águas doces de classe 2, podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.

Para os parâmetros analisados, nos referidas seções amostrais, a água do rio Km 119 não pode ser utilizada para consumo humano sem tratamento prévio (convencional ou avançado), por não atender as exigências de potabilidade requeridas pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, como também não podem ser utilizadas para à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274/00 e também não podem ser utilizadas para à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, devido ao altos valores dos parâmetros demonstrados nas campanhas de coleta.

5.2 Medidas de Vazão

A Vazão dos corpos hídricos é o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em $m^3.s^{-1}$.

A descarga (vazão) aumentou da montante (região mais alta do rio (seção 1)) para a jusante (áreas rio abaixo (seção 6)). Pode ser observada por meio das medições de vazão, a contribuição dos afluentes; Água do Quati, Água das Cruzinhas, também a influência do rio Km 123, e possíveis lançamentos ao longo do trecho estudado. A tabela 5 mostra as médias das vazões, profundidades máximas, largura do rio e velocidade média encontradas nas seções.

Tabela 6- Parâmetros Hidráulicos utilizados na modelagem.

Seção	Profundidade (m)	Largura (m)	Vazão (m³.s⁻¹)	Velocidade Média (m.s⁻¹)
S₁	0,156	3,2	0,0957	0,1913
S₂	0,76	5,2	0,3855	0,1282
S₅	0,53	5,2	1,1453	0,3491
S₆	1,456	5,3	1,2607	0,457

As vazões das seções 3 e 4 não foram medidas, sendo que os valores utilizados para o estudo foi consistido considerando; na seção 3, a vazão de lançamento da estação de tratamento de esgoto e na seção 4, pela diferença entre as vazões 5 e 2.

A vazão é influenciada pelo clima, aumentando durante os períodos chuvosos e diminuindo durante os períodos secos. Também pode ser influenciada pelas estações do ano, sendo menor quando as taxas de evaporação são maiores. A quantidade de sedimentos na coluna d'água também pode ser influenciada pela vazão. Em rios de águas calmas ou lóticos, com baixa velocidade, os sedimentos podem depositar-se rapidamente no fundo do rio, enquanto que em rios de águas turbulentas, com elevada velocidade, os sedimentos permanecerão suspensos por mais tempo na coluna d'água.

A profundidade dos locais de coleta variou de 0,15 a 1,45 m sendo que o local de amostragem em que a profundidade foi maior foi à seção 6. As seções 2, 5 e 6 apresentaram as maiores larguras do rio.

A Figura 11 mostra o incremento de vazão ao longo do trecho simulado. As vazões de lançamento pouco alteram a curva, com destaque para a vazão dos tributários que exercem variação significativa no perfil de descarga.

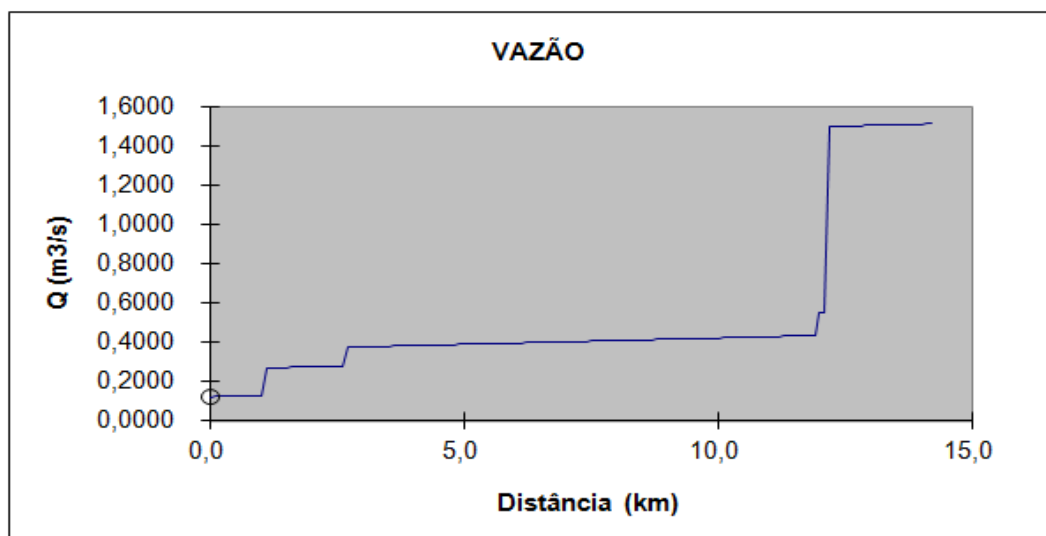


Figura 11 – Incremento de vazão ao longo do trecho simulado.

5.3 Modelo Matemático QUAL-UFMG

Segundo Ide et.al(2010), os parâmetros mais utilizados e que melhor se ajustam à modelagem de qualidade de água são: o Oxigênio Dissolvido e a Demanda Bioquímica de Oxigênio de extrema importância no estudo da capacidade de autodepuração.

Os resultados da simulação para o Oxigênio Dissolvido (OD) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mostram um cenário para o rio Km 119, de forma a estabelecer critério para o enquadramento do rio. Os valores utilizados para K_1 , K_2 e K_d foram 0,35, 18,73 e 3,75, respectivamente. As figuras 12 a e b abaixo mostram a simulação de OD e DBO ao longo dos trechos, com lançamento de efluente não tratado (bruto).

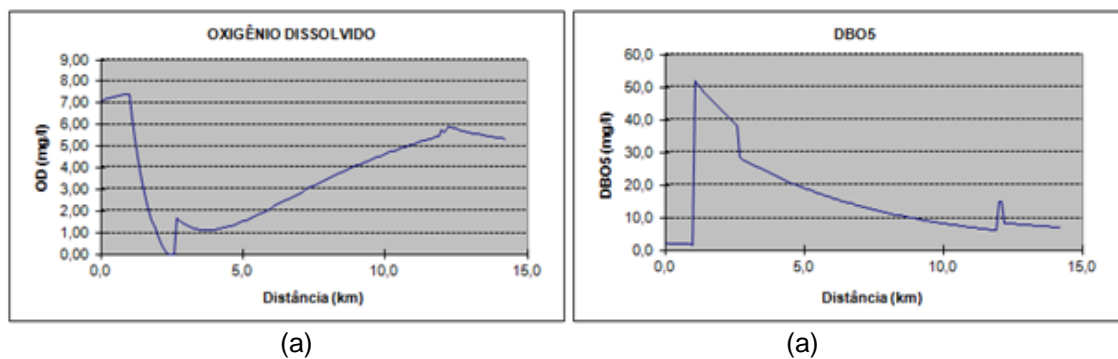


Figura 12 (a) – Simulações de OD (Bruto) e (b) - Simulações de DBO (Bruto)

Nota-se que com o efluente bruto o OD depois dos 3 Km chega a zero refletindo condições de anaerobiose neste trecho, uma ausência de oxigênio na água por influência do efluente lançado, e após essa decaimento volta a se estabelecer ao longo do percurso.

A DBO, após o lançamento do efluente, tem um grande acréscimo, mais com o decorrer do trecho vem se a estabelecer retornando aos enquadramentos na classe 2, de acordo com a Resolução 357 do CONAMA.

A figura 13 mostra qual a porcentagem do rio que esta dentro do enquadramento de Classe 2.

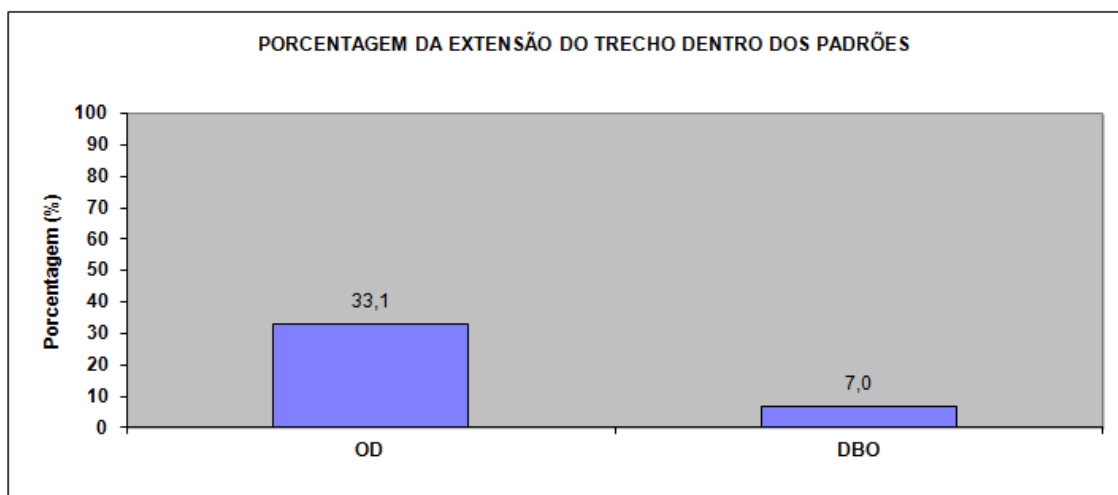
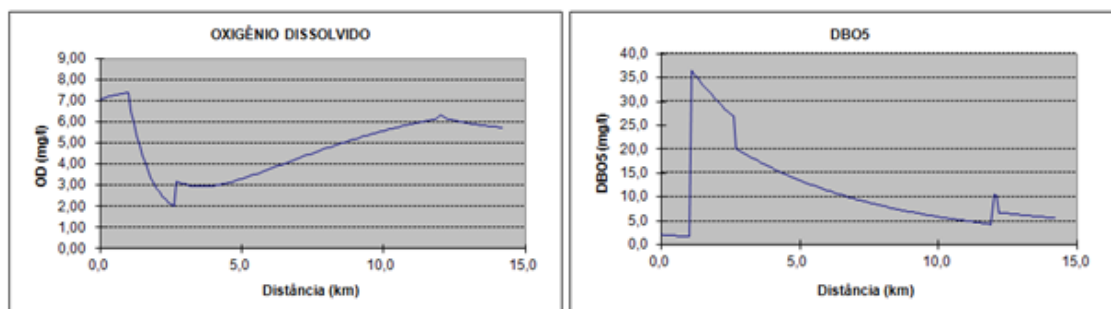


Figura 13 - Porcentagem de atendimento ao enquadramento (esgoto bruto).

Com a simulação do lançamento do efluente bruto, apenas 33,1% de todo o percurso esta dentro dos padrões e para DBO, somente 7% enquadra-se na classe 2.

A figura 14 a e b apresentam o comportamento dos parâmetros OD e DBO para a simulação do efluente com eficiência de tratamento de 70%.



(a)

(b)

Figura 14 (a) - Simulações OD para esgoto (70%) e (b) - Simulações DBO para esgoto (70%).

Com uma eficiência de remoção de 70% no efluente, pode-se observar que o rio tem uma menor alteração nas suas características, porém continua com a concentração de OD baixo com o lançamento do efluente do laticínio, e alta concentração de DBO, influenciado pelo efluente com tratamento de pouca eficiência.

Na figura 15 é apresentado o percentual do trecho do rio que enquadra na classe 2 da Resolução do CONAMA, considerando a simulação com lançamento de efluente com tratamento de 70% de eficiência.

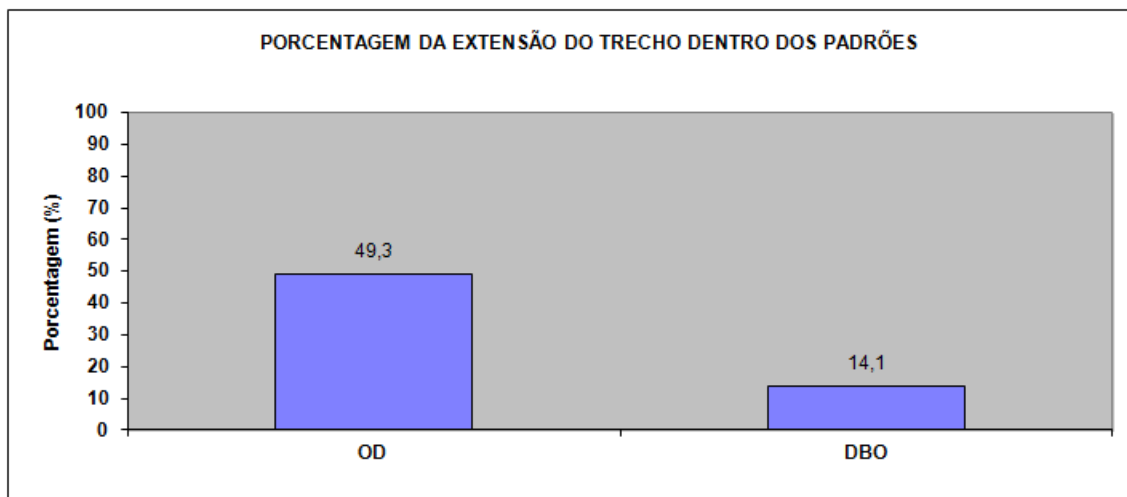


Figura 15 – Porcentagem de atendimento ao enquadramento (70% eficiência).

Observa-se que com a eficiência de 70%, 49,3% do percurso esta dentro dos padrões em relação à concentração de OD, e apenas 14,1 % em relação a concentração de DBO, devido à baixa eficiência no tratamento com valores com baixas concentração de OD e altas concentrações de DBO.

Na figura 16a, para a simulação com eficiência de remoção de 90%. verifica-se que o oxigênio dissolvido permaneceu em níveis elevados, com variações quase que imperceptíveis. Porém na figura 16b, que apresenta a variação da concentração do DBO no trecho em estudo, há um pequeno aumento localizado logo após seção de simulação de lançamento do laticínio, mais volta a estabelecer os padrões exigidos devido ao processo de autodepuração.

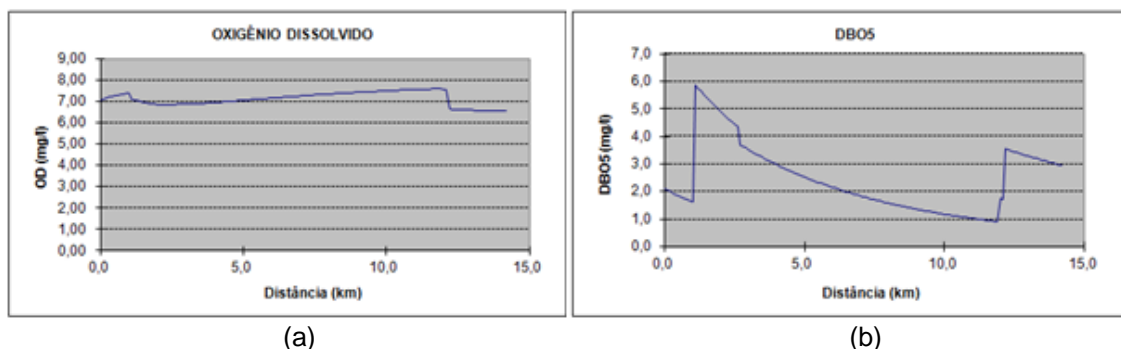


Figura 16(a) – Simulações OD para esgoto (90%) e **(b)** – Simulações DBO para esgoto (90%).

Com a maior eficiência nos processos de tratamento, as porcentagens do rio dentro dos padrões da resolução 430/11 são maiores, sendo de 100% para o OD, e 93,7 em relação a DBO, como mostra a figura 17.

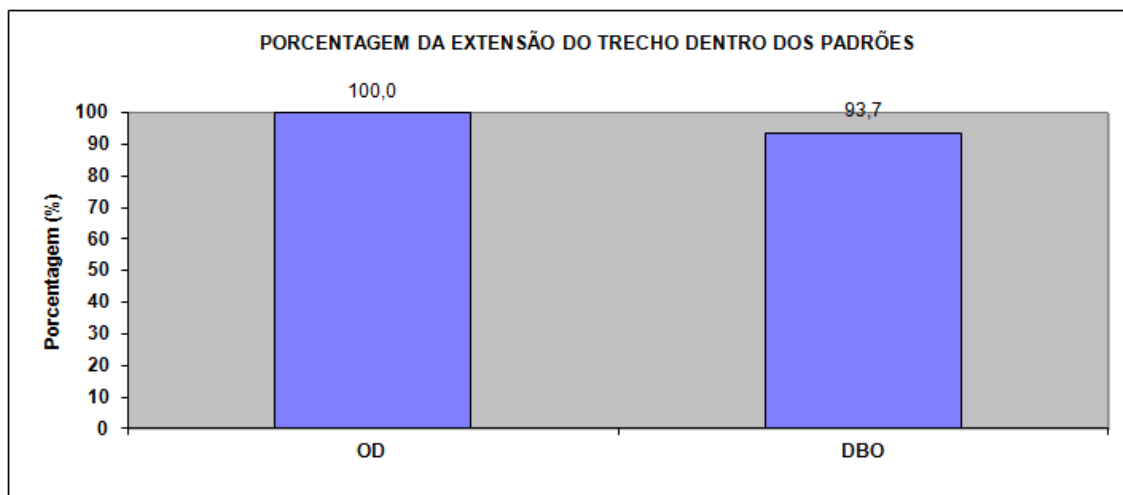


Figura 17 – Porcentagem de atendimento ao enquadramento (90% eficiência).

Apesar do rio Km 119 ter seu percurso quase total na área urbana, para que o mesmo ainda apresente a qualidade dentro dos parâmetros da resolução quando analisado a DBO e OD, é necessário que os efluentes lançados no corpo hídrico tenham um tratamento eficaz. Desta forma, a proporção espacial da poluição que se enquadra na resolução CONAMA 357/05 estende a um maior trecho do rio, ficando apenas em alguns pontos abaixo do limite tolerado. Para verificação da condição real da qualidade da água em termos dos parâmetros analisados, os resultados podem ser verificados através das amostras coletadas em campo e comparados com o comportamento do rio nos cenários simulados, porém se as eficiências nos processos de tratamento não forem respeitadas, o rio não terá a capacidade de se autodepurar, assim aumentando o grau de poluição.

6. CONCLUSÃO

As ferramentas para simulação dos processos de autodepuração dos corpos hídricos têm sido utilizadas nas últimas décadas para tomada de decisão nos planos de gerenciamento de recursos hídricos. Uma destas ferramentas que pode ser utilizadas é o modelo QUAL-UFMG que foi desenvolvido pela adaptação do modelo QUAL2E da USEPA.

A utilização destes modelos não considera a variação dos regimes de escoamento como lênticos e lóticos ou até a presença de regiões de várzeas que podem influenciar no processo de autodepuração.

Apesar destas deficiências, para rios com pequenas variações dos regimes a utilização do modelo é satisfatória, sendo utilizado cada vez mais na tomada de decisão dentro de bacias em estudos, demonstrando uma melhor interpretação dos resultados e nos dados de entrada para a modelação. A simulação foi satisfatória simulando bem os parâmetros de indicadores de qualidade, o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio ao longo do trecho do rio Km 119.

A utilização do modelo permite o melhor entendimento de como o rio se comporta ao longo do trecho estudado, de forma a obter uma visualização das influencias dos lançamentos no decorrer do percurso, como a fonte poluidora modifica o meio após seu lançamento. Desta forma a simulação possibilita apresentar o processo de autodepuração ao o rio, demonstrando que os parâmetros de qualidades da água podem retornar a suas condições naturais, indicando que quanto maior a eficiência no tratamento melhor a qualidade do rio considerando os parâmetros analisados. Esta ferramenta pode ser útil ainda para incentivar que as autoridades intensifiquem a fiscalização.

Para uma melhor representação dos processos de autodepuração recomenda-se para trabalho futuros, o levantamento de mais seções de coleta ao longo desse trecho, e um número maior de campanhas, com a análise de outros parâmetros de qualidade da água, incluindo outros tributários do rio principal, para validação dos resultados. Assim pode-se entender melhor o comportamento do curso d'água, de forma a simular cenários mais próximos das condições reais do rio.

Sugere que se intensifique o controle sobre as fontes poluidoras e que se crie e se desenvolva uma rede de monitoramento nos rios próximos a cidade de Campo Mourão, para que possa alimentar o modelo e aprimorar os dados em relação aos rios da bacia. Assim melhorando a qualidade da água dos rios de toda a região.

Com isso pode se concluir que a modelação da qualidade hídrica constitui-se em uma valiosa ferramenta da Engenharia Ambiental, utilizada na simulação dos processos de transporte e autodepuração de um rio. Assim, esta aplicação permitirá antever e avaliar para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um efetivo e/ou passível corpo receptor de descargas poluentes e contaminantes.

7. REFERÊNCIAS

BÁRBARA, V. F.; **Uso do modelo QUAL2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do rio Araguari – AP (Amazônia)**

Dissertação - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

BARRETO, L, V.; ROCHA, F, A.; OLIVEIRA, M, S. C.; **Monitoramento da Qualidade da Água na Microbacia Hidrográfica do Rio Catolé, em Itapetinga-Ba**

Centro Científico Conhecer - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Goiânia, vol.5, n.8, 2009

BARRETO, Carlos E. A. Gomes. **Balanco Hídrico Em Zona De Afloramento Do Sistema Aquífero Guarani A Partir De Monitoramento Hidrogeológico Em Bacia Representativa.** 2005. 270 paginas. Dissertação de Mestrado -

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2006.

BÄUMLE, A. M. B. **Avaliação de benefícios econômicos da despoluição hídrica: efeitos de erros de calibração de modelos de qualidade da água.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, DF.

CORRÊA, Iran. C. S; **Metodologia para o Cálculo de Vazão de uma seção Transversal a um canal Fluvial,** Porto Alegre-RS, 2007.

DEVENS, J, A ; BARBOSA, A.R.J; QUEIROZ, S.G **Modelo de quantificação do coeficiente de dispersão longitudinal de pequenos cursos de água naturais,** Artigo Técnico, Vol.11 - Nº 3 - jul/set 2006, 269-276

FONSECA, Wagner C. **Ajuste do modelo QUAL2K e simulação de cenários para o Ribeirão Claro.** 2008. 55f. Monografia – Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2008. [15] Agenda 21 Local de Campo Mourão: do projeto ao processo. Lídia Tomoco Miyagui Mizote (Org.). Campo Mourão/ PR: Município de Campo Mourão, 2008. 238p.:il.

FRANZ, Guilherme A. S. **Desenvolvimento, aplicação e análise do modelo de qualidade da água e eutrofização do SisBAHIA**. 2010. 159f. Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DELLOSSO, E.P **Avaliação da Qualidade da água do rio Monjolinho utilizando o modelo QUAL-2E**, São Carlos (SP) 2009.

IAPAR. **Instituto Agrônômico do Paraná. Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

IDE W, R. ; RIBEIRO M, L **Calibração Do Modelo De Qualidade De Água Qual-Ufmg Para O Rio Taquarizinho Em Período De Estiagem**, UFMS, 2010, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

ISEE, **STELLA. System Thinking for Education and Research**. Disponível em: <http://www.iseesystems.com/index.aspx>. Acesso em 04.fev. 2013.

IVANOV, P.; MASLIEV, I.; KULARATHNA, M.; KUZMIN, A.; SOMLYODY, L. **DESERT: Decision Support System for Evaluating River Basin Strategies**. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Working Paper WP-95-23. 1995. Disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/Research/WAT/docs/desert.html>. Acesso em 03 fev. 2013.

KNAPIK, H, G.; SCAPULATEMPO, C, V.; BASSANESI, K.;- **Qualidade da Água da Bacia do Rio Iguaçu: Diferenças Conceituais entre os Modelos QUAL2E e QUAL2K RBRH** — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.2 - Abr/Jun 2011, 75-88

LIMA, C, A.; GIORGETT, M. F - **Aplicação Do Modelo QUAL2E Na Simulação De Descargas Acidentais Contaminantes** - 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, VI – 057,1997.

LINFIELD, C. B.; BARNWEL JR, T.O. - **The enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual**. Georgia: U.S. Environmental Protection Agency. 1987.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**, 3ª Ed. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002. 440p.

MARCOTTI, A, R.; MARCOTTI, T, C. B.; **Caracterização da Evolução do Espaço Urbano de Campo Mourão**, I Simpósio de Estudos Urbanos: Desenvolvimento Regional e Dinâmica Ambiental FECILCAM, Campo Mourão. 29 a 31 de agosto de 2011.

OMS, Organização Mundial da Saúde, 2010 Acessado em 10/05/2012 disponível em < <http://www.who.int/en/>>

OPPA, L, F.; - **Utilização De Modelo Matemático De Qualidade Da Água Para Análise De Alternativas De Enquadramento Do Rio Vacacaí Mirim** - Dissertação De Mestrado, Santa Maria, RS, Brasil; 2007.

ORSSATTO, F. **Avaliação do oxigênio dissolvido do Córrego Bezerra a montante e a jusante de uma estação de tratamento de esgoto sanitário**, Cascavel, Paraná. Revista Brasileira de Biociências: Porto Alegre. v. 6, supl. 1, p.27 – 28. 2008.

PALMIERI, V. **Calibração do modelo QUAL-2E para o rio Corumbatai(SP)**. Dissertação de mestrado, PUC – RJ Rio de Janeiro 2004.

REIS, J.S.A. **Modelagem Matemática Da Qualidade De Água Para O Alto Rio Das Velhas/MG** – Dissertação de Mestrado, Ouro Preto, MG, 2009.

ROSMAN, Paulo C. C. **Referência técnica do SisBAHIA**. Rio de Janeiro, 2011. 241p. Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V85.pdf> . Acesso em: 04 fev. 2013.

SANTOS, H, R.; FILHO P, K, T.; **Importância do Monitoramento da Qualidade da Água de Corpos Hídricos**. VII Semana de Engenharia Ambiental, 01 a 04 de junho 2009.

SARDINHA, D.; CONCEIÇÃO F, T.; SOUZA, A, D.; SILVEIRA A.; JULIO M.; GONÇALVE J, C, I.; **Avaliação da Qualidade da Água e Autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP)** Eng. Sanit. Ambient. Vol.13 - Nº 3 - jul/set 2008, 329-338

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 th ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 2005.

TREVISAN, A.P.; **Monitoramento da Qualidade da Água Visando a Reabilitação do Curso Superior do Rio Km 119** Trabalho de conclusão de curso, Campo Mourão, 2009.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Universidade UFRGS/ABRH, 1998.

WHITEHEAD, P.G.; WILLIAMS, R.J.; LEWIS, D.R. **Quality Simulation Along River System (QUASAR): Model Theory and Development**. The Science of the Total Environment, 194/195, p. 447-456, 1997.

VERSORI, W. **Levantamento dos emissários de galerias pluviais contribuintes do rio Km 119 dentro do perímetro urbano do município de Campo Mourão-PR**. Monografia. Bacharelado em Geografia. Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**.. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.