

**INTEGRAÇÃO DOS MODELOS QUAL2K E WEAP PARA MODELAGEM
DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS RECEPTORES DE EFLUENTES
DE ETEs EM ÁREAS DE ADENSAMENTO URBANO NO DISTRITO
FEDERAL**

TATIANA DUMKE DA SILVA

**Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INTEGRAÇÃO DOS MODELOS QUAL2K E WEAP PARA MODELAGEM
DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS DE ÁGUA RECEPTORES DE
EFLUENTES DE ETEs EM ÁREAS DE ADENSAMENTO URBANO NO
DISTRITO FEDERAL**

TATIANA DUMKE DA SILVA

ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES

CO-ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM-177/2015

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO - 2015

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**INTEGRAÇÃO DOS MODELOS QUAL2K E WEAP PARA MODELAGEM
DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS DE ÁGUA RECEPTORES DE
EFLUENTES DE ETEs EM ÁREAS DE ADENSAMENTO URBANO NO
DISTRITO FEDERAL**

TATIANA DUMKE DA SILVA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.
APROVADA POR:**

**Prof^a Conceição de Maria Albuquerque Alves, Doutor (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Sergio Koide, Doutor (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Eduardo Queija de Siqueira, Doutor (EEC-UFG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 06 DE NOVEMBRO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, TATIANA DUMKE DA

Integração dos modelos QUAL2K e WEAP para modelagem da qualidade da água em corpos de água receptores de efluentes de ETEs em área de adensamento urbano no Distrito Federal, 2015.

xvi, 128p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2015).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Qualidade da água

2.WEAP

3.QUAL2K

4.Desenvolvimento urbano

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, T. D. (2015). Integração dos modelos QUAL2K e WEAP para modelagem da qualidade da água em corpos de água receptores de efluentes de ETE em área de adensamento urbano do DF. PTARH.DM-177/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Tatiana Dumke da Silva.

TÍTULO: Integração dos modelos QUAL2K e WEAP para modelagem da qualidade da água em corpos de água receptores de efluentes de ETE em área de adensamento urbano do DF

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Tatiana Dumke da Silva
tati.dumke@gmail.com

*Dedico
aos meus pais Eduardo e Rosani,
com muito carinho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me guiado nesse caminho, em que tive a oportunidade de aprender todos os dias, por conhecer pessoas incríveis, por me ajudar em todos os momentos e por sempre estar ao meu lado.

Aos meus pais, pelo amor de cada dia, incentivo e por nunca medirem esforços para a minha formação. Sem a ajuda deles, esse trabalho se tornaria muito mais difícil.

À minha orientadora Prof. Conceição, que com o seu jeito mãe de ser, me fez manter a calma e acreditou que eu seria capaz de realizar esse trabalho. Agradeço também pela paciência, ensinamentos e por todas as ajudas dadas ao longo desse caminho.

À minha irmã Pat, que sempre me incentivou ao Mestrado, sonhou comigo, esteve ao meu lado, mesmo longe, e me mostrou o verdadeiro valor de uma profissão.

Ao Prof. Koide, por compartilhar os seus conhecimentos comigo, pela ótima ajuda e sugestão dada à esse trabalho.

Ao Johannes, pelo amor, amizade, paciência, companherismo, compreensão, diversão, por proporcionar o meu melhor descanso e manter o meu equilíbrio.

À Eriquinha, por ser a minha esquisita favorita, pela companhia de todos os dias até tarde na nossa sala, pela paciência, amizade e pelas milhares de ajudas em qualquer hora.

Ao José, pelas boas conversas, pelos momentos engraçados, felizes, angustiantes e principalmente pela amizade. Agradeço pela disposição e alegria em me ajudar.

À Sara, pela amizade, confiança, segurança, escaladas e refeições *gourmet* do dia a dia.

À Carol, pela alegria contagiante de todos os dias.

À Bruna, pela amizade, pôr do sol e cervejas.

À Prof. Yovanka, Lenora e ao Prof. Oscar, pelos sorrisos nos corredores e na ajuda com esse trabalho.

À Munique e Julia, pelas orações, almoços, carinhos, férias, praias e ótimos momentos desde sempre.

À Liz e à Amanda, pelo carinho, amizade, por entenderem as ausências e estarem comigo desde sempre.

À Carlota e Renata, por essa incrível amizade, que continua firme, mesmo separada pelos estados e oceano.

Ao Mathias, pela amizade, confiança e incentivo.

Ao Max, Otto e Bento, pelo amor incondicional.

À CAESB, em especial, Vanusa, Maria do Carmo, Cristine e Ana Maria, pelas informações e dados fornecidos, fundamentais para essa pesquisa.

Ao CNPQ, pela ajuda financeira por meio da bolsa de Mestrado.

Ao projeto RIDE DF e Entorno, por proporcionar uma ótima ferramenta de trabalho, auxílio financeiro e as idas à campo, que foram bastante enriquecedoras pessoalmente e mudaram a minha visão em relação à minha região.

RESUMO

INTEGRAÇÃO DOS MODELOS QUAL2K E WEAP PARA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS DE ÁGUA RECEPTORES DE EFLUENTES DE ETEs EM ÁREAS DE ADENSAMENTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL

O crescimento populacional acelerado e desordenado nos grandes centros urbanos tem sinalizado para um possível aumento na demanda dos sistemas de saneamento das cidades. Esse fato pode alterar a qualidade da água dos corpos hídricos receptores de efluentes. Essa realidade apresenta-se no eixo sudoeste do Distrito Federal e de seu Entorno, caracterizado por grande concentração populacional e altas taxas de crescimento populacional. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar o impacto do crescimento populacional na qualidade da água dos Rios Melchior e Descoberto, sendo esse último um afluente do reservatório Corumbá IV, que será futuramente utilizado como fonte de abastecimento de água. Para isso foi utilizada a integração do modelo de qualidade da água QUAL2K com o sistema de apoio à decisão Water Evaluation and Planning-WEAP criando-se diversos cenários relacionados ao crescimento populacional e alterações no processo operacional das estações de tratamento de esgoto (ETE) da região. Inicialmente desenvolveu-se a planilha do QUAL2K, e após a sua calibração, foi integrada ao WEAP para fazer as iterações para simular os cenários futuros. A principal vantagem dessa integração é obter melhores resultados para as simulações por meio do QUAL2K. Entretanto, ocorrem algumas perdas de informações pelo WEAP com a integração do modelo de qualidade da água. Foram simulados 4 cenários futuros simulados de 2010 a 2030. Todos os cenários indicaram diminuição na concentração de OD e aumento na de DBO no rio Descoberto, após a confluência com o rio Melchior, como era de se esperar. Os resultados dos diferentes cenários sugeriram que para garantir a conservação da qualidade da água do rio Descoberto e no lago Corumbá IV frente ao processo de adensamento populacional na região sudoeste do DF é importante ajustar os níveis de tratamento terciário das ETEs da região para patamares mais elevados, em torno de 95% de remoção de DBO.

PALAVRAS-CHAVES: Qualidade das águas, WEAP, QUAL2K, desenvolvimento urbano

ABSTRACT

INTEGRATION OF QUAL2K AND WEAP MODELS FOR WATER QUALITY MODELLING IN RECEPTOR WATER BODIES OF EFFLUENT RECEIVERS OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN AREAS OF URBAN DENSITY IN DISTRITO FEDERAL

The rapid and disordered population growth in urban centers has signaled for a increase in demand on sanitation systems of cities. This may change the water quality of water bodies effluent receivers. This reality can be seen in the southwest axle of the Federal District and its surrounding areas, characterized by high population concentration as well as high rates of population growth. Therefore, this study aimed to evaluate the impact of population growth on water quality of water bodies receiving effluent and trainers of the Corumba IV reservoir, which will be used in future as a water supply. It was made the integration of QUAL2K water quality model with the support system decision Water Evaluation and Planning-WEAP creating various scenarios related to population growth and changes in the operating process of sewage treatment plants (WWTP) of that region. Initially, the spreadsheet QUAL2K was developed, and after calibration, it was integrated into the WEAP to make iterations to simulate future scenarios. The main advantage of this integration was to get better results for the simulations through QUAL2K. However, there is some loss of information by WEAP with the integration of water quality model. Four scenarios were simulated between 2010 and 2030. All scenarios indicated that concentration of OD decreases and BOD concentration increases in the Descoberto, after the confluence with the river Melchior, as it was to be expected. The results of the different scenarios suggested that to ensure the conservation of the water quality of river Descoberto and Lake Corumbá IV, in relation with the population density process in the region southwest of DF, it is important to adjust the levels of treatment of wastewater treatment in the region to higher levels, around 95% of BOD removal.

KEY WORDS: Water quality, WEAP, QUAL2K, urban development

SUMÁRIO

1 -INTRODUÇÃO.....	1
2 -OBJETIVOS.....	3
2.1 - OBJETIVO GERAL	3
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 -REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 - OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO NA RIDE DF E ENTORNO.....	4
3.2 - SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA RIDE DF E ENTORNO E NO DISTRITO FEDERAL	7
3.2.1 - <i>Caracterização do Sistema Produtor de Água Corumbá</i>	8
3.3 - CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	9
3.3.1 - <i>Modelagem da Qualidade da Água</i>	11
3.3.2 - <i>Gestão da Qualidade da Água</i>	15
3.4 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	17
3.4.1 - <i>Water Evaluation and Planning - WEAP</i>	20
3.5 - MODELOS DA QUALIDADE DA ÁGUA	27
3.5.1 - <i>Modelos matemáticos de simulação da qualidade da água</i>	29
3.5.2 - <i>Modelo QUAL2K</i>	29
3.5.3 - <i>Equações do modelo QUAL2K</i>	37
3.5.4 - <i>Integração do WEAP com QUAL2K</i>	38
4 -METODOLOGIA	41
4.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
4.1.1 - <i>Localização e hidrografia da área de estudo</i>	42
4.1.2 - <i>Características físicas</i>	44
4.1.3 - <i>Uso e ocupação do solo</i>	45
4.1.4 - <i>Características do sistema de esgotamento sanitário</i>	48
4.2 - POSTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	51
4.2.1 - <i>Aquisição de dados necessários ao QUAL2K E WEAP</i>	55
4.2.2 - <i>Modelagem da qualidade da água no modelo QUAL2K</i>	57
4.2.3 - <i>Simulação com o WEAP</i>	66
4.2.4 - <i>Criação dos cenários</i>	76
5 -RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM O QUAL2K	81
5.1.1 - <i>Simulação para o mês de setembro de 2004</i>	81
5.1.2 - <i>Calibração do modelo QUAL2K</i>	84
5.1.3 - <i>Coeficiente de reaeração e de remoção da DBO</i>	85
5.1.4 - <i>Simulação dos outros meses de 2004 e setembro de 2009</i>	86
5.1.5 - <i>Resultados da integração do QUAL2K com WEAP</i>	98

5.1.6 - Resultado dos cenários do WEAP com a integração com o QUAL2K	101
6 -CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	119
7 -REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Equações para determinar os valores dos coeficientes de k_2 (adaptado de von Sperling, 2008).</i>	14
<i>Tabela 2- Valores permitidos para o OD e a DBO por classes.</i>	16
<i>Tabela 3 - Proposta de enquadramento do PGIRH/DF (ADASA, 2012).</i>	17
<i>Tabela 4 - Enquadramento segundo a Resolução nº 02 de 17 de dezembro de 2014.</i>	17
<i>Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade de Manning para vários tipos de canais abertos (Chow et al., 1988).</i>	35
<i>Tabela 6 - Valores de referência dos expoentes b e β usados para determinar velocidade e profundidade a partir da vazão.</i>	35
<i>Tabela 7 - Variáveis simuladas no QUAL2K.</i>	36
<i>Tabela 8- População das cidades da região de estudo (CODEPLAN, 2013 e IBGE, 2015)</i>	46
<i>Tabela 9- Dados de remoção da ETE Melchior (CAESB, 2013).</i>	49
<i>Tabela 10 - Dados de remoção da ETE Samambaia (CAESB, 2013).</i>	49
<i>Tabela 11 - Pontos de monitoramento das águas superficiais operados pela CAESB (modificado de ADASA, 2012).</i>	53
<i>Tabela 12 - Parâmetros de OD e DBO medidos nas estações da área de estudo</i>	57
<i>Tabela 13 - Divisão dos trechos com seus respectivos postos de monitoramento.</i>	61
<i>Tabela 14 - Características hidráulicas dos trechos.</i>	62
<i>Tabela 15 - Coeficientes de descargas para cada trecho dos rios Descoberto e Melchior</i>	63
<i>Tabela 16 – Trecho e localização das cargas pontuais no rio Descoberto e Melchior para as planilhas de 2004 e 2009.</i>	65
<i>Tabela 17 - Dados de entrada referentes ao ano de 2009 nos pontos de demandas.</i>	69
<i>Tabela 18 - Trechos do WEAP correspondentes aos postos de monitoramento da CAESB</i>	71
<i>Tabela 19- Características do reservatório necessárias para o WEAP (ADASA, 2012) ...</i>	73
<i>Tabela 20 - Dados de volume e vazão do reservatório Descoberto</i>	73
<i>Tabela 21 - Taxa de evaporação líquida do reservatório Descoberto</i>	74
<i>Tabela 22 - Vazão produzida para abastecer os nós de demanda no WEAP</i>	74
<i>Tabela 23 - Característica da ETE MelcSam no WEAP.</i>	75
<i>Tabela 24 - Características da ETE Santo Antônio do Descoberto no WEAP.</i>	76
<i>Tabela 25 - Taxas de crescimento populacional do cenário 3 - adensamentos urbanos totais</i>	78
<i>Tabela 26 – Dados dos cenários</i>	78
<i>Tabela 27 - Coeficiente de determinação</i>	84
<i>Tabela 28 – Coeficientes calibrados referentes aos trechos simulados no QUAL2K</i>	85
<i>Tabela 29 - Concentração de OD ao longo dos trechos simulados pelo WEAP e QUAL2K.</i>	98
<i>Tabela 30 - Concentrações médias de OD e DBO simuladas em todos os cenários a cada 5 anos no mês de setembro no ponto de entrega do rio Descoberto ao lago Corumbá IV.</i>	118

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Região Integrada de Desenvolvimento do DF e Entorno</i>	5
<i>Figura 2 - Conjuntos habitacionais próximos ao corpo hídrico na Cidade Ocidental</i>	7
<i>Figura 3 - Erosão próxima aos conjuntos habitacionais provocada pela ocupação urbana irregular na Cidade Ocidental.</i>	7
<i>Figura 4 - Esquema da primeira etapa do Sistema Produtor de Água Corumbá.</i>	9
<i>Figura 5 - Efeito no lançamento de carga orgânica no OD (Adaptado de Chapra, 1997)</i> 12	
<i>Figura 6 - Tela principal do WEAP em que é possível desenhar a rede hídrica com os nós de demanda.</i>	22
<i>Figura 7 - Esquema de segmentação para o rio com tributários no QUAL2K. (Adaptado de Chapra et al., 2008)</i>	31
<i>Figura 8 - Balanço das vazões no elemento (Chapra et al., 2008)</i>	33
<i>Figura 9 - Canal trapezoidal (Chapra et al., 2008)</i>	34
<i>Figura 10 - Representação esquemática do balanço de massa do modelo QUAL2K (Adaptado de Chapra et al., 2008)</i>	37
<i>Figura 11 - Processo de integração entre QUAL2K e WEAP.</i>	39
<i>Figura 12 - Adição da planilha do QUAL2K no WEAP no retângulo vermelho e ligação entre os constituintes dos dois modelos em amarelo.</i>	40
<i>Figura 13 - Fluxograma da metodologia de integração do QUAL2K e WEAP para a simulação de cenários.</i>	41
<i>Figura 14 - Área de estudo</i>	43
<i>Figura 15 - Zonas do PDOT de 2009</i>	47
<i>Figura 16 - Mapa de localização das ETEs e cidades da área de estudo</i>	50
<i>Figura 17 - Vista da ETE Samambaia ao fundo e na frente a ETE Melchior (CAESB, 2013)</i>	50
<i>Figura 18 - Visão da lagoa aerada da ETE Santo Antônio do Descoberto</i>	51
<i>Figura 19 - Lançamento do efluente tratado no rio Descoberto</i>	51
<i>Figura 20- Postos de monitoramento fluviométrico e qualidade da área de estudo</i>	52
<i>Figura 21 - Dados necessários para a modelagem da qualidade da água no QUAL2K</i> ...	56
<i>Figura 22 - Dados necessários para o WEAP.</i>	56
<i>Figura 23 - Etapas da simulação com as planilhas do modelo QUAL2K até a integração com o WEAP</i>	58
<i>Figura 24 - Diagrama unifilar no modelo QUAL2K para os rios Descoberto e Melchior</i> 60	
<i>Figura 25 – Gráfico para determinação dos coeficientes de descargas do ponto CAP.RDE.001 por meio dos valores de velocidade e vazão.</i>	62
<i>Figura 26 – Gráfico para determinação dos coeficientes de descargas do ponto CAP.RDE.001 por meio dos valores de profundidade e vazão.</i>	63
<i>Figura 27 - Fluxograma da metodologia para a simulação da qualidade da água no WEAP com integração ao QUAL2K</i>	66
<i>Figura 28 - Rede hídrica com os pontos de demanda e ETEs desenhados no WEAP</i>	68
<i>Figura 29- Crescimento populacional para o cenário de referência (2009-2030) com as taxas definidas pelo CODEPLAN (2013).</i>	70

<i>Figura 30 - Representação dos principais trechos dos rios Descoberto e Melchior no WEAP</i>	72
<i>Figura 31 - Vazões de entrada no reservatório do Descoberto em m³/s (Adasa, 2012)....</i>	73
<i>Figura 32- Comportamento do OD no rio Descoberto.....</i>	82
<i>Figura 33 - Comportamento da DBO no rio Descoberto</i>	82
<i>Figura 34- Comportamento do OD no rio Melchior</i>	83
<i>Figura 35 - Comportamento da DBO no rio Melchior.....</i>	84
<i>Figura 36 - Comportamento do OD para o rio Descoberto para os meses de 2004.....</i>	88
<i>Figura 37 - Comportamento da DBO no rio Descoberto para os meses de 2004.....</i>	90
<i>Figura 38- Comportamento do OD no rio Melchior para os meses de 2004.....</i>	92
<i>Figura 39 - Comportamento da DBO no rio Melchior para os meses de 2004</i>	94
<i>Figura 40 - Comportamento do OD no rio Descoberto para o mês de setembro de 2009.</i>	94
<i>Figura 41 - Comportamento da DBO no rio Descoberto para o mês de setembro de 2009</i>	95
<i>Figura 42 - Comportamento do OD no rio Melchior para o mês de setembro de 2009</i>	96
<i>Figura 43 - Comportamento da DBO no rio Melchior em setembro de 2009.....</i>	97
<i>Figura 44 - Comportamento do OD no rio Descoberto simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009.....</i>	98
<i>Figura 45 - Comportamento da DBO no rio Descoberto simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009.....</i>	99
<i>Figura 46 - Comportamento do OD no rio Melchior simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009</i>	100
<i>Figura 47 - Comportamento da DBO no rio Melchior simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009.....</i>	101
<i>Figura 48 - Comportamento do OD no rio Descoberto no cenário 1 no ano de 2016.....</i>	102
<i>Figura 49 - Comportamento da DBO no rio Descoberto no cenário 1 no ano de 2017..</i>	103
<i>Figura 50 - Comportamento do OD no rio Melchior no cenário 1- atual no ano de 2014</i>	104
<i>Figura 51 - Comportamento da DBO no rio Melchior no cenário 1-atual no ano de 2014</i>	104
<i>Figura 52 - Comportamento da DBO no rio Descoberto no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020.....</i>	105
<i>Figura 53 - Comportamento do OD no rio Descoberto no cenário 2- conjunto habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020.</i>	106
<i>Figura 54 - Comportamento da DBO no rio Melchior no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020</i>	106
<i>Figura 55 - Comportamento do OD no rio Melchior no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020</i>	107
<i>Figura 56 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos no mês de setembro de 2025</i>	108
<i>Figura 57 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025</i>	108
<i>Figura 58 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025</i>	109

<i>Figura 59 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025</i>	<i>109</i>
<i>Figura 60 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 61 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 62 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 63 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 64 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais, 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018</i>	<i>112</i>
<i>Figura 65 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais, 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 66 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 67 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 68 - Concentrações de OD do rio Melchior que são entregues ao rio Descoberto em todos os cenários simulados.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 69 - Concentrações de DBO do rio Melchior que são entregues ao rio Descoberto em todos os cenários simulados.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 70 - Concentrações de OD no rio Descoberto que são entregues ao lago Corumbá IV em todos os cenários simulados</i>	<i>116</i>
<i>Figura 71 - Concentrações de DBO no rio Descoberto que são entregues ao lago Corumbá IV em todos os cenários simulados</i>	<i>117</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACQUANET	Modelo para alocação de água em sistemas completos de recursos hídricos
ANA	Agência Nacional das Águas
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CRH/DF	Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal
CT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DHI	Danish Hydraulic Institute
DQO	Demanda química de oxigênio
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FT	Fósforo Total
GDF	Governo do Distrito Federal
IRAS	Interactive River And Aquifer Simulation
LABSID	Laboratório de Sistema de Suporte a Decisões
MODSIM	River Basin Management Decision Support System
NSE	Índice de Eficiência de Nash-Sutcliffe
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio dissolvido
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal
PGIRH	Plano de Gestão Integrada de Recursos Hídricos
QUAL2EU	Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis
QUAL2K	Stream Water Quality Model
QUASAR	Quality Simulation Along Rivers
RIDE DF e Entorno	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno
SAD	Sistemas de Apoio à Decisão
SANEAGO	Saneamento de Goiás S.A.
SANECAB	Serviços Autônomos de Saneamento de Cabeceira Grande
SIMCAT	Simulation Catchment

SS	Sólidos Suspensos
SWAT	Soil & Water Assessment Tool
TOMCAT	Temporal Overall Model for Catchments
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UHE	Usina Hidrelétrica
UNITAK	Sistema de Remoção de Nutrientes de Fluxo Alternativo
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VBA	Visual Basic Applications
WASP7	Water Quality Analysis Simulation Program
WEAP	Water Evaluation and Planning
ZEE - DF	Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal

1 - INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para o equilíbrio do meio ambiente e para o suporte à diversas atividades econômicas. A qualidade da água é importante para garantir o equilíbrio ecológico, preservando a vida de muitos seres vivos, inclusive do homem. Dentre as atividades antrópicas que têm impactos diretos na qualidade da água, a expansão urbana tem ocupado posição significativa com consequências importantes para os recursos hídricos.

Os impactos na qualidade da água devido à expansão urbana são muitos, como: aumento de sedimentos e do material sólido, aporte de cargas orgânicas e outros contaminantes oriundos de esgotos municipais, contaminantes provenientes de áreas industriais, comerciais, eutrofização dos corpos hídricos, entre outros. Além desses impactos, o uso irracional dos recursos hídricos associado à deterioração de sua qualidade pode causar redução de sua disponibilidade.

A Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE DF e Entorno) é composta, além do Distrito Federal (DF), por 19 municípios do Estado de Goiás e 3 do Estado de Minas Gerais. Sua ocupação está relacionada com a construção da nova capital Federal. O crescimento populacional de décadas recentes traduziu-se por uma ocupação desordenada e irregular em áreas não ocupadas. Com um aumento populacional de 24,9% em 10 anos (IBGE, 2010), o Distrito Federal se torna uma das áreas de maior densidade demográfica no Brasil. Os dados do censo de 2010 mostraram um crescimento populacional médio de 2,28% na capital, sendo que a média nacional é de 1,7%.

A parcela sudoeste do DF tem apresentado um intenso crescimento populacional. As cidades satélites de Ceilândia, Taguatinga e Samambaia são as mais populosas e suas taxas de crescimento populacional são as maiores da região (CODEPLAN, 2013). Essas cidades estão localizadas na bacia do rio Descoberto, especificamente no médio e baixo Descoberto, assim como o município de Santo Antônio do Descoberto, do Estado de Goiás, pertencente à RIDE DF e Entorno. Essas localidades, principalmente as do DF, apresentam áreas com elevados adensamentos urbanos, muitos impulsionados pela implantação de programas habitacionais do Governo do Distrito Federal (GDF).

O crescimento populacional nessa região tem sinalizado para um possível aumento de demanda para os sistemas de saneamento, especialmente a infra-estrutura de tratamento de efluentes domésticos. Com os adensamentos urbanos, há um aumento do volume do efluente gerado que é enviado para as estações de tratamento de esgoto (ETE). No entanto,

sem adaptações necessárias para acompanhar esse crescimento, as ETEs podem operar de forma inadequada, contribuindo para a degradação da qualidade do corpo hídrico receptor de efluentes e não respeitando a condição de qualidade do rio, definida pela sua classe.

O enquadramento de rios é um instrumento de gestão da qualidade da água. É uma visão de futuro em relação a qualidade da água que se deseja alcançar para os próximos anos. Na região do DF e Entorno existe uma grande discussão sobre o enquadramento dos corpos hídricos. Recentemente, foi aprovada a Resolução N° 02, de 17 de dezembro de 2014, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos do DF (CRH/DF). De acordo com essa normativa, alguns rios do DF receberam novas classificações e o rio Melchior, cuja foz, localizada na divisa com o Estado de Goiás, no rio Descoberto, foi classificado como 4.

Os impactos causados pelo lançamento de efluentes provenientes da bacia do rio Descoberto podem contribuir para o processo de eutrofização do lago Corumbá IV localizado no Estado de Goiás e ao sul dessa bacia. Como esse reservatório será utilizado futuramente como abastecimento de água para o Distrito Federal e Entorno, é importante avaliar a qualidade da água que está sendo entregue ao manancial, para que não cause danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Diante dessa realidade, é importante que o DF assuma um compromisso de entregar a qualidade da água de seus corpos hídricos em estado aceitável para o Estado de Goiás, pois dessa maneira, estará contribuindo para a conservação dos rios do seu entorno.

Para auxiliar na análise e na tomada de decisão em relação à essa problemática, os sistemas de apoio a decisão (SAD) são ferramentas importantes para trabalhos de gestão ambiental. Por meio deles, é possível avaliar diferentes situações e escolher a solução mais apropriada. Os SAD permitem integração de modelos mais específicos, como por exemplo, de qualidade da água, hidrologia, entre outros, com o objetivo de melhor representar os processos dominantes e a complexidade das questões em análise.

A organização do texto foi feita da forma que se segue. O capítulo 2 apresenta os objetivos geral e específicos do trabalho. No capítulo 3 está a revisão bibliográfica acerca da RIDE DF e Entorno e de temáticas sobre poluição dos recursos hídricos, sistemas de apoio à decisão e modelagem da qualidade da água. O capítulo 4 aborda a metodologia e ferramentas utilizadas na pesquisa, bem como a descrição da área de estudo. No capítulo 5 estão os resultados da modelagem da qualidade da água dos rios Descoberto e Melchior, obtidos a partir da integração entre WEAP e QUAL2K, bem como análises dos cenários futuros. O último capítulo é composto pelas conclusões e recomendações desse trabalho e pelas referências bibliográficas que foram utilizadas nele.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e modelar a qualidade da água afluente ao lago Corumbá (GO) oriunda da bacia do Rio Descoberto por meio da integração do modelo de qualidade da água QUAL2K e do sistema de apoio a decisão WEAP.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar a qualidade da água em termos de OD e DBO nos rios Descoberto e Melchior integrando o modelo QUAL2K ao sistema de apoio à decisão WEAP;
- Avaliar os impactos dos adensamentos urbanos no eixo sudoeste do Distrito Federal sobre a qualidade da água dos rios Descoberto e Melchior;
- Avaliar o impacto de alterações do nível de eficiência de tratamento das Estações de Tratamento de Efluentes presentes na sub-bacia do médio e baixo Rio Descoberto sobre a qualidade da água;
- Apreçar o atual enquadramento de classes dos rios Descoberto e Melchior diante de cenários de adensamento populacional e eficiência de tratamento de ETEs localizadas no curso desses rios.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi desenvolvida de forma a apresentar os principais conceitos relacionados com a problemática descrita anteriormente e o propósito deste trabalho. A primeira etapa consiste principalmente na descrição da RIDE DF e Entorno, bem como seu processo de ocupação urbana, caracterização do sistema de saneamento e do futuro abastecimento de água do reservatório Corumbá IV.

A segunda parte está relacionada com os conceitos de conservação da qualidade da água e com a legislação acerca desse tema. A última etapa refere-se aos sistemas de apoio à decisão e à modelagem da qualidade da água, dando enfoque aos que foram utilizados neste trabalho.

3.1 - OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO NA RIDE DF E ENTORNO

A RIDE DF e Entorno foi criada pela Lei Complementar n° 94, de fevereiro de 1998 e regulamentada pelo Decreto n° 2710, de agosto de 1998, alterado pelo Decreto n.º 3.445, de 4 de maio de 2000. Os municípios que a constituem, além do Distrito Federal, são: Abadiânia, Água Fria de Goiás, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Cabeceiras, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Cristalina, Formosa, Luziânia, Mimoso de Goiás, Novo Gama, Padre Bernardo, Pirenópolis, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto, Valparaíso de Goiás e Vila Boa, localizados no Estado de Goiás, e de Cabeceira Grande, Unai e Buritis, no Estado de Minas Gerais. Na Figura 1 é apresentada a RIDE DF e Entorno com os municípios constituintes.

O objetivo da formação da RIDE DF e Entorno foi estabelecer um mecanismo institucional para que o poder público pudesse trabalhar de forma mais adequada os problemas regionais que englobam as três diferentes Unidades da Federação. Atualmente o Distrito Federal e os municípios do Entorno exercem um papel fundamental na conexão com as regiões Norte e Sul do país e possuem altas taxas de crescimento populacional. Consequentemente é vista uma crescente pressão sobre os recursos hídricos locais causada, principalmente, pela expansão urbana e desenvolvimento rural (ANA, 2010).

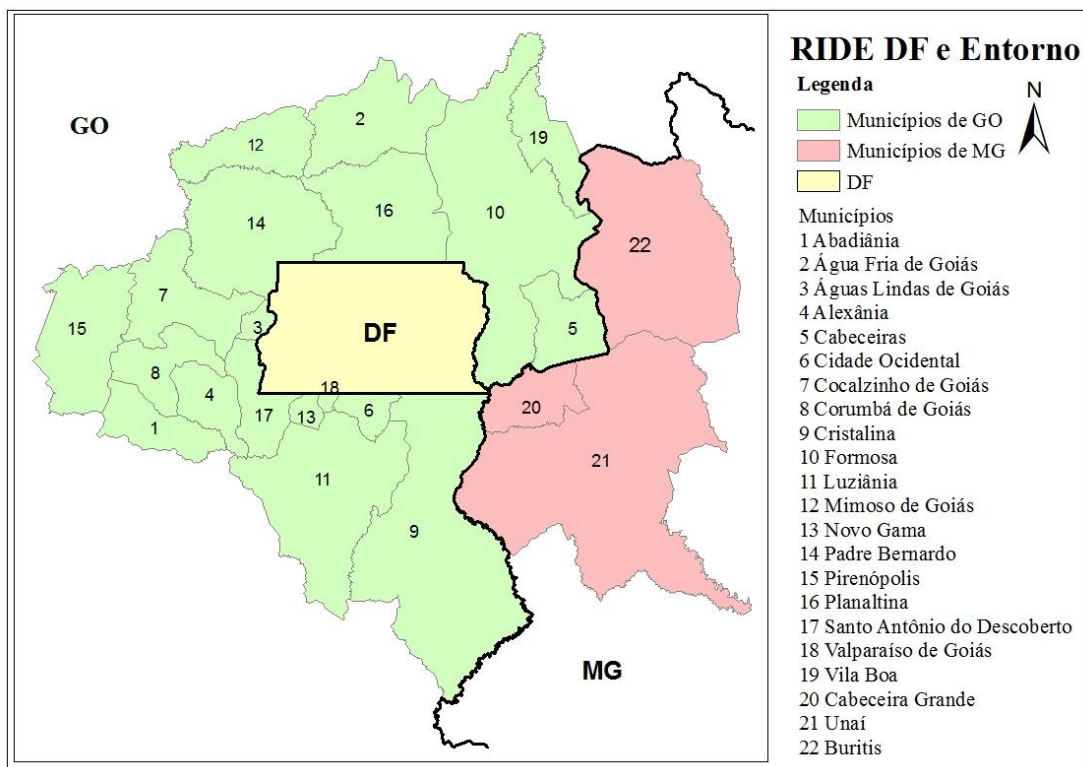


Figura 1 - Região Integrada de Desenvolvimento do DF e Entorno

Está em andamento o desenvolvimento do Plano Regional de Saneamento Básico da RIDE DF e Entorno, sendo essa uma experiência ímpar de planejamento para o setor de saneamento básico no Brasil por requerer a integração de ações de saneamento numa escala regional com especificidades únicas. A elaboração dos planos regionais de saneamento básico devem ser organizados e executados de forma articulada com os Estados, Distrito Federal e Municípios envolvidos nas RIDEs, determinado no inciso II do artigo 52 da Lei 11.445/07. No Brasil, há três RIDEs, sendo elas: DF e Entorno; Polo Grande Teresina (PI); e Polo Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). O presente trabalho está inserido dentre os esforços de realizar estudos que subsidiem o planejamento e a integração do gerenciamento dos recursos hídricos, do saneamento e do desenvolvimento territorial na parcela sudoeste do DF e seu entorno.

Segundo Queiroz (2007), o processo de urbanização no DF ocorreu de forma acelerada e o seu crescimento promoveu o surgimento de novos núcleos urbanos em seu entorno. Os limites físicos entre as cidades vêm desaparecendo, o que significa que a capital e suas localidades cresceram e formaram um conjunto urbano com muitas desigualdades sociais e territoriais.

De acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) de 2009, o crescimento urbano nos municípios do entorno do DF foi impulsionado devido à busca de terras mais baratas, desprovidas, porém, de infra-estrutura.

Segundo o Zoneamento Ecológico - Econômico do DF (ZEE-DF), as cidades são de fato um sistema de relações entre cidades, em que estão hierarquizadas de acordo com o grau de influência/dependência que exercem entre si. Os municípios de Águas Lindas de Goiás, Novo Gama, Planaltina de Goiás, Santo Antônio do Descoberto e Valparaíso de Goiás sofrem alto grau de influência pelo DF, em consequência da proximidade física, e de bens e serviços disponíveis.

Pode-se averiguar que nos últimos anos ocorreu uma aceleração na expansão urbana do DF, não só por novos assentamentos planejados, mas pelo adensamento e expansão de áreas existentes. Além disso, houve, em grande número, a ocupação irregular de áreas de risco e proteção ambiental. Atualmente existe uma oferta de áreas habitacionais concentrada sob os eixos de expansão urbana sudoeste, (Samambaia- Gama/Santa Maria e Entorno) e oeste (Ceilândia/Taguatinga-Águas Lindas de Goiás/Santo Antônio do Descoberto) (ZEE,2010).

O crescimento populacional observado no eixo de adensamento sudoeste do DF tem se intensificado devido aos programas de habitação popular financiados pelo Governo em que muitos deles são construídos antes da implantação da infra-estrutura necessária ou mesmo sem o cuidado necessário com o adicional de pressão a ser exercida sobre essas estruturas. Essa é a realidade na RIDE DF e Entorno e no Distrito Federal. No caso do DF muitas habitações já foram construídas e regularizadas, como o é o caso do Jardim Mangueiral estimado para cerca de 30 mil moradores (CODHAB, 2014), localizado próximo à São Sebastião, e o Residencial Parque do Riacho, no Riacho Fundo II, projetado para atender 5.904 famílias. Nas regiões administrativas de Samambaia, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria, que também são beneficiadas pelo programa do GDF, as obras já foram iniciadas e algumas moradias entregues(SEGETH, 2014).

As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, os conjuntos habitacionais próximos ao corpo hídrico e uma erosão decorrente da ocupação urbana do município da Cidade Ocidental.



Figura 2 - Conjuntos habitacionais próximos ao corpo hídrico na Cidade Ocidental



Figura 3 - Erosão próxima aos conjuntos habitacionais provocada pela ocupação urbana irregular na Cidade Ocidental.

3.2 - SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA RIDE DF E ENTORNO E NO DISTRITO FEDERAL

A urbanização sem planejamento exerce pressão nos sistemas de infra-estrutura de uma cidade, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem, disposição final de resíduos sólidos, sendo este último componente, o mais caótico em quase todos os municípios da RIDE DF e Entorno.

Segundo o Atlas de Saneamento (IBGE, 2011), os municípios do Estado de Goiás e Minas Gerais, apenas 24 % e 23% dos habitantes possuem tratamento de esgoto, respectivamente. O sistema de esgotamento sanitário da RIDE DF e Entorno ainda é pouco abrangente, não atingindo grande parte da população, como é o caso da cidade de Santo Antônio do Descoberto, que possui um sistema público de esgotamento sanitário que coleta 34,21% do esgoto da área urbana (Geológica, 2005).

A companhia responsável pelo serviço de saneamento básico em todos os municípios de Goiás pertencentes a RIDE DF e Entorno é a Saneamento de Goiás S.A (SANEAGO). A

responsável pelo DF é a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Para os municípios de Minas Gerais, o Serviço Municipal de Saneamento Básico é responsável pelo município de Unaí, Serviços Autônomos de Saneamento de Cabeceira Grande (SANECAB) é incumbido pelo município de Cabeceira Grande e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) é responsável pelo saneamento básico do município de Buritis.

Na cidade de Águas Lindas de Goiás existe um consórcio entre a SANEAGO e a CAESB, em que, a SANEAGO é responsável por fornecer o serviço de saneamento e a CAESB pela manutenção. Embora a cidade tenha uma população de aproximadamente 182 mil habitantes (IBGE, 2014), apenas 0,4% dos domicílios particulares possuem saneamento com infraestrutura adequada, segundo o censo de 2010 do IBGE.

Além dos problemas de saneamento básico, existem grandes discussões entre os gestores dos municípios e os prestadores de serviços, como diferentes interesses de coletividade, dificuldade de articulação entre políticos, sociedade e prestadores de serviços. Isso faz com que há um impedimento na melhoria dos serviços em favor da sociedade e do meio ambiente.

O Distrito Federal apresenta uma realidade ímpar em termos de esgotamento sanitário quando comparado ao entorno. A rede coletora de esgoto da CAESB possui extensão de 5.170 km, e a companhia é responsável por 16 ETEs em funcionamento que estão localizadas na bacia do lago Paranoá, bacia do rio São Bartolomeu, bacia do rio Ponte Alta/ rio Alagado e bacia do rio Descoberto/Melchior (CAESB, 2013). A descrição detalhada sobre as ETEs da área de estudo desse trabalho, que são ETE Melchior, ETE Samambaia e ETE Santo Antônio do Descoberto, será apresentada na metodologia, no item 4.1.4.

3.2.1 - Caracterização do Sistema Produtor de Água Corumbá

O crescimento populacional acelerado no DF também gera problemas no sistema de abastecimento de água fazendo com que o setor de recursos hídricos seja cada vez mais demandado para atender uma população crescente.

É o caso do lago Corumbá IV que está localizado no Estado de Goiás, a sudoeste do DF e que será utilizado como manancial de abastecimento de água no Distrito Federal e

Entorno nos próximos anos. O Sistema Produtor de Água Corumbá será operado por meio de uma parceria entre CAESB e SANEAGO.

De acordo com a empresa responsável por esse projeto, a empresa Corumbá Concessões, a adução das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV irá aumentar o potencial de distribuição em $5,6\text{m}^3/\text{s}$, fazendo com que ultrapasse a vazão de $15\text{m}^3/\text{s}$. Para viabilizar o transporte dessa água para o DF, uma adutora de 28 km levará água captada para a estação de tratamento de água, que está em construção em Valparaíso de Goiás. Os municípios que serão beneficiados pelo abastecimento de água do reservatório, além da capital Federal, serão Novo Gama, Luziânia, Valparaíso de Goiás e Cidade Ocidental. A Figura 4 representa o esquema da primeira etapa desse sistema de água, com as respectivas funções pelas quais CAESB e SANEAGO são responsáveis.

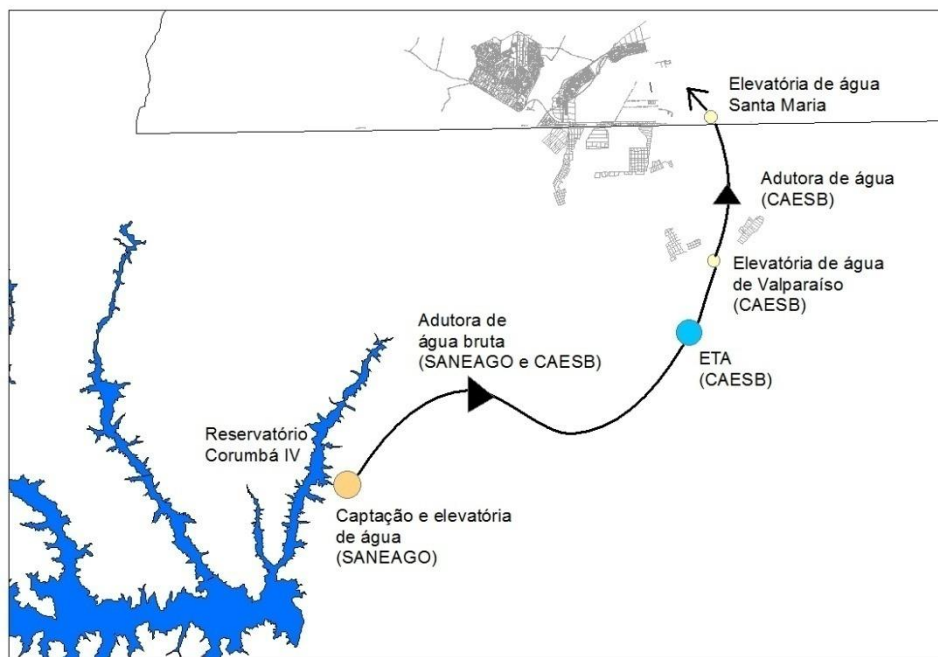


Figura 4 - Esquema da primeira etapa do Sistema Produtor de Água Corumbá.

3.3 - CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A água é considerada um recurso renovável, porém a sua qualidade pode sofrer alterações devido às atividades humanas, gerando a poluição das águas superficiais e subterrâneas. As duas formas de fonte de poluentes que podem atingir um corpo de água, são poluição pontual e poluição difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo

d'água de forma concentrada no espaço, e na difusa, os poluentes alcançam o corpo d'água de forma distribuída ao longo de sua extensão.

O conceito de poluição segundo a Lei 6938/81, é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar; criem condições adversas às atividades sociais econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Um rio que não está poluído normalmente tem o nível de oxigênio dissolvido próximo à saturação. A introdução de uma descarga pontual de esgoto bruto elevará a concentração de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, deixando a água turva, impedindo a livre penetração da luz, prejudicando o crescimento vegetal. Esse fato provoca a redução do processo de fotossíntese e da reposição de oxigênio, alterando o sistema (Chapra, 1997).

O lançamento de efluentes sem o tratamento correto nos cursos d' água revela-se como uma das ações antrópicas que mais contribui para a alteração e deteriorização da qualidade de corpos d'água, aumentando os riscos em relação ao equilíbrio dos ecossistemas, além de comprometer a capacidade de autodepuração dos corpos receptores.

O processo de autodepuração entende-se como o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Como parte integrante desse processo, os compostos orgânicos são convertidos em compostos estáveis, como gás carbônico e água, e não são prejudiciais do ponto de vista ecológico. O ecossistema pode atingir de novo o equilíbrio, porém em condições diferentes das anteriores, devido ao incremento da concentração de certos produtos e subprodutos da decomposição (von Sperling, 2005).

À medida que a população, a urbanização, a agricultura e a indústria crescem, podem ameaçar a qualidade dos recursos hídricos. Por outro lado, a complexidade das atividades econômicas resultam também em efluentes com características novas e que requerem tecnologias mais avançadas para o seu adequado tratamento a fim de atender aos padrões de qualidade da água estabelecidos.

3.3.1 - Modelagem da Qualidade da Água

A matéria orgânica que se encontra nos efluentes é a causa de um dos principais problemas de poluição nos corpos hídricos, podendo favorecer a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Também é uma fonte de alimento para organismos heterotróficos, favorecendo o início do processo de respiração. O aumento do número de microrganismos pode acarretar no consumo excessivo de oxigênio dissolvido (OD) nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

A medida que oxigênio é consumido, o processo de reaeração permite que o oxigênio da atmosfera entre no meio aquoso. Inicialmente, a demanda por oxigênio devido à oxidação da matéria orgânica pode ser maior do que a capacidade de reposição pela aeração. Ao passo que a matéria orgânica é oxidada, a demanda por oxigênio passa a diminuir e a reaeração se iguala à demanda de oxigênio, aumentando sua concentração em seguida. No ponto onde a reaeração é igual a demanda de oxigênio, tem-se o ponto crítico de concentração (menor concentração) de OD. Após esse ponto, o nível ou concentração de OD passa a aumentar recuperando a saturação de OD no rio. Em virtude da oxidação da matéria orgânica, a turbidez da água diminui, permitindo a entrada de luz, e os nutrientes inorgânicos são liberados simultaneamente. Esses fatores permitem que a "zona de depuração" tenha um grande crescimento no número de algas. A Figura 5 ilustra o comportamento do OD após o lançamento de uma carga pontual.

Os níveis de OD são de extrema importância na análise de poluição do rio por despejos orgânicos sendo uma das principais métricas de caracterização da qualidade da água, por intervir em muitas relações químicas e biológicas da dinâmica do ecossistema e por ser indispensável para o metabolismo respiratório dos seres vivos.

O consumo de oxigênio está relacionado à oxidação da matéria orgânica que por sua vez, encontra-se em duas formas nos esgotos: em suspensão e dissolvida. A matéria orgânica particulada que tem maiores dimensões sedimenta no corpo hídrico, formando o lodo de fundo. A matéria orgânica de pequenas dimensões, que está suspensa na água, mantém-se na massa líquida. O principal consumo de oxigênio deve-se à oxidação da matéria orgânica, em consequência da respiração dos microrganismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias. A respiração algal também é responsável pelo sumidouro de oxigênio. A matéria orgânica é transformada em compostos estáveis e simples, como por exemplo, gás carbônico e água (von Sperling, 2008).

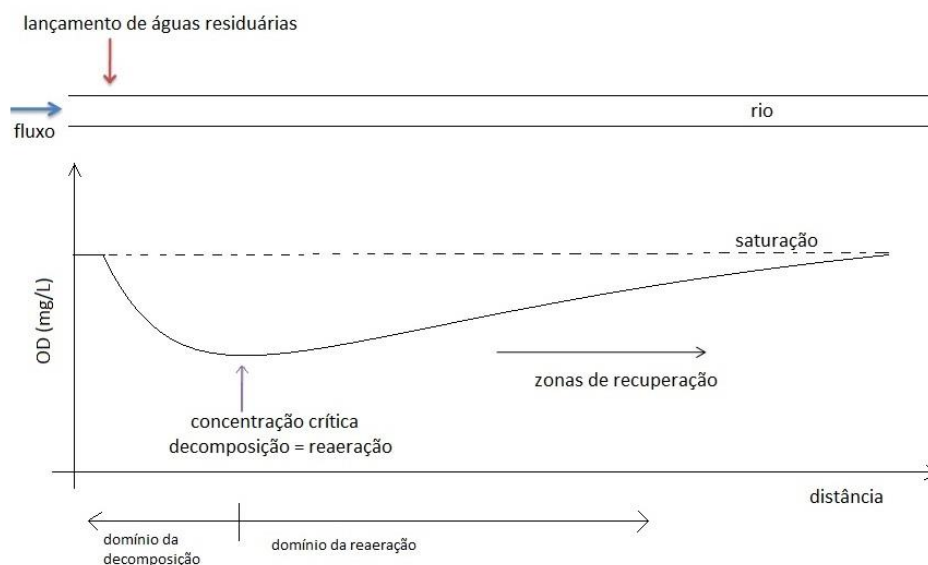


Figura 5 - Efeito no lançamento de carga orgânica no OD (Adaptado de Chapra, 1997)

Parte da matéria orgânica que sedimentou também precisa ser oxidada. Parte dessa conversão ocorre em condições anaeróbias, devido à dificuldade da penetração do oxigênio na camada de lodo. Entretanto, a camada superior do lodo, ainda possui acesso ao oxigênio da massa líquida sobrenadante. Nessa parte, a estabilização do lodo ocorre de forma aeróbia e resulta na remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e no consumo de oxigênio. Outra forma de consumo de oxigênio refere-se às formas nitrogenadas que são responsáveis pela transformação da amônia em nitritos e estes em nitratos, pelo fenômeno conhecido como nitrificação (von Sperling, 2008).

As fontes de oxigênio dissolvido em um corpo hídrico são pela reaeração atmosférica e fotossíntese. A primeira é a principal causa da introdução de oxigênio no meio líquido. Rios com menores profundidades e com corredeiras apresentam boas condições para a reaeração. A segunda fonte é o principal processo utilizado pelos seres autotróficos para a síntese da matéria orgânica. A presença de algas é fundamental para o processo da fotossíntese para a produção de oxigênio.

A DBO é um parâmetro que retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica. Dessa forma, a DBO pode representar a matéria orgânica e o consumo de oxigênio. Devido à isso, tem-se que a DBO remanescente representa a concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante; e a

DBO exercida é oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até esse instante (von Sperling, 2008).

A DBO ocorre em duas etapas: primeiramente a matéria carbonácea é oxidada e a segunda etapa é exercida na nitrificação. A cinética de reação da matéria orgânica remanescente ocorre segundo uma reação de primeira ordem, ou seja, a taxa de mudança da concentração de uma substância é igual à primeira potência da concentração. A equação (1) representa essa equação diferencial:

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

em que L é a concentração de DBO remanescente em mg/L, t é o tempo em d e K_1 é o coeficiente de desoxigenação em d^{-1} .

A sedimentação de sólidos em suspensão que estão nos esgotos implica na remoção, do líquido sobrenadante, de uma determinada fração da matéria orgânica, o que pode ser interpretado por uma redução da DBO. Dessa forma, a DBO remanescente na massa líquida passa a ser formada principalmente da fração solúvel e da fração em suspensão finamente particulada (von Sperling, 2008).

A taxa de oxidação da matéria orgânica dL/dt é proporcional à matéria orgânica que ainda é remanescente, representado por L, em um Δt qualquer. Dessa forma, quanto maior a concentração de DBO, mais rápido ocorrerá o processo de desoxigenação. Quando a DBO estiver reduzida pela estabilização, depois de um tempo, a taxa de reação será menor, devido a menor concentração da matéria orgânica. O coeficiente K_1 depende das características da matéria orgânica, temperatura e da presença de substâncias inibidoras. Por meio de uma série temporal de valores da DBO, é possível determinar os valores reais de K_1 .

Integrando a equação 1, entre os limites $L=L_0$ e $L=L_t$, e $t=0$ e $t=t$, resulta a equação (2):

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (2)$$

em que L é a concentração de DBO remanescente em um tempo t qualquer em mg/L e L_0 é a DBO remanescente no tempo t igual a zero em mg/L.

Em termos de consumo de oxigênio, a quantificação da DBO é obtida através da equação (3):

$$y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}). \quad (3)$$

em que y é a DBO exercida em um tempo t em mg/l, L_0 é a DBO remanescente, em t igual a 0, ou DBO exercida (em $t=\infty$), também chamada de DBO última.

É importante conhecer a quantidade de matéria orgânica presente para conhecer o grau de poluição da água residuária, para se dimensionar as estações de tratamento de esgotos e medir sua eficiência. A medida que se tem maior poluição orgânica, maior é a DBO do corpo hídrico e, ao mesmo tempo que ocorre a estabilização da matéria orgânica, descrece a DBO (Jordão e Pessoa, 2009).

Coeficiente de reaeração

Os processos de oxigenação são muito importantes para garantir a qualidade do corpo hídrico. O oxigenação pode ser oriunda dos seres fotossintetizantes situados no meio aquático, assim como da atmosfera, por meio da reaeração.

A reaeração atmosférica é a absorção de oxigênio atmosférico pela água, na qual a taxa de absorção é quantificada pelo coeficiente de reaeração, k_2 . Esse coeficiente é altamente dependente das características geométricas do rio, como velocidade, profundidade e vazão. Atualmente existem inúmeras fórmulas para calcular k_2 . No entanto, apresenta-se somente as fórmulas com seus respectivos autores na Tabela 1 que foram utilizadas nesse trabalho e que são as mais utilizados de acordo com Chapra (1997).

Tabela 1 - Equações para determinar os valores dos coeficientes de k_2 (adaptado de von Sperling, 2008).

Pesquisador	Fórmula	Condições
O'Connor & Dobbins	$3,93v^{0,5}H^{-1.5}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,05m/s \leq v < 0,8m/s$
Churchill <i>et al</i> (1962)	$5,0v^{0,97}H^{-1.67}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,8m/s \leq v < 1,5m/s$
Owens-Gibbs (Owens <i>et al.</i> , 1964):	$5,3v^{0,67}H^{-1.85}$	$0,1m \leq H < 0,6m$ $0,05m/s \leq v < 1,5m/s$

Os valores elevados de k_2 são obtidos em condições de baixa vazão, e consequentemente os valores mais baixos, são conseguidos com altas vazões. Altos coeficientes de k_2 também indicam maior capacidade de autodepuração.

A determinação do coeficiente de reaeração pode envolver métodos como a adição dos traçadores (Boxall e Guymer, 2007), a técnica do balanço do oxigênio dissolvido, elaborada por Streeter e Phelps (1925). Essa técnica tem o benefício de quantificar o k_2 independente de outras fontes e sumidouros de OD na água, como a fotossíntese, a DBO, a

demanda bentônica, porém, são necessários muitos trabalhos de campo, no laboratório, equipamentos e profissionais especializados.

Soares *et al.* (2012) avaliaram os coeficientes de reaeração utilizando as equações de Owens *et al.* (1964), Cadwallar e McDonnell (1969), Tsvoglou e Wallace (1972), Tsvoglou e Neal (1976), Melching e Flores (1999). Esses coeficientes foram utilizados no processo de simulação e calibração da qualidade da água dos ribeirões de duas bacias do Estado de Santa Catarina utilizando o modelo QUAL2K. Os valores de k_2 obtidos pelas equações de Tsvoglou e Wallace (1972) e Tsvoglou e Neal (1976), foram significativamente superiores aos demais, para ambos os ribeirões. Os modelos empíricos utilizados para determinar o coeficiente de reaeração apresentaram valores diferentes dos encontrados com a calibração, para ambas as bacias.

3.3.2 - Gestão da Qualidade da Água

Os efluentes oriundos das ETEs nos corpos hídricos devem seguir padrões de lançamentos estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005 e devem estar de acordo com o enquadramento do rio. Segundo essa legislação, o enquadramento é o estabelecimento de meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo. A Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa e altera em alguns artigos a Resolução CONAMA 357/05.

O sistema de classes definido por essa Resolução expressa o conjunto de parâmetros e valores limitantes para determinados usos de água, resultando em cinco categorias: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. A classe especial designa-se aos usos mais exigentes e que necessitam de uma melhor qualidade da água, como a proteção e preservação da vida aquática. Já a classe 4 destina-se aos usos menos exigentes em termos de qualidade da água, como a navegação e a harmonia paisagística. A Tabela 2 apresenta os limites de OD e DBO conforme as classes definidas.

Tabela 2- Valores permitidos para o OD e a DBO por classes
CONAMA 357/2005

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
OD	≥6 mg/L	≥5 mg/L	≥4 mg/L	≥2 mg/L
DBO	≤3 mg/L	≤5 mg/L	≤10 mg/L	-

De acordo com o artigo 9º da Lei 9.433/97, o enquadramento dos corpos de água visa: “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”.

Segundo Brites (2010), o enquadramento dos corpos de água não está ligado diretamente ao seu estado atual, mas aos níveis de qualidade que um corpo de água deveria possuir para atender as necessidades definidas pela sociedade. Este instrumento faz parte do processo de planejamento em relação ao uso da água, ao zoneamento de atividades e o estabelecimento de medidas de controle para poluição.

Parte do Estado de Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal estão inseridos na Bacia do Rio Paranaíba e há uma proposta de enquadramento elaborada pela Agência Nacional das Águas (ANA) no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba (ANA, 2013). Nesse estudo a DBO e o Fósforo Total foram escolhidos como parâmetros prioritários para o enquadramento e foram propostos classes para 44 trechos dos rios, sendo que a maior parte é enquadrado como classe 2 e o único trecho especial situa-se dentro do Parque Nacional da Serra da Canastra.

O Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF) de 2012 apresentou uma proposta de enquadramento para todas as bacias que o compõem. Com um enfoque maior para a bacia do rio Descoberto, devido aos corpos hídricos dessa bacia fazerem parte desse trabalho, a proposta de enquadramento do PGIRH/DF (ADASA, 2012) estão apresentados na Tabela 3. A proposta apresentada foi uma revisão da proposta de enquadramento do PGIRH do ano de 2006.

Tabela 3 - Proposta de enquadramento do PGIRH/DF (ADASA, 2012)

Bacia do rio Descoberto			
classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
	Rib. Rodeador, Rib. das Pedras, Lago		
Capão da Onça, Rio Descoberto, a montante do Lago Descoberto,	Descoberto, Rio Descoberto, do Lago Descoberto até o rio Melchior, Córrego Cortado, Rib. Eng. das Lajes	Corr. Taguatinga, Rib. Samambaia, Rio descoberto, a jusante do rio Melchior.	Rio Melchior

A Resolução nº 02, de 17 de dezembro de 2014 do CRH/DF recentemente aprovou o enquadramento dos corpos hídricos superficiais do DF em classes, segundo os usos preponderantes, como instrumento de planejamento e gestão dos recursos hídricos do DF. Com um enfoque maior para a área localizada a sudoeste do Distrito Federal, por fazer parte da área de estudo desse trabalho, a Tabela 4 contém o enquadramento dos rios da bacia do rio Descoberto.

Tabela 4 - Enquadramento segundo a Resolução nº 02 de 17 de dezembro de 2014.

Bacia do rio Descoberto			
classe 1	classe 2	classe 3	classe 4
	Rib. Rodeador, Rib. das Pedras, Córrego Cortado, Córrego Taguatinga, Ribeirão Taguatinga	-	Rio Melchior

3.4 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

O gerenciamento de recursos hídricos é uma atividade complexa que requer ferramentas estruturadas como os SAD que auxiliam na tomada de decisão. Atualmente

existem muitos programas com interface gráfica e modelos que proporcionam o caminho mais adequado para a tomada de decisão.

Segundo von Sperling (2008), os modelos possuem uma estrutura teórica formada por equações matemáticas, valores numéricos dos parâmetros das equações e dados de entrada e de saída que compreendem observações e medições de campo ou de laboratório.

Existe uma grande quantidade de modelos e os SAD que trabalham com processos de alocação de recursos hídricos, análises de custo e oferta, estimação de qualidade, entre outros. SAD são formados por bases de dados e modelos matemáticos, que utilizam uma interface gráfica, fornecendo o diálogo entre o tomador de decisões e os sistemas de informação (Porto e Azevedo, 1997).

Na área de recursos hídricos, os SAD são valiosos devido à complexidade que, em geral, caracteriza o processo de tomada de decisão. Para o auxílio da decisão, esses sistemas acoplam modelos de qualidade de água superficial e subterrânea, hidrológico, de energia, por exemplo. As incertezas são muitas e de diversas naturezas, variando desde aquelas relacionadas à caracterização do sistema físico, como representação da bacia, aleatoriedade hidrológica, até outras vinculadas ao comportamento humano, como evolução de demanda, valores dado à diferentes prioridades.

A estrutura típica de um SAD é composta por uma base de dados que reúne e gerencia as informações do sistema; base de modelos que contém os modelos utilizados no sistema para atendimento à solução do problema; base de conhecimentos na qual utilizam a experiência de especialistas, permitindo geralmente a incorporação de informações que não são passíveis de tratamento pelos módulos anteriores; módulo de diálogo que é responsável pela comunicação entre o usuário e o computador (Porto e Azevedo, 1997).

O MODSIM (Labadie, 1988) é um modelo de rede de fluxo de simulação/otimização desenvolvido na *Colorado State University* para simular as situações mais comuns que ocorrem em sistemas hídricos, como pressões no gerenciamento das bacias. De acordo com Silva *et al.* (2002), uma de suas principais características é a incorporação automática de uma série de funções que são comuns na simulação de bacias hidrográficas sem que o usuário tenha que se preocupar em programá-las. Berhe *et al.* (2013) utilizaram esse sistema para conduzir a análise de balanço hídrico da Bacia Awash, Etiópia, sob diferentes níveis de desenvolvimento da irrigação e também para determinar a alocação de água em diferentes pontos do vale da bacia utilizando a criação de quatro diferentes cenários. Os valores de R^2 indicaram que o modelo é adequado para prever as entradas nos reservatórios à longo prazo.

O modelo MODSIM P32 é uma versão atualizada do modelo MODSIM, com uma interface amigável desenvolvida pela Escola Politécnica da USP. Lima *et al.* (2007) utilizaram esse modelo no sistema de reservatórios Curema - Mãe D'água, na Paraíba. Baltar (2001) aplicou esse modelo no caso da bacia do rio Descoberto, no Distrito Federal para simular duas possíveis decisões na bacia, que foram: uma intervenção física para o aumento da capacidade de armazenamento da barragem e a imposição de uma regra de operação ao reservatório.

O modelo ACQUANET (USP, 2002) foi desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões –LabSid, a partir do MODSIM e ModSim32. É um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Através dele, o usuário pode montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais para representar área de estudo com detalhes. O ACQUANET analisa as condições do rio considerando os parâmetros de qualidade que estão de acordo com o enquadramento dos corpos de água, definidos pela Resolução Conama 357/2005. Ele consiste na integração dos modelos de quantidade e qualidade da água (Teixeira e Porto, 2008). Esse programa foi aplicado por Teixeira e Porto (2008) para validar e calibrar as concentrações de DBO, OD dos rios Atibaia, Jaguari e Piracicaba, pertencentes à bacia do Rio Piracicaba, e o resultado em relação a qualidade da água foi que as demandas foram supridas satisfatoriamente. O modelo se mostrou eficiente para auxiliar na gestão de recursos hídricos, podendo ainda relacionar níveis de tratamento para os esgotos e efluentes lançados no rio, com o objetivo do enquadramento de acordo com a legislação ambiental.

MIKE HYDRO BASIN é um modelo de rede de fluxo que opera conjuntamente com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio do software ArcView. Esse programa foi elaborado pelo *Danish Hydraulic Institute* (DHI) da Dinamarca e não é de acesso público. Dentre suas atividades estão a simulação de diferentes cenários, análise de alocação de água, demanda de água para irrigação e estudos da qualidade da água. Lima (2002) aplicou esse modelo para análise do conflito entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia, São Paulo. Analisou-se principalmente o impacto gerado no sistema de abastecimento da região pela reversão de grande quantidade de água de água para o Sistema Cantareira.

Interactive River and Aquifer Simulation - IRAS (Loucks *et al.*, 1995) foi desenvolvido pela *Cornel University* em conjunto com o *International Institute for Applied Systems Analysis* e lançado em 1995. Sua versão mais recente (Matrosov *et al.*, 2011) apresenta um conjunto de melhorias. Segundo os autores, IRAS -2010 é um simulador de

gestão de recursos hídricos baseado em modelos de fluxos e armazenamento de água, consumo de água, hidrelétricas e produção de energia por bombas. Esse modelo representa o sistema como uma rede composta por nós e links de vários tipos. Os nós podem ser naturais, como lagos, aquíferos, reservatórios, aquíferos, locais de monitoramento com séries de tempo de fluxo definido e sítios de demanda. Os arcos podem ser unidimensionais, com sentido de fluxo previamente definido, ou bidirecionais com um sentido de fluxo determinado pelo nível de água que ocorre nos nós unidos por esse arco. Brandão e Rodrigues (2000) utilizaram esse programa para caracterizar os usos futuros da água à jusante do rio Guadiana para atender às condições hidrológicas e os períodos de estiagem, de forma que sejam compatíveis com a sustentabilidade ecológica do rio.

3.4.1 - **Water Evaluation and Planning - WEAP**

A gestão de recursos hídricos é parte de um complexo processo, multidisciplinar incluindo uma variedade de participantes com diferentes interesses, conhecimentos técnicos e prioridades. Para solucionar problemas referentes aos recursos hídricos, é importante uma visão integrada da gestão bem como implicações econômicas, sociais, tecnológicas que não comprometam a qualidade dos corpos hídricos. O sucesso do planejamento e da gestão de recursos hídricos requer programas que atendam os requisitos, objetivos e propósitos de um trabalho.

Como visto anteriormente, existem muitos programas que auxiliam no suporte à decisão e utilizam modelos de rede de fluxo, de alocação de água, de modelagem hidrológica e de qualidade da água e de gestão de demanda de água, sob diferentes cenários. O WEAP (SEI, 2001) também é um sistema utilizado para suporte e decisão no planejamento e distribuição dos recursos hídricos. Sua utilização permite o desenvolvimento de uma rede de nós e arcos para simular a demanda de água em uma zona determinada pelo analista, considerando suas prioridades e preferências de abastecimento e avaliando as necessidades que estão associadas aos recursos hídricos.

O WEAP foi desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute* (SEI) e é uma ferramenta prática para o planejamento e de gestão de recursos hídricos. Esse sistema incorpora as questões de abastecimento de água como as de demanda de água, além da qualidade da água e preservação dos ecossistemas. A ferramenta fornece um quadro flexível

e uma interface amigável para diferentes análises. Esse programa permite a análise de cenários múltiplos, incluindo alternativas de cenários climáticos e alteração antrópica.

Operando com o princípio básico do balanço hídrico, o WEAP é aplicável aos sistemas urbanos e agrícolas, individuais ou bacias hidrográficas. Além disso, o programa pode abordar um amplo leque de questões, como por exemplo, análises de demanda, conservação de água, crescimento populacional, prioridades de alocação, simulações de água subterrânea e de vazão, operações de reservatório, geração de energia elétrica, controle de poluição, avaliação de vulnerabilidade e análises de custo-benefício (SEI, 2012).

Como os SAD utilizam alguns modelos para apoiar na tomada de decisão, no WEAP é possível integrar a versão 2.07 do QUAL2K (Chapra *et al.*, 2008) para modelar a qualidade da água; o MODFLOW (Harbaugh e McDonald, 1996) para simular águas subterrâneas; Long-range Energy Alternative Planning System -LEAP (SEI, 2001) que é uma ferramenta de software utilizado para análises políticas e mudanças climáticas desenvolvida por SEI; e o MODPATH para estudo de transporte de partículas subterrâneas.

A Figura 6 apresenta a tela principal do WEAP em que foi construído uma rede hídrica com nós de demanda. O programa tem diferentes telas que são: esquema, dados do esquema, resultados e exploração dos cenários. As ferramentas fornecidas pelo WEAP são úteis para desenhar a rede com diferentes elementos, como por exemplo, rios, demandas, reservatórios, locais de demandas. Para auxílio do desenho dos corpos hídricos e localização dos nós de demanda, é possível importar *layers* em formato vetorial ou *raster* de uma plataforma de geoprocessamento.

O WEAP apresenta uma interface gráfica do usuário e algoritmos de solução robusta para resolver os problemas de alocação de água. A estrutura do modelo foi apresentada em linguagem *Delphi Studio*® (Borland Software Corporation) e utiliza o software *MapObjects*® do Environmental Systems Research Institute –ESRI. (Yates *et al.*, 2005).

Current Account é o conjunto de dados a partir do qual o cenário é construído e utilizado para servir de ano base para o modelo e todo o sistema de informação. Nele são representadas as condições atuais do sistema de apenas um ano. As especificações incluem as dos dados de oferta e demanda (incluindo definições de reservatórios, estações de tratamento, geração de poluição, entre outros) para o primeiro ano de estudo em uma base mensal. Os dados inseridos em *Current Account* são levados adiante por todo o período do projeto, sendo modificado nos cenários futuros, servindo de comparação para mudanças dos dados feitos no sistema para outros cenários. É possível construir vários cenários com diferentes passos de tempo que variam de dias, meses e anos.

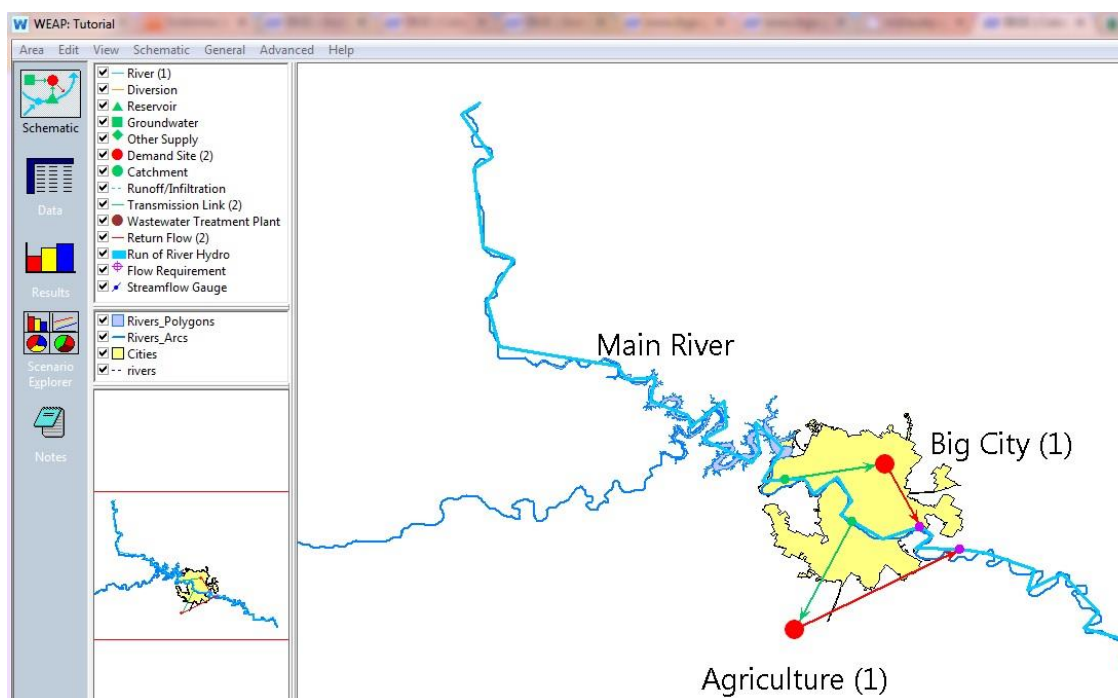


Figura 6 - Tela principal do WEAP em que é possível desenhar a rede hídrica com os nós de demanda.

Cenários são alternativas de uma série de hipóteses como as diferentes operações de custo, fatores que afetam a demanda como o gerenciamento de estratégias de demanda, pesquisas de alternativas para abastecimento e suposições hidrológicas. São avaliados e construídos com relação à suficiência no abastecimento, custo e custo médio da água distribuída, produção de energia hidroelétrica e sensibilidade dos resultados com base na incerteza das variáveis da curva chave (Yates *et al.*, 2005). Todos os cenários são feitos a partir de um ano comum no qual é estabelecido em *Current Account*.

O cenário de Referência herda as características do cenário atual e ocorrem evoluções do sistema atual, sem intervenção. As simulações permitem a previsão e avaliação de cenários que são hipotéticos ("*what if*") e políticas de água dos programas de conservação da qualidade, projeções de demanda, mudanças hidrológicas e trocas de alocação (Yates *et al.*, 2005).

Como o WEAP é um SAD, utiliza prioridades, ou seja, a prioridade do local de demanda para o abastecimento, em relação a todas as outras exigências do sistema. O número 1 é a prioridade mais alta e 99 é a mais baixa e pode variar ao longo do tempo ou de acordo com o cenário.

Os dados são inseridos para cada elemento da rede na forma de tabelas ou podem ser importadas do Excel. A rede de oferta-demanda é construída no modelo e a rotina de

otimização distribui o fluxo disponível para todas as demandas. Gráficos, tabelas e mapas esquemáticos são o formato da apresentação dos resultados e são elaborados para cada cenário e ano simulado.

3.4.1.1 - Estudos realizados com o WEAP

No Brasil, dentre os estudos feitos com o WEAP, tem-se o de Marques *et al.* (2008), Fonseca (2008) e Monsalve-Herrera (2013). Apenas a última autora utilizou o WEAP para modelar a qualidade da água.

Marques *et al.* (2008) empregaram o WEAP para simular a transferência de água em diferentes cenários na bacia do rio São Francisco, no Brasil. A demanda de água a ser modelada incluiu população rural e urbana, cultura irrigada e geração de energia hidrelétrica. O modelo também trabalhou com os maiores reservatório da região. Quatro cenários sobre crescimento populacional, transferência de água e eventos de seca foram desenvolvidos para investigar as condições da bacia hidrográfica em relação diversidade operacional, hidrológica, climatológica e social. Os resultados avaliaram os impactos causados pela seca severa e a transferência de água nas operações que ocorrem na superfície e nos aquíferos. Em relação à transferência de água, a bacia com maior demanda de água recebe o maior fornecimento hídrico, indicando que o sistema tem capacidade para operar com maior flexibilidade para acomodar essa transferência. Os resultados também indicaram que o sistema é possível de se adaptar aos impactos causados pelo crescimento populacional dentro de cada sub-bacia. Políticas futuras de água e gerenciamento de planos devem ser avaliados de acordo com a suas capacidades.

Fonseca (2008) utilizou o WEAP para avaliar os efeitos do crescimento do fluxo turístico na demanda de água no sistema de abastecimento da Grande João Pessoa, através do diagnóstico da ocupação hoteleira e consumo micro e macro medidos. Analisou-se o comportamento volumétrico dos reservatórios com duas perspectivas. A primeira com uma permanência do sistema nas condições atuais e a segunda com o aumento da oferta hídrica. Os cenários hidrológicos, de crescimento populacional, crescimento das demandas foram criados. Os resultados apresentaram que o reservatório Gramame-Mamuaba está no limite do seu aproveitamento hídrico total nos cenários que foram propostos. Os valores foram satisfatórios no atendimento às demandas com a implantação do reservatório Mumbaba no sistema recursos hídricos da Grande João Pessoa. O WEAP se mostrou como uma boa

ferramenta para o auxílio e tomada de decisões no planejamento e na gestão dos recursos hídricos.

Monsalve-Herrera (2013) integrou o modelo WEAP com o SWAT (*Soil & Water Assessment Tool*) para análises de qualidade da água na sub-bacia do Riacho Fundo. O SWAT foi utilizado para simular vazões e cargas de nutrientes que foram posteriormente inseridas a montante dos corpos hídricos nessa sub-bacia, desenhadas no WEAP. Foram apresentadas concentrações de Nitrogênio Total para diferentes pontos do rio Riacho Fundo e o comportamento das concentrações de Fósforo Total. Os maiores valores encontrados dos contaminantes foram encontrados no nó do lançamento da ETE Riacho Fundo. Os valores de Nitrogênio Total e Fósforo Total lançados na foz do rio que são encaminhados até Lago Paranoá mostraram uma qualidade hídrica aceitável, no entanto deve-se ter cuidado constante com os corpos hídricos da sub-bacia. A integração entre esses dois modelos forneceu bons resultados para o caso da qualidade da água.

Hamlat *et al.* (2012) aplicaram o modelo WEAP em algumas bacias da Argélia, no leste, em Souk-Ahras e na bacia Cheliff. O modelo foi utilizado para aplicar e avaliar a existência do balanço e dos cenários futuros de gerenciamento de recursos hídricos levando em consideração as diferentes políticas operacionais que podem afetar a demanda até o ano de 2030. Cenários com diferentes tipos de clima, gerenciamento de demandas e desenvolvimento da qualidade de vida foram criados. Para o ano base de 2006, a bacia apresentou uma grande escassez da demanda de água e indisponibilidade dos recursos hídricos. Os resultados para os locais de demanda apresentaram deficiência nos meses de maio, junho, julho e agosto, para outros locais foi observada uma pequena deficiência no mês de setembro. A escassez é devida, principalmente, ao fato de alguns dos recursos locais serem limitados. Os cenários com mudanças climáticas apresentaram resultados com diminuição do armazenamento de águas subterrâneas. Em relação à demanda doméstica os resultados foram satisfatórios para os cenários considerados. Os resultados confirmaram que o WEAP oferece uma base sólida para ajudar os planejadores a desenvolver recomendações para o futuro do planejamento dos recursos hídricos.

Assaf e Saadeh (2008) desenvolveram um estudo na Bacia Litani, no Líbano, para ajudar os planejadores a terem uma idéia clara dos processos envolvidos na degradação da qualidade da água do rio Litani quanto ao esgoto não tratado, com o objetivo de analisar e avaliar as alternativas de gestão. O WEAP foi utilizado para criar cenários com o objetivo de identificar as relações de custo e benefício das ETEs a serem implantadas, considerando diferentes alternativas de tecnologia de tratamento de esgoto.

3.4.1.2 - Modelo de qualidade do WEAP para águas superficiais

O módulo de qualidade do WEAP permite modelar os poluentes oriundos das atividades dos locais de demanda e os parâmetros de qualidade do rio. A modelagem permite a avaliação de cenários que levam em consideração restrições na qualidade, hidrologia, população e demanda de água.

Os dados necessários para esse módulo são:

- concentração dos contaminantes provenientes das ETEs e dos locais de demanda,
- dados para estações de tratamento de esgoto, como consumo, capacidade diária, remoção e concentração dos constituintes,
- dados de hidrologia do rio, como vazão, profundidade e largura
- dados climatológicos.

Primeiramente todas as cargas de poluição do rio são calculadas a partir dos fluxos de retorno, que representam os lançamentos de estações de tratamento de esgoto, estação de tratamento de água, entradas de água subterrânea, nas cabeceiras e de outras entradas de água superficial. O programa assume mistura completa para todos os pontos de entrada.

O WEAP pode modelar a concentração dos parâmetros da qualidade da água em um rio utilizando o decaimento de primeira ordem e modelos de OD e DBO de Streeter-Phelps. Esse programa não trabalha com modelagem da qualidade da água em reservatórios, porém o usuário pode especificar a qualidade da água dos pontos de saída do reservatório para o rio.

O modelo de Streeter-Phelps simula o balanço de oxigênio em rios conduzidos por dois processos: consumo pela decomposição da matéria orgânica em suspensão e reaeração induzida pelo *déficit* de oxigênio, que são representados pelas seguintes equações, sendo que a equação 5 é a equação diferencial (Chapra, 1997):

$$L = L_0 e^{\frac{-k_r}{v}x} \quad (4)$$

$$D = D_0 e^{\frac{-k_r}{v}x} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} (e^{\frac{-k_r}{v}x} - e^{\frac{-k_d}{v}x}) \quad (5)$$

em que x representa a distância a jusante do ponto de entrada da matéria orgânica no rio em m; L é a matéria orgânica oxidável na água em mg/L; L_0 é igual a L em x igual a 0, k_r é a soma de k_d e k_s é denominado taxa de remoção de DBO no rio em d^{-1} ; k_s é a taxa de sedimentação da DBO em d^{-1} ; D é o *déficit* de oxigênio em mg/L; D_0 é o *déficit* de oxigênio em x igual 0; k_a é a taxa de reaeração no rio em d^{-1} ; v é a velocidade média no rio em m/s.

O *software* calcula a concentração de DBO no rio com base em diversas rotinas, que podem ser por meio do efluente lançado diretamente no rio dos pontos de demanda, sem tratamento, ou por meio da geração de DBO para a estação de tratamento de esgoto, onde parte da DBO pode ser removida pela ETE e o remanescente é lançado no rio. Durante esse percurso no rio, a DBO é reduzida pelo algoritmo de decomposição e sedimentação baseados nas características de DBO, vazão do rio, parâmetros hidráulicos e características climáticas (Sieber *et al.*, 2005).

A concentração de oxigênio dissolvido é determinado baseado no *défict* de oxigênio e oxigênio dissolvido de saturação, como descrito pelas equações a seguir (Chapra, 1997):

$$O = O_s - D \quad (6)$$

$$\ln O_s = -139.34411 + \frac{1.575701 * 10^5}{T_a} - \frac{6.642308 * 10^7}{T_a^2} + \frac{1.243800 * 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{T_a^4} \quad (7)$$

$$O_{sp} = O_{s1} \frac{1 - \frac{p_{wv}}{p} (1 - \eta p)}{1 - p_{wv}(1 - \eta)} \quad (8)$$

$$p = 1 - 1.2416 * 10^{-4} EL - 6.6429 * 10^{-9} EL^2 \quad (9)$$

$$\ln p_{wv} = 11.8571 - \frac{3840.70}{T_a} - \frac{216961}{T_a^2} \quad (10)$$

$$\eta = 0.000975 - 1.426 * 10^{-5} T + 6.436 * 10^{-9} T^2 \quad (11)$$

$$T_a = T + 273.15 \quad (12)$$

em que O é a concentração de oxigênio dissolvido em mg/L; O_s é o oxigênio dissolvido saturado; p é a pressão atmosférica em atm; O_{s1} é a saturação de oxigênio dissolvido na água em p igual à 1atm; O_{sp} é o oxigênio dissolvido saturado na água em uma dada p ; EL é a elevação acima do nível do mar (m); p_{wv} é pressão parcial de vapor de água em atm; T_a é a temperatura absoluta (K); T é a temperatura em °C.

O balanço de calor é escrito para cada nó no rio, e o volume de controle é definido pelo seu comprimento, seção transversal constante e a suposição do volume e fluxo constante dentro de um intervalo de tempo. As equações da qualidade da água são resolvidas de montante para jusante, primeiro calcula-se a mistura para de todos os tributários, fluxos de

retorno e fontes de água subterrânea, “j” e para cada constituinte (Temperatura, OD, DBO), “x”, em cada nó, como descrito na equação (13) (Yates *et al.*, 2005):

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n Q_j x_j}{\sum_{j=1}^n Q_j} \quad (13)$$

Como o modelo de qualidade do WEAP é bastante simplificado para a modelagem da qualidade da água, pode-se integrar o modelo de qualidade da água QUAL2K para modelar, além do OD e da DBO, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico e inorgânico, alfas, sedimentos, pH e patógenos. Detalhes sobre essa integração será abordada a seguir.

3.5 - MODELOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

Devido à complexidade de fatores que determinam a qualidade das águas superficiais, tem-se que o conceito de qualidade está intimamente ligado ao seu uso. Não é possível definir qualidade de água como boa ou ruim, mas o correto é estabelecer relações que indiquem qualidade de água adequada ou inadequada para um uso desejado (Porto, 2002).

A qualidade da água resulta de diferentes fenômenos naturais e antrópicos e é definida pelo conjunto de características físicas, biológicas e químicas que podem ser representados por parâmetro de qualidade da água.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, controle de qualidade da água é o conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água estabelecida para o corpo de água. Nessa Resolução os padrões de qualidade da água estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Os diversos componentes presentes na água, que podem alterar o seu grau de pureza, podem ser retratados de uma maneira ampla e simples, em função de suas características físicas, químicas e biológicas. Estas características podem ser representadas na forma de parâmetros de qualidade. Dentre alguns parâmetros físicos e físico-químicos estão: oxigênio dissolvido, matéria orgânica, Nitrogênio, Fósforo, temperatura, pH, micropoluentes inorgânicos e orgânicos. Em relação aos parâmetros biológicos, estão microrganismos, como bactérias, algas e organismos indicadores.

O lançamento de efluentes gera alteração nas características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos podendo resultar em contaminação ou poluição de suas águas. Esses impactos podem ser maiores se os efluentes não forem tratados de forma correta. Esse

lançamento pode ocorrer de forma pontual e ser responsável pela alteração de parâmetros da qualidade da água, como a queda do oxigênio na água devido à degradação de matéria orgânica presente na água por ação de bactérias.

Os modelos matemáticos permitem representar propostas e simular condições retratando a realidade que provavelmente poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerentes ao conhecimento técnico-científico, o modelo matemático de qualidade da água visto como um auxiliar importante para simular alternativas, no qual o conhecimento se torna imprescindível para que as alternativas e resultados sejam representativos e possam ser avaliados corretamente. Os modelos mais utilizados para rios são unidimensionais, ou seja, são modelos que simulam processos considerando somente uma direção no espaço, e representam o escoamento por meio da velocidade média na seção transversal, desprezando as variações vertical e transversal (Tucci, 2005).

Em 1925 foi desenvolvido o modelo de *Streeter-Phelps* que foi marco inicial do uso da modelagem nos estudos da poluição dos corpos hídricos. Ele foi desenvolvido para o rio Ohio, nos Estados Unidos e sua estrutura serviu de base para a maioria dos modelos avançados disponíveis atualmente. O modelo une os principais mecanismos que regem o oxigênio dissolvido em um fluxo que recebe esgoto que são a decomposição da matéria orgânica e a reaeração de oxigênio (Chapra, 1997).

Desde então, a modelagem matemática da qualidade da água surge como uma ferramenta importante para auxiliar no processo de gestão ambiental, como forma de auxiliar na escolha de alternativas de manejo, levando em consideração a resposta do modelo a diferentes comportamentos dos poluentes e estímulos.

O modelo é uma representação simplificada do sistema utilizando parâmetros característicos locais, com a possibilidade de alteração dos dados de entrada e estimativa das respostas possibilitando ajustar dados observados disponíveis (calibração).

A legislação brasileira possui instrumentos políticos em relação aos padrões da qualidade da água. Além da Resolução CONAMA N° 357/2005 e da CONAMA 430/2011 já citadas, tem-se a Resolução CONAMA 247 de 29 de novembro de 2000 que aborda e define padrões de qualidade da água para balneabilidade e Portaria do Ministério da Saúde n° 2914 de 12 de dezembro de 2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e padrão de potabilidade.

3.5.1 - Modelos matemáticos de simulação da qualidade da água

Rauch *et al.* (1998) afirmam que os modelos de qualidade da água para rios buscam descrever as mudanças espaciais e temporais dos constituintes de interesse. Por mais de sete décadas, as variáveis componentes do processo têm sido incorporadas na modelagem de qualidade da água, acompanhando a melhoria dos problemas a serem estudados relacionados à qualidade da água. As dificuldades da modelagem variam desde a resolução das equações à representação da dinâmica de sólidos suspensos, das várias classes de algas, zooplâncton, plantas e animais (desde os invertebrados até as várias classes de peixes).

Existem muitos modelos de qualidade da água disponíveis atualmente e são úteis para pesquisadores de área de recursos hídricos. Esses modelos podem ser de domínio público ou de instituições particulares.

Kannel *et al.* (2011) fizeram uma revisão dos seis modelos de domínio público mais utilizados de qualidade de água e que simulam oxigênio dissolvido em rios e córregos. Os modelos apresentados foram SIMCAT (*Simulation Catchment*), TOMCAT (*Temporal Overall Model for Catchments*), QUAL2Kw, QUAL2EU (*Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis*), WASP7 (*Water Quality Analysis Simulation Program*) e QUASAR (*Quality Simulation Along Rivers*).

Por meio das pesquisas os autores concluíram que os modelos apresentam diferenças na representação, nos dados de entrada, nas suposições e na capacidade de modelagem. Essa comparação mostrou que os modelos SIMCAT e TOMCAT são os mais simples, porém úteis para fazer uma análise rápida do impacto das fontes pontuais. QUAL2EU é bastante utilizado, no entanto não fornece a conversão de algas mortas para a DBO carbonácea. O modelo QUAL2Kw inclui um sistema automático de calibração e apresenta novas interações constituintes. WASP7 e QUASAR requerem grande quantidade de dados e dificultam a justificativa do tempo e custos necessários para esses modelos complexos. Sendo assim não há um único modelo que possa abordar todas as funcionalidades requeridas, portanto a escolha do modelo deve depender das necessidades de uma aplicação específica.

3.5.2 - Modelo QUAL2K

O modelo QUAL2K foi desenvolvido originalmente por Chapra, S.C, da Universidade de Tufts. Trata-se uma versão modernizada do modelo QUAL2E que é um

modelo unidimensional de estado permanente, baseado na solução de equações diferenciais de advecção - dispersão, em todos os seus termos, por um esquema implícito de diferenças finitas, aplicável para rios dendríticos (Brown e Barnwell, 1987).

De acordo com Park e Lee (2002) os principais aprimoramentos do modelo QUAL2K incluem uma melhora na estrutura computacional e a adição de novas interações de constituintes, como a DBO de algas, desnitrificação e troca do OD por plantas fixas. Muitas equações do modelo incluídas no QUAL2K são as mesmas do QUAL2E, exceto para OD, DBO e nitrato.

A seguir são exemplificados alguns aspectos em que o QUAL2K e o QUAL2E são similares (Chapra *et al.*, 2008):

- O modelo é unidimensional, ou seja, o canal é misturado verticalmente e lateralmente.
- O sistema é formado por um rio principal e tributários ramificados.
- Há balanço diurno de calor. O balanço de calor e a temperatura são simulados em função da meteorologia em condições diurnas.
- Cinética das reações da qualidade da água diurna. Todas as variáveis de qualidade da água também são simuladas em uma escala de tempo diurna, em virtude das algas.
- Permite entradas dos dados de calor e massa. As cargas pontuais e não pontuais e os pontos de saída são simulados.

Segundo Chapra *et al.* (2008), o modelo QUAL2K é executado no ambiente do *Microsoft Windows*, o algoritmo foi implementado em linguagem Fortran 90, o Excel é usado como interface gráfica e todas as operações de interface são programas na macro linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA). O QUAL2K também divide o sistema em trechos e elementos, sendo que o tamanhos dos elementos para o QUAL2K podem variar de trecho para trecho. Os carregamentos múltiplos e as saídas podem ser inseridas em todo o segmento em qualquer trecho. O modelo utiliza duas formas de DBO carbonácea para representar o carbono orgânico, que é a DBO lenta, ou seja, a dissolução de detritos, oxidação e hidrólise; e a DBO rápida, que representa a dissolução de detritos, hidrólise, oxidação e desnitrificação (Knapik *et al.*, 2011).

Um das novidades incluídas no QUAL2K que pode ser destacada é a redução de compostos em nível zero de oxigênio, ou seja, em condição anóxica. A desnitrificação é modelada como uma reação de primeira ordem que ocorre em baixas concentrações de oxigênio. O fluxo dos sedimentos da água do oxigênio dissolvido e dos nutrientes podem ser

simulados sem que sejam prescritos anteriormente, o que significa que o oxigênio dissolvido e os fluxos de nutrientes são simulados em função da matéria orgânica particulada, das reações dentro dos sedimentos e as concentrações de formas solúveis nas águas sobrejacentes (Chapra *et al.*, 2008).

O modelo representa um rio como uma série de trechos, com características hidráulicas constantes, como por exemplo a declividade e a profundidade. Os trechos são numerados em ordem ascendente, ou seja, da nascente até a foz do rio principal, como ilustrado pela Figura 7.

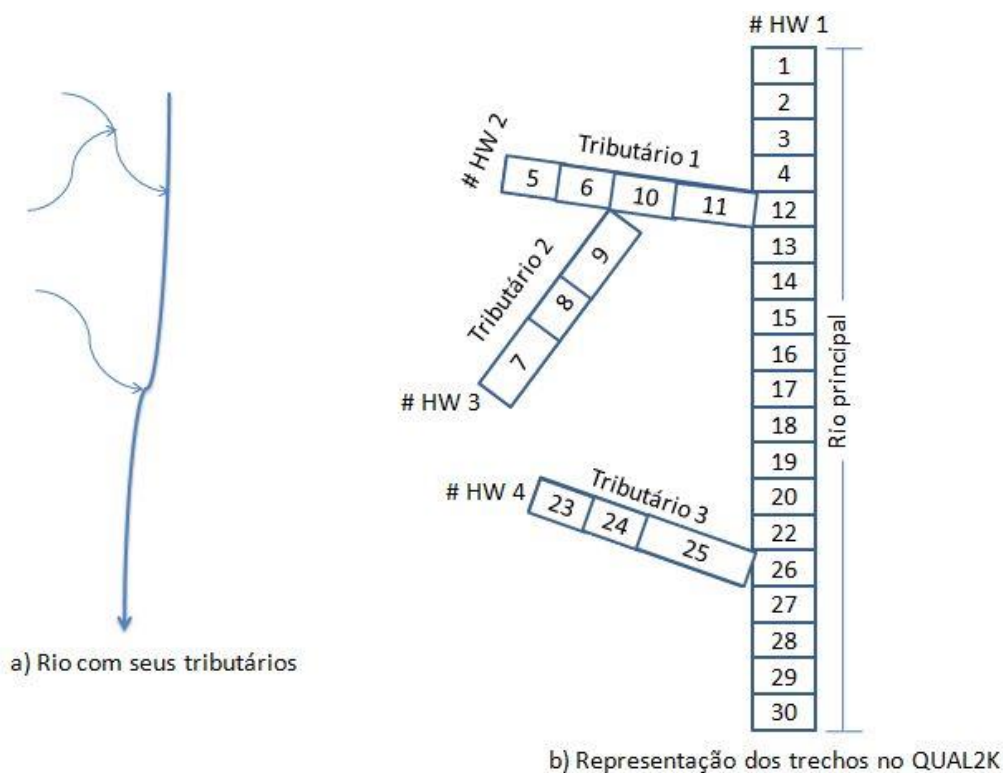


Figura 7 - Esquema de segmentação para o rio com tributários no QUAL2K. (Adaptado de Chapra *et al.*, 2008)

A nomenclatura utilizada para descrever a representação esquemática que o QUAL2K usa para o rio é a seguinte: o trecho significa o comprimento do rio com características hidráulicas constantes; elementos são unidades computacionais com comprimentos de mesmo tamanho subdividindo trechos. O segmento é um conjunto de trechos que representa um ramo do sistema, e por fim, *headwater* que é o limite superior do segmento do modelo.

Os trechos podem ser ainda divididos em uma série de elementos igualmente espaçados. Os dados de hidrologia, coeficientes específicos dos constituintes, condições

iniciais e vazões são constantes para todos os elementos computacionais dentro de um trecho.

O modelo QUAL2K resolve equações internas por meio de integração numérica direta pelo método de Euler ou Runge - Kutta. O primeiro método é o mais simples, pois requer passos de integração menores que o segundo.

Devido ao QUAL2E ser um software de domínio público, com código fonte aberto e interface amigável e que ganhou destaque com sua utilização mundialmente difundida (Knapik *et al.*, 2011), o QUAL2K, por sua vez, também tornou-se bastante conhecido devido às suas novas funcionalidades.

Bottino *et al.* (2010) avaliaram a qualidade da água da microbacia do rio Canha, localizado no Baixo Ribeira de Iguape, São Paulo, por meio de cinco variáveis, que foram temperatura, OD, pH, condutividade elétrica e turbidez, e utilizam o modelo QUAL2K para calibrar os dados obtidos em campo. Amostras foram coletas em campo em diferentes períodos. O modelo de qualidade da água foi calibrado com dados observados em campo, como vazão, declividade e variáveis de qualidade da água. O modelo forneceu resultados satisfatórios para a calibração da vazão com $R^2=0,99$. Os coeficientes de reaeração e sedimentação foram inseridos na planilha para ajustar a calibração, assim como foi feito neste trabalho e será apresentado a seguir. Segundo os autores, o QUAL2K possui algumas limitações estruturais e funcionais, como por exemplo, a impossibilidade de alterar a estrutura interna do modelo, ou seja, inserir equações que melhor representem a realidade. Apesar dessa limitação, o modelo providenciou um resultado satisfatório na calibração das amostras no rio Canha e pode ser recomendado para manter uma gestão eficaz de recursos hídricos e propor cenários futuros.

Sardinha *et al.* (2008) utilizaram o modelo QUAL2K para simulação da concentração de OD em função do comprimento do rio e para identificar as zonas de autodepuração do Ribeirão do Meio (SP). Como um dos resultados apresentados, conclui-se que se a cidade de Leme possuísse uma estação de tratamento secundária de efluentes, com no mínimo 76% de eficiência, a concentração de oxigênio dissolvido do rio nunca estaria abaixo de 5mg/L. Com relação ao ajuste do modelo, se demonstrou adequado em relação às amostras experimentais do rio.

Zhang *et al.* (2012) aplicaram o QUAL2K para prever a qualidade da água do rio Hongqi, tributário do rio Wujin, em uma área com muitas indústrias na China. Os parâmetros estudados e calibrados foram OD, DBO, NH_3-H , fósforo total e nitrogênio total. O OD indicou que a qualidade da água é boa pois está melhor do que o estabelecido pela legislação

do país. No tocante a calibração, os resultados simulados estavam de acordo valores monitorados, com algumas exceções como as curvas simuladas do oxigênio dissolvido e nitrogênio total que desviaram-se ligeiramente dos valores observados.

Balanço de vazão

Em cada elemento computacional do modelo a vazão é constante, em que as fontes difusas são modeladas como fontes pontuais, de acordo com a equação (14). A Figura 8 ilustra o balanço de vazão no trecho.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (14)$$

em que Q_i é a vazão de saída do elemento i e de entrada a jusante do elemento $i+1$ em m^3/d ; Q_{i-1} é a vazão de saída a montante do elemento $i-1$ em m^3/d ; $Q_{in,i}$ é a vazão de entrada no elemento i por fontes pontuais e difusas em m^3/d ; $Q_{out,i}$ é a vazão de saída do elemento i por fontes pontuais e difusas em m^3/d .

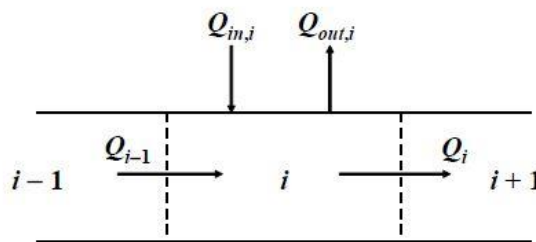


Figura 8 - Balanço das vazões no elemento (Chapra *et al.*, 2008)

A vazão total afluyente das fontes é calculada por meio da equação (15) :

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad (15)$$

em que $Q_{ps,i,j}$ é a j -ésima fonte pontual afluten do elemento i em m^3/d , $Q_{ps,i}$ é o número total de fontes pontuais ao elemento i , $Q_{nps,i,j}$ é j -ésima fonte não pontual afluyente ao elemento i em m^3/d e $npsi$ é o número total de fontes não pontuais afluentes ao elemento i .

3.5.2.1 - Características Hidráulicas

Uma vez calculada a vazão em cada elemento, a velocidade e a profundidade são calculadas por meio de coeficientes de descargas ou equação de Manning.

Coeficiente de Manning

No modelo QUAL2K cada elemento pode ser idealizado como um canal trapezoidal. Em condições de vazão permanente e uniforme, a equação de Manning pode exprimir a relação entre a vazão e profundidade, como expresso na equação 16:

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A_c^{5/3}}{n P^{2/3}} \quad (16)$$

em que Q é a vazão em m^3/s , S_0 é a declividade do canal em m/m , n é coeficiente de Manning, A_c é a área molhada em m^2 , P é o perímetro molhado em m . A Figura 9 apresenta o esquema de um canal trapezoidal representativo no modelo QUAL2K.

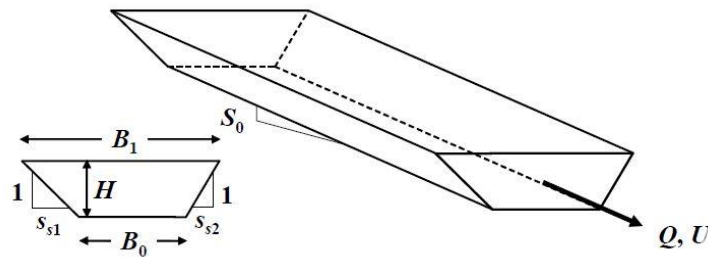


Figura 9 - Canal trapezoidal (Chapra *et al.*, 2008)

A área da seção transversal do canal trapezoidal é calculada como:

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H \quad (17)$$

em que B_0 é a largura, s_{s1} e s_{s2} são as declividades como apresentada na Figura 9 e H é a profundidade. O perímetro molhado é determinado por meio da equação(18):

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (18)$$

Depois de agrupar as equações (17) e (18), a equação (19) pode ser resolvida para determinar a profundidade, então:

$$H_k = \frac{Qn^{3/5} (B_0 + H_{k-1}\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H_{k-1}\sqrt{s_{s2}^2 + 1})^{2/5}}{S^{3/10} (B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H_{k-1})} \quad (19)$$

em que k pode ser igual a $1,2,\dots$, no qual n é o número de iterações.

A área da seção pode ser determinada pela equação (20) e a velocidade pode então ser determinada pela equação da continuidade:

$$U = \frac{Q}{A_c} \quad (20)$$

A largura média B do elemento é computada como:

$$B = \frac{A_c}{H} \quad (21)$$

Os valores sugeridos para o coeficiente de rugosidade de Manning para diversas superfícies estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade de Manning para vários tipos de canais abertos (Chow *et al.*, 1988).

Material	n
canais artificiais	
concreto	0,012
fundo de cascalho com laterais	
concreto	0,02
pedra coberta com argamassa	0,023
pedras soltas no leito do canal	0,033
canais naturais	
limpo e reto	0,025-0,04
limpo e sinuoso	0,03-0,06
com vegetação, poças e sinuoso	0,05
com arbustos, madeira	0,05-0,20

Coefficientes de descarga

As equações potenciais podem ser usadas para relacionar a velocidade média e a profundidade em função da vazão para os elementos no trecho:

$$U = aQ^b \quad (22)$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad (23)$$

em que a,b,α, β são coeficientes empíricos e são obtidos por meio dos ajustes com os dados obtidos em campo que são correspondentes em cada trecho . Os expoentes ,b e β possuem valores típicos e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de referência dos expoentes b e β usados para determinar velocidade e profundidade a partir da vazão

Equação	Expoente	Valor típico	Faixa
$U = aQ^b$	b	0,43	0,4-0,6
$H = \alpha Q^\beta$	β	0,45	0,3-0,5

Constituinte do modelo e balanço de massa geral

A Tabela 7 a seguir mostra alguma das variáveis simuláveis no modelo QUAL2K, assim como seus símbolos e unidades.

Tabela 7 - Variáveis simuladas no QUAL2K

Variáveis	Símbolo	Unidades
Condutividade	s	µmhos
Sólidos suspensos inorgânicos	m _i	mgD/L
Oxigênio Dissolvido	o	mgO ₂ /L
DBO carbonácea lenta	c _s	mgO ₂ /L
DBO carbonácea rápida	c _f	mgO ₂ /L
Nitrogênio orgânico	n _o	µgN/L
Nitrogênio amoniacal	n _a	µgN/L
Nitrato	n _n	µgN/L
Fósforo orgânico	p _o	µgP/L
Fósforo inorgânico	p _i	µgP/L
Fitoplâncton	ap	µgA/L
Detritus	m _o	mgD/L
Patógeno	X	Cfu/100mL
Alcalinidade	Alk	mgCaCO ₃ /L
Carbono orgânico total	c _T	Mol/L
Biomassa de Algas de fundo	a _b	mgA/m ²
Nitrogênio de algas de fundo	IN _b	mgN/m ²
Fósforo de algas de fundo	IP _b	mgP/m ²

Exceto para as variáveis relacionadas às algas de fundo, para todo o constituinte do modelo, o balanço de massa pode ser descrito pela equação (24):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E_i}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (24)$$

em que W_i é a carga externa do componente no elemento i em g/d ou mg/d, S_i representa as fontes e retiradas do componente devido às reações e mecanismos de transferência de massa em g/m³d ou mg/m³d. A troca de massa entre a superfície da água e a zona de sedimento é dada pela troca de vazões no elemento i , sendo E_i a vazão em m³/d, e pela diferença da concentração na superfície de água (c_i) e da zona de sedimento ($c_{2,i}$).

Várias cargas de constituintes podem ser introduzidas e retiradas a qualquer momento. O balanço de massa que é considerado pelo modelo contabiliza as entradas e

saídas, a dispersão longitudinal, a geração e consumo da substância dentro do volume de controle, como apresentado pela Figura 10.

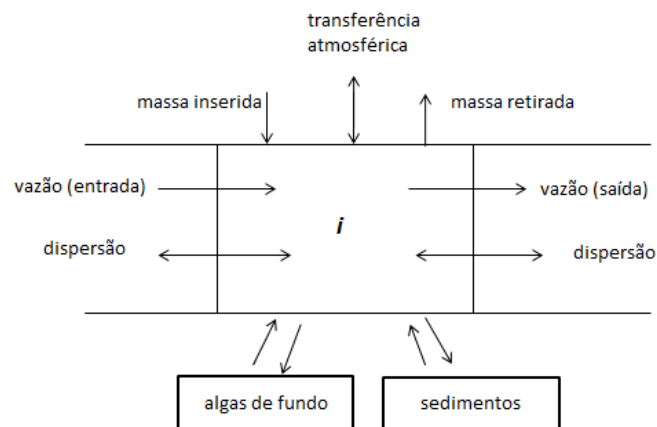


Figura 10 - Representação esquemática do balanço de massa do modelo QUAL2K (Adaptado de Chapra *et al.*, 2008)

As cargas externas são computadas como:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{nps,i,j} \quad (25)$$

em que $c_{ps,i,j}$ é a j -ésima concentração da fonte pontual no elemento i (mg/L ou $\mu\text{g/L}$) e $c_{nps,i,j}$ é j -ésima concentração da fonte difusa no elemento i (mg/L ou $\mu\text{g/L}$).

3.5.3 - Equações do modelo QUAL2K

Park e Lee (2012) afirmam que a maioria das equações incluídas no modelo QUAL2K são as mesmas do modelo QUAL2E, exceto para OD, DBO e nitrato. O consumo de oxigênio dissolvido pelas algas no QUAL2E foi separado em duas componentes no QUAL2K, que são a respiração, a decomposição e a morte de algas.

A morte de algas foi convertida em DBO e a expressão utilizada no QUAL2K é $\alpha_4 \rho_2 A$, em que α_4 é o oxigênio consumido por unidade de respiração alga/morte em $\text{mgO}_2/\text{mg A}$, ρ_2 é a taxa de algas mortas em dia^{-1} e A é a biomassa de algas em mg/L . O processo de desnitrificação ocorre na camada anaeróbia ou somente na coluna de água com condições baixas de OD. Esse processo inclui a redução da DBO assim como a do nitrato, e o nível de OD é importante para controlar esse processo.

O cálculo de OD no modelo é feito por meio da equação (26):

$$\frac{dO}{dT} = K_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho_1)A - K_1L - \frac{K_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{D} \quad (26)$$

em que O é oxigênio dissolvido, O_s é a concentração de saturação de oxigênio dissolvido em mg/L; L é demanda bioquímica de oxigênio; K_1 é taxa de desoxigenação carbonácea em d^{-1} , K_5 é a taxa de demanda de oxigênio do sedimento em $g/m^2 d$; D é a profundidade média da água, α_3 é a produção de oxigênio por crescimento de algas em mgO/mgA; α_4 é a taxa de consumo de oxigênio por respiração por unidade de algas; α_5 é a taxa de consumo de oxigênio por oxidação de NH_3 em mgO₂/mgN; α_6 é a taxa de consumo de oxigênio por oxidação de NO_2 em mgO₂/mgN; β_1 é o coeficiente de oxidação de amônia em d^{-1} ; β_2 é o coeficiente de oxidação de nitrito em d^{-1} ; N_2 é a concentração de nitrito em mgN/L; λ_1 é o consumo de oxigênio para a respiração de plantas fixas em gO₂/m² d; λ_2 é a produção de oxigênio pela fotossíntese das plantas fixas em gO₂/m² d, μ é a taxa de crescimento específico de algas em d^{-1} ; ρ_1 é taxa de respiração de algas em d^{-1} .

Por meio da equação (27) pode-se determinar a DBO:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L + \frac{K_4}{D} + \alpha_4\rho_2A \quad (27)$$

em que L é a demanda bioquímica de oxigênio, K_1 é a taxa de desoxigenação carbonácea em d^{-1} ; K_3 é a taxa de sedimentação em d^{-1} ; K_4 é a taxa de DBO pelos organismos bentônicos em $g/m^2 d$; D é profundidade média da água; α_4 é taxa de consumo de oxigênio por respiração por unidade de algas; ρ_2 é taxa de morte de algas em d^{-1} e A é a biomassa da alga em mg/L.

3.5.4 - Integração do WEAP com QUAL2K

De acordo com SEI (2012), o QUAL2K e o WEAP são diferentes em alguns pontos para a modelagem da qualidade da água:

- QUAL2K mede a distância a partir da foz do rio, já o WEAP calcula a distância a partir da nascente.
- QUAL2K permite variações diurnas na qualidade da água e do clima, já o WEAP utiliza os mesmos valores para todos os momentos dos dias, meses e anos.
- Com relação aos parâmetros climáticos, o QUAL2K utiliza a temperatura do ponto de orvalho e o WEAP a umidade.
- QUAL2K modela vários constituintes mais detalhadamente, como amônia, nitrato, algas, fósforo orgânico e inorgânico, do que o WEAP, que trabalha apenas com OD e DBO.

Ambos os modelos são similares na forma de tratar o rio como uma sequência de trechos, ou seja, não são necessariamente igualmente espaçados. Entretanto, os limites de alcance definidos no QUAL2K não correspondem aos definidos pelo WEAP que define seus trechos a partir dos pontos de entrada e lançamentos já que no QUAL2K é definido por meio do comprimento de cada trecho.

Segundo SEI (2012), a integração dos dois modelos inicia-se primeiramente pelo preenchimento da planilha do QUAL2K fora do WEAP. O manual do programa é muito limitado quanto à explicação de como ocorre a integração entre os dois modelos e não há estudos abordando esse tema.

Para que esse processo ocorra, é necessário inserir no WEAP dados hidrológicos, de qualidade da água em cada trecho do rio, cargas de poluição das fontes pontuais e difusas, e declina para cada mês e ano. Esses dados serão lidos pelo programa e simulados pelo QUAL2K. Após essa etapa o WEAP lerá os dados de saída de qualidade da água e temperatura de cada iteração que foi feita pelo QUAL2K para todos os meses e anos definidos nos cenários futuros. A Figura 11 ilustra esse processo.

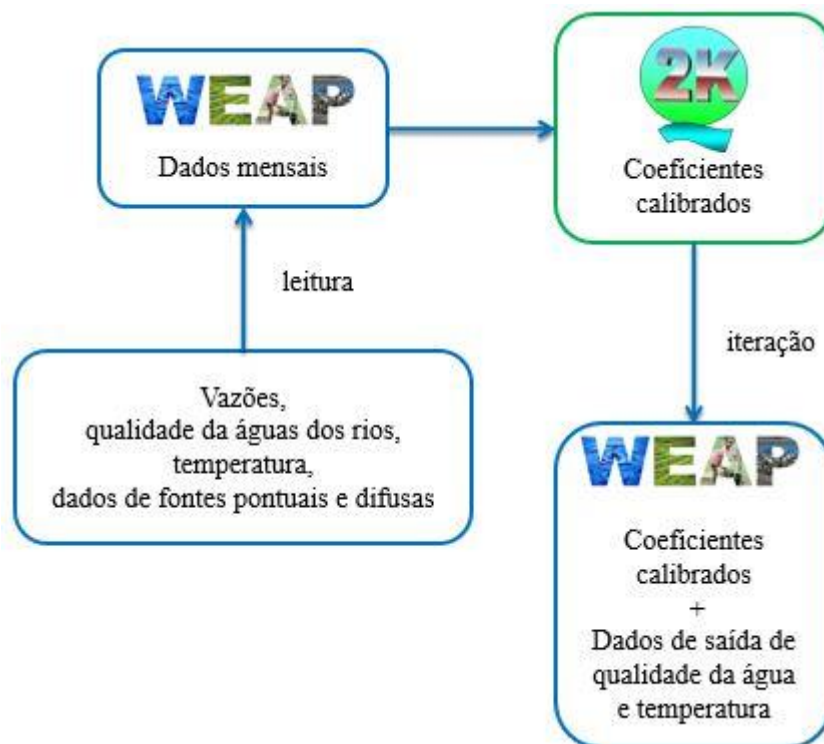


Figura 11 - Processo de integração entre QUAL2K e WEAP.

Como o programa utiliza apenas um arquivo do QUAL2K para simular a qualidade da água para todos os intervalos de tempo, não é possível utilizar valores diferentes de

coeficientes e parâmetros em diferentes espaços de tempo. O retângulo vermelho da Figura 12 apresenta o local em que é possível inserir o arquivo gerado pelo QUAL2K no formato *q2k*. Por esse motivo, deve-se simular e calibrar os parâmetros no QUAL2K para que assim o *software* possa fazer a leitura desse arquivo com o objetivo de reduzir os erros gerados. Após inserir o arquivo, é necessário ligar os constituintes e os trechos que serão utilizados do modelo QUAL2K, conforme representado no retângulo amarelo da Figura 12.

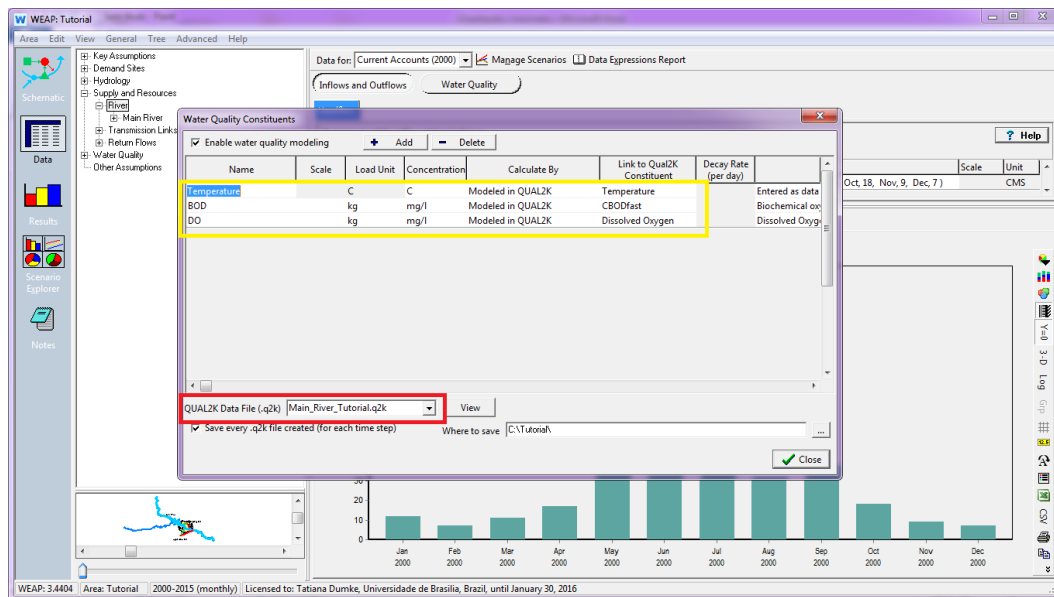


Figura 12 - Adição da planilha do QUAL2K no WEAP no retângulo vermelho e ligação entre os constituintes dos dois modelos em amarelo.

SEI (2014) fez o estudo da qualidade da água do rio La Vieja, localizado na Colômbia, mediante a identificação das principais fontes de contaminantes, utilizando a integração de duas ferramentas que são o WEAP e o QUAL2K. Adicionalmente, se ajustaram as rotinas de modelagem no WEAP que são os dados de entrada para simulação da qualidade da água utilizando o QUAL2K. Segundo esse estudo, uma das principais vantagens de integrar as duas ferramentas é a capacidade de mudar a cinética de degradação dos contaminantes em cada trecho no rio no modelo QUAL2K. Os parâmetros avaliados foram DBO₅, OD e temperatura. Os gráficos sugerem uma situação mais crítica da DBO nos períodos mais úmidos, que são de março a maio, o que pode estar relacionado com o aporte de carga contaminante do setor cafeeiro nos períodos de grande cultivo. A modelagem da qualidade da água também contemplou 30 cenários de mudança climática nos anos de 2010 a 2050, porém o impacto dessa mudança climática ainda está sendo analisada como parte desse estudo.

4 - METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi composta por quatro etapas principais. A primeira delas consistiu na descrição da área de estudo com os objetivos principais de conhecer a hidrografia da região e o contexto em que está inserida, afim de identificar as possíveis cargas pontuais de poluição. A etapa seguinte foi o levantamento de dados para modelagem da qualidade da água que foram utilizados no QUAL2K e no WEAP. A terceira etapa foi a modelagem da qualidade da água, incluindo a calibração, feita no modelo QUAL2K para integrá-lo ao WEAP, para a simulação da qualidade da água nos cenários futuros. Os parâmetros simulados foram o OD e a DBO. No WEAP foi necessário inicialmente fazer o desenho da rede hídrica com os nós de demanda, inserir dados nos nós, nas ETEs e nos trechos dos rios. Após isso, foram criados os cenários, que foram simulados por meio da integração do modelo de qualidade da água QUAL2K. A Figura 13 apresenta o fluxograma da metodologia.

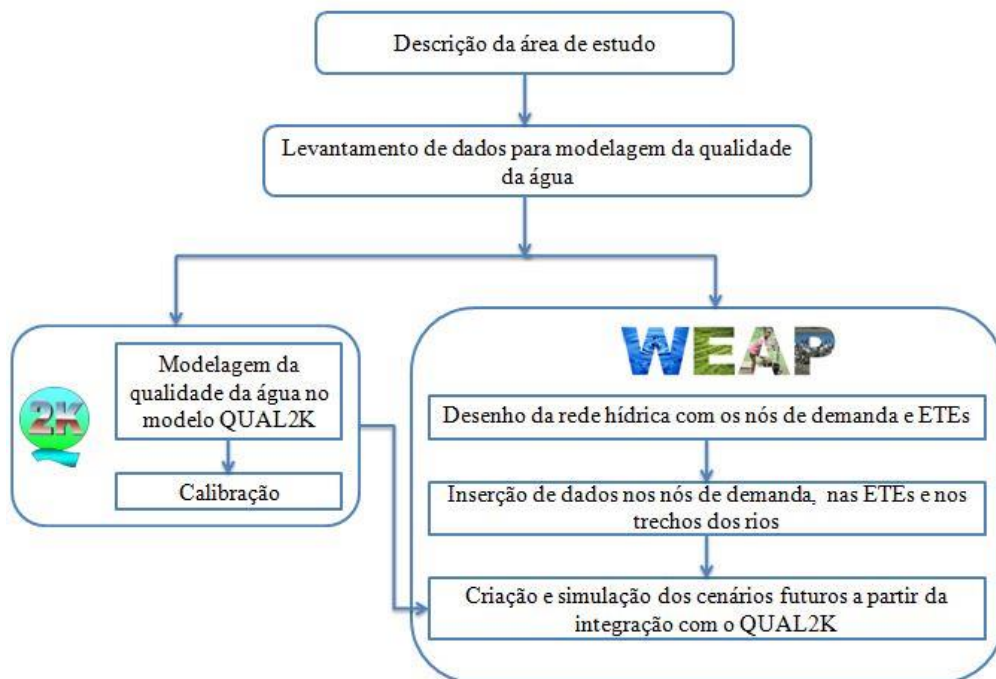


Figura 13 - Fluxograma da metodologia de integração do QUAL2K e WEAP para a simulação de cenários.

4.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste item são apresentados a localização, a hidrografia, as características da área de estudo, a ocupação do solo, e as principais fontes de poluição pontual que são as ETEs. Essa etapa foi fundamental para o processo de levantamento de dados, informações e conhecimentos sobre área de estudo.

4.1.1 - Localização e hidrografia da área de estudo

Neste item será descrita a área de estudo bem como sua hidrografia. Esse tópico é primordial para a modelagem da qualidade da água e para o auxílio da interpretação dos dados adquiridos em relação à qualidade da água e hidrologia.

A descrição da área de estudo baseou-se nos estudos de Ribeiro (2001), SEEBLA (2000) e ENGEVIX (1990), Lima (2004) e Bicalho (2006).

A RIDE DF e Entorno, cuja área é de 56433,60 km² (IBGE, 2010), encontra-se em sua maioria localizada na região Centro-Oeste e uma pequena área na região Sudeste. Ela é um divisor de águas das três principais bacias hidrográficas do Brasil: a bacia do rio Tocantins, do rio Paraná e a do rio São Francisco. Essa região possui importantes corpos hídricos, que dividem Estados, como é o caso dos rios Descoberto e rio Preto, localizados na divisa oeste e leste, respectivamente. O rio Corumbá, cuja nascente localiza-se na Serra dos Pirineus, e juntamente com o rio Descoberto são contribuições do lago Corumbá IV, localizado a sudoeste do Distrito Federal.

A área de estudo deste trabalho está inserida na bacia do rio Descoberto, que por sua vez está compreendida na bacia do rio Paraná e localiza-se na divisa oeste entre DF e o estado de Goiás, ao norte do lago Corumbá, como representado na Figura 14. Há dois rios importantes, tanto para a RIDE DF e Entorno quanto para o Distrito Federal, que são o rio Descoberto e o seu afluente, o Melchior, que são os principais rios de interesse para esse trabalho.

A nascente do rio Descoberto situa-se, na altura da cota 1300 m, aproximadamente nas coordenadas 15° 67' S e 48° 10' W, com a confluência do córrego Barroco com o Capão da Onça, onde esses córregos correm no sentido oeste e após a confluência, o rio Descoberto corre no sentido sul. Depois de percorrer aproximadamente 25 km e ter recebido o córrego Pulador, o córrego Olaria, o ribeirão Capão Comprido e o ribeirão das Pedras, o rio em

estudo é represado para formar o lago Descoberto, importante manancial responsável por 63% do abastecimento público do DF (CAESB, 2013). À oeste do reservatório está o município de Águas Lindas de Goiás (GO).

Após a barragem do Descoberto, o rio de mesmo nome, passa pela BR-070, percorrendo uma distância de aproximadamente 28 km, no sentido sul, formando a bacia do baixo Descoberto. Após isso, a montante da cidade de Santo Antônio do Descoberto (GO), o rio sofre uma pequena curva para leste e logo recebe o seu principal afluente, o rio Melchior.

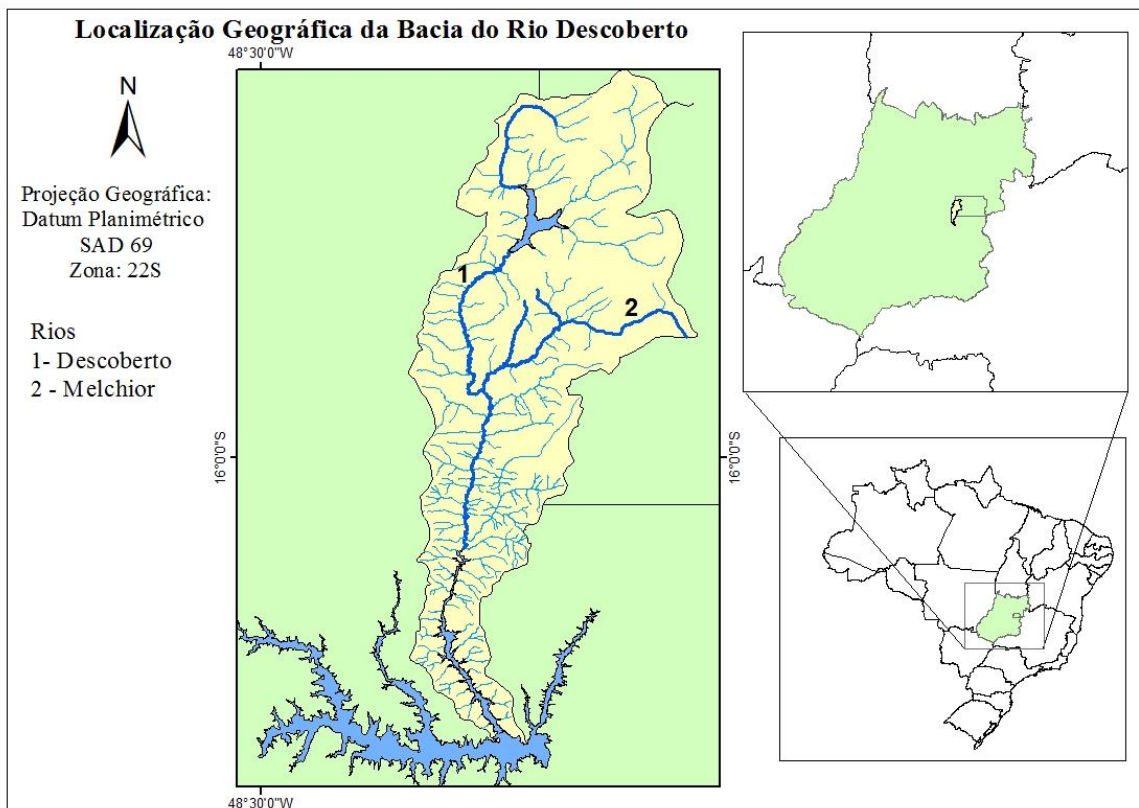


Figura 14 - Área de estudo

O rio Melchior possui nascentes nos córregos Taguatinga e Cortado e se unem na região de Taguatinga. A nascente do córrego Cortado localiza-se entre as regiões de Taguatinga e Ceilândia. A nascente do córrego Taguatinga encontra-se ao sul da cidade de mesmo nome, e ambos os córregos estão aproximadamente na cota 1200 m . A confluência desses corpos hídricos ocorre aproximadamente na cota 1160 m, formando o córrego Taguatinga que corre no sentido oeste , no vale que fica entre as cidades de Ceilândia e Samambaia. Após percorrer 12 km no mesmo sentido, passa a receber as contribuições do córrego do Valo e Lajinha. Depois desse ponto, o ribeirão Taguatinga passa se chamar rio

Melchior. E por fim, a foz desse rio encontra-se depois de mais de 20 km de percurso, no sentido oeste, com as contribuições do córrego Guarairoba ou Coruja e Salta Fogo, a montante de Santo Antônio do Descoberto.

Após a confluência do rio Descoberto com o Melchior, o rio Descoberto continua o seu percurso no sentido sul. Depois de 3 km, há a contribuição do ribeirão Samambaia, por parte do DF e do córrego Riachinho, pelo Estado de Goiás. Por aproximadamente 30 km, existem várias contribuições ao longo do seu leito, tanto pela margem esquerda, com a principal confluência com o ribeirão Engenho das Lajes, e pela direita, com contribuição dos córregos Jeremias, Santa Rita, Pinto, Buriti e Cachoerinha.

O rio Descoberto deságua no lago Corumbá IV, que foi formado pelo represamento do rio Corumbá, para construção do reservatório de mesmo nome e tem aproximadamente 173 km² de área inundada e volume total de 3,7 trilhões de litros e volume útil de 800 bilhões de litros, com profundidade média de cerca de 21 m. Tais informações foram retiradas do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório da UHE Corumbá IV. O rio Descoberto e o rio Alagado são as principais contribuições no lago provenientes do Distrito Federal e no Estado de Goiás é o rio Corumbá.

Para o estudo de modelagem da qualidade da água, o rio Descoberto foi modelado a partir do reservatório do Descoberto até o lago Corumbá IV, compreendendo a bacia do baixo Descoberto, com extensão de aproximadamente 58 km. A modelagem da qualidade da água do rio Melchior foi feita a partir do Córrego Taguatinga, pois o posto de monitoramento localizado nesse ponto possui melhor qualidade da série de dados do que o posto localizado no córrego Cortado. O comprimento a partir desse ponto é de cerca de 35km.

4.1.2 - Características físicas

Neste item são apresentadas, de maneira sucinta, as características naturais da bacia do rio Descoberto, ou seja, relevo, solo, vegetação e clima.

As cotas altimétricas da bacia do rio Descoberto variam entre 900a 1300metros. Com relação a classificação geomorfológica, a região tem potencial erosivo considerado como "muito forte" (SEEBLA, 2000).

Ocorre predominância de solos do tipo cambissolo distrófico, com manchas de latossolo vermelho- amarelo, latossolo vermelho-escuro e podzólico, além da presença de

solos litólicos na bacia. Verifica-se também cambissolo distrófico cascalhento e pedregoso de textura média a média argilosa, em relevo ondulado a forte ondulado, além de solos litólicos distróficos, cascalhamento e pedregoso de textura média em relevo forte ondulado, e cambissolo álico de textura argilosa em relevo suave. A vegetação predominante em toda a bacia é do tipo Savana Arbórea Aberta e Savana-Parque. Observa-se também mata de galeria ao longo dos rios e córregos (SEEBLA, 2000).

De acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal de 2009, segundo a classificação de Köppen, o clima do DF enquadra-se entre os tipos "tropical de savana" e "temperado chuvoso de inverno seco". O clima diferencia-se claramente em duas estações: uma chuvosa e quente, com duração de outubro a abril, e outra, fria e seca, dos meses de maio a setembro. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro e janeiro, com precipitação total anual média de 1600mm, praticamente sem chuva na estação seca. A temperatura anual varia em média de 18° a 22°C, com os meses de setembro e outubro mais quentes, com médias superiores a 22°C. A umidade relativa é por volta de 70% na época chuvosa e de 30% a 70% nos períodos secos.

4.1.3 - Uso e ocupação do solo

A bacia do rio Descoberto possui características heterogêneas quanto ao uso e ocupação do solo. Nela estão inseridos centros urbanos importantes, tanto do Distrito Federal como da RIDE DF e Entorno, área de preservação ambiental, campo, agricultura e indústria. De acordo com Ribeiro (2001) as atividades antrópicas mais expressivas, localizadas a jusante da barragem do Descoberto, são as ocupações urbanas, e de uma forma menos significativa, as atividades industriais.

As cidades envolvidas a jusante do reservatório do Descoberto são Ceilândia e Samambaia, Taguatinga e Santo Antônio do Descoberto. As duas primeiras estão localizadas na região do ribeirão Taguatinga e possuem taxas de crescimento populacional de 5,5% e 2,3% ao ano (Codeplan, 2013). O crescimento populacional de Samambaia é impulsionado pelos programas habitacionais do GDF, em que estão previstas mais de mil moradias para os próximos anos (SEGETH, 2014). Samambaia, uma das maiores cidades do DF, tem uma taxa de crescimento de 4,09% ao ano (Codeplan, 2013). A taxa de 2,3% corresponde a cidade de Santo Antônio do Descoberto no Estado de Goiás (SEPLAN, 2013). Ceilândia,

Samambaia, Taguatinga juntamente com Águas Claras configuram a região com maior número de moradores, somando em 36,66% da população do DF, segundo o PDOT(2009).

A população da região de estudo é bastante expressiva. Santo Antônio do Descoberto tem uma população flutuante, pois a maioria dos moradores se desloca para outras cidades objetivando demandas distintas como trabalho, serviços sociais, atividades de consumo entre outros. Ao se comparar com a RIDE DF e Entorno, essa cidade ocupa a oitava posição entre os municípios mais populosos (Geológica, 2015). A Tabela 8 apresenta número de habitantes das localidades da área de estudo.

Tabela 8- População das cidades da região de estudo (CODEPLAN, 2013 e IBGE, 2015)

Localidade	População
Ceilândia	449.592
Taguatinga	221.909
Samambaia	220.806
Santo Antônio do Descoberto	69.000

Segundo ZEE (2010), um aspecto importante a ser avaliado no processo de uso e ocupação do solo refere-se à questão da densidade das áreas urbanas, uma vez que ela interfere de diversas maneiras no ambiente físico-biótico e sociocultural. As regiões administrativas da área de estudo receberam a classificação de densidade média, ou seja, de 50 a 150 hab/ha. Esse cálculo levou em consideração a população urbana residente dividida pela sua respectiva área urbanizada.

Com relação a Santo Antônio do Descoberto, verifica-se que na malha urbana existem grandes vazios dentro do perímetro urbano e a falta de integração racional entre os bairros, principalmente em relação à malha viária (Geológica, 2015).

O PDOT de 2009 está embasado na Constituição Federal, na Lei Orgânica do Distrito Federal, no Estatuto da Cidade e na Lei Federal nº 9785/99 que trata das normas gerais sobre o parcelamento do solo urbano.

O macrozoneamento do território consiste em um dos elementos normativos do Plano Diretor e foi definido em dois níveis de detalhamento. O primeiro descreve o uso principal do solo que é a macrozona; e o segundo consiste no detalhamento de cada macrozona, ou seja, a zona.

Na Macrozona Urbana são identificados os espaços destinados às atividades de finalidade urbana com predominância nos setores secundário e terciário e subdivide-se em:

zona urbana do conjunto tombado, zona urbana de uso controlado I, zona urbana de uso controlado II, zona urbana consolidada, zona urbana de qualificação e expansão, zona de contenção urbana. A macrozona rural é subdividida na zona de rural de uso diversificado e zona rural de uso controlado, destinado ao setor primário. O mapa da Figura 15 apresenta as áreas referentes ao DF do PDOT de 2009.

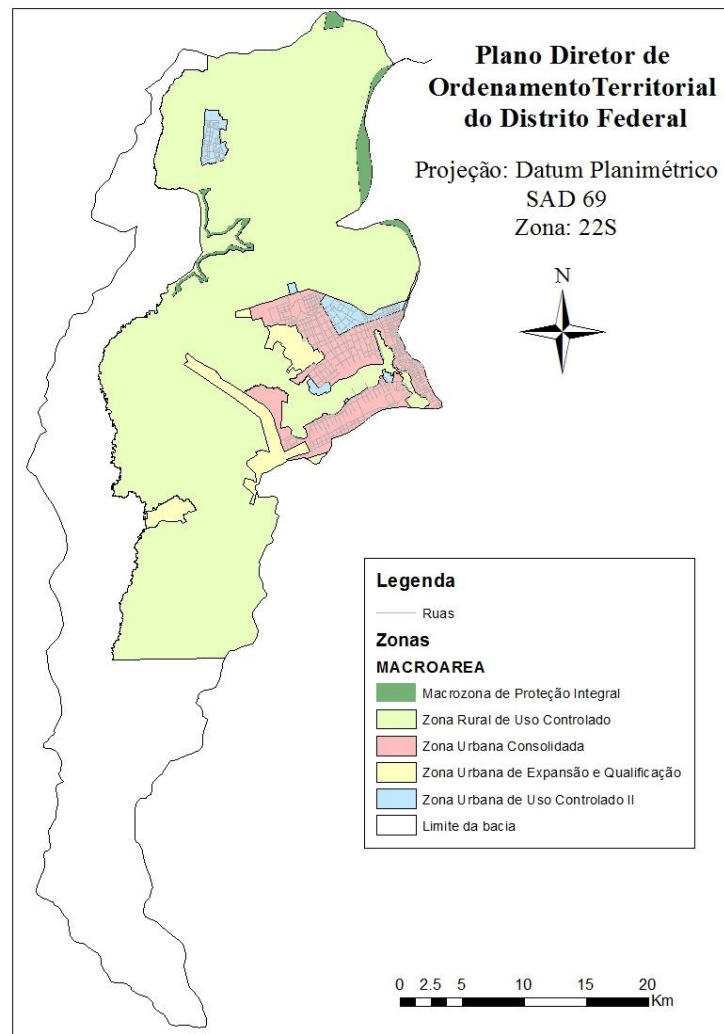


Figura 15 - Zonas do PDOT de 2009

As cidades de Taguatinga, Ceilândia e Samambaia encontram-se na zona urbana consolidada que compreende núcleos urbanos implantados ou em processo de implantação, servidos de infraestrutura urbana e equipamentos comunitários, com média e baixa densidade populacional e alguns enclaves de alta densidade, cuja ocupação urbana deve ser consolidada.

A zona urbana de uso controlado II é constituída pela parte do núcleo urbano da Ceilândia e essa zona possui sensibilidade ambiental que exige ocupação e uso urbano

disciplinado no sentido de proteger os atributos naturais, especialmente os solos e os recursos hídricos, superficiais e subterrâneas.

O trecho entre Samambaia e Água Quente, ao longo da DF 280, o Setor Habitacional Água Quente e os arredores de Ceilândia formam a zona urbana de qualificação e expansão. Nessa área reúnem algumas áreas para uso rural que sofreram processo de ocupação urbana mediante implantação de assentamentos informais.

A zona rural de uso controlado compoe grande parte da bacia do rio Descoberto e é formado por declividades acentuadas, bordas de chapada, solos rasos, presença de mananciais destinados ao abastecimento público, e outras situações de fragilidade ambiental.

4.1.4 - Características do sistema de esgotamento sanitário

Como dito anteriormente, as ETEs são as principais fontes de poluição pontual ao longo dos rios Descoberto e Melchior. Por isso, suas localizações e características são importantes para identificar o lançamento de carga pontual nos trechos dos rios. Além disso, foi fundamental conhecer suas características de projeto e operação para a elaboração dos cenários futuros que serão abordados posteriormente.

As ETEs pertencentes ao DF, da área de estudo, são responsáveis por atender a região mais povoada do DF. A ETE Melchior iniciou sua operação em 2004 e foi projetada para receber efluentes das localidades de Taguatinga, Ceilândia e parte de Samambaia. Atualmente, a ETE Melchior é a maior unidade de tratamento de esgotos do Distrito Federal. Ela foi projetada para receber esgotos de aproximadamente 869.799 habitantes, com uma vazão média de 1.469L/s e seu corpo receptor é o Rio Melchior (CAESB, 2013). Suas coordenadas de localização são aproximadamente 15°51'52" S e 48°09'05" W.

A tecnologia de tratamento é formado pelo processos de reatores anaeróbios de fluxo ascendente, tipo UASB (*Upflow Anaerobic Blanket*), seguido do Sistema de Remoção de Nutrientes de Fluxo Alternativo (UNITAK), cujo processo é fundamentado nos lodos ativados de aeração prolongada (CAESB, 2013). A Tabela 9 apresenta as taxas médias de remoção da DBO, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kejdahl (TKN), fósforo total (FT), sólidos suspensos (SS) e coliformes termotolerantes (CT).

Tabela 9- Dados de remoção da ETE Melchior (CAESB, 2013)

Dados	Média de remoção (%)
DBO	90,90
DQO	91,90
TKN	56,50
PT	30,30
SS	92,50
CT	87,86

A outra estação de tratamento de efluentes localizada a jusante da barragem do Descoberto é a ETE Samambaia que recebe efluentes da cidade de mesmo nome. Essa ETE opera desde 1996, com capacidade de 284L/s e foi projetada para atender aproximadamente 180.000 habitantes (CAESB, 2013).

O processo de tratamento é efetuado por meio de um sistema integrado de reatores anaeróbios e lagoas de estabilização em série (CAESB, 2013). Depois da formação do Reservatório de Corumbá IV, e para adequação às novas exigências do corpo receptor, que é o rio Melchior, o processo de tratamento de esgoto passou a operar em nível terciário, por meio da instalação da unidade de flotação por ar dissolvido ao final do processo com o objetivo de remover algas e nutrientes (ZEE, 2010). A Tabela 10 apresenta dados de eficiência de remoção para a ETE Samambaia.

Tabela 10 - Dados de remoção da ETE Samambaia (CAESB, 2013)

Dados	Média de remoção (%)
DBO	97,10
DQO	94,20
TKN	25,30
PT	84,10
SS	92,10
CT	99,90

A ETE Samambaia situa-se aproximadamente nas coordenadas de 15°52'21" S e 48°09'03" W, ao lado da ETE Melchior. A distância de lançamento do efluente das duas estações é de menos de 200 m. Por esse motivo estão representadas apenas com um triângulo vermelho na Figura 16 que mostra a localização das ETes e as cidades da área de estudo. Na Figura 17 é possível observar à frente a ETE Melchior e ao fundo a ETE Samambaia.

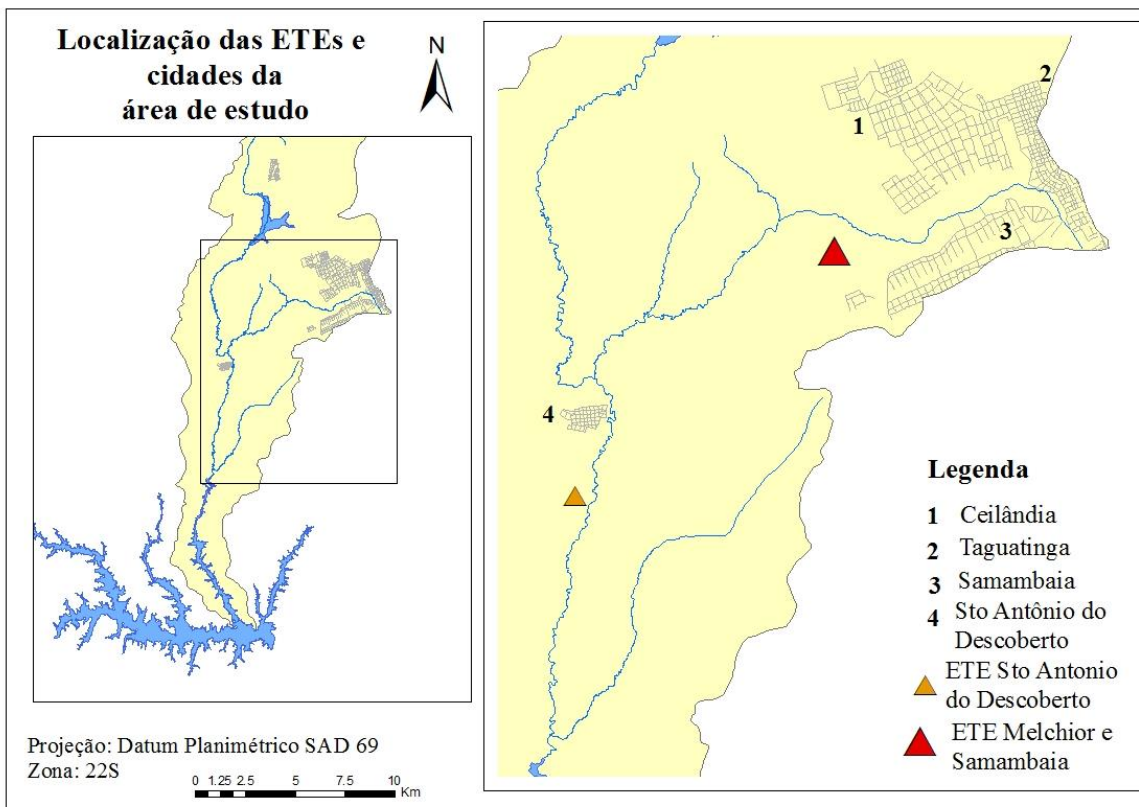


Figura 16 - Mapa de localização das ETEs e cidades da área de estudo



Figura 17 - Vista da ETE Samambaia ao fundo e na frente a ETE Melchior (CAESB, 2013)

Como observado na Figura 16, ETE Santo Antônio do Descoberto localiza-se ao sul da cidade de mesmo nome, aproximadamente nas coordenadas $15^{\circ}58'57''$ S e $48^{\circ}15'35''$ W. Os efluentes tratados são lançados no rio Descoberto. O sistema de tratamento é composto por medidor de vazão Parshall, gradeamento, caixa de areia, estação elevatória e três lagoas, sendo duas aeradas e uma facultativa. A SANEAGO é responsável por essa estação com capacidade instalada de 58,14L/s. As Figuras 18 e 19 ilustram a lagoa aerada e o lançamento do efluente tratado.



Figura 18 - Visão da lagoa aerada da ETE Santo Antônio do Descoberto.



Figura 19 - Lançamento do efluente tratado no rio Descoberto

4.2 - POSTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O monitoramento prevê o levantamento de dados e informações de parâmetros que são úteis para avaliação da qualidade da água. Essa é uma ferramenta muito importante na gestão de recursos hídricos e para estudos de qualidade de água.

A identificação dos postos de monitoramento foi feita a partir da verificação dos pontos que apresentavam dados fluviométricos e de qualidade da água disponíveis, os quais serão descritos no próximo item. As coordenadas desses pontos juntamente com seus nomes, os quais são apresentados na Figura 20, foram obtidas por meio do Sistema de Informações Hidrológicas *HIDROWEB*, da Agência Nacional das Águas (ANA). Ainda em relação a essa

figura, percebe-se que não são todos os postos que possuem monitoramento de fluviometria, como é o caso no rio Melchior.

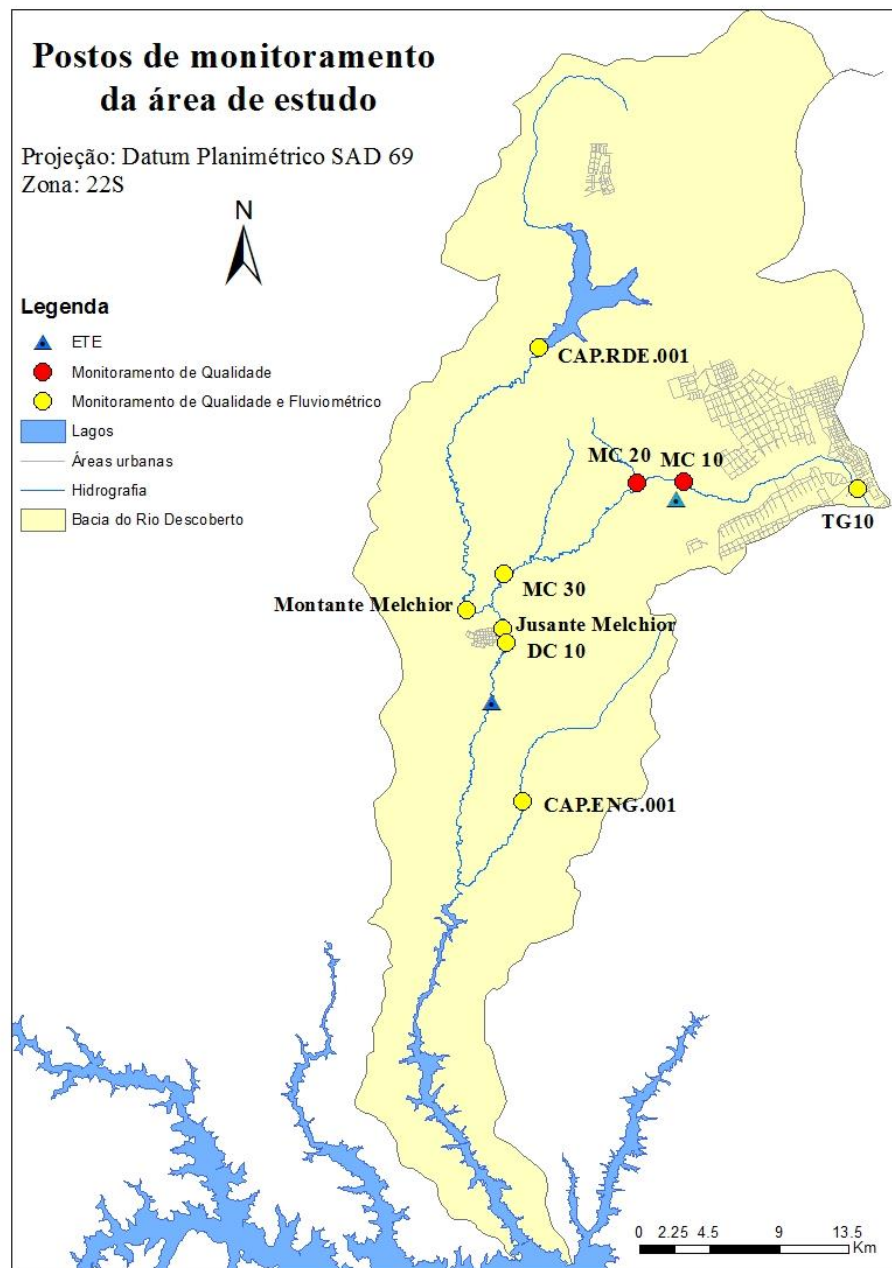


Figura 20- Postos de monitoramento fluviométrico e qualidade da área de estudo

A Tabela 11 descreve de forma sucinta a localização dos pontos de monitoramento, bem como seu código, nome, corpo hídrico, latitude, longitude e os parâmetros monitorados pela CAESB em cada posto. Entretanto, apenas os dados fornecidos de OD e de DBO foram utilizados para a simulação da qualidade da águas dos rios Descoberto e Melchior.

Tabela 11 - Pontos de monitoramento das águas superficiais operados pela CAESB (modificado de ADASA, 2012)

Código	Nome	Corpo hídrico	Localização dos pontos	Latitude	Longitude	Parâmetros monitorados
CAP.RDE.001	Captação Descoberto	Descoberto	A jusante da Barragem Descoberto	15°46'44"S	48°13'59"W	T, água, OD, SS, DQO, PT, NH ₃ , NO ₂ , NT, E <i>total</i> , E <i>coli</i> , pH
-	Descoberto Montante Melchior	Descoberto	A montante do rio Melchior	15°55'47"S	48°16'29"W	T, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT
-	Descoberto Jusante Melchior	Descoberto	A jusante do rio Melchior	15°56'28"S	48°15'12"W	T, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT
DC10	Descoberto Sul	Descoberto	Montanteda confluência do rio Descoberto com o Córrego Samambaia	15°56'51"S	48°15'14W	T, OD, pH, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT, PT
TG10	Córrego Taguatinga	Taguatinga	Montante do lançamento de esgoto bruto de Taguatinga, próximo Às nascentes do corpo de água e a ponte do metrô.	15°51'25"S	48°03'04"W	T, OD, DBO, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT, pH

MC10	Rio Melchior	Melchior	Montante ao lançamento do efluente ETE Samambaia, cerca de 50m	15°51'27"S	48°08'58"W	T, OD, DBO, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT, pH
MC20	Rio Melchior	Melchior	Jusante do lançamento da ETE Melchior e da ETE Samambaia, próximo a rodovia DF-180	15°51'25"S	48°10'39"W	T, OD, DBO, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT, pH
MC30	Rio Melchior-Fazenda Limeira	Melchior	Após a confluência do rio Melchior com o córrego Salta Fogo, próximo a rodovia DF-190	15°54'30"S	48°14'58"W	T, OD, DBO, OD, DBO, NH ₃ , NO ₂ , NT,PT, pH
CAP.ENG.001	Captação Engenho Lajes	Rib. Engenho Lajes	Cerca de 8 km da confluência com o rio Descoberto	16°05'00"S	48°18'00"W	T, água, OD, SS, DQO, PT, NH ₃ , NO ₂ , NT, E total, E coli , pH

4.2.1 - Aquisição de dados necessários ao QUAL2K E WEAP

Depois de identificar os postos de monitoramento, foram adquiridos dados relativos aos postos para serem inseridos no QUAL2K e no WEAP

O modelo QUAL2K necessita de dados de concentrações de diferentes constituintes, como por exemplo, OD, DBO, nitrogênio, fósforo, vazão e características geométricas do rio que servirão de dados de entrada referente à qualidade da água na cabeceira do rio. Informações sobre as cargas de fontes pontuais também são requisitadas, entre elas estão valores de vazão, temperatura e concentrações de diversos constituintes. Como o QUAL2K trabalha com a discretização espacial baseada em trechos, é necessário definir valores de dados de entrada do modelo (tais como declividade e diferentes coeficientes) para cada trecho.

A Figura 21 tem a descrição dos principais dados de entrada e coeficientes necessários para inserir na planilha do Excel referentes à cabeceira dos rios (*headwater*), às fontes pontuais e aos trechos para a simulação da qualidade da água no QUAL2K.

O WEAP necessita de dados populacionais, características hidráulicas e de qualidade do rio, além de informações sobre os reservatórios e as ETEs, conforme descrita na Figura 22.

A CAESB é responsável pelo monitoramento da qualidade da água dos corpos receptores das ETEs. São feitas análises de parâmetros físicos e físico-químicos, como temperatura do ar e da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, flúor, condutividade, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, ferro dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, sólidos suspensos, ferro dissolvido, íon amônia livre, nitrito, nitrato, sulfeto e *E.coli*. Essa análise é feita bimestralmente. Os dados foram disponibilizados para o período de 2003 a 2013.

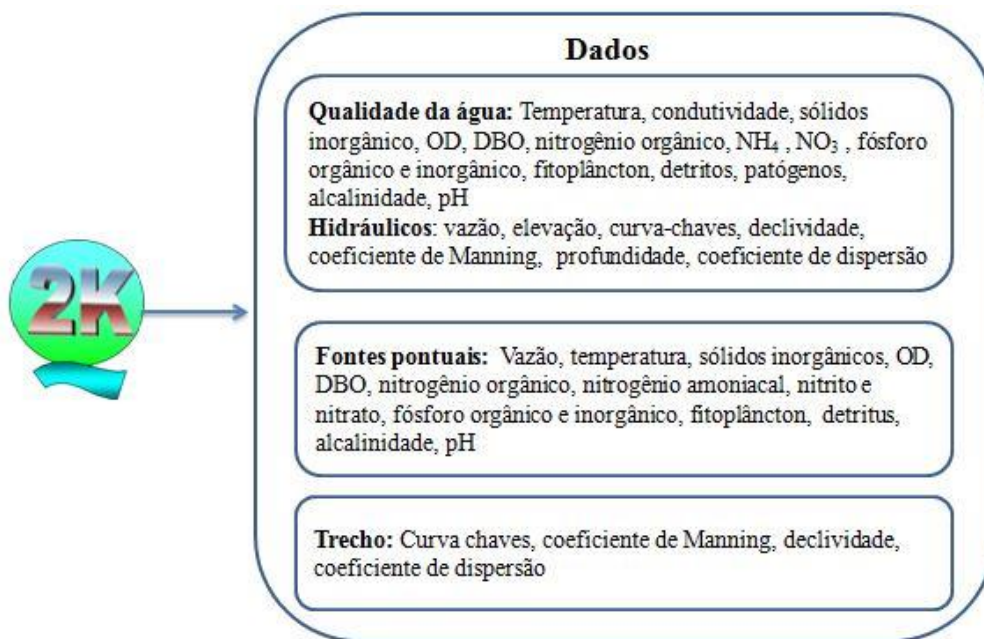


Figura 21 - Dados necessários para a modelagem da qualidade da água no QUAL2K

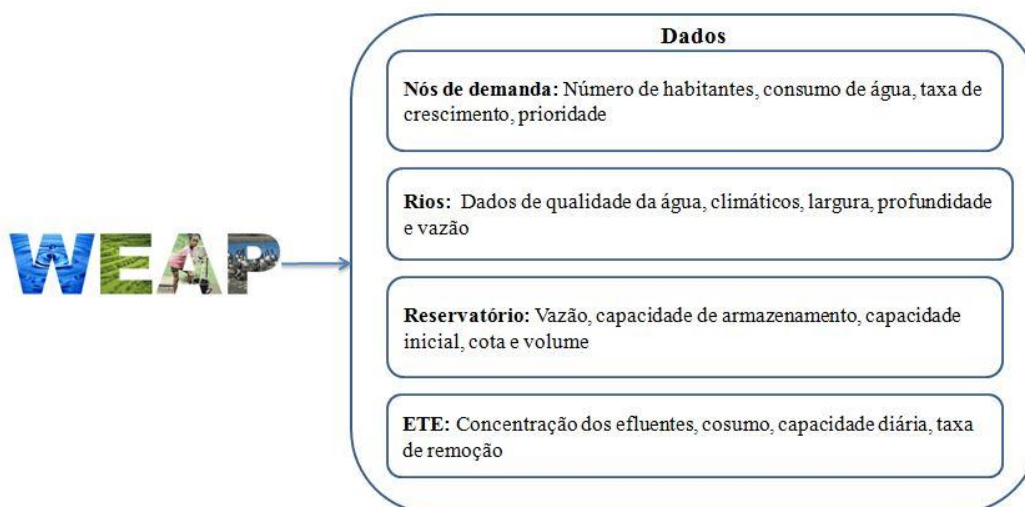


Figura 22 - Dados necessários para o WEAP.

Os parâmetros escolhidos para a modelagem da qualidade da água, para o presente trabalho, foram o OD e a DBO, por estarem associados à poluição por despejos das ETEs, e por serem monitorados em quase todos os postos, como pode ser observado na Tabela 12 o que possibilitou a obtenção de melhores resultados para a calibração do QUAL2K.

Tabela 12 - Parâmetros de OD e DBO medidos nas estações da área de estudo

Estação	OD	DBO
CAP.RDE.001	x	-
Descoberto Montante		
Melchior	x	-
Descoberto Jusante		
Melchior	x	-
DC10	x	x
TG10	x	x
MC10	x	x
MC20	x	x
MC30	x	x
CAP.ENG.001	x	-

A CAESB também forneceu dados da qualidade do efluente final das ETEs Samambaia e Melchior para os parâmetros de pH, DBO, *Nitrogênio Total Kjeldahl* (NTK), NH₄, fósforo total, ortofosfato, sólidos totais, nos períodos de monitoramento entre 2005 a 2009. Adicionalmente foram disponibilizados vazão, velocidade, profundidade e área molhada, pela CAESB. Esses dados foram importantes para a parte hidráulica utilizada no modelo QUAL2K para os resultados simulados de velocidade, vazão e profundidade.

A SANEAGO é responsável por parte do monitoramento da qualidade da água do rio Descoberto. Embora seja divulgado que existe coleta de dados a montante e à jusante do lançamento de efluente da ETE Santo Antônio do Descoberto, apenas os dados do ano de 2014 foram disponibilizados e os dados de OD e DBO estão incompletos na maioria dos meses. Os dados hidrológicos não foram disponibilizados em nenhum momento.

4.2.2 - Modelagem da qualidade da água no modelo QUAL2K

Para fazer a integração entre os modelos QUAL2K e WEAP, inicialmente desenvolveu a planilha do QUAL2K, na versão 2.07, pois é a única aceita para a integração com o WEAP, referente ao mês de setembro de 2004. Esse período foi escolhido por ser em média o período mais seco no DF, em consequência da ausência de chuvas, fazendo com que as cargas das fontes pontuais permaneçam mais concentradas no corpo hídrico. O ano de 2004 foi escolhido por haver maior disponibilidade de dados em função da execução do Projeto Descoberto, desenvolvido entre 2001 e 2006, com o objetivo desenvolver e selecionar técnicas e metodologias de redes de monitoramento das águas e de bacias de pequeno porte na região da bacia do rio Descoberto.

A calibração do mês de setembro de 2004 foi feita com base nos valores observados em campo e levantados pelo Projeto Descoberto, pois apresentavam mais pontos de monitoramento do que os fornecidos pela CAESB para esse ano. Durante a calibração, fizeram-se ajustes nos coeficientes de reaeração e na taxa de oxidação da DBO para o ajuste do perfil do OD e da DBO ao longo do rio.

Os coeficientes e taxas da planilha do mês de setembro de 2004 foram utilizados para a simulação das planilhas dos outros 11 meses do mesmo ano e para a do mês de setembro de 2009. Essa última planilha foi utilizada para fazer a integração com o WEAP para servir como dados de entrada para as iterações realizadas para simulação dos cenários futuros. Os outros meses de 2009 foram simulados no WEAP por meio da integração com o QUAL2k. A Figura 23 apresenta um fluxograma de todas essas etapas até o momento da integração com o WEAP. É importante lembrar que o WEAP utiliza apenas um arquivo do QUAL2K para simular a qualidade da água para todos o período de simulação. Essa é uma fragilidade da integração QUAL2K-WEAP, pois sabemos que pode haver uma diferença significativa nos valores dos coeficientes de períodos secos e chuvosos durante a modelagem da qualidade da água.

O ano utilizado como base para todas as simulações foi o ano de 2009, em razão da indisponibilidade dos dados de qualidade dos efluentes da ETE Melchior e Samambaia pela CAESB a partir desse ano.

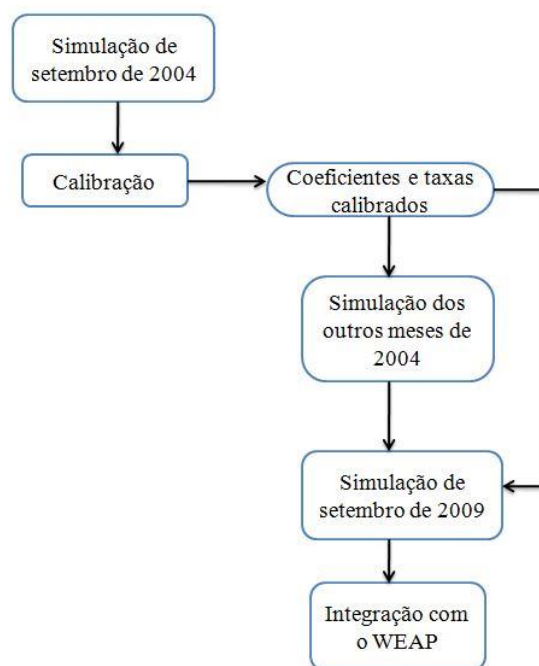


Figura 23 - Etapas da simulação com as planilhas do modelo QUAL2K até a integração com o WEAP

4.2.2.1 - Discretização espacial do curso do rio Descoberto e Melchior para modelagem da qualidade da água

A modelagem com uso do QUAL2K inicia-se com a definição da segmentação ou discretização espacial do curso do rio a ser modelado, com definição do canal principal e de seus afluentes (tributários). Para o presente trabalho, o rio principal é o rio Descoberto que possui dois tributários, o rio Melchior e o rio Engenho Lajes. Esta definição no QUAL2K é realizada ao se preencher as planilhas correspondentes a cada rio e para caracterização.

Os trechos foram divididos em elementos computacionais para uma representação real e pôde-se perceber que quanto maior o número de trechos e de elementos, mais detalhada era a simulação do rio. Embora as estações de monitoramento sejam poucas e muito distantes entre si, procurou-se dividir os trechos considerando suas características hidráulicas e também procurou-se encontrar o melhor ajuste do comportamento dos parâmetros ao longo do rio a partir do exercício de calibração do modelo.

A extensão do rio Descoberto, a jusante da barragem de mesmo nome até o lago Corumbá IV, é de aproximadamente 58 km, como dito anteriormente. Esse corpo hídrico foi segmentado em 11 trechos com diferentes distâncias, como pode ser observado na Figura 24, que apresenta o diagrama unifilar dos rios em estudo. O ribeirão Engenho Lajes foi considerado apenas como uma fonte pontual, devido à existência apenas de um posto de monitoramento em todo o segmento do rio.

O rio Melchior foi dividido em 8 trechos, de diferentes extensões, que totalizaramem seu comprimento de aproximadamente 35 km, medido a partir do córrego Taguatinga, conforme representado na Figura 24.

Ainda com relação a essa figura, pode-se observar que nela estão representados os números de cada trecho, o fluxo de cada rio e a localização dos postos de monitoramento. O nome dos trechos dos corpos hídricos identificados por sequência de números são descritos na Tabela 13, bem como quilometragem de seu ponto inicial e final, e seus respectivos postos de monitoramento.

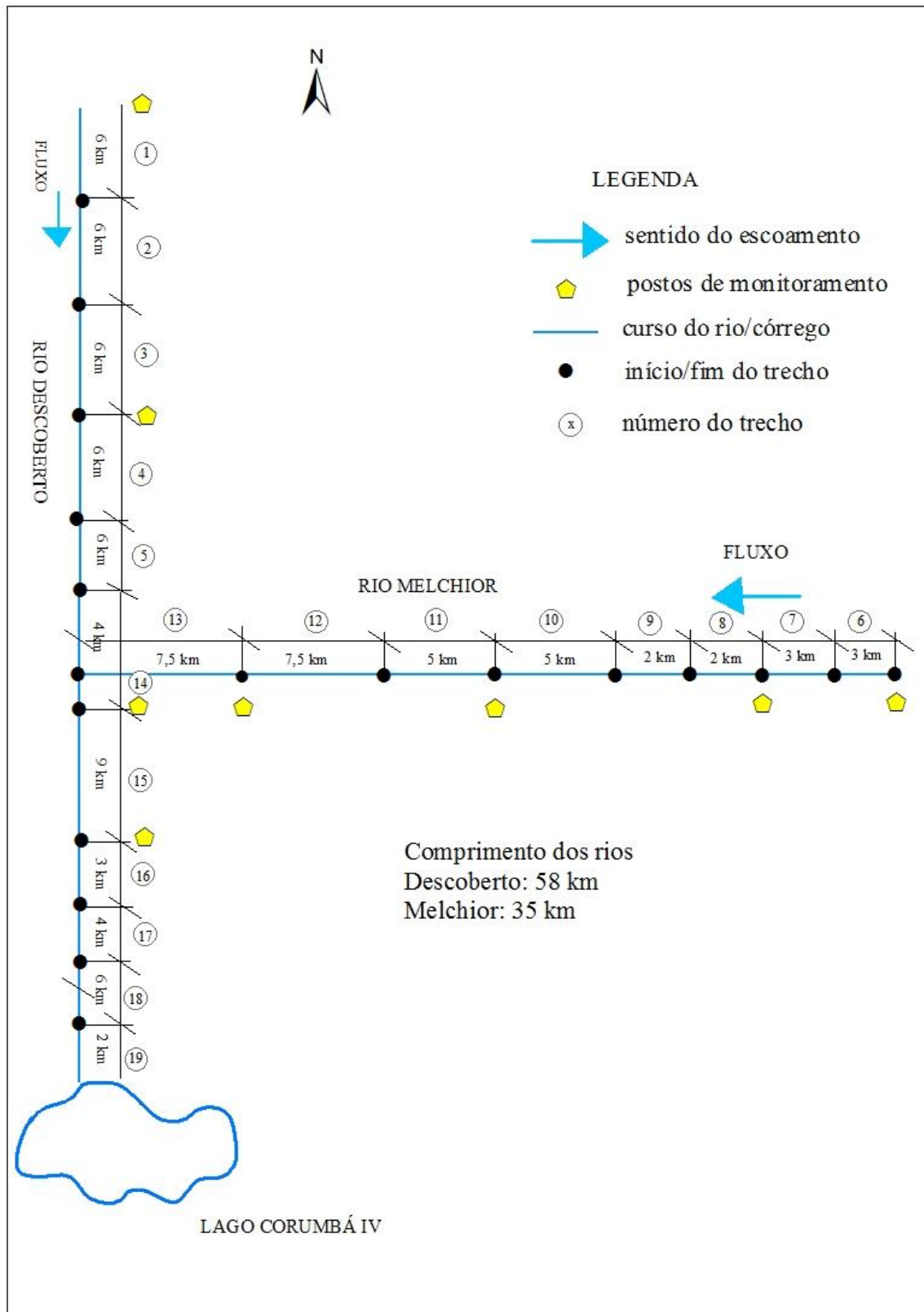


Figura 24 - Diagrama unifilar no modelo QUAL2K para os rios Descoberto e Melchior

Tabela 13 - Divisão dos trechos com seus respectivos postos de monitoramento

Corpo hídrico	Número do trecho	Nome do trecho	Início do trecho (km)	Final do trecho (km)	Postos de monitoramento	
Descoberto	1	trecho 58-52	58	52	CAP.RDE.001	
	2	trecho 52-46	52	46		
	3	trecho 46-40	46	40		
	4	trecho 40-34	40	34	Montante Melchior	
	5	trecho 34-28	34	28		
	14	trecho 28-24	28	24	Jusante Melchior	
	15	trecho 24-15	24	15		
	16	trecho 15-12	15	12	Descoberto Sul	
	17	trecho 12-8	12	8		
	18	trecho 8-2	8	2		
	19	trecho 2-0	2	0		
	Melchior	6	tribMelc 35-32	35	32	TG10
		7	tribMelc 32-29	32	29	
		8	tribMelc 29-27	29	27	MC 10
		9	tribMelc 27-25	27	25	
		10	tribMelc 25-20	25	20	
		11	tribMelc 20-15	20	15	MC20
		12	tribMelc 15-7.5	15	7.5	
		13	tribMelc 7.5-0	7.5	0	MC 30

Características hidráulicas

As características hidráulicas variam de acordo com os trechos de cada corpo hídrico. Os valores de altitude das cabeceiras dos rios foram obtidos pelas curvas de nível da região da área de estudo disponibilizados pela Terracap (2009).

Os valores de inclinação, coeficiente de dispersão e coeficiente de Manning para cada trecho foram os mesmos utilizados por Ribeiro (2001) e são apresentados na Tabela 14. Para os dados de vazão e profundidade das nascentes, utilizaram-se os valores medidos pela CAESB dos postos de monitoramento CAP.EDE.001 e TG10 .

Tabela 14 - Características hidráulicas dos trechos.

Número do trecho	Nome do trecho	inclinação lateral 1	inclinação lateral 2	coeficiente de dispersão(m ² /s)	coeficiente de Manning
1	trecho 58-52	0,3	0,3	60	0,045
2	trecho 52-46	0,3	0,3	60	0,045
3	trecho 46-40	0,3	0,3	60	0,045
4	trecho 40-34	0,3	0,3	60	0,045
5	trecho 34-28	0,3	0,3	60	0,045
6	trecho 28-24	0,2	0,2	60	0,045
7	trecho 24-15	0,2	0,2	60	0,045
8	trecho 15-12	0,2	0,2	60	0,045
9	trecho 12-8	0,2	0,2	60	0,045
10	trecho 8-2	0,2	0,2	60	0,045
11	trecho 2-0	0,2	0,2	60	0,045
12	trib Melc 35-32	0,5	0,5	60	0,045
13	trib Melc 32-29	0,5	0,5	60	0,045
14	trib Melc 29-27	0,5	0,5	60	0,045
15	trib Melc 27-25	0,5	0,5	60	0,045
16	trib Melc 25-20	0,5	0,5	60	0,045
17	trib Melc 20-15	0,2	0,2	60	0,045
18	trib Melc 15-7.5	0,3	0,3	60	0,045
19	trib Melc 7.5-0	0,2	0,2	60	0,045

Os coeficientes e expoentes das equações potenciais, que relacionam velocidade média e profundidade em função da vazão, foram calculados por meio da equação exponencial que relacionou uma série histórica de dados de velocidade, profundidade e vazão fornecida pela CAESB. Essa etapa foi realizada no Excel e as equações obtidas para o ponto de monitoramento CAP.RDE.001 podem ser observadas nos gráficos que relacionam *velocidade e vazão*, e *profundidade e vazão* nas Figuras 25 e 26.

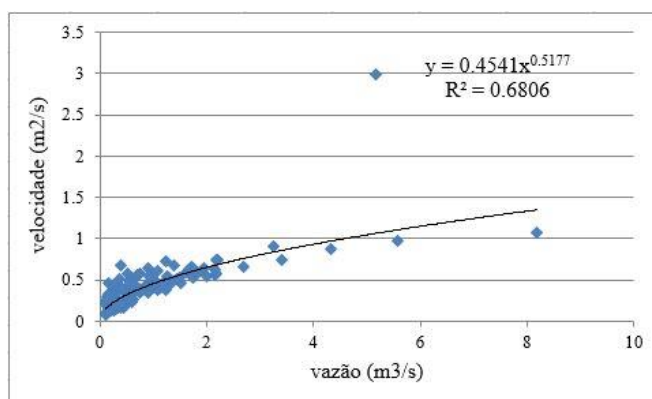


Figura 25 – Gráfico para determinação dos coeficientes de descargas do ponto CAP.RDE.001 por meio dos valores de velocidade e vazão.

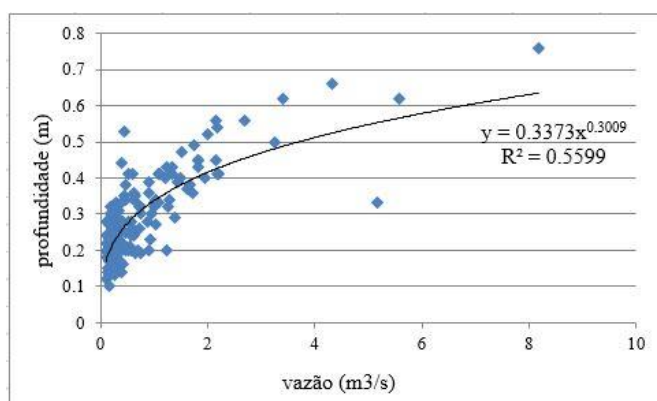


Figura 26 – Gráfico para determinação dos coeficientes de descargas do ponto CAP.RDE.001 por meio dos valores de profundidade e vazão.

Os expoentes e coeficientes foram calculados para todos os trechos que foram definidos no QUAL2K e os valores obtidos para cada trecho estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 - Coeficientes de descargas para cada trecho dos rios Descoberto e Melchior

Trecho	Coeficientes de descarga			
	velocidade		profundidade	
	coeficiente	expoente	coeficiente	expoente
1	0,454	0,517	0,337	0,300
2	0,454	0,517	0,337	0,300
3	0,454	0,517	0,337	0,300
4	0,454	0,517	0,337	0,300
5	0,294	0,400	0,309	0,514
6	0,294	0,400	0,309	0,514
7	0,294	0,400	0,309	0,514
8	0,294	0,400	0,309	0,514
9	0,211	0,565	0,265	0,369
10	0,211	0,565	0,265	0,369
11	0,211	0,565	0,265	0,369
12	0,211	0,565	0,265	0,369
13	0,211	0,565	0,265	0,369
14	0,177	0,567	0,347	0,391
15	0,177	0,567	0,347	0,391
16	0,223	0,331	0,305	0,572
17	0,454	0,517	0,337	0,300
18	0,223	0,331	0,305	0,572
19	0,223	0,331	0,305	0,572

Reaeração

Os coeficientes de reaeração k_2 foram calculados para cada trecho do rio de acordo com as fórmulas de O'Connor&Dobbins (1958), Churchill *et al* (1962) e Owens-Gibbs (Owens *et al.*, 1964), respeitando as devidas faixas de velocidade de cada equação. Os valores de profundidade e velocidade empregados nessas fórmulas referem-se ao mês escolhido para a simulação.

Os valores obtidos em cada trecho foram utilizados para o início da calibração no modelo QUAL2K e estão descritos no capítulo de apresentação e análise de resultados desse trabalho.

Coefficiente de remoção de DBO efetiva no rio

Embora o coeficiente de decomposição da DBO k_d seja determinado em laboratório, também pode ser calculado por meio da equação, como reporta von Sperling (2008), *apud* EPA (1985) e Thomann e Mueller (1987), em função da profundidade, a qual é descrita a seguir:

$$K_d = 0,3 * \left(\frac{H}{2,5}\right)^{-0,434} \quad (28)$$

em que H é a profundidade em média.

Esse coeficiente foi calculado para cada trecho, assim como foi feito com o coeficiente de reaeração, e os dados de profundidade referiram-se ao mês que foi simulado.

Fontes pontuais

As cargas das fontes pontuais podem ser introduzidas em qualquer trecho no modelo QUAL2K. O aporte de vazões e cargas pontuais em um rio pode ser caracterizado por lançamentos de esgotos ou por tributários.

O rio Descoberto recebe contribuições de dois tributários ao longo do seu curso, que são o rio Melchior e o ribeirão Engenho Lajes, como dito anteriormente. O ponto de contribuição do primeiro está localizado no trecho 28-24, no km 28, e do segundo está no trecho 8-2, no km 8, do rio principal.

Com relação aos lançamentos pontuais de esgotos, para as planilhas dos meses do ano de 2004, considerou-se apenas o efluente da ETE Samambaia e os esgotos brutos oriundos de Taguatinga e de Ceilândia que eram lançados *in natura* no rio Melchior, de acordo com Lima (2004). Ressalta-se que a ETE Melchior foi inaugurada em 2005.

Para a planilha de setembro de 2009, o aporte de cargas pontuais, além dos tributários no rio Descoberto, foram os da ETE Santo Antônio do Descoberto e os lançamentos de efluentes da ETE Melchior e da ETE Samambaia.. Como a distância entre os lançamentos da ETE Melchior e da ETE Samambaia é menor que 200 m, utilizou-se a equação da mistura para calcular a concentração das cargas dos contaminantes. Os respectivos trechos e localização dessas cargas pontuais, tanto da planilha de 2004 como da de 2009, estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Trecho e localização das cargas pontuais no rio Descoberto e Melchior para as planilhas de 2004 e 2009

	Carga pontual	Trecho	Localização (km)
Planilha de 2004	ETE Samambaia	trib Melc 25-20	20
	Esgoto Taguatinga	trib Melc 29-27	28
	Esgoto Ceilândia	trib Melc 35-33	31
Planilha de 2009	ETE Santo Antônio do Descoberto	trecho 15-12	15
	ETE Melchior + Samambaia	trib Melc 25-20	20

4.2.2.2 - Calibração do modelo QUAL2K

A calibração foi feita apenas no modelo QUAL2K para o mês de setembro de 2004, com os dados observados pelo monitoramento da CAESB e com os dados disponibilizados do Projeto Descoberto (2006).

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), foi calculado pela equação (29) , e apresenta uma relação entre a soma dos resíduos ao quadrado e a variância total dos dados observados. É uma estatística normalizada que define a magnitude relativa da variância quando comparada com a variação de dados de medição em campo. Os valores de NSE podem variar entre - ∞ e + 1. Valores próximos à 1 indicam menor erro.

$$NSE = 1 - \frac{\sum(Y_{obs} - Y_{est})^2}{\sum(Y_{obs} - \bar{Y}_{obsmed})^2} \quad (29)$$

4.2.3 - Simulação com o WEAP

A versão disponível para download no site do WEAP modela a qualidade da água para apenas um rio quando opta-se por integrar o modelo QUAL2K. A partir de contato direto com o SEI-Instituto Ambiental de Estocolmo, responsável pelo suporte técnico do modelo WEAP, foi possível obter diretamente do desenvolvedor do modelo a versão 3.439 do WEAP, em que é possível modelar o rio principal e seus tributários, mesmo quando utilizada a integração com o QUAL2K.

A etapa de simulação com o WEAP inicia-se com a construção da rede hídrica com o desenho dos rios, localização dos pontos de demanda, ETEs e reservatórios. Após isso, o cenário atual (*current account*) foi criado automaticamente e foram inseridos os dados referentes ao ano de 2009 nos pontos de demanda e nos trechos dos rios e ETEs. Em seguida, criou-se o cenário de referência, simulado no período de 2010-2030, que herdou características do cenário atual, mas com algumas alterações, como as taxas de crescimento populacional, e foi utilizado como base para os cenários futuros.

A última etapa foi a criação de cenários hipotéticos com relação ao crescimento populacional e características de operação das ETEs para serem simulados por meio da integração com o modelo QUAL2K. A partir disso, podem-se obter os resultados do comportamento do OD e da DBO nos rios Descoberto e Melchior. Esses cenários foram simulados para o período de 2010 a 2030. A Figura 27 apresenta o fluxograma da metodologia para a simulação da qualidade da água no WEAP.

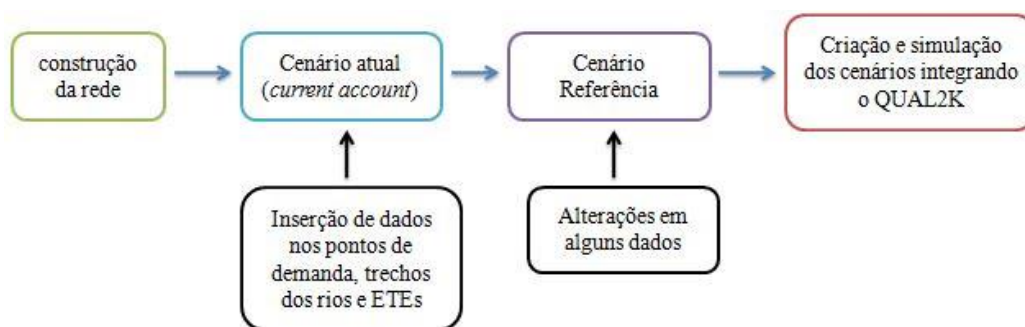


Figura 27 - Fluxograma da metodologia para a simulação da qualidade da água no WEAP com integração ao QUAL2K.

A seguir serão descritas com mais detalhes as etapas da metodologia utilizada no trabalho com o WEAP e os dados utilizados em cada uma delas.

Construção da rede

O primeiro passo para a construção da rede hídrica com os pontos de demanda e nós é a importação de *layers* em formato vetorial disponibilizados pela Terracap (2009), do rio Descoberto, Melchior e ribeirão Engenho Lajes. Após isso, desenharam-se os rios, inserem-se os pontos de demanda (em vermelho), as ETEs (em marrom), o reservatório (em verde) com as ferramentas do WEAP, como pode ser visto na Figura 28. Assim como foi feito no QUAL2K, devido aos lançamentos das ETEs serem muito próximos, considerou-se apenas uma ETE, cujo nome adotou-se de ETE MelcSam.

Cenário Atual (current account)

Após o desenho da rede, o Cenário Atual é criado automaticamente. Ele retrata as condições atuais do sistema hídrico.

O ano de 2009 foi utilizado como base, pois não foram disponibilizados dados de qualidade da água dos efluentes das ETEs de 2010 a 2015. Nesse cenário foram inseridas todas as informações de um ano, como dados sobre o sistema de recursos hídricos, número de habitantes, condições das ETEs e dados hidrológicos. Esses dados são descritos com maiores detalhes a seguir.

Cenário de referência

A função do cenário de referência é servir de modelo (ou padrão) para os próximos cenários e herda características do cenário atual, sem nenhuma interferência. Esse cenário foi simulado para o período de 2010 a 2030. Nele são inseridos dados sobre o crescimento demográfico, criação de novos locais de demanda, mudanças nas regras de operação dos reservatórios, ou qualquer tipo de interferência no sistema de recursos hídricos (Fonseca, 2008).

Os dados inseridos no cenário de referência foram os mesmos do cenário atual, porém com algumas alterações descritas a seguir.

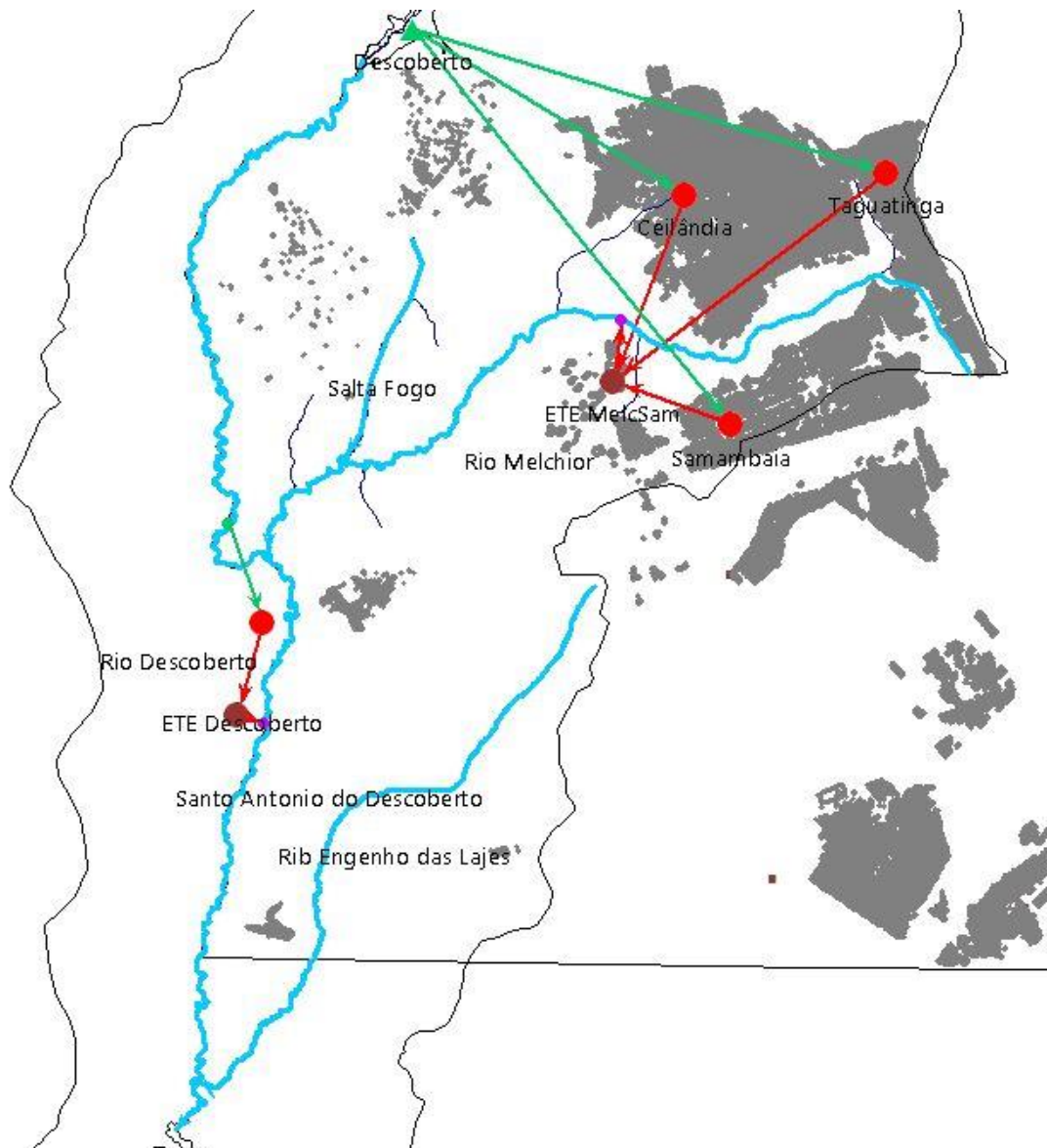


Figura 28 - Rede hídrica com os pontos de demanda e ETEs desenhados no WEAP

Nós de demanda

Os nós de demanda são as zonas urbanas da área de estudo em que há o consumo dos recursos hídricos (Fonseca, 2008), sendo eles: Ceilândia, Taguatinga, Samambaia e Santo Antônio do Descoberto. As informações inseridas nos nós de demanda foram:

- número de habitantes: como não existem dados disponíveis desse ano da Codeplan, utilizou-se uma função específica do WEAP para calcular a população referente a 2009 a partir dos dados obtidos pela Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílio para o ano 2004 (Codeplan, 2004). Esse dado foi inserido no cenário atual.

- Consumo per capita de água foram retirados de ADASA (2012).
- Taxa média de crescimento populacional: obtida pela CODEPLAN (2013). Essas taxas foram utilizadas no cenário de referência e alteradas nos cenários futuros e serão descritas posteriormente.
- Prioridade: estabelece a prioridade de consumo de água potável, sendo que 1 é a mais alta e 99 é a mais baixa.

Todos os dados referentes aos pontos de demanda podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados de entrada referentes ao ano de 2009 nos pontos de demandas

Nó de demanda	Número de habitantes	Consumo per capita (l/hab/d)	Taxa de crescimento(%)	Prioridade
Ceilândia	359.241	120	5,5	1
Taguatinga	178.290	181	4,09	1
Samambaia	201.728	120	2,3	1
Santo Antônio do Descoberto	63.248	100	2,2	1

Os dados relativos ao número de habitantes, consumo per cápita de água e prioridade foram inseridos no cenário atual, e os dois últimos dados foram iguais para todos os cenários. Já as taxas de crescimento populacional de cada cidade foram inseridas no cenário de referência, que a partir da função específica do WEAP, pôde-se determinar a população para o período de 2010 a 2030, utilizando a população de 2009 como base, conforme apresenta o gráfico da Figura 29.

A prioridade é essencial para o módulo de alocação de água do WEAP para a distribuição da água, de acordo com as necessidades de cada nó da rede. Como para esse estudo, consideraram-se somente demandas de água potável, para as cidades de Samambaia, Ceilândia, Taguatinga e Santo Antônio do Descoberto, o valor da demanda foi igual à 1 para todos os nós, pois todas as cidades apresentam as mesmas necessidades para o consumo de água.

Suprimentos e recursos(Supply and Resources)

Essa plataforma do WEAP representa todo o sistema hídrico, com informações de hidrologia, dados de qualidade da água e de clima para cada trecho do rio. Também estão

incluídos reservatórios, fluxos de transmissão e de retorno, os quais são apresentados a seguir.

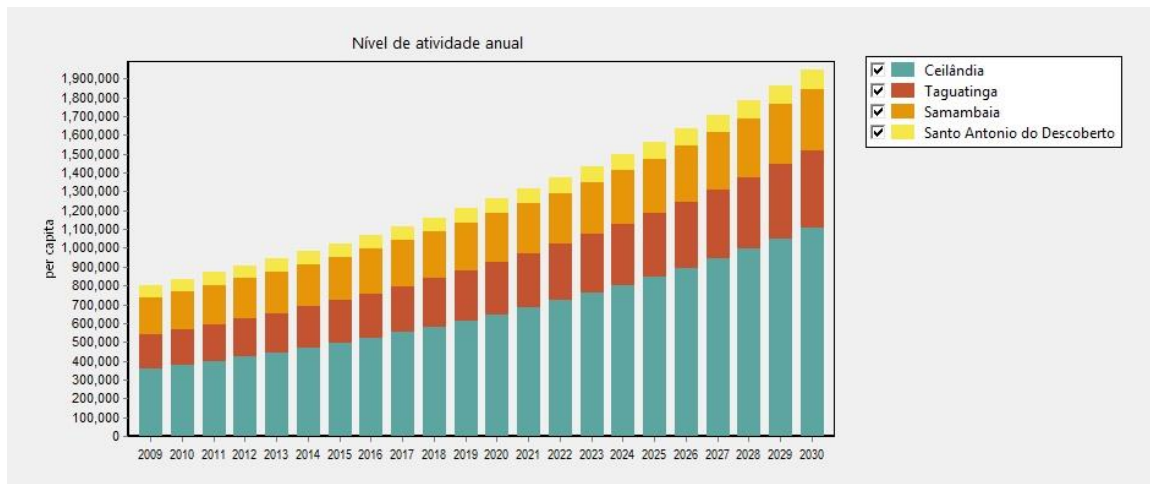


Figura 29- Crescimento populacional para o cenário de referência (2009-2030) com as taxas definidas pelo CODEPLAN (2013).

Rios

Os rios são formados por trechos e os dados são inseridos em cada um deles. As vazões e os dados sobre qualidade da água, fornecidos pela CAESB, foram inseridos para o ano base de 2009 e para o cenário de referência (2010-2030).

Por meio da função *ReadFromFile*, oferecida pelo WEAP, que pode ser usada para qualquer variável que requer uma série mensal ou anual, em que os valores referentes a esses anos são lidos por meio da planilha do Excel, inseriram-se os dados de qualidade da água e de vazão fornecidos pela CAESB dos anos de 2010 a 2014, para os cenários futuros. Considerou-se que esses dados são cíclicos para todos anos simulados pelos cenários.

Diferentemente do QUAL2K, em que o usuário estabelece o número de trechos, no WEAP, os trechos foram estabelecidos a partir de nós, que foram os pontos de lançamentos de efluentes das ETEs, captações de água e os pontos de confluência dos rios. Com base nisso, considerou-se o afluente do rio Melchior, o rio Salta Fogo, para formar o último trecho do tributário do rio Descoberto. É importante salientar que o rio Salta Fogo não foi representado no QUAL2K. Como a modelagem foi feita por meio da integração, as extensões e localizações das fontes pontuais estabelecidas no QUAL2K, foram as mesmas no WEAP.

Como os trechos no WEAP são formados a partir da entrada de uma fonte pontual, os dados de vazão, clima, concentração de OD e DBO do corpo hídrico de cada trecho, correspondem aos valores medidos nos postos de monitoramento da CAESB que se localizam no mesmo trecho. Não foi necessário inserir dados de velocidade e profundidade, pois essa leitura é feita a partir da integração com o modelo QUAL2K, segundo SEI (2012). A Tabela 18 apresenta os nomes dos trechos do WEAP juntamente com seus postos de monitoramento correspondentes.

Tabela 18 - Trechos do WEAP correspondentes aos postos de monitoramento da CAESB

Corpo Hídrico	Nome do trecho no WEAP	Postos de monitoramento
Descoberto	<i>Headwater</i>	CAP.RDE.001
	<i>rio Descoberto Headflow</i>	Montante Melchior
	<i>Sto Antônio do Descoberto</i>	
	<i>Withdrawal</i>	Montante Melchior
	<i>rio Melchior Inflow</i>	Jusante Melchior
	<i>ETE Sto Ant. Descoberto</i>	
Melchior	<i>Return</i>	Descoberto Sul
	<i>rib. Eng Lajes Inflow</i>	Descoberto Sul
	<i>Headwater</i>	TG 10
	<i>rio Melchior Headflow</i>	MC 10
	<i>ETE MelcSamInflow</i>	MC20
	<i>rio Salta Fogo Inflow</i>	MC30

A representação dos principais trechos dos rios Descoberto e Melchior determinados pelo WEAP são mostrados na Figura 30.

Como dito anteriormente, a integração dos dois modelos é feita por meio da adição do arquivo gerado pelo QUAL2K no WEAP. Após inserir os dados dos parâmetros de qualidade da água e o arquivo no WEAP, foi necessário fazer a correspondência dos rios e dos parâmetros de qualidade da água definidos no QUAL2K, para que assim, o programa fizesse as iterações necessárias para gerar resultados de qualidade de água dos cenários futuros.

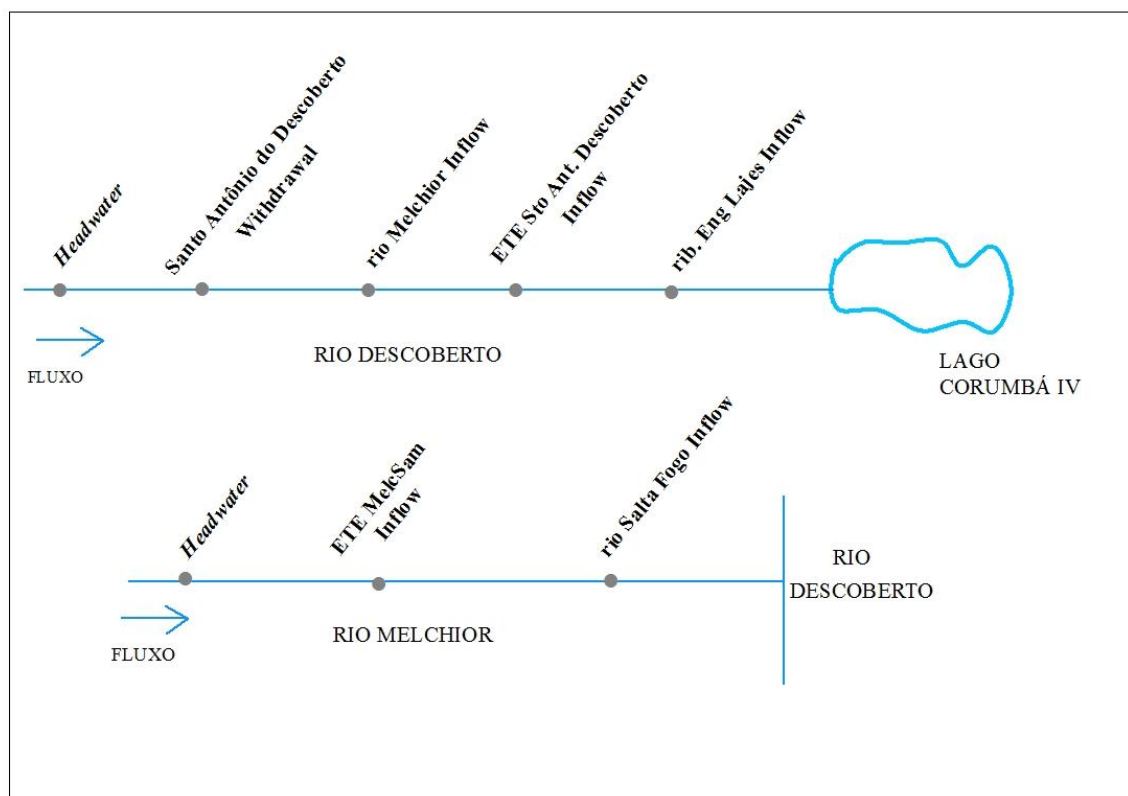


Figura 30 - Representação dos principais trechos dos rios Descoberto e Melchior no WEAP

Reservatório

O reservatório do Descoberto foi adicionado na rede hídrica do WEAP como forma de abastecimento dos nós de demanda, que são as cidades de Taguatinga, Ceilândia, Samambaia e Santo Antônio do Descoberto. A metodologia descrita para obtenção dos dados e modelagem do reservatório no WEAP foi a mesma utilizada por Monsalve-Herrera (2013).

Os reservatórios no WEAP acumulam água segundo as vazões geradas nos rios, por isso os dados de vazões mensais de entrada do reservatório, observados na Figura 31, foram obtidos somando as vazões dos afluentes do reservatórios que estão disponíveis no PGRH (ADASA, 2012). Sua operação está de acordo com as quatro zonas de operação, que são zona de controle de cheias, zona de conservação, zona buffer e zona inativa.

O WEAP requer características físicas, que são apresentadas na Tabela 19, como capacidade total de armazenamento, volume inicial, volume de conservação, volume inativo, coeficiente de amortecimento e prioridade. O WEAP utiliza o coeficiente de amortecimento para diminuir os lançamentos quando o nível de armazenamento está na zona de amortecimento.

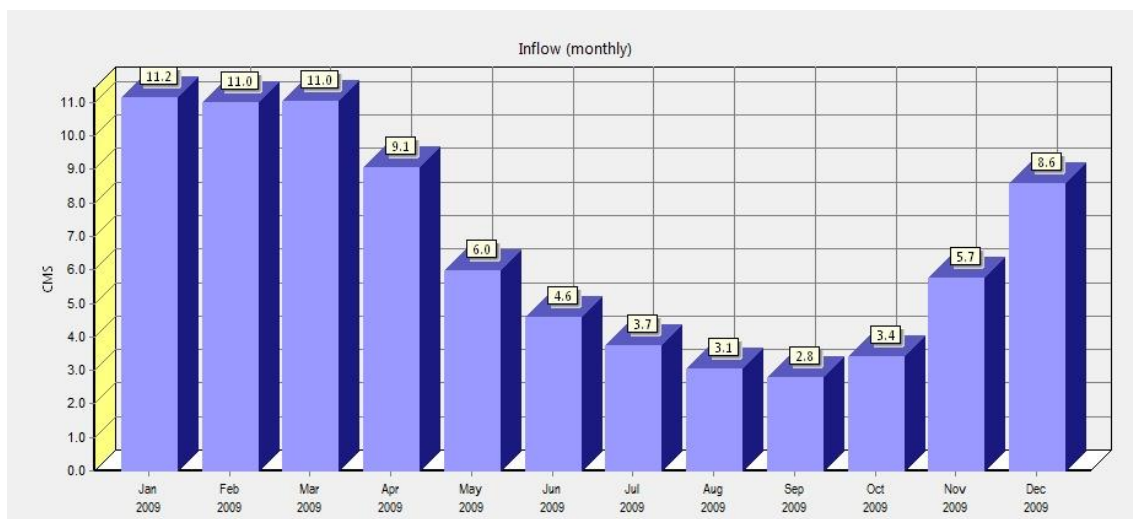


Figura 31 - Vazões de entrada no reservatório do Descobeeto em m³/s (Adasa, 2012)

Tabela 19- Características do reservatório necessárias para o WEAP (ADASA, 2012)

Característica necessárias	Valor
Capacidade de armazenamento	102,3 hm ³
Capacidade inicial	70 hm ³
Volume de conservação	85 hm ³
Volume inativo	9,97 hm ³
Coefficiente de amortecimento	1
Prioridade	99

Além dessas informações, foi necessário inserir a curva cota x volume e a taxa de evaporação líquida calculada por Monsalve-Herrera (2013). Ambos estão descritos nas Tabelas 20 e 21, respectivamente.

Tabela 20 - Dados de volume e vazão do reservatório Descoberto

Volume (m ³)	Cota (m)
0	1011
320000	1012
610000	1013
1000000	1014
1600000	1015
2600000	1016
4000000	1017
6000000	1018
8400000	1019
11200000	1020
15400000	1021
20400000	1022
27000000	1023

35100000	1024
44300000	1025
54000000	1026
64100000	1027
74800000	1028
87500000	1029
<u>102300000</u>	<u>1030</u>

Tabela 21 - Taxa de evaporação líquida do reservatório Descoberto

<u>Mês</u>	<u>Taxa de evaporação líquida (mm)</u>
Janeiro	-131,7
Fevereiro	-104,8
Março	-110,1
Abril	-15,4
Maio	69,2
Junho	105
Julho	119,1
Agosto	149,5
Setembro	87,6
Outubro	-49,5
Novembro	-156,6
<u>Dezembro</u>	<u>-163</u>

Os dados dos reservatórios foram iguais para todos os cenários.

Redes de transmissão (transmission links)

As redes de transmissão distribuem água do reservatório ou de um ponto de captação para os nós de demanda. O reservatório Descoberto fornece água para todas as cidades da área de estudo. No WEAP é necessário inserir os dados de vazão produzida por mensal ou anual para abastecer cada nó de demanda. Os dados referentes às cidades do DF estão descrito na Tabela 22 e foram retirados do PGIRH (ADASA, 2012).

Tabela 22 - Vazão produzida para abastecer os nós de demanda no WEAP

<u>Nós de demanda</u>	<u>Vazão captada (m³/ano)</u>
Ceilândia	34.082.866
Taguatinga	33.948.363
<u>Samambaia</u>	<u>12.768.369</u>

A estação de tratamento de esgoto recebe efluentes de um ou mais locais de demanda e sua vazão de entrada é calculada pelo somatório de todos os fluxos da cidade que são enviados para a ETE, assim como descreve a equação (30):

$$TreatmentPlantInflow_{TP} = \sum DSReturnLinkOutflow_{DS,TP} \quad (30)$$

em que $TreatmentPlantInflow_{TP}$ é a vazão de entrada na ETE proveniente dos nós de demanda e $\sum DSReturnLinkOutflow_{DS,TP}$ é o somatório das vazões dos nós de demanda encaminhados para as estações de tratamento de esgoto.

Santo Antônio do Descoberto possui um sistema de captação de água a montante da cidade no rio Descoberto que possui vazão de 3.942.000 m³/ano, segundo dados fornecidos pela SANEAGO. Levando em conta a equação descrita anteriormente, e que apenas 34,21% do volume total produzido por Santo Antônio do Descoberto, conforme citado anteriormente, é destinado para ETE de mesmo nome, a vazão destinada que foi inserida no WEAP foi de 2.264.373 m³/ano. Os dados para as redes de transmissão não se alteram nos cenários futuros.

Estações de tratamento de esgoto

Nesse módulo são inseridos dados sobre as ETEs, como a vazão diária, consumo, taxas de remoção e a concentração final dos efluentes oriundo das ETEs. Já que a ETE Melchior e a ETE Samambaia foram consideradas em conjunto, ou seja, como se fosse apenas uma ETE no modelo QUAL2K, para o WEAP foi adotado o mesmo procedimento. No entanto, as capacidades diárias das ETEs foram somadas, calculou-se a média ponderada das taxas de remoção de DBO, pois a vazão da ETE é muito alta. Esses dados, juntamente com o consumo, que contabiliza as perdas de água no efluente por evaporação ou outra forma, foram utilizados para o cenário atual 2009 e no cenário de referência (2010-2030) e são apresentados na Tabela 23. Adotou-se 0% para as perdas que ocorrem na ETE, pois a lagoa é pequena, ocorre pouca evaporação e a infiltração é nula.

Características da ETE	Valor
Vazão diária	240.105,6 (m ³ /dia)
Remoção de DBO	92%
Consumo	0%

A taxa de remoção de DBO para ETE Santo Antônio do Descoberto foi calculada com base nas taxas fornecidas por von Sperling (2009) para lagoa aerada, pois esse dado não foi disponibilizado pela SANEAGO. Sabe-se que essa é uma hipótese bastante otimista, pois considera-se que a ETE esteja operando em condições adequadas e segundo o que se espera de um sistema de lagoa de estabilização. Com isso, pode-se esperar que a carga lançada no rio Descoberto oriunda da ETE Santo Antônio do Descoberto esteja subestimada no presente trabalho. O consumo foi adotado como 0% pelo mesmo motivo que o da ETE MelcSam. A Tabela 24 apresenta as características dessa ETE que foram inseridas no WEAP.

Tabela 24 - Características da ETE Santo Antônio do Descoberto no WEAP

Características da ETE	Valor
Vazão diária	5.023,2(m ³ /dia)
Remoção de DBO	75%
Consumo	0%

4.2.4 - Criação dos cenários

Os cenários futuros são construídos por meio de um conjunto de alternativas e pressupostos ou políticas que podem afetar o sistema hídrico, de forma positiva ou negativa. Os cenários foram avaliados no que diz respeito aos objetivos definidos pelo tomador de decisão, que podem ser avaliações da qualidade da água, análises de custo e benefício, demanda de água, entre outros.

No presente trabalho, os cenários foram definidos em relação à problemática da ocupação urbana que é intensificada pelos conjuntos habitacionais que estão sendo construídos e projetados na área de estudo. Esses novos adensamentos urbanos podem exercer pressão nos sistemas de saneamento da cidade, e em consequência disso, as ETEs podem operar de maneira ineficiente lançando seus efluentes fora dos padrões determinados pela legislação, alterando os padrões de qualidade dos corpos hídricos receptores.

Diante disso, os cenários tiveram como objetivo avaliar a qualidade da água em relação ao crescimento populacional e à operação das ETEs, para isso, foram elaborados baseados nas alterações das taxas de crescimento populacional, eficiência de remoção de DBO e vazões diárias das ETEs, para os anos de 2010 a 2030.

Para o *cenário 1- atual*, as taxas de crescimento populacional, eficiência de remoção e vazão diária foram iguais ao cenário de referência. Entretanto, os valores de vazão e qualidade da água para todos os trechos dos rios Descoberto e Melchior foram modificados e referem-se aos dados fornecidos pela CAESB dos anos de 2010 a 2013 dos postos de monitoramento. Esses valores não foram alterados nos outros cenários e foram considerados como cíclicos para os outros anos. Esse cenário objetivou analisar as condições atuais do sistema.

No *cenário 2 - conjuntos habitacionais* mantiveram-se os dados de qualidade de água, dados de vazão hidrológicos e de vazão diária da ETE do cenário atual, porém alteraram-se as taxas de crescimento populacional de Samambaia e Santo Antônio do Descoberto para 4,6% e 4,4%, respectivamente. Aumentou-se em 20% a taxa de remoção de DBO da ETE Santo Antônio do Descoberto. O objetivo desse cenário foi avaliar o impacto do crescimento populacional, impulsionado pelos programas habitacionais, causado nas ETEs. Nesse caso, aumentou-se a taxa de crescimento populacional de Samambaia por ser a cidade do DF que atualmente está sendo impulsionada pelo crescimento dos conjuntos habitacionais construídos pelo programa do GDF e Santo Antônio do Descoberto, pelo mesmo motivo, porém os adensamentos urbanos estão em obras pelos recursos do Programa do Governo Federal, assim observado nas idas ao campo.

No *cenário 3 - adensamentos urbanos totais* a vazão da ETE Santo Antônio do Descoberto foi alterada para 7.000 m³/dia e todas as taxas de crescimento populacional também, conforme mostra a Tabela 25 . As eficiências de remoção de DBO para as ETEs não se alteraram para esse cenário. Assim como para o cenário 2 – conjuntos habitacionais e o cenário 3 – adensamentos urbanos totais pretendeu avaliar o mesmo impacto, porém com maiores taxas de crescimento para todas as localidades.

A taxa de crescimento populacional de 5% para Santo Antônio do Descoberto procurou tentar a ocupação dos vazios que existem dentro do perímetro urbano. A taxa de crescimento populacional de 6,0% proposta para Ceilândia considerou o problema das invasões que ocorrem nessa cidade. O valor de 5,5% para Taguatinga considerou uma parte de Águas Claras. Para Samambaia, adotou-se 6,0% para simular a construção de novos conjuntos habitacionais.

Tabela 25 - Taxas de crescimento populacional do cenário 3 - adensamentos urbanos totais

Localidade	Taxa
Ceilândia	6,0%
Taguatinga	5,5%
Samambaia	6,0%
Santo Antônio do Descoberto	5,0%

No cenário 4 - eficiência das ETEs manteve-se a capacidade da ETE Santo Antônio do Descoberto do cenário 3 - adensamentos urbanos totais, e as eficiências de remoção de DBO foram alteradas para 95%, tanto para essa estação, como para a ETE MelcSam. O objetivo desse cenário foi observar o impacto na qualidade da água.

No cenário 5 - eficiência da ETE MelcSam mantiveram-se as mesmas taxas de crescimento populacional do cenário 3 – adensamentos urbanos , entretanto, alterou a eficiência de remoção da ETE MelcSam para 60 %, segundo informações da CAESB, a carga orgânica está acima do projetado, alterando a eficiência de remoção . As capacidades diárias foram mantidas. Esse cenário visou analisar a qualidade da água tendo em vista um problema de operação e mediante diferentes taxas de crescimento.

A Tabela 26 possui o resumo de todas as alterações que foram feitas para os cenários conforme descritas anteriormente.

Tabela 26 – Dados dos cenários		
	Cidades	Taxas de crescimento populacional (%)
	Ceilândia	5,5
	Taguatinga	4,09
	Samambaia	2,3
Cenário 1 - atual	Santo Antônio do Descoberto	2,2
	ETE MelcSam	
	Vazão diária	remoção de DBO
	240.105,6 (m ³ /dia)	94%
	ETE Santo Antônio do Descoberto	
	Vazão diária	remoção de DBO
	5.023,2(m ³ /dia)	75%
Cenário 2 - conjuntos habitacionais	Cidades	Taxas de crescimento populacional (%)

	Ceilândia	5,5
	Taguatinga	4,09
	Samambaia	4,6
	Santo Antônio do Descoberto	4,4
	ETE MelcSam	
	Vazão diária	remoção de DBO
	240.105,6 (m ³ /dia)	92%
	ETE Santo Antônio do Descoberto	
	Vazão diária	remoção de DBO
	5.023,2(m ³ /dia)	95%
Cenário 3 - adensamentos urbanos totais	Cidades	Taxas de crescimento populacional (%)
	Ceilândia	6,0
	Taguatinga	5,5
	Samambaia	6,0
	Santo Antônio do Descoberto	5,0
	ETE MelcSam	
	Vazão diária	remoção de DBO
	240.105,6 (m ³ /dia)	92%
	ETE Santo Antônio do Descoberto	
	Vazão diária	remoção de DBO
7.000(m ³ /dia)	95%	
Cenário 4 - eficiência das ETEs	Cidades	Taxas de crescimento populacional (%)
	Ceilândia	6,0
	Taguatinga	5,5
	Samambaia	6,0
	Santo Antônio do Descoberto	5,0
	ETE MelcSam	
	Vazão diária	remoção de DBO
	240.105,6 (m ³ /dia)	95%
	ETE Santo Antônio do Descoberto	
	Vazão diária	remoção de DBO
7.000(m ³ /dia)	95%	

	Cidades	Taxas de crescimento populacional (%)
Cenário 5 - eficiência da ETE MelcSam	Ceilândia	6,0
	Taguatinga	5,5
	Samambaia	6,0
	Santo Antônio do Descoberto	5,0
	ETE MelcSam	
	Vazão diária	remoção de DBO
	240.105,6 (m ³ /dia)	60%
ETE Santo Antônio do Descoberto		
	Vazão diária	remoção de DBO
	5.023,2 (m ³ /dia)	75%

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM O QUAL2K

5.1.1 - Simulação para o mês de setembro de 2004

O primeiro passo para a simulação com o QUAL2K foi a modelagem do OD e da DBO referente ao mês de setembro de 2004 para obter os coeficientes de reaeração e remoção da DBO para serem lidos pelo WEAP no momento da integração entre os dois modelos.

Como dito anteriormente, o mês de setembro foi escolhido devido à ausência de chuvas e pelo fato da matéria orgânica, oriunda das cargas pontuais, estar mais concentrada no corpo hídrico devido à menor vazão no corpo hídrico.

De acordo com o perfil do OD no rio Descoberto, que está apresentado na Figura 32, os maiores valores para o oxigênio dissolvido são à montante do rio Melchior. Com a introdução de uma fonte pontual poluída, esse nível diminui. No caso do rio Descoberto, isso pode ser observado com a confluência com o rio Melchior, no trecho 28-24, altamente carregado de matéria orgânica proveniente dos esgotos lançados *in natura* naquela época. A queda do nível é causada pelo consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica. O menor valor de OD encontra-se próximo à 25 km da foz do rio Melchior, nesse ponto a qualidade da água apresenta-se em seu estado mais deteriorado. Em setembro as temperaturas são maiores no que nos outros meses, o que auxilia no aumento das taxas de oxidação biológica e a na diminuição da taxa de saturação de OD.

Com relação aos pontos marcados pelos quadrados verdes nos gráficos, representam os valores que foram observados em campo. Esse dados foram utilizados na calibração do mês de setembro, o que possibilitou o ajuste dos coeficientes para simular os outros meses de 2004 e o mês de setembro de 2009, sendo este o arquivo utilizado para a integração com o WEAP.

O nível de OD aumenta nos trechos seguintes, em razão da estabilização da matéria orgânica, à introdução de oxigênio atmosférico na massa líquida e parte da matéria orgânica que já foi transformada em compostos inertes. O valor da concentração do OD no ponto de encontro entre o rio Descoberto e o Lago Corumbá IV é de aproximadamente 3,7 mg/L.

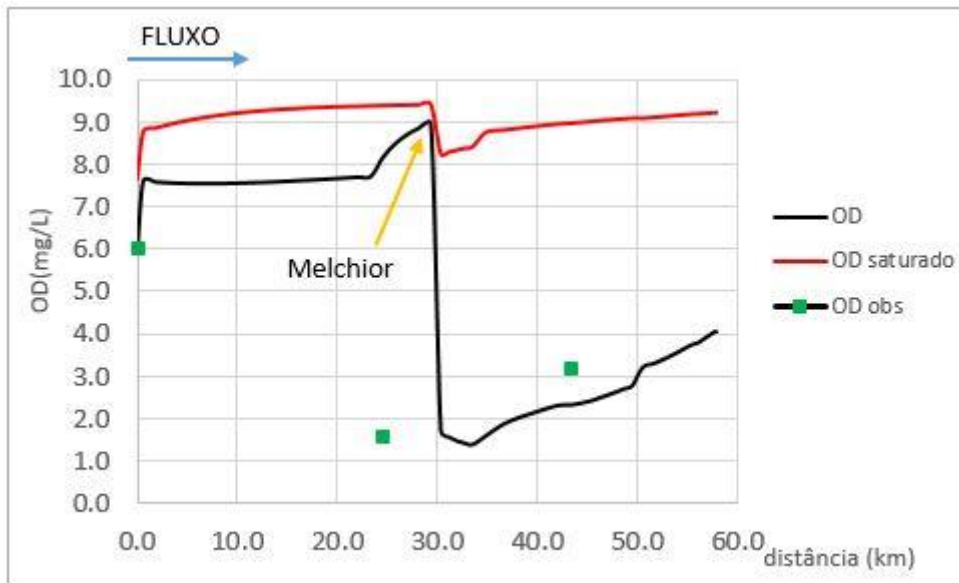


Figura 32- Comportamento do OD no rio Descoberto

Os comentários feitos para o comportamento do OD no rio Descoberto, estão relacionados ao comportamento da DBO, apresentado na Figura 33, pois são variáveis que estão relacionadas e são dependentes uma da outra. O ponto de maior valor da DBO, está no ponto de menor valor do OD, devido ao consumo de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica. A concentração da DBO que chega no Lago Corumbá IV nesse período era cerca de 70 mg/L.

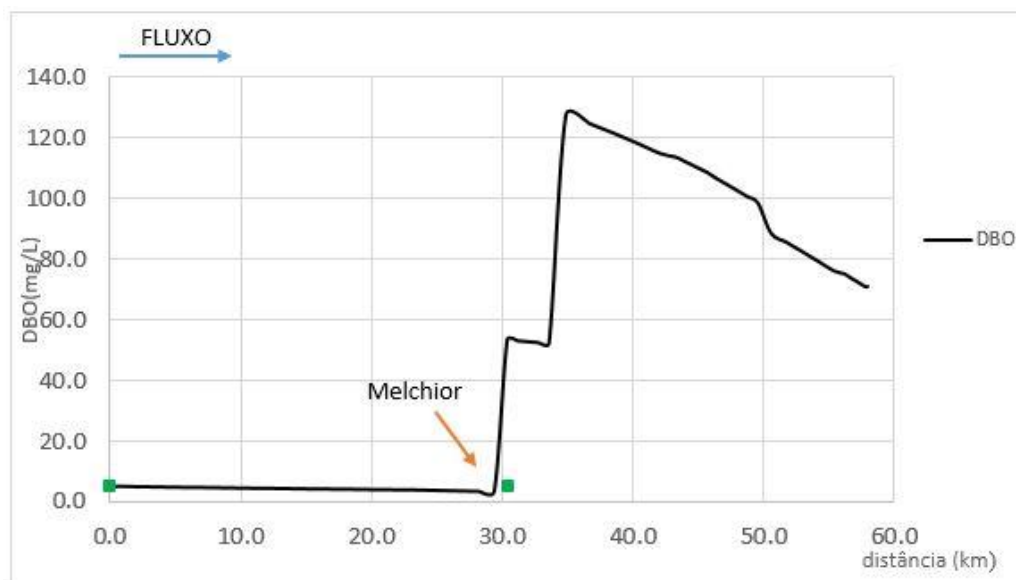


Figura 33 - Comportamento da DBO no rio Descoberto

Próximo à cabeceira do córrego Taguatinga, formador do rio Melchior, encontra-se o maior valor de OD, como pode ser observado na Figura 34. Logo em seguida há uma queda do seu nível, devido ao lançamento de efluentes sem tratamento no ano de 2004, produzidos por Taguatinga e Ceilândia. O nível de oxigênio aumenta à montante do lançamento da ETE Samambaia, no trecho 25-20, isso indica boa capacidade de autodepuração desse corpo hídrico, mesmo após o OD ter atingido praticamente zero. A concentração de OD aumenta nesse mesmo trecho, provavelmente à vazão proveniente da contribuição de seu afluente Lajinha e de suas características hidráulicas que contribuem para o aumento do coeficiente de reaeração nesse trecho. O nível de OD volta a diminuir novamente em consequência do lançamento de efluentes da ETE Samambaia, atingindo valores próximos a zero.

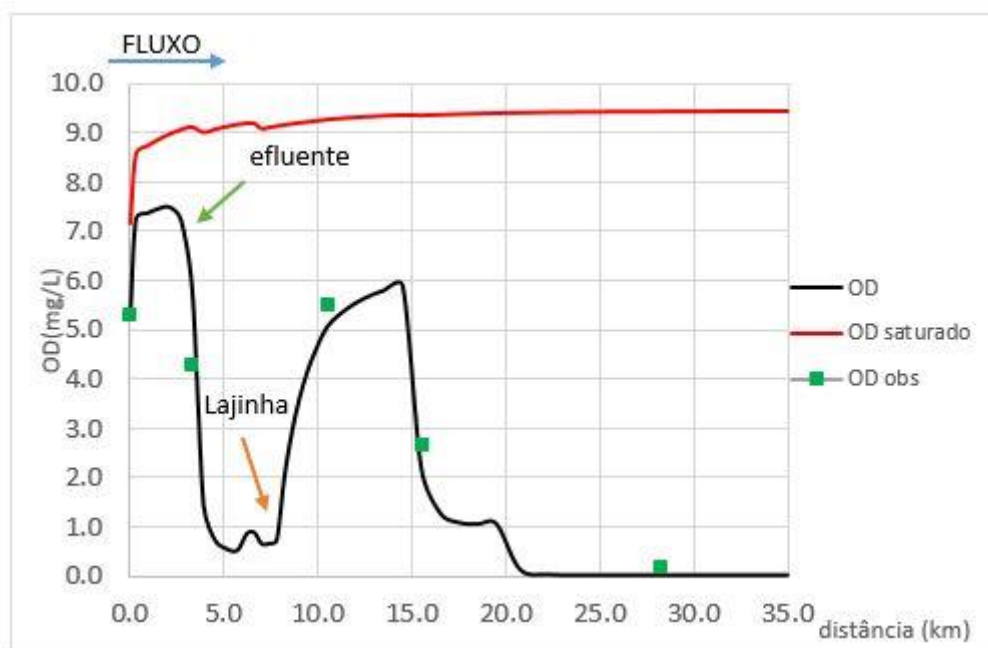


Figura 34- Comportamento do OD no rio Melchior

Os valores da DBO para o rio Melchior são elevados devido aos despejos de esgotos daquela época, altamente carregados de matéria orgânica, cuja concentração era cerca de 700 mg/L. O aumento da DBO está relacionado com o consumo de oxigênio pelos microrganismos para estabilizar a matéria orgânica, como pode ser observado na Figura 35. Os valores de DBO continuam elevados até o encontro do rio Melchior com o rio Descoberto devido à falta de oxigênio e reaeração nesse trecho.

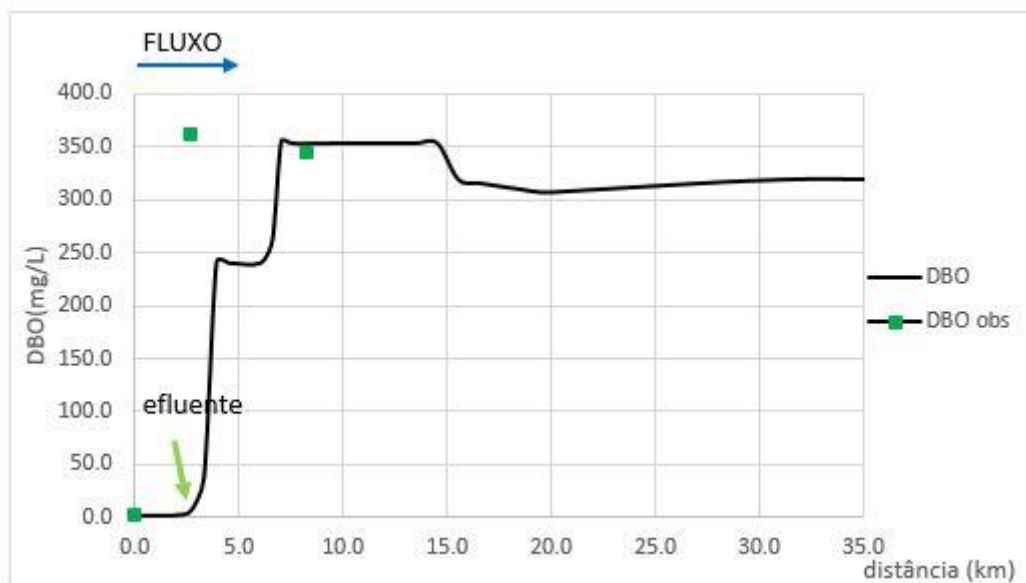


Figura 35 - Comportamento da DBO no rio Melchior

5.1.2 - Calibração do modelo QUAL2K

O modelo QUAL2K foi calibrado com os valores observados em campo pelo Projeto Descoberto e os disponibilizados pela CAESB. A calibração foi feita por meio do ajuste dos coeficientes de reaeração e remoção da DBO que serão apresentados no próximo item. Para sua avaliação foi calculado o NSE, apresentados na Tabela 27, dos dados de OD e DBO do rio Descoberto e Melchior

Tabela 27 - Coeficiente de determinação

	corpo hídrico	NSE
DBO	rio Descoberto	-0,5
	rio Melchior	0,99
OD	rio Descoberto	0,51
	rio Melchior	0,40

O NSE varia entre $-\infty$ a 1, ou seja, valores menores do que zero indicam que a média dos dados observados prevê melhor do que a simulação pelo modelo, enquanto valores próximos a 1 indicam um ajuste ótimo. Tomando como base isso, pode-se concluir que os valores de 0,99 para a DBO do rio Melchior e de 0,51 para o OD para o rio Descoberto, obtiverem um bom ajuste e o procedimento de calibração foi adequado. O pior valor foi de -0,55 para a DBO do rio Descoberto, o que significa que o desempenho não é satisfatório. A dificuldade da calibração ocorreu em virtude da ausência de dados observados dos postos de

monitoramento. No caso da DBO, a existência de dados observados é relativamente baixa, comparado com os de OD.

5.1.3 - Coeficiente de reaeração e de remoção da DBO

Os coeficientes de reaeração foram determinados por meio das fórmulas de O'Connor&Dobbins (1958), Churchill *et al.*(1962) e Owens-Gibbs (Owens *et al.*, 1964). O coeficiente de remoção foi calculado segundo a profundidade do rio, como descrito na equação (28). A Tabela 28 apresenta esses coeficientes já calibrados e que foram inseridos em todas as planilhas do QUAL2K, eles foram iguais ao longo de todas as simulações.

Tabela 28 – Coeficientes calibrados referentes aos trechos simulados no QUAL2K

Corpo hídrico	Trecho	coeficiente de reaeração	coeficiente de remoção da DBO
rio Descoberto	1	1,16	0,38
	2	1,16	0,38
	3	1,16	0,38
	4	1,16	0,38
	5	8,07	0,57
rio Melchior	6	4,00	0,57
	7	5,00	0,69
	8	5,00	0,69
	9	11,00	0,80
	10	11,00	0,10
	11	11,00	0,10
	12	11,00	0,63
	13	0,25	0,63
rio Descoberto	14	0,25	0,60
	15	9,81	0,63
	16	9,81	0,63
	17	9,81	0,63
	18	9,81	0,63
	19	10,00	0,63

Os trechos à jusante da barragem do Descoberto, que são do 1 ao 4, são os mais profundos do rio Descoberto, e portanto possuem maior dificuldade de mistura e menor turbulência.

A montante do rio Melchior, no trecho 5, o coeficiente de reaeração aumenta, devido ao aumento da velocidade nesse trecho, segundo os dados observados pela CAESB. Após a confluência com o rio Melchior, o coeficiente não sofre grandes alterações no modelo, principalmente nos trechos 15, 16, 17 e 18.

Com relação ao rio Melchior, os coeficientes variam bastante. O trecho mais profundos, representados pelos números 6, 7 e 8, simulados pelo QUAL2K, são à jusante da cabeceira e onde encontra-se o ponto de lançamento do efluente. Como existem poucos dados de hidrologia ao longo do percurso deste corpo hídrico, existem erros relacionados aos coeficientes de reaeração e remoção da DBO, pois os trechos iniciais são altamente encachoeirados. Os trechos 9, 10, 11 e 12 possuem alto coeficiente de reaeração em virtude do lançamento de esgoto, em que é necessário uma maior reaeração para recuperação do rio.

Embora haja valores tabelados em função da profundidade e da vazão, o coeficiente de remoção da DBO no rio foi determinado em função da profundidade, porém fizeram-se vários ajustes para obter melhores resultados na modelagem do OD e da DBO. Para o trecho 9, ocorre aumento do coeficiente de remoção da DBO em consequência de uma forte sedimentação.

Os valores dos coeficientes são fundamentais para a integração dos modelos, pois são lidos em todos os cenários para a modelagem da qualidade da água. É conveniente lembrar que esse valor é constante para os diferentes espaços de tempo ou meses das simulações, pois o WEAP utiliza apenas um arquivo do QUAL2K para todo o período de simulação, ou seja, os coeficientes não são recalculados a cada simulação.

5.1.4 - Simulação dos outros meses de 2004 e setembro de 2009

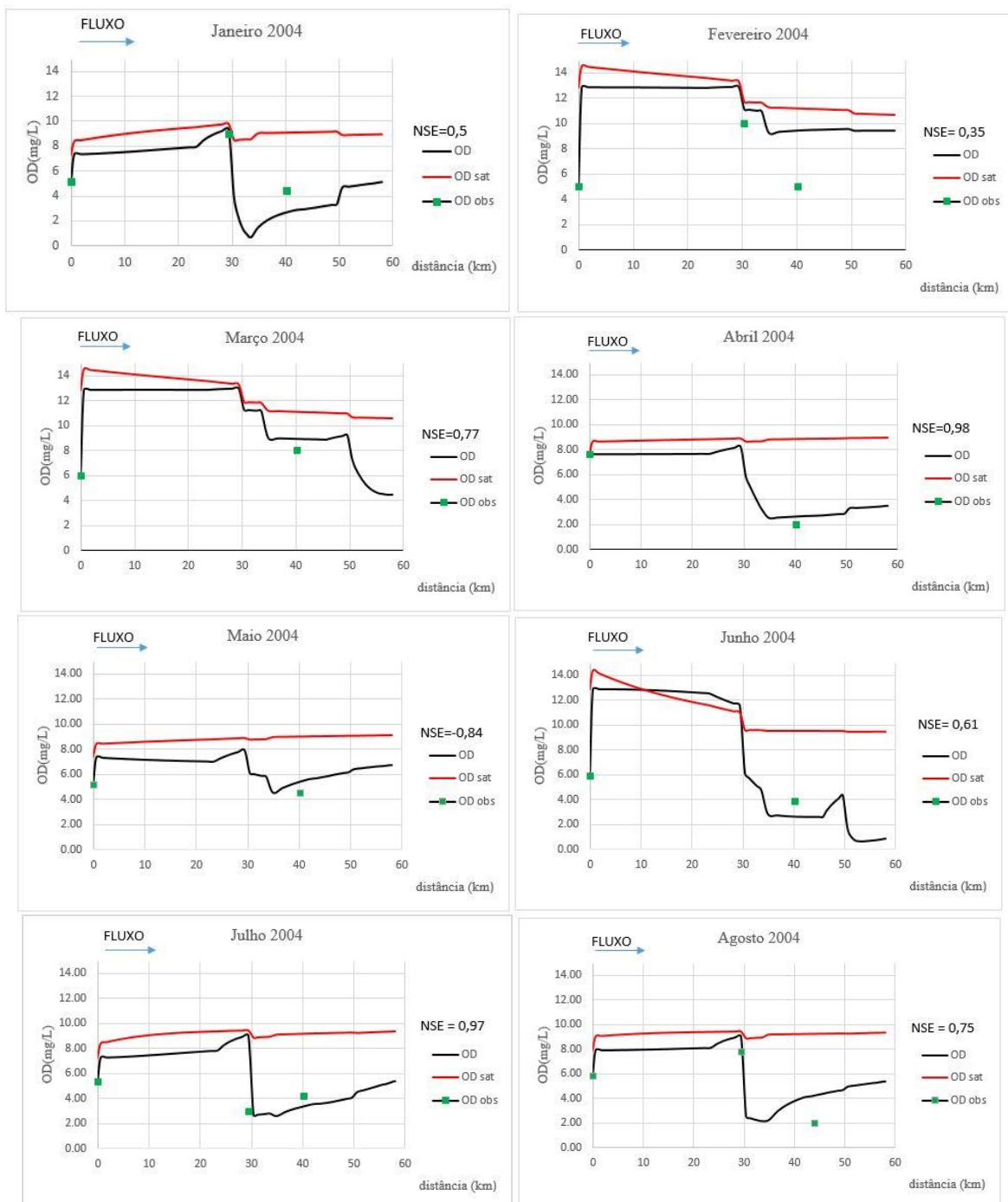
5.1.4.1 - Simulações com os meses de 2004

A Figura 36 apresenta a simulação do OD no rio Descoberto para o ano de 2004. Observa-se que os maiores valores de OD são de aproximadamente 13 mg/L nos meses de fevereiro e março, respectivamente, no ponto à montante da confluência com o rio Melchior. Nesses meses ocorrem períodos chuvosos que colaboram para o aumento do nível de OD na água.

Em geral o oxigênio dissolvido à montante do ponto de confluência entre os dois rios, apresenta-se próximo à sua saturação. A jusante desse ponto, as taxas de OD diminuem para todos os meses, devido à fonte pontual do afluente desse rio ser poluído. No mês de janeiro,

por exemplo, o OD diminui para 0,95 mg/L e depois começa a aumentar até o encontro com o Lago Corumbá IV, com concentração de aproximadamente 5 mg/L.

O aporte de cargas oriundo do DF, pelo rio Melchior, é bastante significativo para o rio Descoberto, isso é observado para todos os meses de 2004. Nesse local, o valor de OD é extremamente baixo, e o rio encontra-se na zona de degradação em que há uma completa desordem em relação à comunidade estável que existia antes. O consumo de oxigênio dissolvido para as atividades respiratórias dos microrganismos é reduzido.



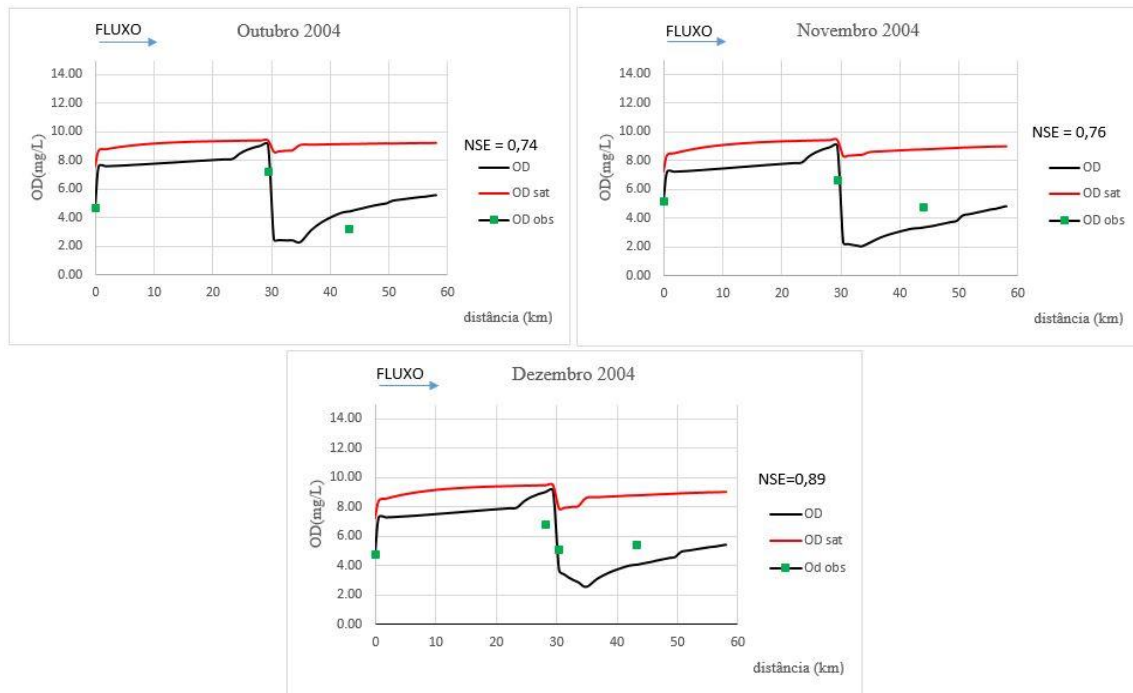
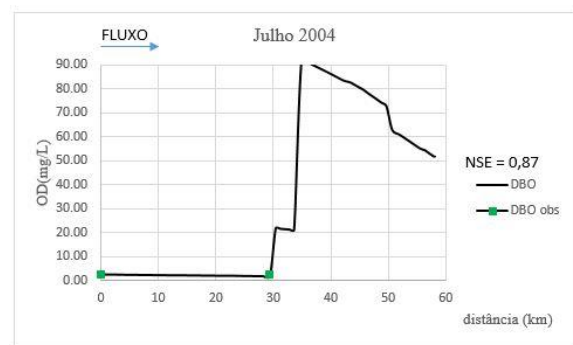
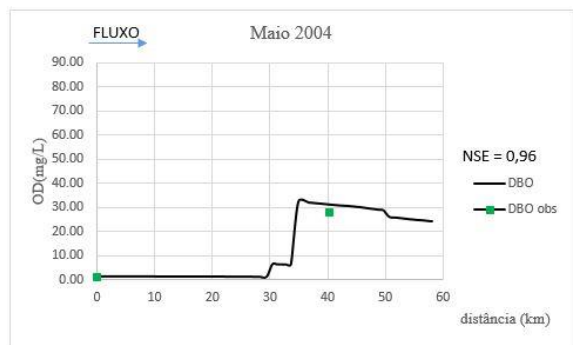
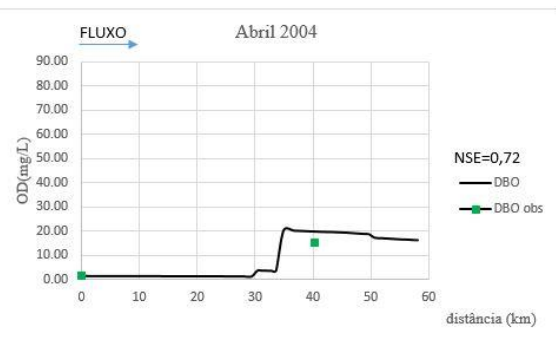
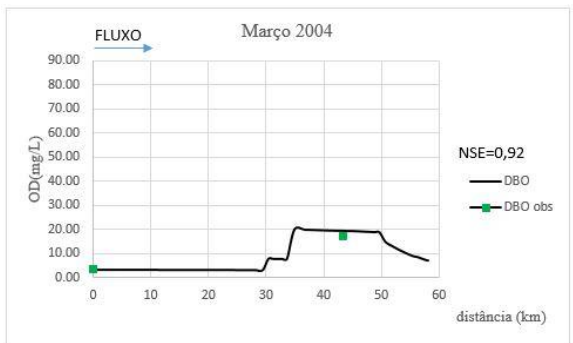
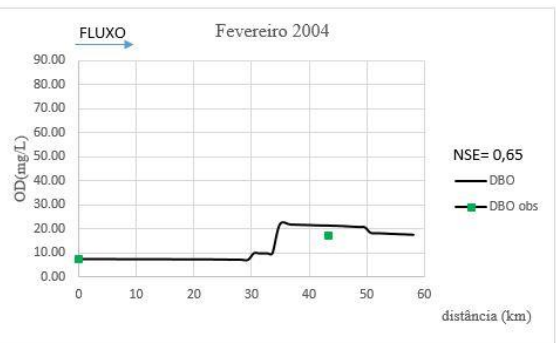
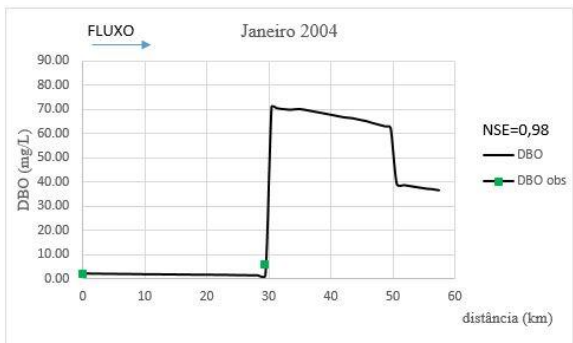


Figura 36 - Comportamento do OD para o rio Descoberto para os meses de 2004

Em relação a DBO, os maiores valores no rio Descoberto ocorrem no encontro com rio Melchior, como apresenta os gráficos da Figura 37. Nesse ponto, variam de 20 a 90 mg/L para todos os meses de 2004. Os meses mais secos, como julho e agosto, apresentam maiores concentrações do que os meses chuvosos, como dezembro e janeiro, devido ao fator de diluição.

As concentrações à jusante da barragem Descoberto são as menores para todo o trecho do rio Descoberto e aumentam com as contribuições do rio Melchior, em consequência das elevadas cargas de matéria orgânica. Segundo os gráficos, o rio principal deságua no Lago Corumbá ainda com altas concentrações de DBO contribuindo para a eutrofização desse corpo hídrico.

Ao analisar os gráficos, os valores de DBO simulados não estão bem ajustados aos valores medidos, conseqüentemente obtive-se um valor negativo para o NSE, como demonstrado anteriormente na Tabela 27. Pode-se observar que alguns pontos medidos não estão de acordo com os simulados, pois houve grande dificuldade na calibração dos coeficientes de remoção para encontrar o melhor ajuste. A falta de dados observados em alguns pontos nesse corpo hídrico também foi um fator que contribuiu para um ajuste não satisfatório.



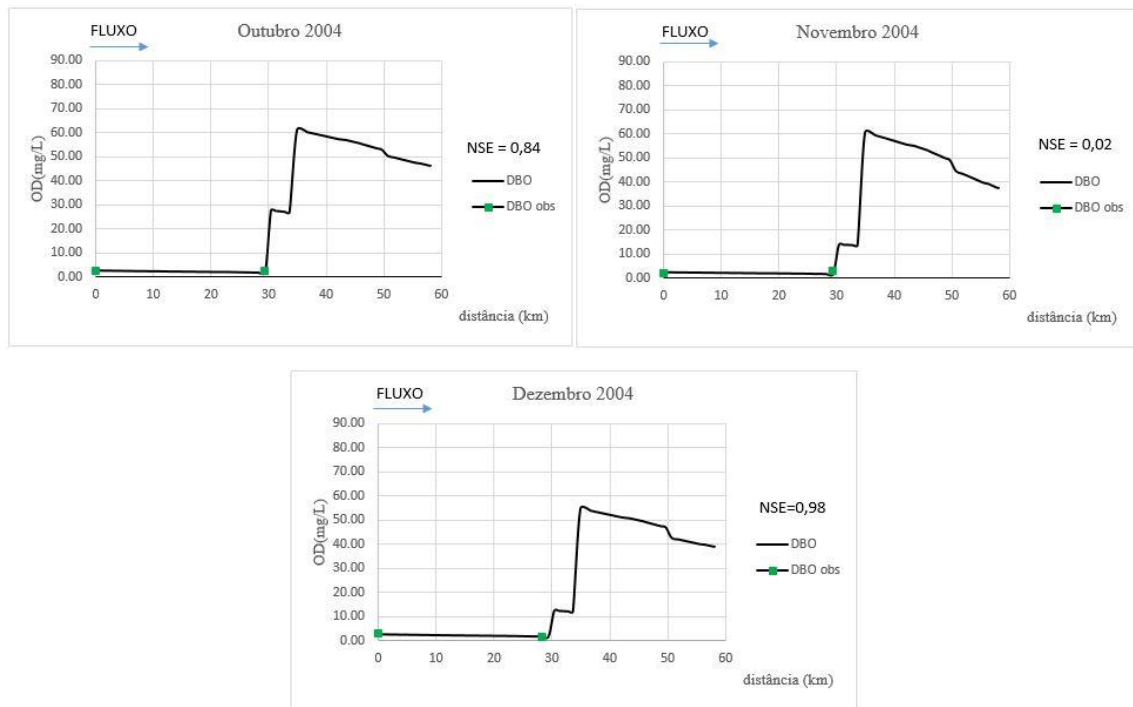
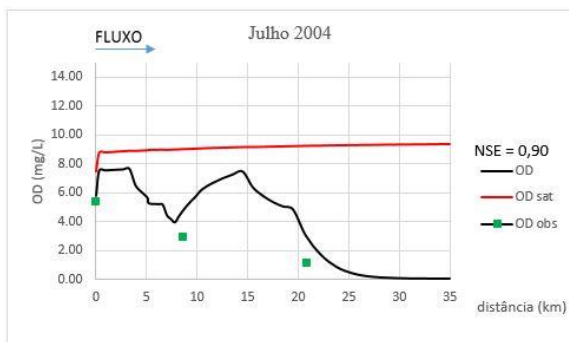
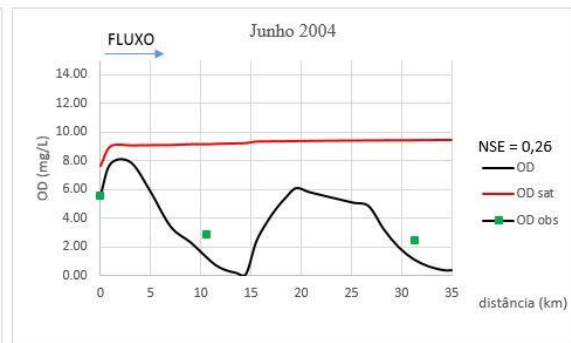
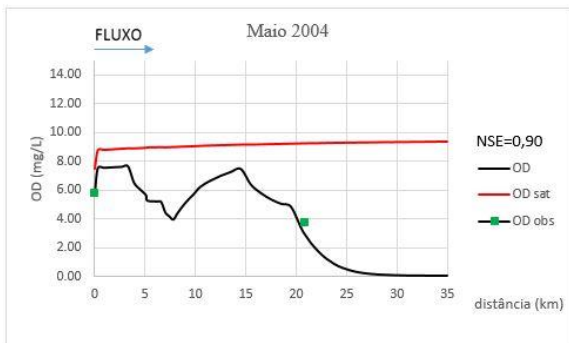
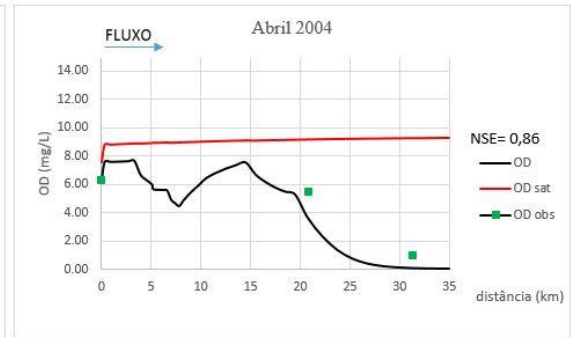
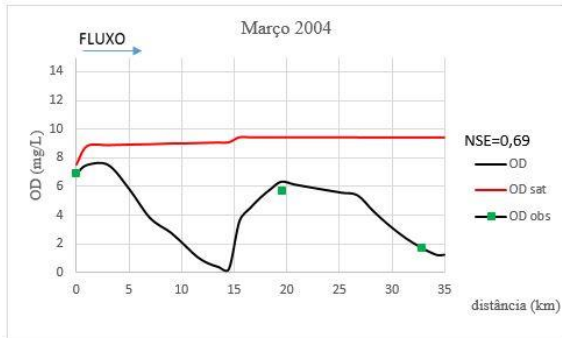
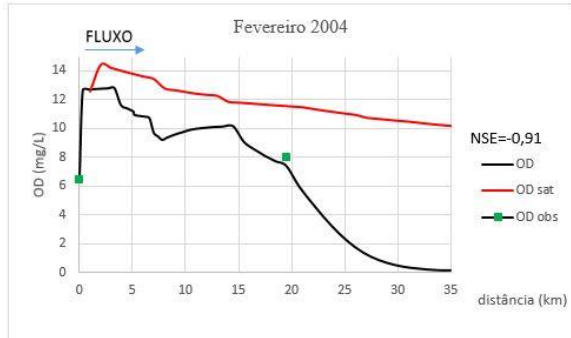
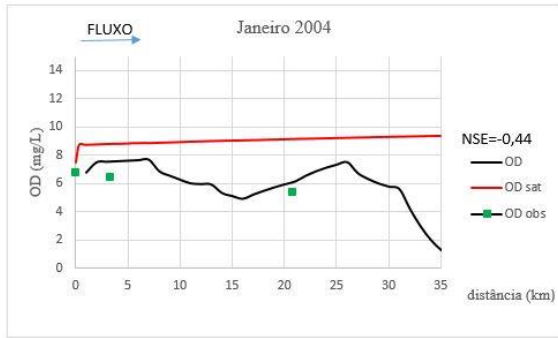


Figura 37 - Comportamento da DBO no rio Descoberto para os meses de 2004

O comportamento do oxigênio dissolvido no rio Melchior para o ano de 2004 é apresentado na Figura 38 e todos os meses possuem um comportamento similar. Assim como para o rio Descoberto, a cabeceira do rio possui as maiores concentrações de OD, para todos os meses. Logo a jusante desse ponto, a concentração de OD diminui em virtude dos esgotos que eram lançados brutos naquela época, com baixos teores de oxigênio.

O nível de OD aumenta novamente, até atingir aproximadamente 8 mg/L, na maioria dos meses, devido as boas condições de autodepuração do rio, assim como reportados nos estudos de Ribeiro (2009). Entretanto, seu nível diminui outra vez após o lançamento de efluentes da ETE Samambaia até atingir valores próximos à zero. Em razão disso, os valores de OD no rio Descoberto, assim como analisados anteriormente, sofrem acentuada queda no ponto de confluência dos rios, em consequência dos esgotos lançados no rio Melchior.



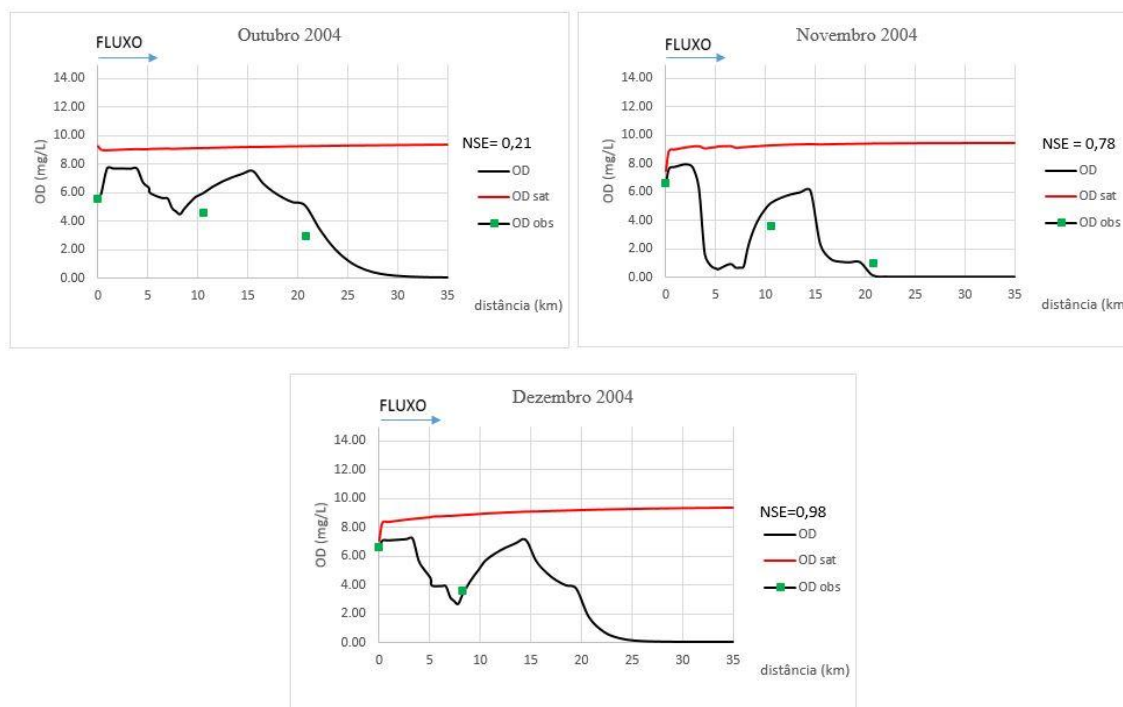
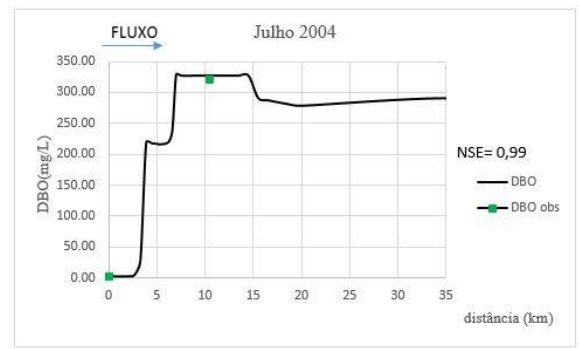
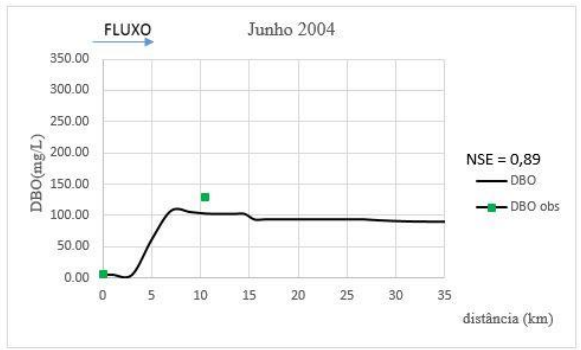
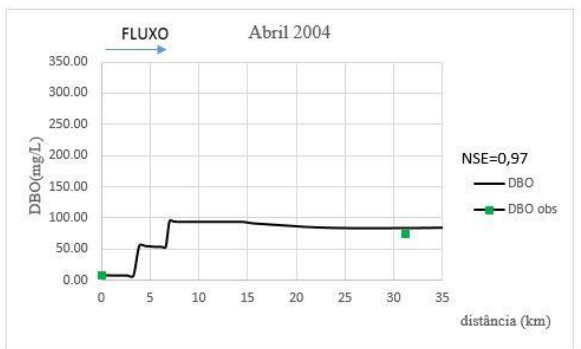


Figura 38- Comportamento do OD no rio Melchior para os meses de 2004

A Figura 39 mostra que a concentração de DBO aumenta no rio Melchior à jusante do lançamento dos esgotos provenientes de Taguatinga e Ceilândia e permanece com altos valores em todo o curso do rio.

As maiores concentrações ocorreram nos meses de julho e novembro, com valores acima de 300 mg/L. O mês de janeiro obteve a menor concentração de todos os meses, com cerca de 100 mg/L. Para a estabilização da matéria orgânica, é necessário um grande consumo de oxigênio, por esse motivo as concentrações de OD são pequenas a partir do ponto de lançamento do efluente.



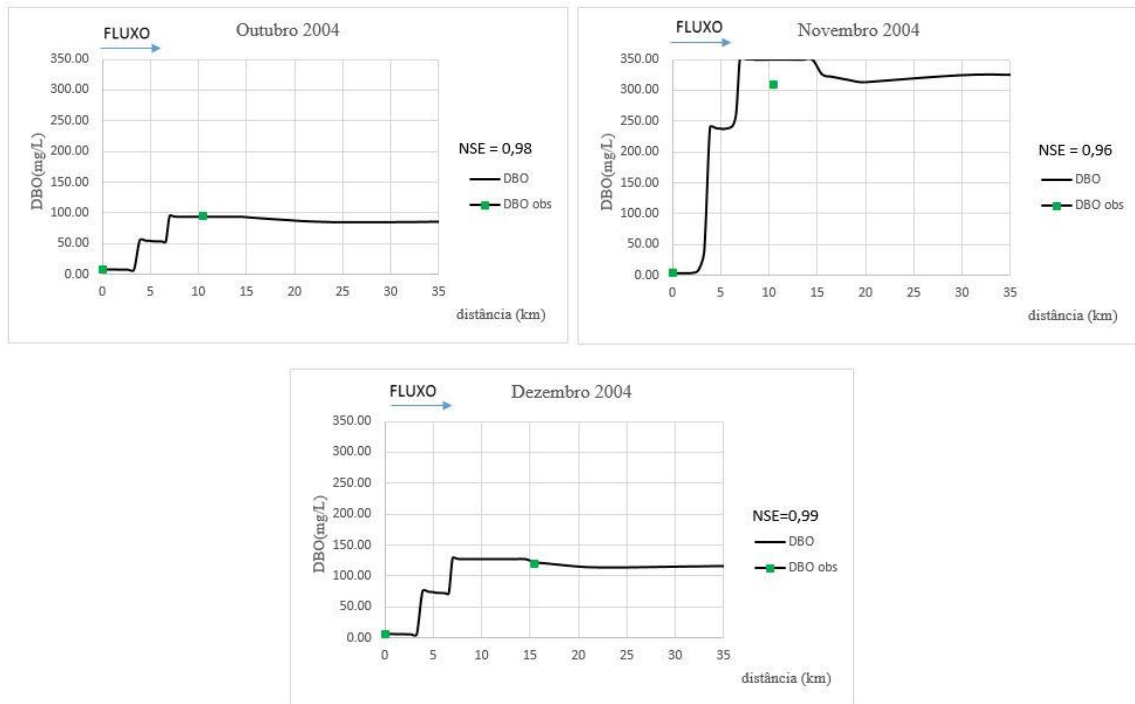


Figura 39 - Comportamento da DBO no rio Melchior para os meses de 2004

5.1.4.2 - Simulação do mês de setembro de 2009

Os valores de OD no rio Descoberto simulados para o mês de setembro de 2009 são apresentados por meio do gráfico da Figura 40. Os últimos trechos desse corpo hídrico apresentam valores maiores de OD quando comparados com o ano de 2004. No ponto de encontro com o lago Corumbá IV, para 2009, o valor é de 7,2 mg/L, já em 2004, era de 3,62 mg/L.

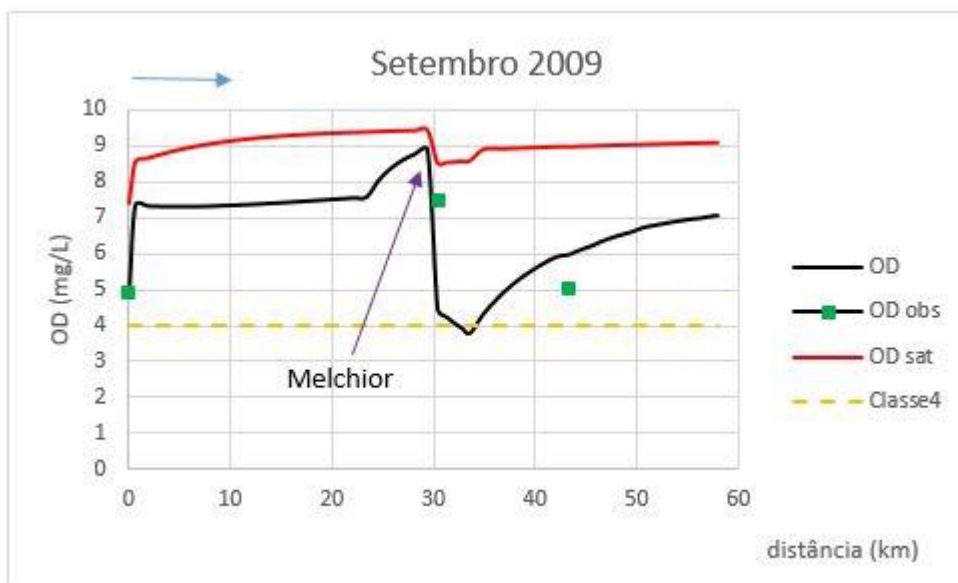


Figura 40 - Comportamento do OD no rio Descoberto para o mês de setembro de 2009

A concentração crítica do oxigênio dissolvido no ano de 2004, de 1,55 mg/L, é menor do que em 2009, de 3,97 mg/L. Esse fato ocorre, pois a demanda por oxigênio, para esse ano, é menor do que antes para a oxidação da matéria orgânica proveniente do rio Melchior. A partir desse ponto o nível de OD volta a aumentar, recuperando quase a saturação de OD nesse rio. No trecho 34-28 é possível observar que as concentrações de OD foram maiores em função da maior reaeração, o que pode ser explicado em função da menor profundidade e maior velocidade.

O gráfico da Figura 41, apresenta o comportamento da DBO no rio Descoberto, em que os valores à partir do km 28 aumentam em virtude da contribuição do aporte de cargas do tributário Melchior. As concentrações desse parâmetro são menores, comparadas com o ano de 2004, devido aos menores níveis de matéria orgânica nos esgotos da ETE Melchior e Samambaia e da ETE Santo Antônio do Descoberto. O valor máximo de DBO é de aproximadamente 20,98 mg/L e encontra-se no trecho 34-28, e a partir desse ponto, a concentração diminui até 14,0 mg/L no local de encontro com o lago Corumbá IV.

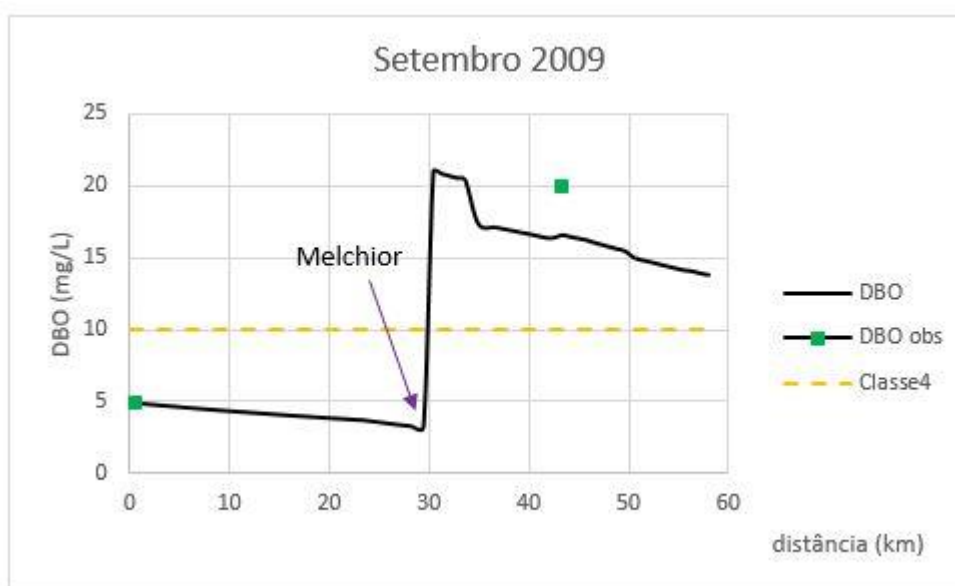


Figura 41 - Comportamento da DBO no rio Descoberto para o mês de setembro de 2009

O tracejado em amarelo nos gráficos representa o limite de valores permitidos pela classe 4 segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Segundo os valores simulados no gráfico do OD e da DBO do rio Descoberto, esse rio possui padrões de qualidade de classe 4 à jusante da confluência com o rio Melchior, pois os valores de OD são superior a 2 mg/L e superiores a 10 mg/L.

No tocante ao comportamento do OD no rio Melchior para o mês de setembro de 2009, apresentado pela Figura 42, os maiores níveis de OD são nos trechos a jusante da ETE, possivelmente em função da maior reaeração em virtude desses trechos serem mais rasos e com maior velocidade. A partir desse ponto, a concentração de OD diminui ao longo do curso do rio, em razão dos lançamentos de efluentes da ETE Melchior e Samambaia, localizadas à 20km da foz do rio. A concentração crítica para o OD, no entanto, é na confluência com o rio Descoberto de aproximadamente 3,31 mg/L.

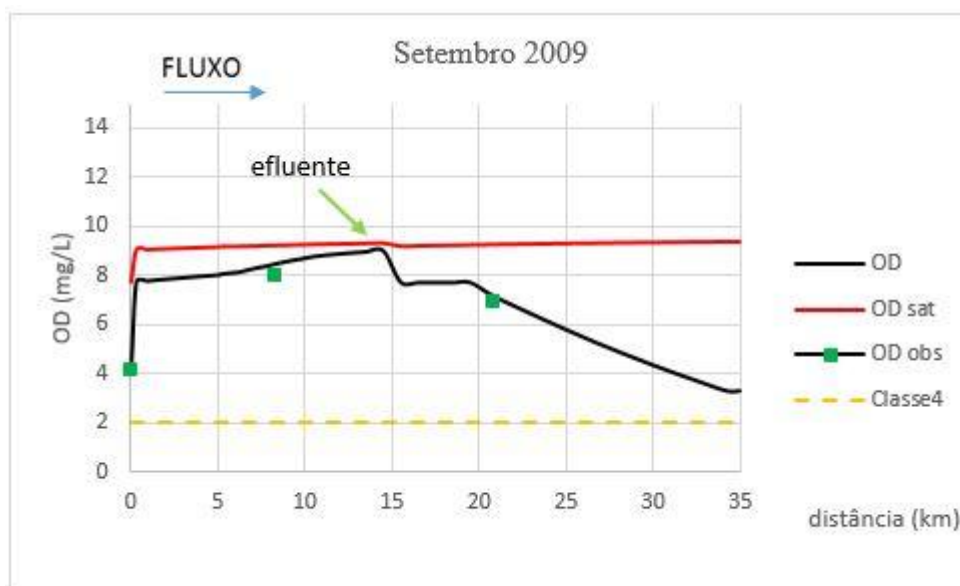


Figura 42 - Comportamento do OD no rio Melchior para o mês de setembro de 2009

Em relação a DBO no rio Melchior, como mostra a Figura 43, as concentrações são menores quando comparadas ao ano de 2004, devido ao tratamento de esgotos das cidades de Taguatinga, Ceilândia e Samambaia pelas ETEs. Na cabeceira do córrego Taguatinga, as concentrações são menores e aumentam no ponto onde está localizada as ETEs, por causa da descarga da ETE Melchior e ETE Samambaias. Nos últimos trechos, verifica-se que a concentração de DBO diminui novamente, entretanto quando se analisa a Figura 42 nesse mesmo ponto, o OD também diminui. Possivelmente os coeficientes de remoção da DBO adotados para setembro de 2004, não tiveram um bom ajuste para a modelagem desse mesmo mês para o ano de 2009.

Os resultados mostram que a classificação do rio Melchior, segundo a Resolução CONAMA 357/05, esse corpo hídrico possui condições e padrões de classe 3 e à montante da ETE e classe 4 à jusante desse mesmo ponto e conforme aponta o tracejado em amarelo aprestado nesses gráficos.

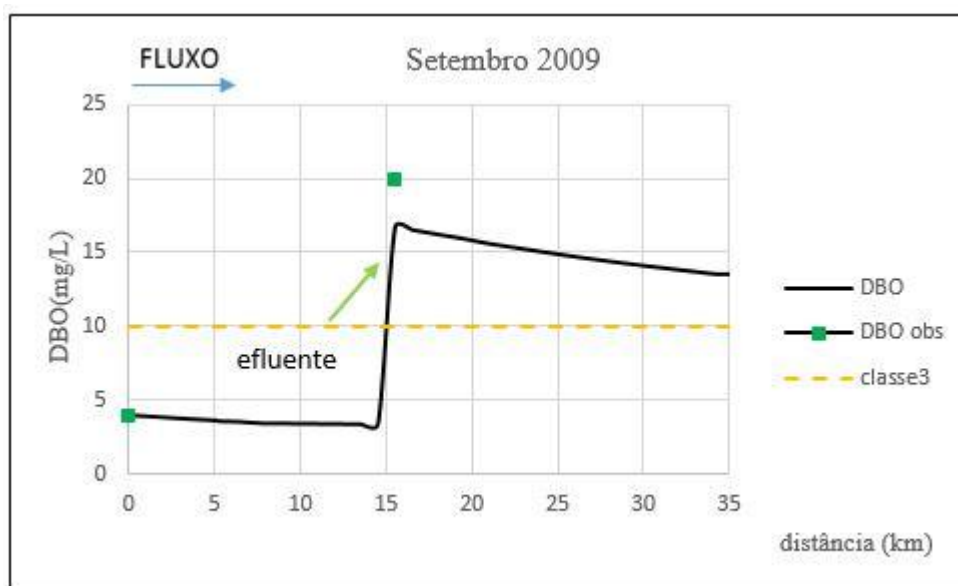


Figura 43 - Comportamento da DBO no rio Melchior em setembro de 2009

Os resultados mostraram que o tratamento de esgotos das cidades de Ceilândia e Taguatinga foi fundamental para melhorar a qualidade da água em ambos os rios. Entretanto, em alguns pontos, principalmente a partir do lançamento de esgoto, os níveis de OD diminuem consideravelmente, o que significa que o corpo hídrico ainda possui consideráveis concentrações de matéria orgânica, que podem estar em suspensão ou sedimentadas, sendo responsáveis pela formação dos lodos de fundo. Embora as concentrações de DBO sejam menores do que em 2004, conclui-se que o Reservatório Corumbá IV ainda recebe altas cargas provenientes dos despejos domésticos do DF.

Além disso, sabe-se que essa região do DF possui os maiores índices de crescimento populacional, o que representa uma expectativa de que a carga de matéria orgânica nos esgotos domésticos continue aumentando. As ETEs, por sua vez, podem receber e tratar até uma carga máxima de projeto, quando seu limite é ultrapassado, operam de maneira ineficiente. É importante então que os parâmetros de operação das ETEs na região sejam cuidadosamente respeitados e acompanhados a fim de garantir a eficiência de remoção esperada e projetada.

5.1.5 - Resultados da integração do QUAL2K com WEAP

Foram realizadas simulações da qualidade da água para o ano base de 2009 no WEAP e os resultados do mês de setembro de OD e DBO foram semelhantes aos simulados pelo QUAL2K.

A Figura 44 apresenta dois gráficos que são comportamento do OD no rio Descoberto, simulado tanto pelo WEAP como pelo QUAL2K. Observando o gráfico da esquerda, resultado da simulação pelo WEAP, é possível notar que o valor do OD de 7,85mg/L diminui a partir a confluência com o rio Melchior.

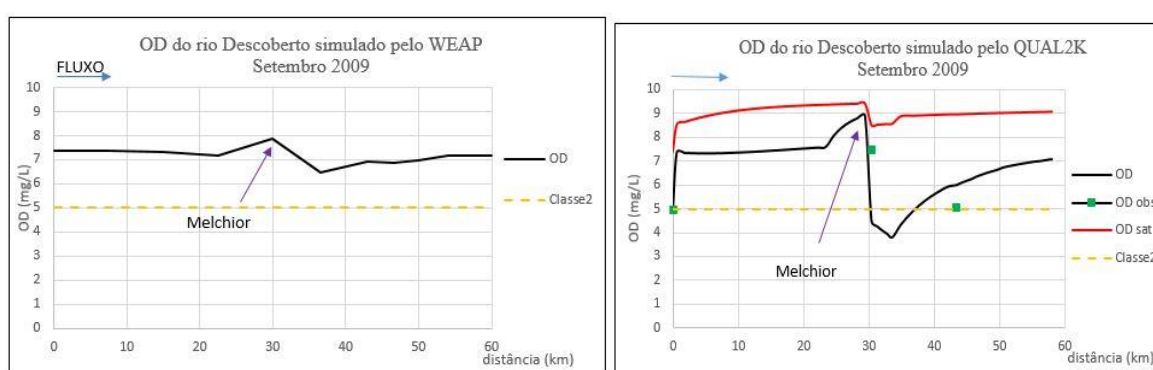


Figura 44 - Comportamento do OD no rio Descoberto simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009

Esse valor decresce ao longo de aproximadamente 6,5 km, do trecho "rio Melchior Inflow" até "Reach" como pode ser observado na Tabela 29. Para o QUAL2K, nesse mesmo ponto em que ocorre a confluência do rio Descoberto com o rio Melchior, o valor de OD diminui ao longo de 1 km, segundo a mesma tabela e o gráfico que está na direita da Figura 44.

Ainda com relação a Tabela 29, pode-se observar que os valores, entre os dois programas, são semelhantes, mas não idênticos, pois os cálculos de qualidade da água embutidos no WEAP utilizam pressupostos e aproximações diferentes do que o QUAL2K (SEI, 2012).

Tabela 29 - Concentração de OD ao longo dos trechos simulados pelo WEAP e QUAL2K.

Trechos no WEAP	Distância (km)	OD (mg/L)	trechos no QUAL2K	Distância (km)	OD (mg/L)
<i>Headflow</i>	50,5	7,359	trecho 58-52	50,2	7,392
<i>Sto Ant. do Descoberto Withdrawal</i>	43	7,320	trecho 58-52	43,0	7,535

<i>Reach</i>	35,5	7,178	trecho 40-34	35,8	7,674
<i>Rio Melchior Inflow</i>	28	7,857	trecho 28-24	28,6	9,148
<i>Reach</i>	21,5	6,490	trecho 28-24	27,6	4,489
<i>ETE Descoberto</i>					
<i>Return</i>	15	6,937	trecho 24-15	21,3	4,991
<i>Reach</i>	11,5	6,868	trecho 24-15	15,9	6,047
<i>Rib Engenho Lajes</i>					
<i>Inflow</i>	8	6,991	trecho 12-8	11,6	6,479
<i>Reach</i>	4	7,167	trecho 8-2	8,4	6,781
-	-	-	trecho 8-2	3,8	7,083

Embora os valores de OD foram semelhantes ao QUAL2K, as concentrações da DBO do rio Descoberto para o cenário atual no WEAP sofreram algumas modificações, principalmente a partir do ponto de confluência com o rio Melchior, como retrata a Figura 45. Essa figura apresenta o comportamento da DBO no rio Descoberto simulado pelo WEAP e pelo QUAL2K. Os resultados simulados pelo WEAP, representado pelo gráfico da esquerda, mostraram que o maior valor de DBO ocorre após a confluência com o rio Melchior, atingindo até aproximadamente 10 mg/L. Nesse mesmo ponto, a simulação com QUAL2K apresentou concentração de aproximadamente 21 mg/L.

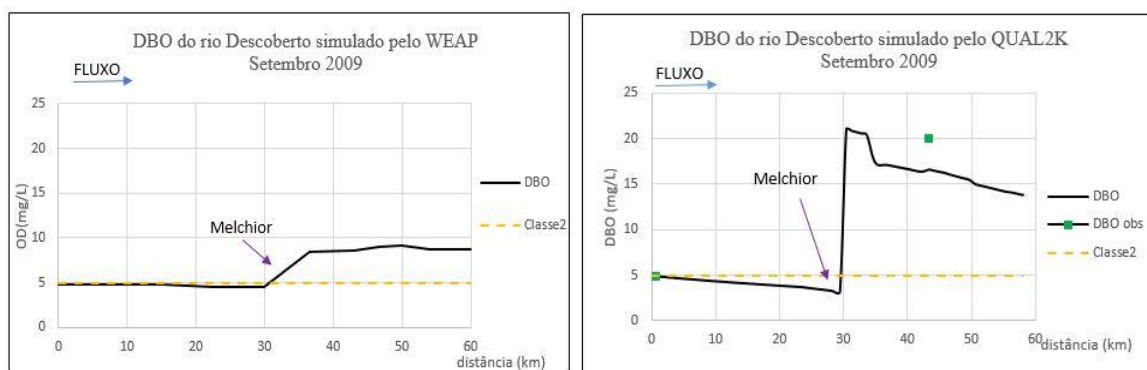


Figura 45 - Comportamento da DBO no rio Descoberto simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009

Mesmo havendo algumas diferenças entre os valores e após várias tentativas de integração entre os dois modelos, observou-se que quanto mais trechos e números de elementos eram definidos no QUAL2K, mais semelhantes eram alguns resultados de concentração nos principais trechos.

Uma das vantagens de integrar o WEAP com o QUAL2K é obter resultados mais precisos das concentrações de cada trecho no rio. Para isso, os trechos no modelo de qualidade de água devem ser divididos em vários trechos, e o espaçamento entre eles, deve ter

uma distância pequena. A integração é vantajosa principalmente para trabalhos que desejam simular parâmetros como nitrogênio e fósforo, pois o WEAP só trabalha apenas com a função de decaimento, já o QUAL2K possui equações bastante completas para esse tipo de simulação.

A Figura 46 apresenta simulações do WEAP e do QUAL2K. Pode-se notar que a simulação com o WEAP não possui muitos detalhes como a simulação do QUAL2K. Ocorre uma perda de informações no trecho à montante da ETE na simulação com o WEAP, pois a modelagem com o QUAL2K apresenta um aumento no nível de OD mais acentuado, nesse mesmo ponto.

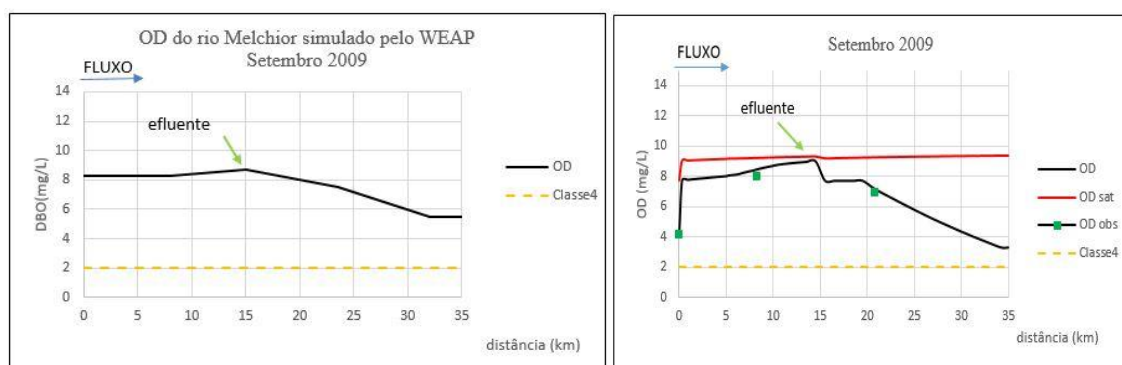


Figura 46 - Comportamento do OD no rio Melchior simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009

Uma desvantagem da integração é a perda de informações, pois o QUAL2K faz a discretização dos valores de concentração ao longo de todo o trecho após a simulação, já no WEAP, os valores são apresentados apenas no início de cada trecho.

A Figura 47 apresenta os gráficos da DBO no rio Melchior simulado pelo WEAP e pelo QUAL2K. Pode-se perceber que o comportamento dos gráficos é diferente. O aumento da DBO simulado pelo QUAL2K é maior do que o simulado pelo WEAP. Para o WEAP, a DBO aumenta em todo o trecho do rio, já para o QUAL2K, apenas no ponto de lançamento do efluente e após isso, volta a diminuir.

O estudo feito por SEI (2014), citado anteriormente, afirma que uma das principais vantagens de integração entre os dois modelos é a possibilidade de modificar a cinética de degradação dos contaminantes no trecho do rio no modelo QUAL2K. Isso pôde ser observado, pois a medida que se alteravam os coeficientes de reaeração e de remoção, nas diversas tentativas para ajustar os dois modelos, o comportamento dos parâmetros variavam.

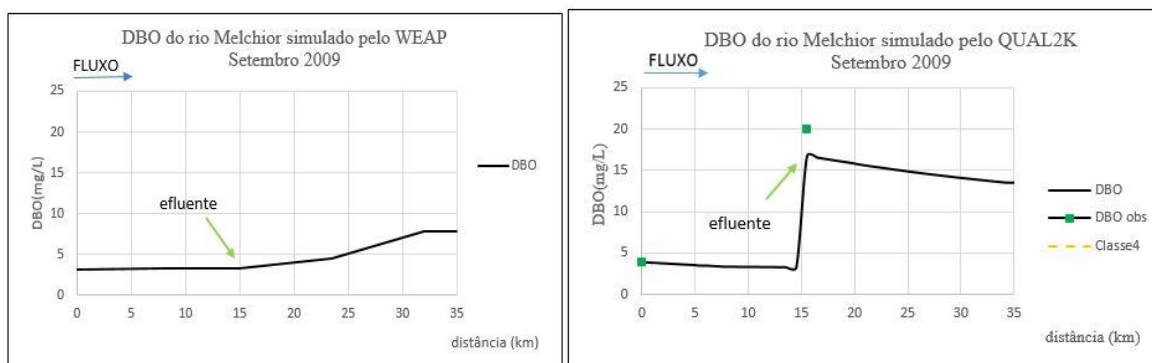


Figura 47 - Comportamento do DBO no rio Melchior simulado pelo WEAP (esquerda) e pelo QUAL2K (direita) para o mês de setembro de 2009

Para trabalhos com qualidade da água, em que se deseja simular constituintes como amônia, nitrato, fósforo orgânico e inorgânico, algas, sedimentos, a integração será vantajosa, pois o WEAP utilizará o modelo de qualidade do QUAL2K, que possui uma representação da cinética mais detalhada e representativa, enquanto o WEAP utiliza a função de decaimento de primeira ordem para todos os contaminantes.

Para fazer a integração, o WEAP necessita de muitas horas para fazer as iterações com o QUAL2K, pois quanto mais detalhada as informações, mais lentas serão. Se um trabalho necessita urgência nas respostas para a tomada de decisão, a integração pode não ser uma boa escolha. Se o trabalho precisa de visão micro, sobre cada trecho do rio, mesmo que a planilha do QUAL2K seja bastante detalhada, não será interessante integrar os modelos, pois o WEAP não faz uma discretização dos valores das concentrações ao longo do trecho, somente no início de cada um. Há então uma perda de informação no momento da apresentação dos resultados através do WEAP.

Para trabalhos e estudos que não requeiram um nível de detalhamento nos resultados associados a qualidade da água, o WEAP possui ferramentas simples para a modelagem e uma interface amigável, e que possivelmente atenderão às expectativas e objetivos de um estudo preliminar.

5.1.6 - Resultado dos cenários do WEAP com a integração com o QUAL2K

Os resultados dos cenários de qualidade da água desenvolvidos no WEAP foram obtidos à partir da integração do modelo QUAL2K para todos o período de simulação.

Nas Figuras 48 e 49 pode-se observar o comportamento do OD e da DBO no rio Descoberto, no cenário 1- atual, para todos os meses de setembro e dezembro simulados para

o próximo ano, ou seja, 2016. As maiores concentrações de OD são à montante do ponto de confluência com o rio Melchior. Enquanto que os maiores valores de DBO estão a jusante desse ponto.

Observa-se que a matéria orgânica presente em seu afluente, o rio Melchior, ainda está bastante concentrada fazendo com que os níveis de oxigênio diminuam para sua oxidação. Em relação ao enquadramento, o rio Descoberto possui padrões de qualidade da água de classe 3, segundo a resolução CONAMA 357/2005.

A partir dos resultados obtidos das simulações desse cenário, as concentrações de OD no mês de setembro são menores do que no mês de dezembro. No último trecho do rio Descoberto está o ponto de encontro com o lago Corumbá IV e o mês de setembro possui concentração de OD de 7,33 mg/L nesse ponto. Após a confluência com o rio Melchior, esse mesmo mês apresentou concentração de 6,41 mg/L, já para o mês de setembro foi de 7,37 mg/L. De acordo com as concentrações simuladas para esses meses, a qualidade da água do lago Corumbá IV estará apta ao abastecimento para o consumo humano, segundo a mesma normativa.

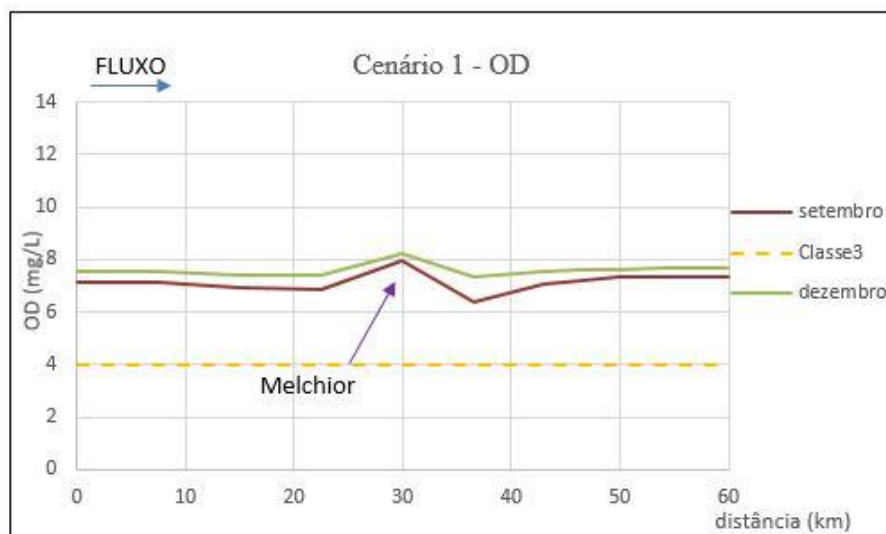


Figura 48 - Comportamento do OD no rio Descoberto no cenário 1 no ano de 2016

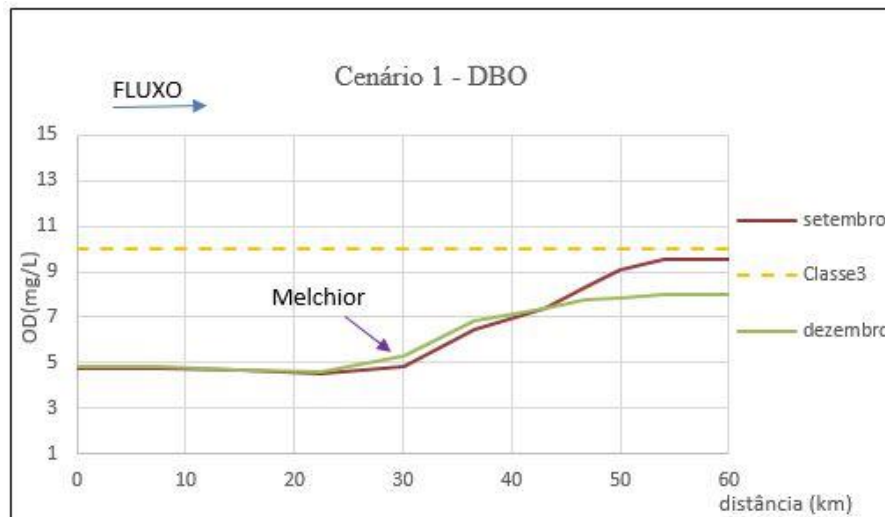


Figura 49 - Comportamento da DBO no rio Descoberto no cenário 1 no ano de 2017

Nas Figuras 50 e 51 estão as simulações do comportamento do OD e da DBO no rio Melchior nos meses de janeiro, setembro e dezembro de 2014 para o cenário 1-atual. Como dito anteriormente, o objetivo desse cenário foi de analisar as condições atuais do sistema. Baseado nisso, e de acordo com o que define a Resolução CONAMA 357/2005, o rio Melchior apresenta características de classe 3 quanto à concentração de OD e DBO na maioria dos meses.

Segundo a Resolução nº 02, de 17 de dezembro de 2014, do CRH/DF, o rio Melchior foi enquadrado como classe 4. Os resultados para esse cenário, que correspondem com as condições atuais do sistema, não estão em total conformidade com essa normativa. Como esse rio possui baixos padrões de qualidade da água, provavelmente as ETEs podem não assumir o compromisso em melhorar a qualidade do esgoto lançado. Em virtude disso, a qualidade de água desse corpo hídrico será sempre degradada ao longo de todo o seu curso, prejudicando o seu processo de autodepuração.

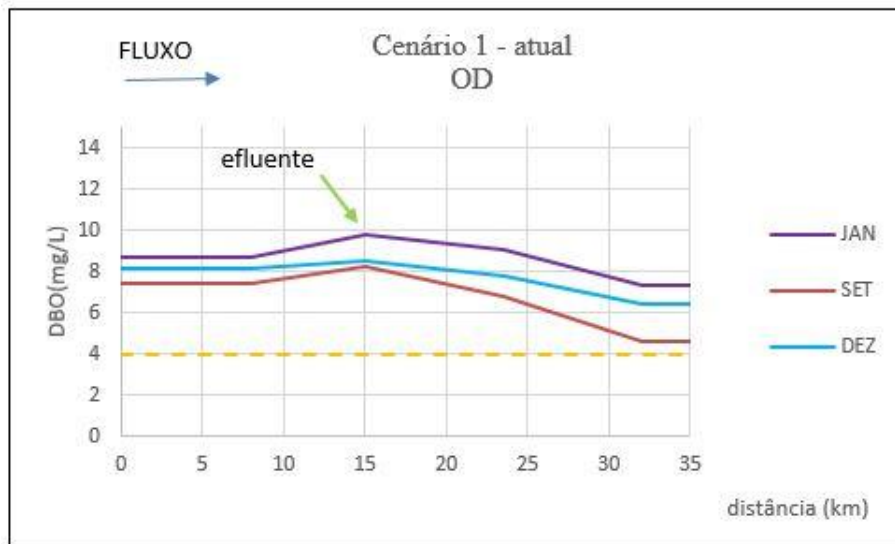


Figura 50 - Comportamento do OD no rio Melchior no cenário 1- atual no ano de 2014

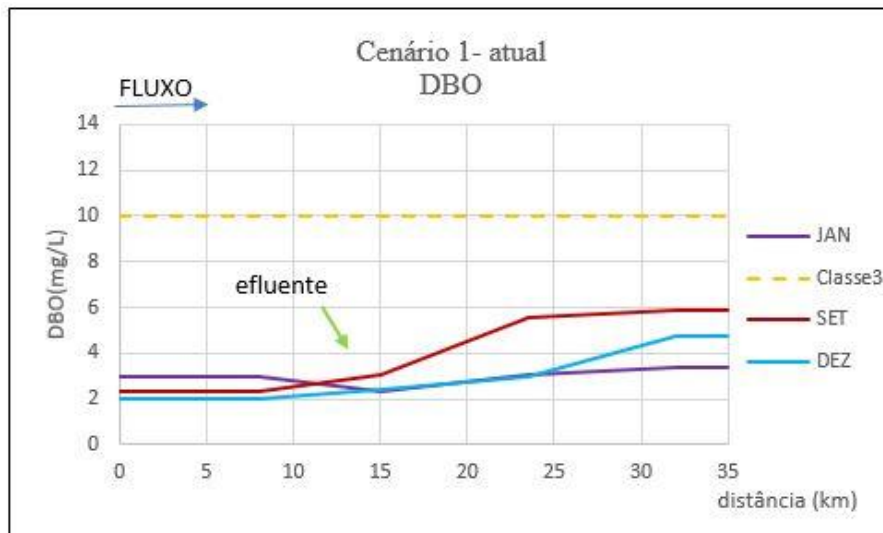


Figura 51 - Comportamento da DBO no rio Melchior no cenário 1-atual no ano de 2014

Com relação ao cenário 2- conjuntos habitacionais, pode-se observar na Figura 52 o comportamento da DBO no rio Descoberto para o ano de 2020. Vale salientar que as taxas de crescimento populacional de Santo Antônio do Descoberto e Samambaia foram alteradas, bem a eficiência de remoção da ETE Santo Antônio do Descoberto. A concentração que chega no lago Corumbá IV no mês de setembro é de 10,88 mg/L, a maior entre todos os meses. Já o valor no mês de janeiro, é o menor, de 5,27 mg/L devido ao fator de diluição.

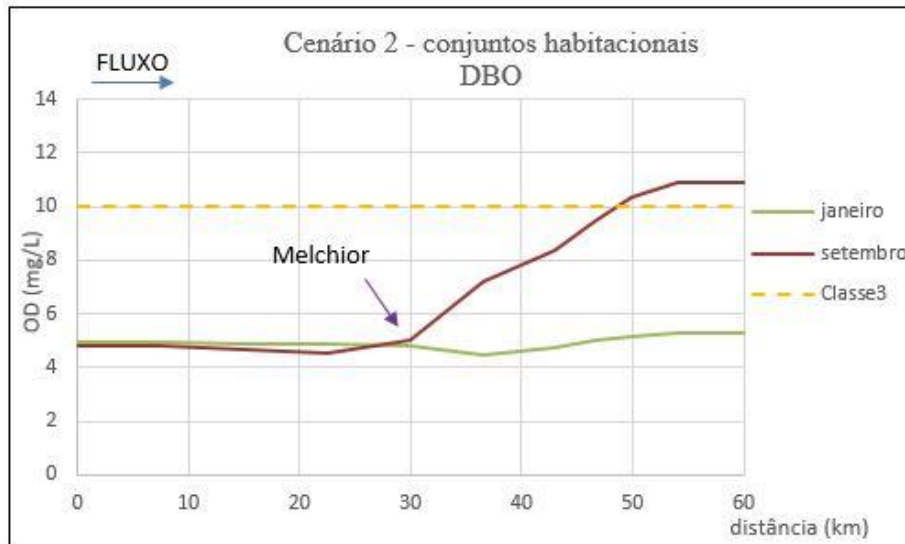


Figura 52 - Comportamento da DBO no rio Descoberto no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020.

Na Figura 53 observa-se que a concentração de OD no rio Descoberto diminui com a confluência do rio Melchior. A maior concentração é no mês chuvoso e a menor na época de estiagem. Mesmo com o crescimento populacional impulsionado pelos programas habitacionais nas cidades de Santo Antônio do Descoberto e Samambaia, pode-se concluir que os padrões de qualidade da classe 3 podem ser mantidos nesse rio desde que a ETE Santo Antônio do Descoberto aumente sua taxa de remoção em 20%.

Os valores de OD e DBO simulados para esse cenários são característicos da classe 3 e a água desse manancial poderá ser destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

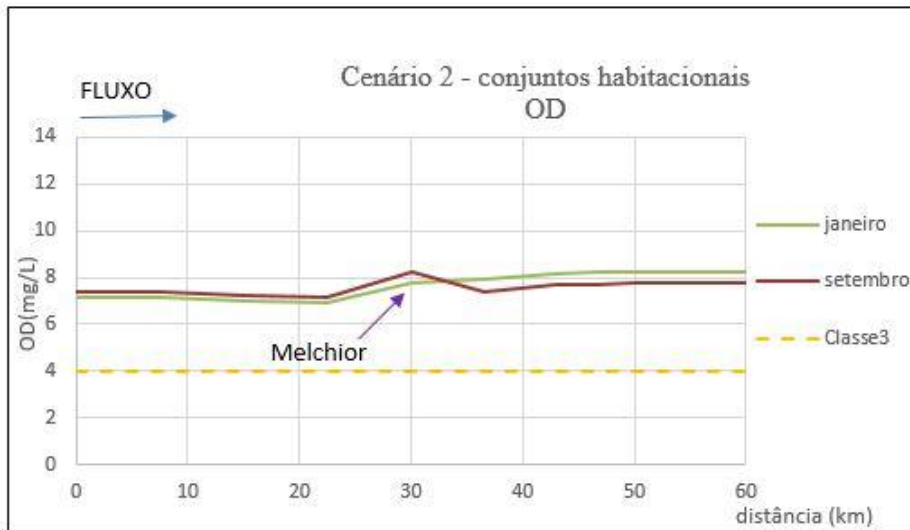


Figura 53 - Comportamento do OD no rio Descoberto no cenário 2- conjunto habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020.

A concentração de DBO no rio Melchior no cenário 2- conjuntos habitacionais aumenta para todos os dois após o lançamento do efluente da ETE MelcSam, como mostra a Figura 54. Entretanto, o mês de janeiro é o que menos sofre variação da concentração de DBO ao longo do trecho do rio. No ponto de encontro com o rio Descoberto, o mês de setembro apresenta concentração de 6,50 mg/L.

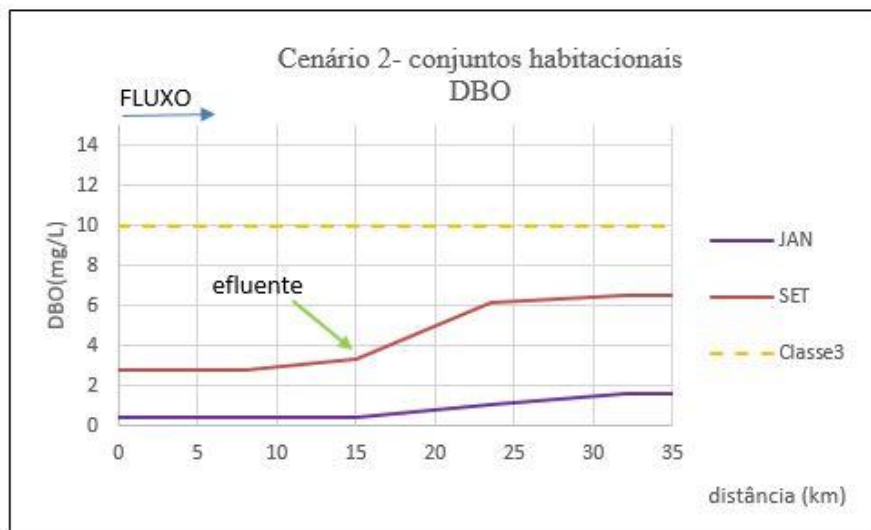


Figura 54 - Comportamento da DBO no rio Melchior no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020

A Figura 55 apresenta o comportamento do OD no cenário 2 – conjuntos habitacionais no rio Melchior para janeiro e setembro do ano de 2020. Segundo esse cenário e conforme a classificação da CONAMA 357/2005, o rio Melchior possui características de

classe 3. Se a taxa de eficiência de remoção da ETE MelcSam for mantida ao longo dos anos, é possível manter os padrões de qualidade da água mesmo com a alteração na taxa de crescimento de Samambaia, referente aos conjuntos habitacionais dessa localidade.

De acordo com o cenário 2 – conjuntos habitacionais no ano de 2020, a qualidade da água do rio Melchior entregue para o rio Descoberto, em relação à concentração de DBO, para o mês de janeiro é de 7,18 mg/L e para setembro de 4,66 mg/L.

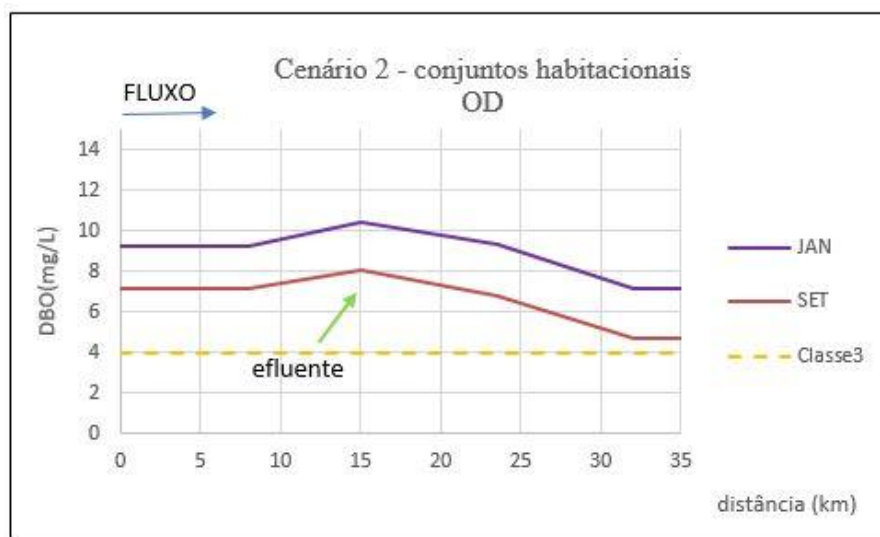


Figura 55 - Comportamento da OD no rio Melchior no cenário 2 – conjuntos habitacionais em janeiro e setembro do ano de 2020

À medida que a população cresce, aumenta-se a carga de matéria orgânica nos esgotos domésticos. Tal fato pode ser observado no rio Melchior, quando compara-se o cenário 3 – adensamentos urbanos totais com o cenário 2 – conjuntos habitacionais, apresentado nas Figuras 56 e 57. Após o lançamento de efluentes, a concentração de OD tende a diminuir mais ao longo dos trechos no cenário 3 do que no 2. Para a DBO, seus valores aumentam mais no cenário 3 do que no 2.

Com os novos valores da taxa de crescimento populacional estabelecidos no cenário 3 – adensamentos urbanos totais, o rio Melchior passaria a ter padrões de qualidade da água de classe 4, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Esse cenário indica que se mais conjuntos habitacionais forem projetados para essas localidades, serão necessárias novas adaptações na estação de tratamento de esgoto para evitar uma deterioração ainda maior da qualidade da água do rio Melchior .

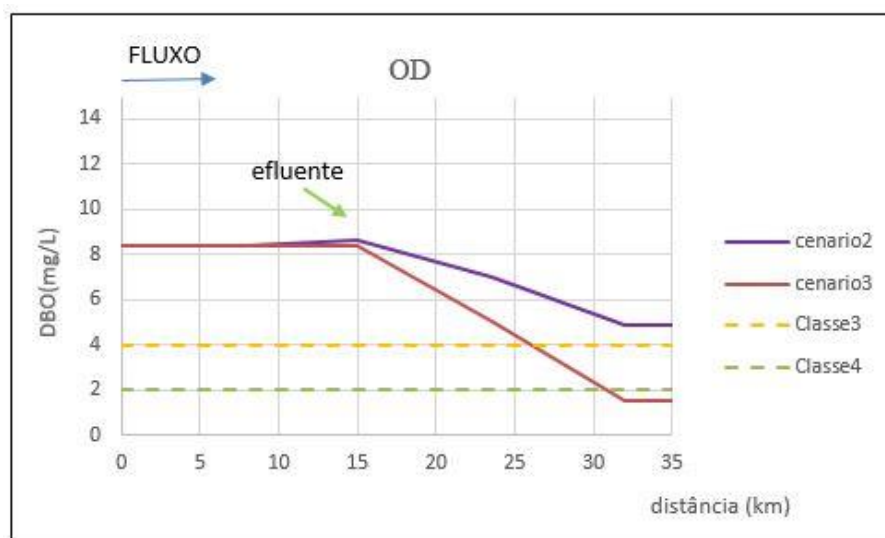


Figura 56 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos no mês de setembro de 2025



Figura 57 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025

Esse mesmo fato também pode ser observado no rio Descoberto. O aumento da taxa de crescimento populacional do município de Santo Antônio do Descoberto e das localidades do DF influenciaram na concentração da DBO e do OD nesse rio no cenário 3- adensamentos urbanos totais, conforme apresentam as Figuras 58 e 59. Com relação ao enquadramento, segundo a resolução CONAMA 357/2005, e tomando como base o cenário 3 - adensamentos urbanos totais, o rio Descoberto passaria a ter padrões de qualidade da água de classe 4 com as eficiências de 75% para a ETE Santo Antônio do Descoberto e 92% para a ETE MelcSam.

Com base nisso, verifica-se que para conservar a qualidade da água do rio Descoberto como classe 3, é necessário que se realizem melhorias no tratamento dos efluentes da ETE MelcSam e ETE Santo Antônio do Descoberto.

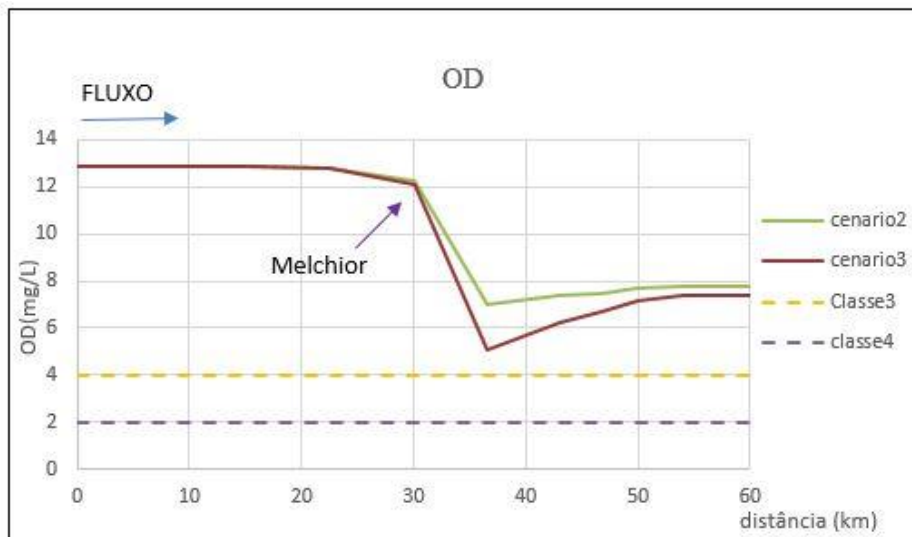


Figura 58 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025

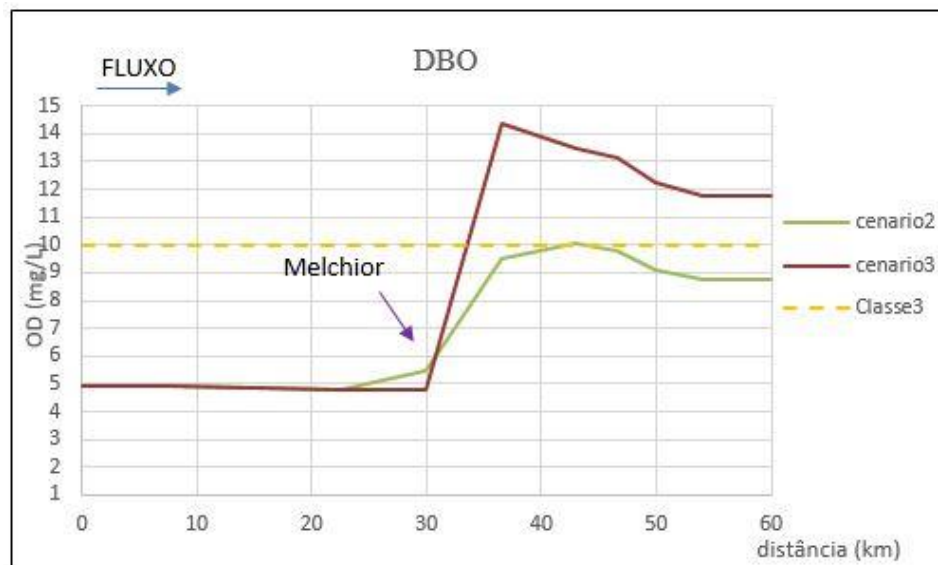


Figura 59 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 2 – conjuntos habitacionais e 3 – adensamentos urbanos totais no mês de setembro de 2025

Com o aumento da eficiência de remoção para 95% da ETE Santo Antônio do Descoberto e da ETE MelcSam, as concentrações de DBO no rio Descoberto diminuíram após a confluência com o rio Melchior, e conseqüentemente as de OD aumentaram nesse mesmo ponto, como pode ser observado na simulação do cenário 4 – eficiência das ETEs, nas Figuras 60 e 61.

Portanto, observa-se que para que manter os padrões de qualidade de classe 3 no rio Descoberto, a ETE Santo Antônio do Descoberto deve aumentar sua eficiência para 95%. Dessa forma, será possível manter a qualidade da água desse corpo hídrico mesmo com a construção de novos conjuntos habitacionais. Esse aumento beneficiará na qualidade do rio Descoberto entregue ao lago Corumbá IV. Também verifica-se a necessidade e urgência dessa ETE em melhorar a qualidade dos seus efluentes lançados no rio, por meio de outras alternativas de tratamento.

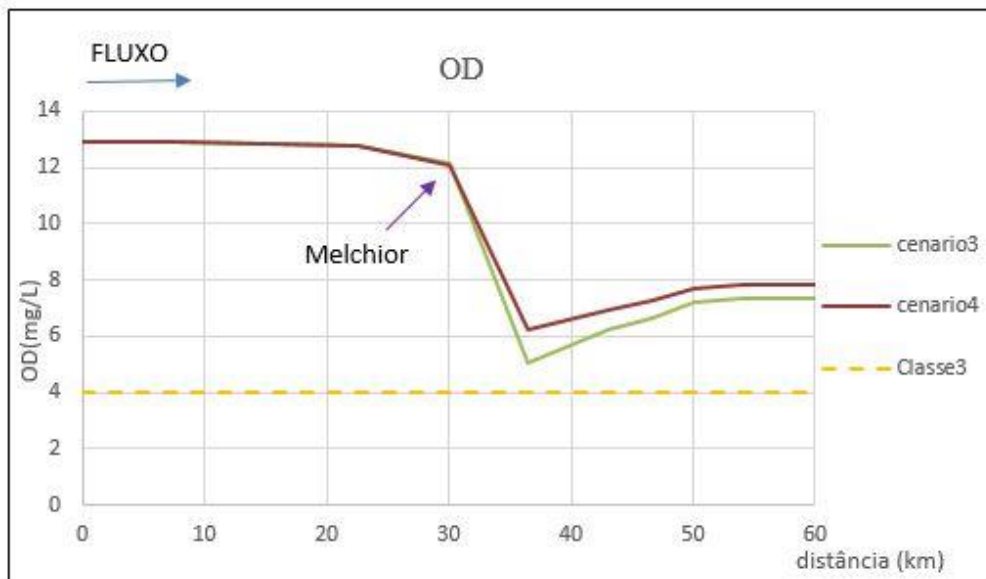


Figura 60 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025

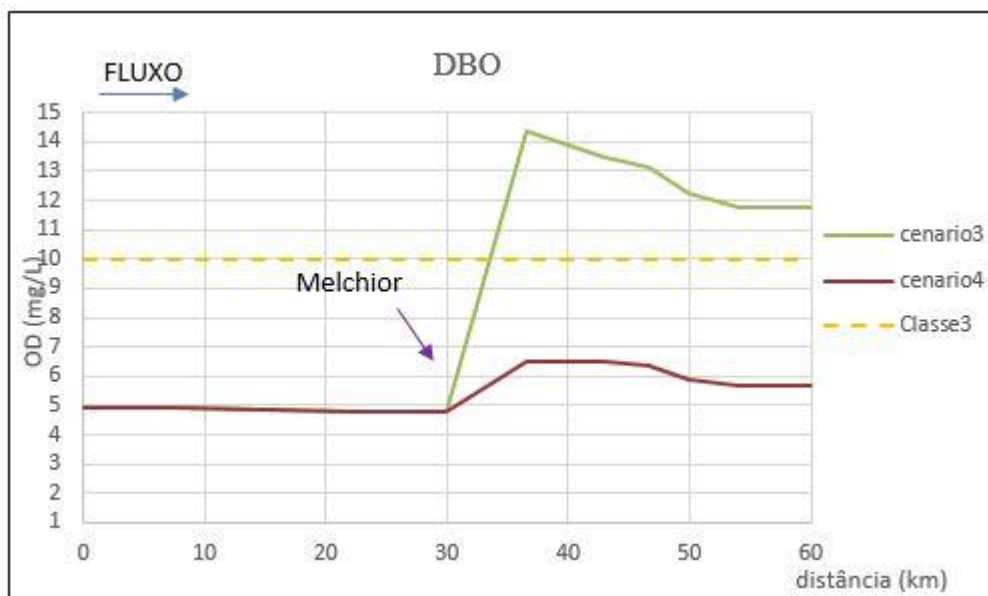


Figura 61 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025

O aumento da remoção na ETE MelcSam no cenário 4 – eficiência das ETEs apresentou significativa melhora na qualidade da água do rio Melchior, conforme apresenta o comportamento da DBO e do OD, nas Figuras 62 e 63, simulado no mês de setembro de 2025.

Para manter os padrões de classe 3 no rio Melchior, sem causar impacto expressivos nesse rio por meio de novos adensamentos urbanos, a ETE MelcSam terá que aumentar sua eficiência de remoção para 95% . Dessa forma, também será possível entregar melhores padrões de qualidade da água ao rio Descoberto.

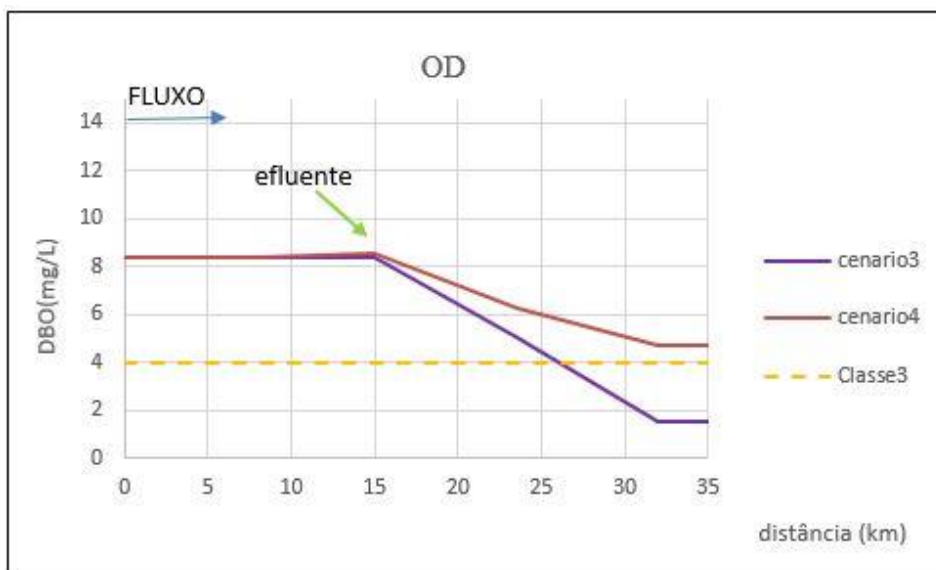


Figura 62 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025

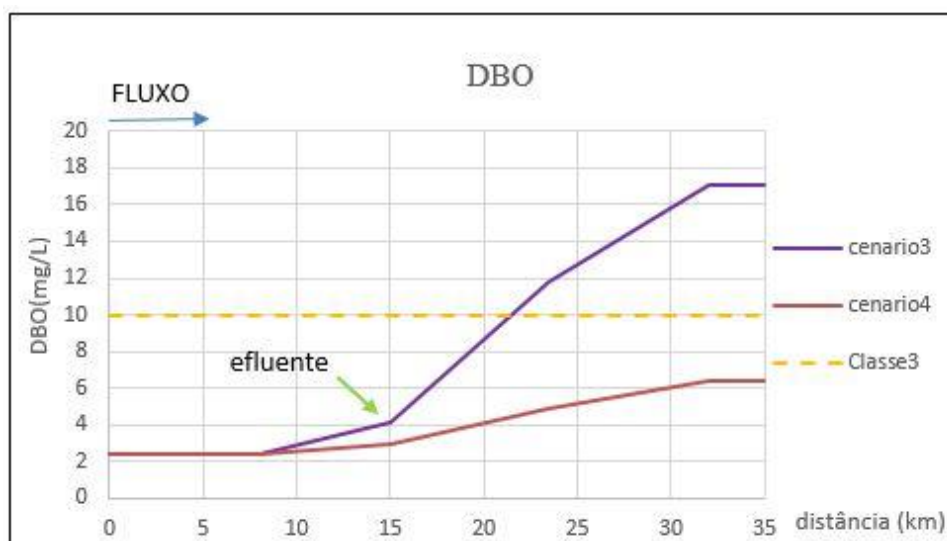


Figura 63 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs no mês de setembro de 2025

Os resultados do cenário 5- eficiência da ETE MelcSam apresentaram os piores resultados das concentrações de OD e DBO no rio Melchior em relação aos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs, conforme apresentam as Figuras 64 e 65. De acordo com os valores simulados para julho do ano de 2018 no cenário 5 – eficiência da ETE MelcSam, se esse problema persistir, o rio Melchior irá entregar uma concentração de OD de aproximadamente 0,58 mg/L, e de DBO de 26,12 mg/L ao rio Descoberto. Segundo a resolução CONAMA 357/2005, o rio Melchior passaria a ter padrões de qualidade da água de classe 4.

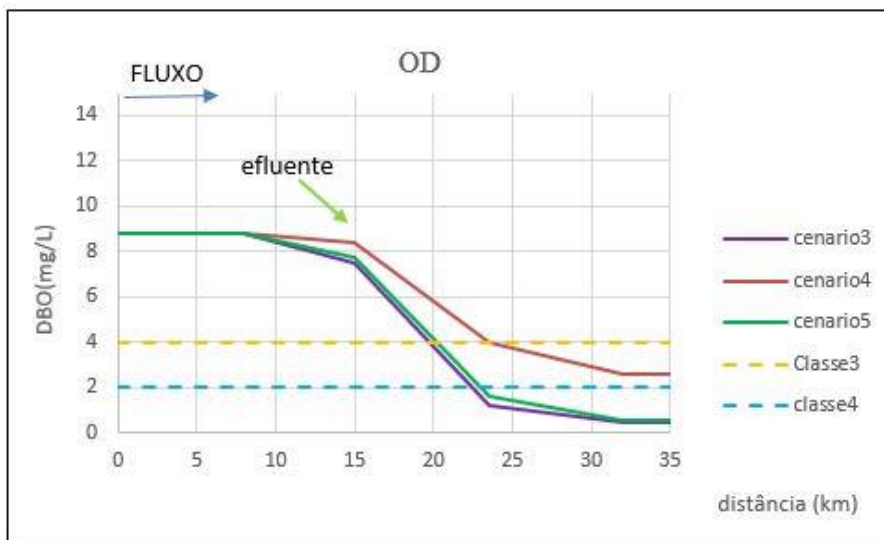


Figura 64 - Comportamento do OD no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais, 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018

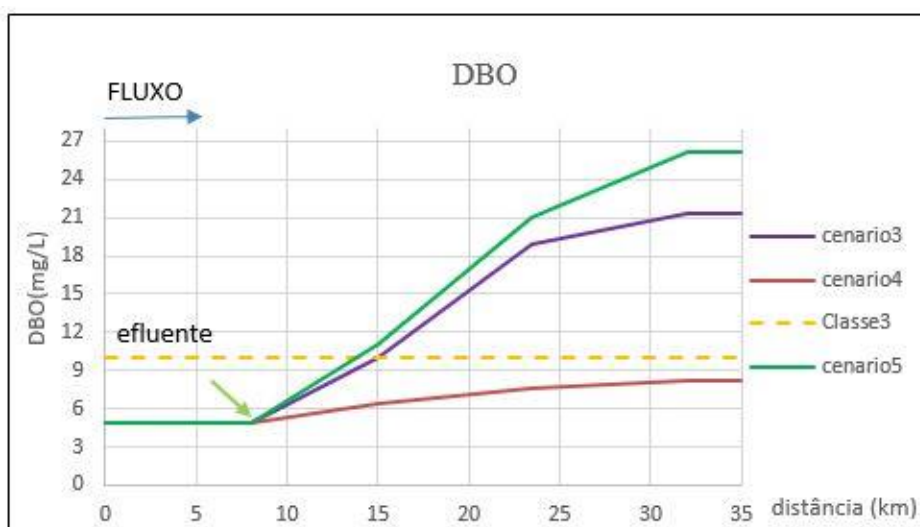


Figura 65 - Comportamento da DBO no rio Melchior nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais, 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018

O problema na ETE MelcSam causa prejuízos na qualidade da água do rio Descoberto, como pode ser observado nas Figuras 66 e 67, as que apresentam a simulação do comportamento da OD e da DBO, respectivamente, para julho de 2018, nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam.

Pode-se observar que os valores de OD, logo após o ponto de encontro com o rio Melchior no cenário 5- eficiência da ETE MelcSam, são os menores dentre todos os cenários. Já para a DBO são os maiores, a partir desse mesmo ponto. Um problema causado no DF pode ter impactos no Estado de Goiás, pois percebe-se a degradação da qualidade da água em virtude desse fato. Além disso, o rio Descoberto passaria a ter padrões de qualidade da água de classe 4, de acordo com a normativa.

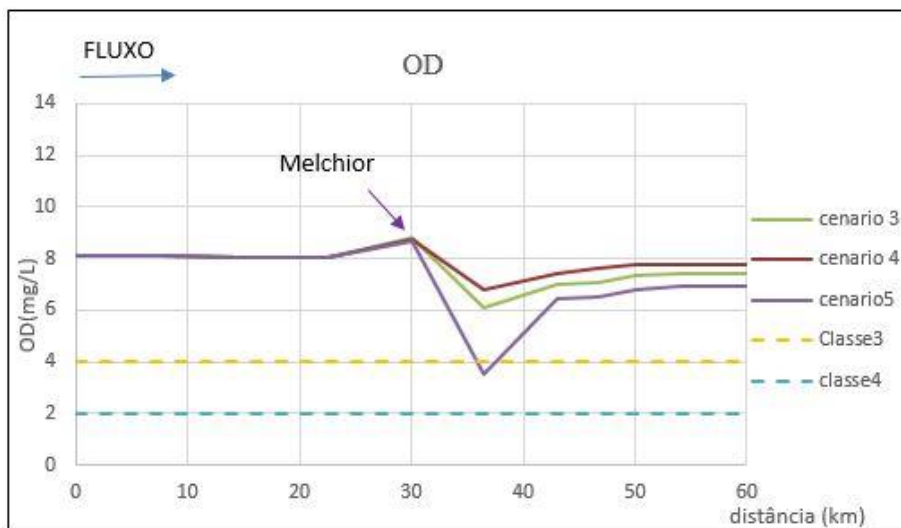


Figura 66 - Comportamento do OD no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018

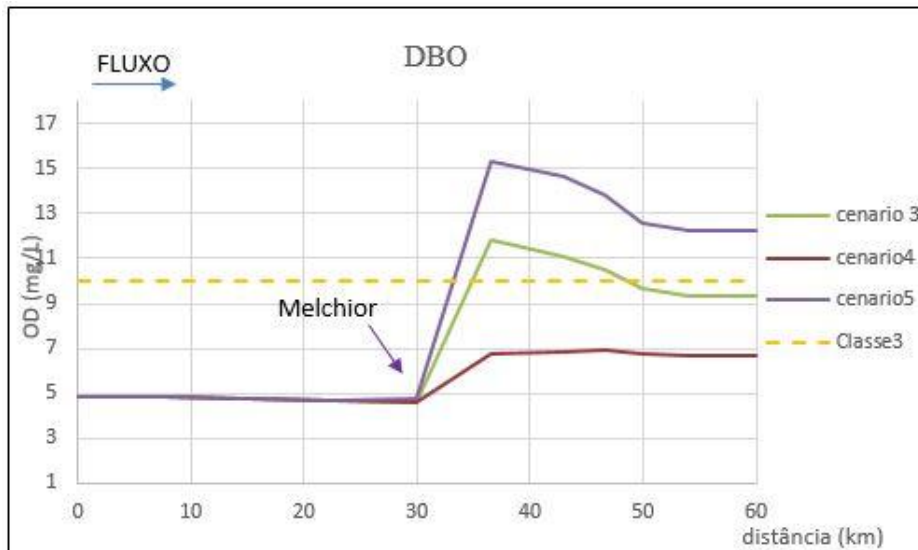


Figura 67 - Comportamento da DBO no rio Descoberto nos cenários 3 – adensamentos urbanos totais e 4 – eficiência das ETEs e 5 – eficiência da ETE MelcSam no mês de julho de 2018

Como esse trabalho faz parte do projeto RIDE DF e Entorno, é importante avaliar a qualidade da água do rio Melchior entregue ao rio Descoberto, quanto desse rio ao lago Corumbá IV, nos cenários que foram simulados. A Figura 68 mostra a concentração de OD em todos os cenários simulados no último trecho do rio Melchior, onde ocorre o encontro com o rio Descoberto.

As concentrações de OD nos cenários 1 - atual e 2 - conjuntos habitacionais não sofreram alterações e o menor valor foi de 2,03 mg/L no mês de julho de 2027. Os cenário 3 – adensamentos urbanos totais e 5 - eficiência da ETE MelcSam possuem as menores concentrações desse parâmetro. Para o 3 - adensamentos urbanos totais o mínimo é de 0,46 mg/L, e para o 5 - eficiência da ETE MelcSam, de 0,51 mg/L, ambos simulados em em julho de 2027, Já o cenário 4 – eficiência das ETEs as concentrações de OD são maiores, variando entre aproximadamente 2,55 a 6,05 mg/L.

Se as condições atuais do sistema forem mantidas ao longo dos anos, como as taxas de crescimento populacional e controle operacional das ETEs, o cenário de referência relata que as menores concentrações serão principalmente, no mês de julho.

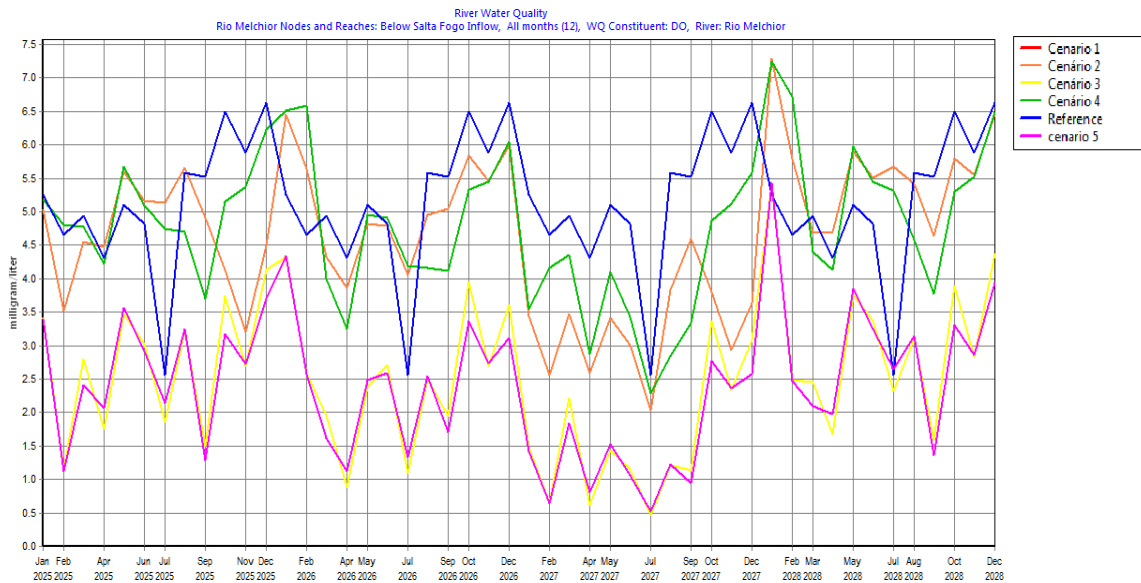


Figura 68 - Concentrações de OD do rio Melchior que são entregues ao rio Descoberto em todos os cenários simulados

Na Figura 69 é possível observar que no cenário 1-actual e no 2 –conjuntos habitacionais as concentrações de DBO não mudam, e o maior valor nesse trecho para esses cenários é de 18,01 mg/L no mês de julho de 2027. Já o cenário 3 –adensamentos urbanos totais apresentou as maiores concentrações nos meses mais secos. No mês de setembro de 2027 sua concentração foi de 18,05 mg/L de DBO. O cenário 4- eficiência das ETES apresenta os menores valores, em virtude do aumento da eficiência proposta nesse cenário. No cenário 5 –eficiência da ETE MelcSam foram simuladas as maiores concentrações dentre todos os cenários, sendo que a máxima foi de 25,62 mg/L em julho de 2027.

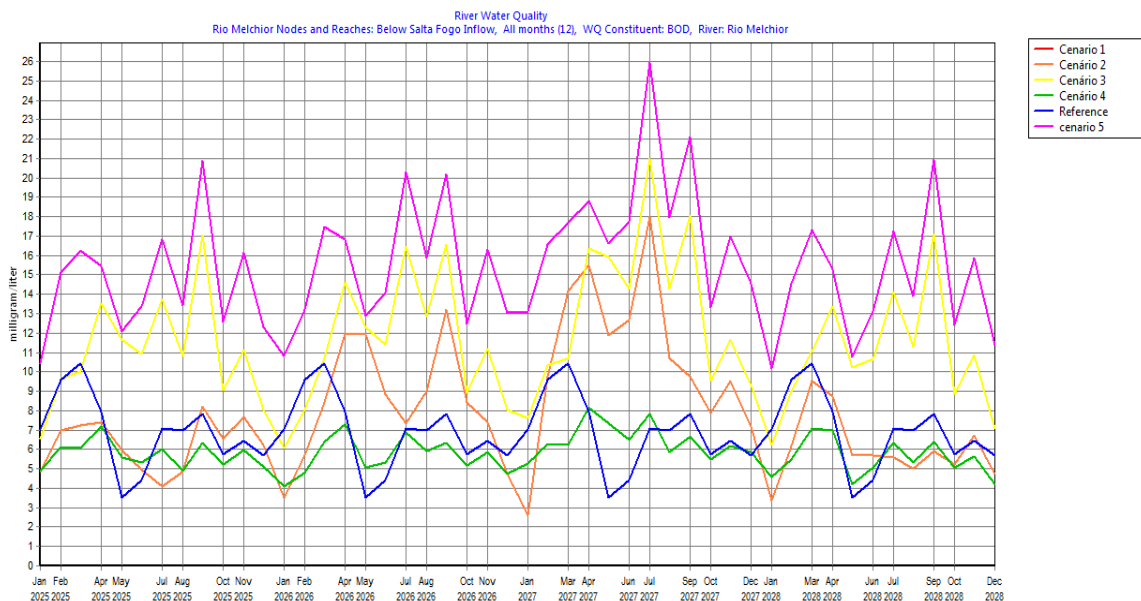


Figura 69 - Concentrações de DBO do rio Melchior que são entregues ao rio Descoberto em todos os cenários simulados

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que se forem construídos novos conjuntos habitacionais em Ceilândia, Taguatinga e Samambaia, como supõe o cenário 3 – adensamentos urbanos totais, haverá deterioração na qualidade da água do rio Melchior. Portanto, deve-se procurar novas áreas com infra-estrutura adequada para a construção de novos conjuntos habitacionais.

A Figura 70 apresenta as concentrações de OD, simuladas em todos os cenários, no último trecho do rio Descoberto, em que sua qualidade de água é entregue ao lago Corumbá IV. As concentrações para os cenários 1 -atual e 2- conjuntos habitacionais não sofrem variação. A média dos valores do cenário 3 - adensamentos urbanos totais é de aproximadamente 7,40 mg/L. As concentrações do cenário 4 - eficiência das ETEs variam de 6,96 a 8,49 mg/L, e as maiores ocorrem na época chuvosa. As concentrações de OD no cenário 5 – eficiência da ETE MelcSam foram as menores dentre todos os cenários, com mínima de 6,19 mg/L, simulado em abril de 2026.

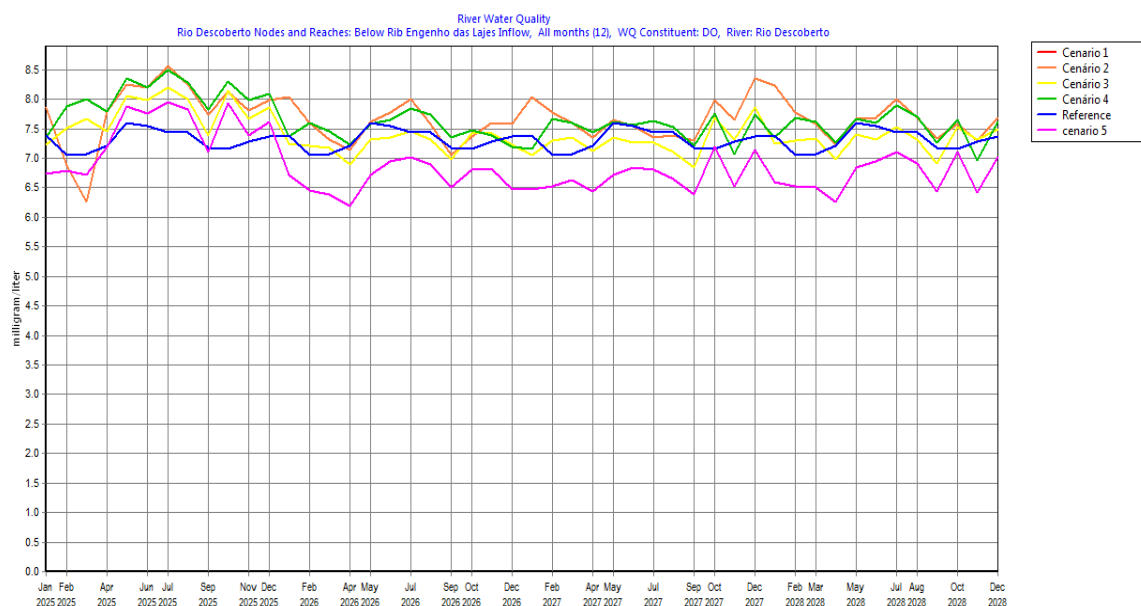


Figura 70 - Concentrações de OD no rio Descoberto que são entregues ao lago Corumbá IV em todos os cenários simulados

As concentrações de DBO entregues ao lago Corumbá pelo rio Descoberto, em todos os cenários simulados, podem ser observadas na Figura 71. Os cenários 1-atual e 2- conjuntos habitacionais simularam as maiores concentrações para esse trecho. As máximas ocorrem nos meses mais secos, principalmente em setembro, em consequência da carga orgânica estar mais concentrada no corpo hídrico. Observou-se o mesmo para o cenário 3-

adensamentos urbanos totais, porém as concentrações de DBO são menores do que no cenário 1 e 2, sendo que sua máxima é de 11,74 mg/L no mês de setembro de 2025.

Já o cenário 4-eficiência das ETEs é composto pelos menores valores simulados da concentração de DBO. O cenário 5- eficiência da ETE MelcSam simulou as maiores concentrações para o meses de setembro de 2025 a 2028, sendo sua máxima de 15,48 mg/L.

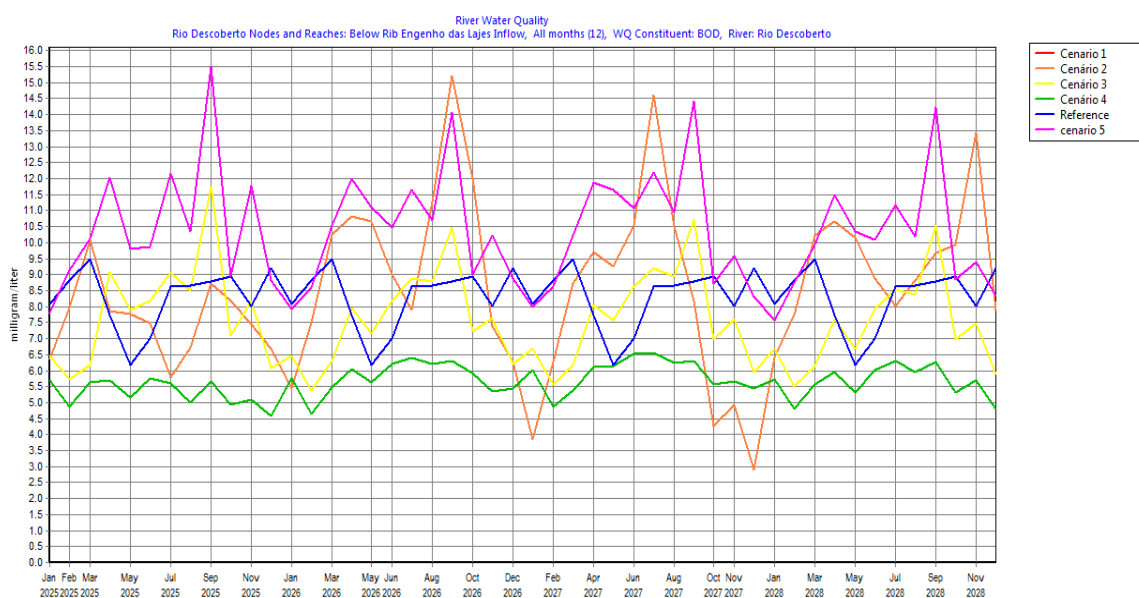


Figura 71 - Concentrações de DBO no rio Descoberto que são entregues ao lago Corumbá IV em todos os cenários simulados

A Tabela 30 apresenta as concentrações médias simuladas de OD e DBO para o mês de setembro dos anos de 2015, 2020, 2025 e 2030, em todos os cenários no ponto de entrega do rio Descoberto ao lago Corumbá IV. Esse mês foi escolhido pelo fato de ter sido utilizado na calibração do modelo QUAL2K e para a integração desse modelo com o WEAP.

Para todos os anos simulados, o cenário 3 - adensamentos urbanos totais aponta a necessidade e urgência das ETEs em procurarem outras alternativas de tratamento para se adequarem ao crescimento populacional da região, pois quando se supôs aumento da eficiência de remoção da DBO das ETEs mesmo com aumento da taxa de crescimento populacional, obteve-se uma melhora na qualidade da água, conforme apresenta o cenário 4 - eficiência das ETEs.

Esse cenário apresentou o melhor conjunto de valores das concentrações de OD e DBO, segundo a Resolução CONAMA 357/05. De acordo com essa legislação, a qualidade da água do rio Descoberto entregue ao lago Corumbá IV teria padrões de classe 3 e a água

desse manancial poderia contribuir para o abastecimento do consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.

Com relação ao cenário 5 - eficiência da ETE MelcSam é possível concluir que . Um possível problema que ocorre no DF, pode contribuir para eutrofização do lago Corumbá IV.

Tabela 30 - Concentrações médias de OD e DBO simuladas em todos os cenários a cada 5 anos no mês de setembro no ponto de entrega do rio Descoberto ao lago Corumbá IV.

2015					
	cenário 1 - atual	cenário 2 - conjuntos habitacionais	cenário 3 - adensamentos urbanos totais	cenário 4 - eficiência das ETEs	cenário 5 - eficiência da ETE Melc Sam
OD(mg/L)	7,31	7,31	6,85	7,22	6,38
DBO(mg/L)	8,16	8,16	10,68	6,28	14,35
2020					
	cenário 1	cenário 2	cenário 3	cenário 4	cenário 5
OD(mg/L)	7,26	7,26	6,91	7,27	6,44
DBO(mg/L)	10,88	10,88	10,42	6,20	14,00
2025					
	cenário 1	cenário 2	cenário 3	cenário 4	cenário 5
OD(mg/L)	7,74	7,74	7,38	7,83	7,10
DBO(mg/L)	8,72	8,72	11,74	8,78	15,48
2030					
	cenário 1	cenário 2	cenário 3	cenário 4	cenário 5
OD(mg/L)	7,28	7,28	7,39	7,44	6,81
DBO(mg/L)	9,83	9,83	10,73	6,42	14,48

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho avaliou a qualidade da água dos rios Descoberto e Melchior a partir da modelagem com integração do modelo QUAL2K ao sistema WEAP e a partir de cenários de adensamento populacional e de níveis de eficiência do tratamento de estações de tratamento de efluentes na região do médio e baixo Descoberto.

Os resultados do ano de 2004 utilizado para a calibração sinalizaram baixas concentrações de OD e altas de DBO no rio Melchior em consequência do esgoto lançado *in natura* naquela época, o que caracterizou um corpo hídrico poluído. Com esse aporte de cargas, o rio Descoberto também apresentou altas concentrações de DBO, após a confluência com esse rio.

Embora tenham sido disponibilizadas séries históricas dos dados pela CAESB, houve bastante dificuldade na determinação dos coeficientes e na calibração, pois os postos de monitoramento dos rios Descoberto e Melchior são poucos e alguns deles não apresentavam dados necessários. Como o WEAP utiliza apenas uma planilha do QUAL2K com a determinação de apenas um conjunto de coeficientes de reaeração e de oxidação para ser adotado em todo o período de simulação houve fragilidade nos resultados devido à não adequação dos parâmetros às estações chuvosa e seca da área de estudo.

A integração entre o QUAL2K e o WEAP apresentou vantagens e desvantagens. Para trabalhos que desejam modelar parâmetros de qualidade da água como amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico e inorgânico, entre outros, a integração apresenta-se vantajosa porque a representação matemática aportada pelo QUAL2K às simulações desses componentes agrega maiores possibilidades ao comportamento dos mesmos no ambiente aquático, em comparação com as simulações geradas no WEAP isoladamente, que utiliza uma única função de decaimento de primeiro ordem para todos os contaminantes.

Já estudos de planejamento e gestão da qualidade da água que muitas vezes requerem uma visão preliminar do estado dos corpos hídricos, a plataforma do WEAP apresenta-se como uma boa opção. Ao se fazer a integração, há uma perda de informação dos segmentos dos trechos no momento da apresentação dos resultados obtidos pelo WEAP, entretanto, para efeito de planejamento isso não é considerado como um grande problema. Estudos sobre essa integração são escassos na literatura. Com relação à isso, é importante fazer novos trabalhos utilizando as duas ferramentas, para obter outras conclusões, além das apresentadas.

Todas as simulações realizadas mostraram que o aporte de cargas oriundo do rio Melchior faz com que as concentrações no rio Descoberto de OD diminua, e devido ao elevado aporte de DBO. Isso mostra que a qualidade de água entregue do DF ao Goiás, contribui de maneira negativa os padrões de qualidade da água do rio que está na divisa.

A simulação dos cenários possibilitou criar uma visão em relação aos impactos de futuros adensamentos urbanos na qualidade da água, por meio do efluente lançado pelas ETEs. Os resultados do cenário 1 - atual para o rio Melchior discordaram da classe que foi atribuída à esse corpo hídrico, pela Resolução N° 02, de 17 de dezembro de 2014, do CHR/DF. Com relação à isso, é necessário que a ETE Melchior e ETE Samambaia, melhorem a qualidade de seus efluentes para que o rio Melchior seja preservado no futuro. Dessa forma, as ETEs estarão desenvolvendo um compromisso com a sociedade e o meio ambiente.

No cenário 2 - conjuntos habitacionais observou-se que é importante aumentar para 95% a remoção de DBO da ETE Santo Antônio do Descoberto para conservar os padrões de qualidade da água do rio Descoberto.

Os resultados do cenário 3- adensamentos urbanos totais mostraram que se houver novas construções de conjuntos habitacionais, haverá piora na qualidade da água de ambos os rios se as ETEs mantiverem suas eficiências de remoção de DBO no nível atual ao longo dos anos. Isso era esperado, pois o aumento da ocupação urbana gera maior carga que é enviada para as ETEs, podendo comprometer a qualidade da água do rio Descoberto.

O aumento para 95% das eficiências de DBO para as ETEs da área de estudo no cenário 4 - eficiência de remoção apresentaram resultados que indicaram a melhora nas classes de enquadramento dos corpos hídricos. Por isso, conclui-se que uma solução para que os novos adensamentos urbanos não deteriore a qualidade da água, seria melhor a eficiência do tratamento de efluentes lançados nos corpos hídricos da região.

Os resultados do cenário 5 - eficiência da ETE Melchior mostraram que o problema na deficiência do tratamento de esgoto do DF pode comprometer a qualidade da água do rio Descoberto. O DF pode trazer benefícios para os municípios no seu entorno, em relação à empregos, saúde, lazer, mas no que diz respeito ao meio ambiente, são necessários maiores cuidados para a preservação dos recursos hídricos.

Por meio dos cenários também foi possível observar a qualidade da água do rio Descoberto que será entregue ao lago Corumbá IV. Os cenários mostraram que a água entregue a esse reservatório pode, eventualmente, comprometer a qualidade da água do reservatório que será utilizada para abastecimento humano.

O WEAP apresentou-se adequado para simulação dos cenários, porém é importante observar que pode haver uma diferença significativa dos resultados simulados, devido aos valores dos coeficientes serem iguais para os períodos secos e chuvosos na modelagem da qualidade da água. Isso mostrou que a situação dos cenários é ainda muito otimista.

Toda a calibração foi feita para o mês de seca, e os coeficientes foram iguais para todos os períodos simulados. Pode-se perceber que os coeficientes de remoção calculados estavam de acordo com valores de tratamento de esgoto bruto, o que dificultou a calibração, pois os esgotos já eram tratados no ano que foi utilizado como base, ou seja, 2009. Por isso, sugere-se que, para novos estudos, seja utilizado os coeficientes de remoção teórico. Propõe-se que, para a calibração da planilha do QUAL2K a ser integrada no WEAP, seja feita pelo QUAL2kw, devido à sua calibração automática.

A continuidade do estudo deve ser estendida para a bacia do rio Alagado, devido à contribuição de cargas orgânicas desse corpo hídrico ao lago Corumbá IV, e aos novos conjuntos habitacionais que serão entregues nos próximos anos, como Parque Riacho, Parque do Recanto, Setor Meirelles, Gama Parque e Parque das Bênçãos . A modelagem da qualidade da água deve-se estender para os parâmetros como nitrogênio e fósforo, para obter novas conclusões sobre a integração entre o WEAP e o QUAL2K.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas-ANA (2010). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado volume2. 92 pg. Disponível em:

<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%202%20-%20Resultados%20por%20Estado.pdf>. Acesso em: 25 abril 2013.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal - ADASA (2012). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Revisão e atualização. Relatório Final, Volume I. Diagnostico .Brasília, DF.

_____ (2012). Resultado Final da 1ª Revisão Periódica das tarifas dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pela CAESB. Anexo VII- Tratamento regulatório dos investimentos em expansão dos sistemas de abastecimento de água e de esgoto sanitário.

Ambrose, R. B., e Wool, T. A. (2009). WASP7 - Stream Transport Model Theory and User's guide. Athens: U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-09/100

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation -APHA; AWWA e WEF-(1995).Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington D.C.: American Public Health Association, 20a edição. 4500-P A.

Arnold, J. G.; Moriasi, D. N.; Gassman, P. W.; Abbaspour, K. C.; WHITE, M. J.; Srinivasan, R.; Santhi, C.; Harmel, R. D.; Van Griensven, A.; Van Liew , M. W.; Kannan, N.; Jha, M. K. (2012a) SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers, *Transactions of the ASABE* , v. 55(4), p. 1491-1508.

Assaf, H., e Saadeh, M. (2008). “Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system.” *Environmental Modelling and Software*, 23(10-11), 1327–1337.

Baltar, A.M. (2001). Sistema de Apoio à Decisão para Avaliação Econômica da Alocação de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Rio Descoberto. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

Berhe, F. T., Melesse, a. M., Hailu, D., and Sileshi, Y. (2013). “MODSIM-based water allocation modeling of Awash River Basin, Ethiopia.” *Catena*, Elsevier B.V., 109, 118–128.

Bicalho, C.C (2006). Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

Bottino, F., Ferraz, I. C., Mendiondo, E. M., and Calijuri, M. D. C. (2010). “Calibration of QUAL2K model in brazilian micro watershed: effects of the land use on water quality.” *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22(4), 474–485.

Boxall, J. B.; Guymer, I. (2007). “Longitudinal mixing in meandering channels: New experimental data set and verification of a predictive technique.” *Water Research*, 41(2), 341–354.

Brandão, C.; Rodrigues, R. (2000). Hydrological Simulation of the International Catchment of Guadiana River. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 25, n.3, pp, 329-339

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

_____. Lei Federal n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, Brasília, 1981.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

_____. Lei Federal n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília, 2007.

Brites, A. P. Z. (2010). Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Cadwallader, T. E.; McDonnell, A. J.(1969) A multivariate analysis of reaeration data. *Water Research*, v. 3, p. 731-742,

Chapra, S., Pelletier, G., and Tao, H. (2008). “QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual.” 109.

Chapra, S.C (1997). *Surface Water Quality Modeling* . McGraw Companies. 844p

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York, McGraw- Hill, 592 pp.

Churchill, M.A; Elmore, H.L.; Buckingham, R.A (1962). The prediction of stream reaeration rates. *Journal Sanitary Engineering Division*, ASCE, 88(4). July 1962. p. 1-46.

Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal (2014)-
CODHAB. Setor Habitacional Jardim Mangueiral. Disponível em: <http://www.hiria.com.br/formacaopp/PDFs/Carlos-Alberto-Formacao-em-PPPs-2014.pdf> Acesso em 14/03/2015

Companhia de Planejamento do Distrito Federal – Codeplan (2013) - Pesquisa distrital por amostra de domicílios -Samambaia, Brasília

_____. (2011b). Pesquisa distrital por amostra de domicílios –Distrito Federal –. Brasília,DF.

_____. (2013) - Pesquisa distrital por amostra de domicílios -Taguatinga, Brasília

_____.(2013) - Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Ceilândia, Brasília

Companhia de Sanemanto Ambiental do Distrito Federal - CAESB. (2013). Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal- SIESG. 26ª Ed.

Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal (CRH/DF). Resolução N 02, de 17 de dezembro de 2014, Brasília, 2014.

Cox, B. a. (2003). “A review of dissolved oxygen modelling techniques for lowland rivers.” *Science of the Total Environment*”, 314-316(03), 303–334.

Engenix (1990). *Plano Diretor de Água, Esgotos e Controle de Poluição Hídrica do Distrito Federal – Zona Urbana. Estudos de Controle de Poluição*. Brasília – DF.

Fonseca, Francisco (2008). Efeitos do turismo na demanda d'água da bacia do rio Gramame: Estudo de caso 2008. Dissertação de Mestrado, 143p., Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

Gameson, A.L.H.; Truesdale. A.; Dowing, A.L. (1955) Reaeration studies in lakeland beck. *Journal of Institution of Water Engineers*. v. 9, p. 57-94

Geológica Consultoria Ambiental (2015) - Diagnóstico situacional como subsídio à revisão do Plano Diretor de Santo Antônio do Descoberto

Governo do Distrito Federal - GDF (2013) Caesb inicia obras na estação de tratamento do Sistema Corumbá. Disponível em:<
<http://www.df.gov.br/noticias/item/7841-caesb-inicia-obras-na-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-do-sistema-corumb%C3%A1.html>> Acesso em 25/04/2015

Hamlat,A.; Errih,M., Guidoum,A. (2012). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watershed using WEAP model. *Saudi Society for Geosciences* 2012, 2236-2235.

Harbaugh, A.W., e McDonald, M.G., (1996), User's documentation for MODFLOW-96 an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-485, 56 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2010). Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang>>. Acesso em 5/04/2015

_____.(2011) Atlas de Saneamento 2011.

_____.(2015) Estimativa Populacional 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>. Acesso em 09/09/2015.

_____. (2015) Estimativas da população dos municípios brasileiros com data de referência em 1º de junho de 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em 13/05/2015.

Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. (2009) *Tratamento de esgotos domésticos*. ABES, Rio de Janeiro, 940 p.

Kannel, P. R., Kanel, S. R., Lee, S., Lee, Y.-S., e Gan, T. Y. (2011). “A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams.” *Environmental Modeling & Assessment*, 16(2), 183–204.

Knapik, H. G., Vicente, C., Fernandes, S., e Bassanesi, K. (2011). “Qualidade da Água da Bacia do Rio Iguaçu : Diferenças Conceituais entre os Modelos QUAL2E e QUAL2K.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos -RBRH*, 16, 75–88.

Labadie, J.W (1988). MODSIM: Technical Manual, River Basin Network Model for Rights Planning. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Lima, C. A. G., Curi, W. F. C., e Curi, R. C. (2007). “Marco Regulatório para a Gestão do Sistema Curema-Açu e as Disponibilidades Hídricas do Reservatório Curema-Mãe D’ Água.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12(1997), 73–86.

Lima, G. (2002). Aplicação de Simulação Computacional na Análise dos Conflitos Entre os Usos Múltiplos da Água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 141 p., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.

Lima, J.M (2004).Estudo de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais- o caso da bacia do rio Descoberto. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília ,DF 112p.

Loucks, D.P., Taylor, M.R., French, P.N., 1995. IRAS - Interactive river-aquifer simulation model, program description and operating manual. Cornell University, Ithaca, NY

Loures, A. P. S., Soares, A. a., Matos, A. T. De, Cecon, P. R., e Pereira, O. G. (2006). “Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3), 706–714.

Matrosov, E. S., Harou, J. J., e Loucks, D. P. (2011). “A computationally efficient open-source water resource system simulator - Application to London and the Thames Basin.” *Environmental Modelling and Software*, Elsevier Ltd, 26(12), 1599–1610.

Melching, C. S.; Flores, H. E. Reaeration equations derived from U.S. Geological Survey Database. *Journal of Environmental Engineering*, v.125, n. 5, p. 407-414, May 1999.

Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Brasília, 1997.

Monsalve- Herrera. D.J (2013). Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p

O'Connor, D.J., Dobbins, W.E (1958). Mechanism of reaeration un natural streams. *Journal Sanitary Engineering Division*, ASCE, 123.p.641-666.

Owens, M.; Edwards, R. W.; Gibbs, J. W. "Some reaeration studies in streams". *International Journal of Air and Water Pollution*, v. 8, n. 8/9, p. 469-486, 1964

Park, S. S., Lee, Y. S. (2002). “A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea.” *Ecological Modelling*, 152(1), 65–75.

Porto, M.F.A (2002). Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro. Tese de Livre-Docência. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 131p.

Porto, R.L. e Azevedo, L.G.(1997). "Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos". In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Associação Brasileira de Recursos Hídricos*. p. 42-95

Projeto Descoberto (2006)- Definição de requerimentos de resolução espacial e temporal para monitoramento da quantidade e da qualidade da água em bacias hidrográficas - Relatório Final

Queiroz, E. P. (2007) A formação histórica do Distrito federal e entorno: municípios - gênese à presente configuração territorial. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Universidade de Brasília.

Rauch, W., Henze, M., Koncsos, L., Reichert, P., Shanahan, P., Somlydy, L., Vanrolleghem, P. (1998). “River water quality modelling: I. State of the art.” *Water Science and Technology*, 38(11), 237–244.

Ribeiro, M.O (2001). Estudo da poluição e autodepuração nos rios Melchior e Descoberto, na bacia do Descoberto-DF/GO, com auxílio de modelos matemáticos de simulação da qualidade da água, para estudos de seu comportamento atual e futuro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177p.

Sardinha, D. S., Conceição, F. T. , Souza, A. D. G., Silveira, A. , Julio, M., Gonçalves, J. C. D. S. I. (2008). “Evaluation of water quality and autopurification from the meio stream Leme (Sp).” *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 13(3), 329–338.

Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação - SEGETH (2014) - Disponível em: <http://www.sedhab.df.gov.br>. Acesso em 20/03/2015

Secretaria do Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - Plano de Ordenamento Territorial do Distrito Federal , (PDOT) 2009. Documento Técnico

Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Governo do Estado de Goiás - SEPLAN (2013). Disponível em: <http://www2.seplan.go.gov.br/seplan/down/planodiretor/PD_StoAntDesc.pdf>. Acesso em 20/05/2015.

SEEBLA(2000). *Estudos de reavaliação do sistema de esgotamento do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal: Diagnóstico do Setor Oeste – Volume I: Texto*. Brasília – DF.

Sieber, J.; Swartz, C., Huber - Lee, A.H., (2005). *Water Evaluation and Planning System (WEAP): User Guide*. Stockholm Environment Institute, Boston.

Silva, T. C., Silans, A., Filho, L., Paiva, A., Billib, M., Boochs, P., Silva, T., Silans, A., e Gadelha, C. (2002). “Planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Gramame, uma bacia litorânea do Nordeste brasileiro.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH*, 7(4), 121–134.

Soares, P. A., Pinheiro, A., e Zucco, E. (2012). “Análise dos Coeficientes de Reaeração e Cinéticos Empregados na Simulação de Qualidade de Água em Rios.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(17), 163–173.

Stockholm Environment Institute-SEI, (2001). Water Evaluation and Planning-WEAP: User Guide for WEAP21. Boston USA.

_____, (2012). Water Evaluation and Planning-WEAP: Tutorial.

_____ (2014) Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La vieja. Disponível em: <http://sei-us.org/publications> . Acesso em: 5 de fevereiro de 2015.

Teixeira, C.A.; Porto, Rubem L.L. (2008). “Avaliação da qualidade de água e autodepuração dos rios da bacia do Rio Piracicaba.” *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 16, 20-31.

Tsivoglou, E. C.; Wallace, J. R. Characterizing stream reaeration capacity. Rep. No. EPA-R3-72-012. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1972.

Tsivoglou, E. C., e Neal, L.A. 1976. Tracer Measurement of Reaeration. III. Predicting the Reaeration Capacity of Inland Streams. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 48(12):2669-2689.

Tucci, C.E.M. (2005). Modelos Hidrológicos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 678p.

Universidade de São Paulo -USP.(2002). AcquaNet – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de Recursos Hídricos: manual do usuário. Laboratório de sistemas de suporte a decisões- USP. São Paulo.

Von Sperling, M.V.(1995). “Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – princípios do tratamento biológico de águas residuárias”. Vol.1, 2ª edição. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 452 p.

Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental LTDA (2011). Plano Ambiental de Conservação e uso do entorno do reservatório da UHE Coroumbá IV. Volume I,II e III. 343p.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., e Galbraith, H. (2005). “Planning Model Part 2 : Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation.” *Water International*, 30(4), 501–512.

Zhang, R., Qian, X., Yuan, X., Ye, R., Xia, B., e Wang, Y. (2012). “Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 4504–4521.

Zoneamento Ecológico-Econômico do DF - ZEE - (2011). Subproduto 3.2 - Relatório do Diagnóstico. Volume I,II e III