

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE
DA ÁGUA PARA AVALIAÇÃO DE CARGAS CONTAMINANTES EM
AFLUENTES DE MANANCIAS DE ABASTECIMENTO.**

DIANA JIMENA MONSALVE HERRERA

**ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE
ALVES**

CO-ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

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

PUBLICAÇÃO: PTARH. DM-146/2013

BRASÍLIA/DF: ABRIL– 2013

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

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE
DA ÁGUA PARA AVALIAÇÃO DE CARGAS CONTAMINANTES EM
AFLUENTES DE MANANCIAS DE ABASTECIMENTO**

DIANA JIMENA MONSALVE HERRERA

**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, PhD (FT-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, PhD (FT-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof^ª. Suzana Maria Gico Lima Montenegro, PhD (UFPE)
(Examinadora Externa)**

BRASÍLIA/DF, 4 DE ABRIL DE 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

MONSALVE HERRERA, DIANA JIMENA

Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento [Distrito Federal] 2013.

xvii, 120p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2013). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Gestão integrada dos recursos hídricos

3. Qualidade da água

I. ENC/FT/UnB

2. Integração de modelos

4. Disponibilidade da água

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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 em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM 146/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Diana Jimena Monsalve Herrera.

TÍTULO: Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

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.

Diana Jimena Monsalve Herrera
SQN 409 bloco H. Apartamento 304.
CEP: 70857080. Brasília-DF.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família pela confiança e apoio já que apesar da distância e da saudade sempre deram para mim a força para conseguir a realização dos meus sonhos. Obrigada por me ensinar o valor da vida e do estudo e a importância de fazer as coisas com paixão.

À minha orientadora, professora Conceição de Maria Albuquerque Alves e meu co-orientador o professor Ricardo Tezini Minoti pela confiança depositada em mim, a orientação prestada, a paciência e o tempo dedicado no projeto, muito obrigada pelos ensinamentos e por me encaminhar no mundo da pesquisa.

Às pessoas com quem eu moro que se tornaram minha família colombiana em Brasília: Camilo Sanchez, Harry Morales, e Tatiana Lopez, muito obrigada pelo carinho, o apoio e por me dar um lar fora do meu país natal.

Ao Cami pelo amor, o apoio, o carinho, por ser meu pilar nos momentos difíceis e por criar em mim a segurança que eu precisava para terminar essa etapa da minha vida. Obrigada por me fazer feliz e ser a luz que ilumina o caminho da minha vida.

Aos meus amigos: Ana Leon, David Sepúlveda, Rosita Dueñas, “a los monitos” Liliana e Chucho Rogerio Almeida, Carolina Alzate, William Cuellar, Vivi Trujillo, Jimmy Guerrero, Laryssa, Claudia Alves e Andrea Carvalho pela amizade, os sorrisos, as aventuras e o apoio.

Aos meus colegas e amigos da turma 2013 do meu programa de Pós-graduação- PTARH:
À Olga Caminha (Olguita) pela amizade, por compartilhar comigo um café todas as tardes para falar um pouco da vida e do estudo, obrigada por se tornar quase uma irmã que me deu seu apoio quando eu mais precisava e me deu calma e a paciência nos dias que eu tinha dificuldades. Obrigada pelos conselhos, o carinho, a boa energia e por cada uma das histórias de cada dia que tiravam um sorriso do meu rosto.

À Adriane Dias minha primeira “miguita” brasileira, obrigada pela amizade, por me dar forças especialmente no começo do mestrado já que quando eu tinha mais saudade você

conseguia me fazer sentir em paz comigo mesma, obrigada pelos conselhos, os abraços quando eu mais precisava e por compartilhar minhas alegrias.

À Maria Elisa Leite, Carol Pertussatti, Naiara Raiol, Patrícia Bermond, Lucas Achaval, Diogo Gebrim, Leo Piau, Ana Maria Mota, Carla Vizzotto, Reuel Lopez, Fabiano Silva, Renata Araújo, Bruna Capelete, Genilda Oliveira e Luis Carlos Hernandez pela amizade, a convivência e o aprendizado nesses dois anos, obrigada por me mostrar as coisas maravilhosas do Brasil e por fazer me apaixonar pela sua terra.

Aos meus amigos que moram na Colômbia: Aura Luz Molano, Laura Olarte, Lilly Posso, Adriana Andrade, Franklin Veasco, Astrid Aguilar, Julian Salazar, Lucho Burbano, Alejandro Rios, Carlos Muñoz (Super), Harold Ordoñez, David Enriquez, Johana Ordoñez e Marlon Cuervo por me apoiar e por manter a amizade apesar da distância. À minha afilhada Sofia Fernandes pelo carinho. Ao meu orientador da graduação na Colômbia o Engenheiro Luis Jorge Gonzalez, por me mostrar o maravilhoso mundo dos recursos hídricos e por ser um exemplo de vida para mim.

Aos meus professores do PTARH, pelo aprendizado e paciência. À Sara Ferrigo pelas dicas na modelagem do SWAT e pela ajuda incondicional. À Fernanda Aquino pela ajuda no desenvolvimento do projeto na compilação de dados, e pela amizade e carinho.

Aos meus amigos e colegas do Instituto de Geociência- IG da UnB, Paulo Menezes, Kassia Castro e Leandro Salles que me ajudaram muito no desenvolvimento desse projeto especialmente na área de geoprocessamento, muito abrigada pelo apoio e a amizade. Ao professor Enrique Roig por me permitir utilizar as instalações do IG para fazer as simulações no SWAT e pelo apoio nessa etapa do projeto.

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico- CNPq, pela ajuda financeira através da bolsa de estudos. À Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal- CAESB, à Agencia Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal- ADASA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa pelo apoio no fornecimento da informação necessária para desenvolver o projeto.

Para todos muito obrigada!

(Muchas Gracias!)

Diana Jimena Monsalve Herrera

*“... Não te rendas que a vida é isso,
Continuar a viagem,
Perseguir teus sonhos,
Destruir o tempo,
Remover os escombros
E revelar o céu...”*

Mario Benedetti

*“...No te rindas que la vida es eso,
Continuar el viaje,
Perseguir tus sueños,
Destruir el tiempo,
Correr los escombros,
Y destapar el cielo...”*

Mario Benedetti

Dedicatória

Aos meus pais Martha Lucia e Álvaro Antonio, pelo apoio e por serem uma inspiração para eu vencer todos os obstáculos que se apresentam na minha vida.

Muito obrigada!

Dedicatória

A mis padres Martha Lucia e Álvaro Antonio, por el apoyo y por ser una inspiración para vencer los obstáculos que se presentan en mi vida.

Muchas gracias!

RESUMO

INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA PARA AVALIAÇÃO DE CARGAS CONTAMINANTES EM AFLUENTES DE MANANCIAS DE ABASTECIMENTO.

Autora: Diana Jimena Monsalve Herrera

Orientadora: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Co-orientador: Ricardo Tezini Minoti

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, abril de 2013.

O uso e ocupação desordenada do solo e a falta de gestão dos recursos hídricos põem em risco a disponibilidade e a qualidade da água nas bacias hidrográficas com adensamento populacional acentuado. Essa problemática apresenta-se na sub-bacia Riacho Fundo, afluente do lago Paranoá no Distrito Federal, área de estudo da presente dissertação.

Considerando essa problemática o objetivo desse trabalho foi avaliar a disponibilidade e a qualidade da água da sub-bacia Riacho Fundo, mediante a integração dos modelos Soil and Water Assessment Tool-SWAT e o Water Evaluation and Planning-WEAP criando diversos cenários para auxiliar o processo de gestão integrada dos recursos hídricos do Distrito Federal.

Para integrar os modelos foram inseridos no WEAP os resultados de simulação hidrológica e de qualidade da água gerados no SWAT. Em seguida, desenvolveram-se cenários de disponibilidade e qualidade da água com uso do WEAP no intuito de subsidiar processos de tomada de decisão sobre o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na área de estudo.

Os cenários de disponibilidade de água mostraram uma redução no armazenamento do lago Descoberto no ano de 2025 devido a um aumento da população. Em condições de valores mínimos de vazões, o valor mínimo de armazenamento chegou a 9.11 hm³ nos meses de seca, sinalizando para enorme estresse hídrico. Nos cenários de qualidade encontrou-se que a ETE Riacho Fundo aumentou as concentrações do Fósforo Total-PT e Nitrogênio Total-NT no rio Riacho Fundo, mas sofreram um processo de diluição ao longo do rio. Os maiores valores de NT e PT no exutório da sub-bacia foram de 1.68 mg/L e 0.12 mg/L. Esses resultados mostraram a vulnerabilidade que apresenta a área de estudo quanto à disponibilidade e a qualidade da água

ABSTRACT

INTEGRATION OF QUANTITY AND QUALITY WATER MODELS FOR THE CONTAMINANT LOADS EVALUATION IN TRIBUTARIES SUPPLY SOURCES

Author: Diana Jimena Monsalve Herrera

Supervisor: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Co-supervisor: Ricardo Tezini Minoti

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, April 2013

Disordered land use and occupation, and the lack of water resources management threaten the availability and quality of water in river basins with marked population density. This problem is present in the Riacho Fundo watershed, affluent of Paranoá Lake in the Federal District. This work is based on the study of Riacho Fundo sub-basin.

Considering this problem, the objective of this study was to evaluate the availability and quality of water in the Riacho Fundo sub-basin, by integrating the Soil and Water Assessment Tool- SWAT and Water Evaluation and Planning- WEAP models and by creating various scenarios to assist the integrated management of water resources process on the Federal District.

In order to integrate the models, simulation results of hydrological and water quality generated in SWAT were introduced into WEAP. Then, water availability and quality scenarios were developed using WEAP in order to generate decision processes about water resources planning and management in the area of interest.

The water availability scenarios showed a reduction in water storage in Descoberto Lake in 2025 due to an increase in population. In terms of minimum streamflow values, the minimum storage came to 9.11 hm³ during dry months, signaling huge water stress. In the quality scenarios, it was found that Riacho Fundo's WWT increased the Total Phosphorus-PT and Total Nitrogen-NT concentrations of Riacho Fundo river, but it suffers a dilution process along the river. The higher NT and PT values in the sub-basin outlet were 1.68 mg/L and 0.12 mg/L. These results show the vulnerability of the area of study about water availability and quality.

SUMARIO

1 - INTRODUÇÃO	xvi
2 - OBJETIVOS	5
2.1 - OBJETIVO GERAL.....	5
2.2 - OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 - GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS	6
3.1.1 - Gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal.	9
3.2 - QUALIDADE DAS ÁGUAS	12
3.3 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA GESTÃO INTEGRADA DE SISTEMAS HÍDRICOS.....	17
3.3.1 - <i>Water Evaluation and Plannning- WEAP</i>	19
3.3.1.1 - Módulo de qualidade para águas superficiais	22
3.4 - INTEGRAÇÃO DE MODELOS PARA SIMULAÇÃO DE QUALIDADE	25
3.4.1 - <i>Soil and Water Assessment Tool-SWAT</i>	25
4 - METODOLOGIA	34
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.1.1 - Geologia.....	35
4.1.2 - Geomorfologia	37
4.1.3 - Pedologia.....	37
4.1.4 - Uso do solo	39
4.1.5 - Clima.....	40
4.2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
.....	42
4.2.1 - Construção da base de dados dos modelos	42
4.2.2 - Obtenção e processamento de dados para o SWAT	43
4.2.2.1 - Simulação hidrológica e de qualidade no SWAT	48
4.2.2.2 - Cenários no SWAT	50
4.3 - INTEGRAÇÃO DO SWAT COM WEAP.....	50
4.3.1 - Construção da rede.....	51
4.3.1.1 - Dados de entrada da rede	52
4.3.2 - Definição e caracterização de Cenários	61

5 - ANÁLISE DE RESULTADOS	63
5.1 - SIMULAÇÃO E CALIBRAÇÃO COM O SWAT.....	63
5.1.1 - Simulação da vazão antes da calibração	63
5.1.2 - Calibração da vazão	66
5.1.3 - Calibração de Fósforo e Nitrogênio Total	75
5.1.4 - Cenários no SWAT	80
5.2 - INTEGRAÇÃO DOS MODELOS SWAT E WEAP.....	85
5.2.1 - Desenho da rede.....	85
5.2.2 - Construção e integração de cenários do SWAT com cenários do WEAP.....	85
5.2.2.1 - Cenários de disponibilidade de água.....	86
5.2.2.2 - Cenários de qualidade da água.....	89
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
ANEXOS	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
REFERENCIAS CITADAS POR TERCEROS.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Integração da gestão da água por setores (modificado - Grigg, 2008)	8
Figura 3.2 - Sistemas de Abastecimento de Água do Distrito Federal, (modificado,CAESB,2008)	10
Figura 3.3 - Tela principal do WEAP.....	20
Figura 4.1 - Localização da área de estudo	36
Figura 4.2 - Tipo de solo da sub-bacia Riacho Fundo.....	38
Figura 4.3 - Uso de solo da sub-bacia Riacho Fundo.....	39
Figura 4.4 – Fluxograma da proposta metodológica para a integração dos modelos SWAT e WEAP	41
Figura 4.5 - Síntese do processo de simulação no SWAT	43
Figura 4.6 - Modelo de elevação digital da sub-bacia do Riacho Fundo	44
Figura 4.7 - Classificação da declividade da sub-bacia Riacho Fundo	47
Figura 4.8 - Desenho da rede de WEAP com dados de SWAT.	53
Figura 4.9 - Crescimento da população no Cenário de Referência, com uma taxa média de crescimento de 2.3%	55
Figura 4.10 - Sub-bacias obtidas no SWAT	56
Figura 4.11 - Principais trechos considerados no WEAP do córrego Vicente Pires e do rio Riacho Fundo.....	57
Figura 4.12 - Vazões de entrada no lago Descoberto em m ³ /s (ADASA,2012).....	58
Figura 4.13 - Características de operação consideradas pelo WEAP (modificado,SEI, 2001).....	59
Figura 5.1 - Serie simulada sem calibração no período de 1988-1966	64
Figura 5.2 - Coeficiente de determinação da serie de vazões sem calibrar no período 1988- 1966.	65
Figura 5.3 - Melhor calibração de vazões obtida no período 1988-1996.....	67
Figura 5.4 - Verificação do modelo no período 1997-2000	68
Figura 5.5 - Correlação de dados da calibração e verificação; a) correlação de dados de vazões no período de calibração; b) correlação de dados de vazões no período de verificação.	68
Figura 5.6 - Calibração e verificação das vazões no período 1988-2000.....	70
Figura 5.7 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1997.	71

Figura 5.8 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1998	71
Figura 5.9 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1999.	71
Figura 5.10 - Comportamento da chuva e da vazão desde janeiro até setembro de 2000...	72
Figura 5.11 - Calibração das vazões no período de 1988-1993.....	73
Figura 5.12 - Verificação do modelo no período 1994-1996.	73
Figura 5.13 - Coeficiente de determinação na calibração das vazões no período de 1988-1993.	74
Figura 5.14 - Coeficiente de determinação na verificação no período de 1994-1996.....	75
Figura 5.15 - Calibração do Fósforo Total no período 2004-2008.....	77
Figura 5.16 - Verificação da simulação do Fósforo no período 2009-2010.....	77
Figura 5.17 - Calibração do Nitrogênio Total no período 2004-2008.....	77
Figura 5.18 - Verificação do Nitrogênio Total no período 2009-2010	78
Figura 5.19 - Resultados do coeficiente de determinação para a) serie calibrada do Fósforo Total; b) verificação do Fósforo Total; c) serie calibrada do Nitrogênio Total ; d) verificação do Nitrogênio Total.....	78
Figura 5.20 - Comparação de cenários para estudo de vazões no ano 1998	81
Figura 5.21 - Comparação de cenários para estudo de vazões no ano 2003.	82
Figura 5.22 - Comparação de cenários para estudos de vazões no ano de 2011.	82
Figura 5.23 - - Comparação de cenários para o PT no ano 1998	83
Figura 5.24 - Comparação de cenários para PT no ano 2003.....	83
Figura 5.25 - Comparação de cenários para PT no ano 2011.....	83
Figura 5.26 - Cenários para o NT no ano 1988.	84
Figura 5.27 - Cenários para o NT no ano 2003	84
Figura 5.28 - Cenários para NT no ano 2011	84
Figura 5.29 - Armazenamento do lago Descoberto para os três cenários estudados no período 2011-2025.....	88
Figura 5.30 - Comportamento do NT nos três cenários no mês de janeiro de 2025 para o rio Riacho Fundo.....	90
Figura 5.31 - Comportamento do NT nos três cenários no mês de agosto de 2025 para o rio Riacho Fundo	91
Figura 5.32 - Comportamento do PT nos três cenários no mês de janeiro de 2025 para o rio Riacho Fundo	91
Figura 5.33 - Comportamento do PT nos três cenários no mês de agosto de 2025 para o rio Riacho Fundo.....	92

Figura 5.34 - Comportamento do NT no sistema hídrico da sub-bacia Riacho Fundo. a) concentrações médias de NT em mg/L para o mês de Janeiro no cenário 2. b) concentrações médias de NT em mg/L para o mês de Agosto	94
Figura 5.35 - Comportamento do PT no sistema hídrico da sub-bacia Riacho fundo. a) concentrações médias de PT em mg/L para o mês de Janeiro no cenário 2. b) concentrações médias de PT em mg/L para o mês de Agosto.	95
Figura 5.36 - Comportamento do NT no rio Riacho Fundo em janeiro de 2025, melhorando a remoção de NT da ETE	96
Figura 5.37 - Comportamento do NT no rio Riacho Fundo em agosto de 2025, melhorando a remoção de NT da ETE	97
Figura 5.38 - Comparação de cenários para o NT sem a ETE Riacho Fundo em janeiro de 2025.	98
Figura 5.39 - Comparação de cenários para o PT sem a ETE Riacho Fundo em janeiro de 2025.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Disponibilidade e demandas médias e máxima na bacia hidrográfica do rio Paranoá, modificado (ADASA, 2012).....	11
Tabela3.2 - Limites entre as classes tróficas para o estado de São Paulo, (modificado, Lamparelli,2004)	17
Tabela3.3 - Valores máximos de nutrientes para rios classe 1 e 2.	17
Tabela3.4- Classificação dos grupos hidrológicos dos solos para condições brasileiras, (modificado - Sartori et al., 2005).	29
Tabela 4.1 - Área e porcentagem das classes de usos de solo para o Riacho Fundo, modificado (Menezes,2010)	40
Tabela 4.2 - Parâmetros de solos requeridos pelo SWAT.....	45
Tabela4.3 - Classificação de declividades inseridas no SWAT.	47
Tabela4.4 - Classificação dos resultados dos índices de qualidade da simulação da vazão, Nitrogênio e Fósforo médio mensal pelo modelo SWAT (Moriasi et al., 2007).	50
Tabela4.5 - Dados de entrada para o ano base 2011 nos nós de demanda.	54
Tabela4.6 - Sub-bacias localizada a montante dos rios da área de estudo.	56
Tabela4.7 - Características do reservatório utilizadas na simulação no WEAP.....	59
Tabela4.8 - Calculo da taxa de evaporação no lago Descoberto.	59
Tabela4.9 - Dados de cota e volume do lago Descoberto.	60
Tabela4.10 - Características da ETE Riacho Fundo.....	60
Tabela 4.11 - Integração do SWAT nos cenários do WEAP.....	62
Tabela5.1 - Valores dos parâmetros modificados na calibração de vazões mensais.....	67
Tabela5.2 - Resultados estatísticos da calibração e verificação no período de 1988-2000.	69
Tabela5.3 - Comparação de valores de chuva e vazão para o período de verificação.	72
Tabela 5.4 - Parâmetros modificados para a calibração das vazões no período de 1988-1993.	73
Tabela5.5 - Resultados estatísticos da calibração e da verificação das vazões.	75
Tabela5.6 - Parâmetros modificados para calibração dos nutrientes.....	76
Tabela5.7 - Dados estatísticos do Nitrogênio Total da calibração e verificação.....	79
Tabela5.8 - Dados estatísticos do Fósforo Total da calibração e verificação.....	79
Tabela5.9 - Máximo teor de NT e PT encontrado no período 2012-2025	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACQUANET - Modelo para alocação de água em sistemas completos de recursos hídricos
ADASA - Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA - Agência Nacional de Águas
APHA - *American Public Health Association*
ArcGis - *Mapping and Spatial Analysis for Understanding Our World*
ARS - *Agriculture Research Service*
AWWA - *American Water Works Association*
CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CRW - *Center for Research in Water Resources*
DBO - Demanda biológica de oxigênio
DF - Distrito Federal
DEM - *Digital elevation model*
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*
ETE - Estação de tratamento de esgoto
EUA - Estados Unidos de América
GAMS - *General Algebraic Modeling System*
GIRH - Gestão integrada dos recursos hídricos
GWC - Green Water Credits
GWLF - *Generalized Watershed Loading Functions*
GWP - *Global and Water Partnership*
HRU - *Hydrologic Response Unit*
IFAD - *International Fund for Agricultural Development*
INMET - Instituto Nacional de meteorologia
IRAS - *Interactive River and Aquifer Simulation*
ISRIC - *International Soil Reference and Information Center*
KIT - *The Royal Tropical Institute*
LASCAM - *Large Scale Catchment Model*
MODSIM-DSS - *River Basin Management Decision Support System*
MEUPS - *Modified Universal Soil Loss Equation*

NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
NRCS - Natural Resources Conservation Service
NT - Nitrogênio Total
N - Nitrogênio
OD - Oxigênio dissolvido
P - Fósforo
PDAP - Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente.
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PT - Fosforo Total
QUAL 2K - *River and Stream Water Quality Model*
SANEAGO - Empresa de saneamento de Goiás
SCS - *Soil Conservation Service*
SEI - *Stockholm Environment Institute.*
SSD - Sistema de Suporte á Decisão
SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*
SWIM - Soil and Water Integrated Model
SWMM - *Storm Water Management Model*
SyDWEM - *System Dynamics and Water Environmental Model*
TU Dresden - *Technische Universität Dresden*
UnB - Universidade de Brasília
UnIBwM - *Universität der Bundeswehr München*
URHD - *Urban high density*
URLD - *Urban low density*
URMD- *Residential-Medium Density*
US. EPA - *United States Environmental Protection Agency*
USDA - *United States Department of Agriculture*
USP - Universidade de São Paulo
WEAP - *Water and Evaluation and Planning*
WEF - *Water Environmental Federation*

1 - INTRODUÇÃO

A água é um recurso muito importante para manter o equilíbrio ecológico, conservando os ciclos que se desenvolvem na natureza para garantir a sobrevivência dos seres vivos. Com o desenvolvimento econômico e a evolução das necessidades das pessoas, a água tornou-se um bem social e econômico essencial para o desenvolvimento da vida humana, de suas atividades e, além disso, é determinante na qualidade de vida das pessoas. Devido a sua importância, nas comunidades têm ocorrido diferentes conflitos causados pelas quantidades limitadas do recurso, a deterioração da sua qualidade, ausência de infraestrutura para sua distribuição e tratamento, falta de planejamento e de políticas de gerenciamento.

A escassez é um dos fatores que agrava os conflitos de uso da água, e a qualidade da água pode ser uma causa direta dessa escassez, impossibilitando o uso dos recursos hídricos, especialmente para abastecimento. A qualidade da água pode ser afetada por poluição pontual e difusa de origem antrópica e natural. Os poluentes podem ser gerados a partir de diversas atividades antrópicas como a agricultura intensiva, a geração de esgotos, processos industriais, expansão urbana, entre outras.

Um dos maiores problemas que limita o uso da água, sob o ponto de vista da qualidade, é o processo de eutrofização em corpos hídricos. A eutrofização é provocada pela quantidade excessiva de nutrientes em ambientes aquáticos, especialmente de Nitrogênio e Fósforo, resultando na deterioração da qualidade da água e também no aumento dos custos no tratamento para abastecimento para casos de eutrofização de mananciais.

No Distrito Federal, essa preocupação é ainda maior dado que grande parte da água de abastecimento vem de reservatórios, cujos tributários atravessam zonas urbanas, recebendo esgotos tratados e clandestinos, e ainda passam em zonas de agricultura que utilizam fertilizantes e podem gerar cargas elevadas de sedimentos e nutrientes.

O clima e a morfologia do DF determinam as limitações quantitativas nos recursos hídricos e os aspectos relativos ao desenvolvimento econômico e social demandam a cada dia, maiores quantidades de água (ADASA, 2012)

Adicionalmente, as bacias que contribuem para os mananciais de abastecimento do Distrito Federal têm sofrido fortes pressões de ocupação desordenada e irregular, além de um adensamento populacional crescente nas áreas já ocupadas.

Uma das unidades hidrográficas do DF que apresenta adensamento urbano e demográfico marcado é o Riacho Fundo, que também se caracteriza por ter tido uma expansão do uso de solo urbano de maneira desordenada afetando as condições ambientais da área em questão.

Echeverria (2007) fez estudos físico-químicos, geoquímicos e de sedimentos em vários tributários do Lago Paranoá e encontrou que o Riacho Fundo tinha as maiores concentrações nos parâmetros analisados, especialmente nitrato, cloreto, alcalinidade, condutividade e sólidos totais suspensos. Os valores mais altos encontrados no estudo no ano 2006 foram: 4 mg/L de nitrato, 0,5 mg/L de amônia e 4,7 mg/L de cloreto para o Riacho Fundo e 2,6 mg/L de nitrato e Ribeirão de Gama, em período de chuva.

Esses valores foram associados à influência antrópica da zona. O estudo forneceu valores anômalos de amônia, fosfato e alcalinidade em pontos de coleta da sub-bacia do Riacho Fundo que foi associado ao crescimento da urbanização, lançamento de resíduos e esgotos sanitários e escoamento de fertilizantes.

O crescimento da urbanização nessa área pode se verificar no estudo de Menezes (2010), que mediante uma base de dados de sensoriamento remoto, identificou a evolução da ocupação do solo e a perda do espelho de água em varias unidades hidrográficas pertencentes à bacia do lago Paranoá entre o ano 1966 ate 2009. No caso do Riacho Fundo, o autor observou que em 2009, 87% da unidade hidrológica tinha sido ocupada com uso intenso de solo para áreas urbanas e para agricultura, sendo o Riacho Fundo a área a mais afetada. Esse crescimento na bacia foi direcionado nas localidades de Águas Claras e Núcleo Bandeirante.

Segundo Menezes (2010), o processo de ocupação do solo causou um aumento no escoamento superficial e uma diminuição na infiltração aumentando também o risco de assoreamento, alterando o ciclo hidrológico das unidades hidrográficas e afetando o lago Paranoá que recebe a água do Riacho Fundo.

O processo de ocupação do uso de solo vai acompanhado pelo crescimento populacional da área de estudo. No Distrito Federal, a taxa média anual de crescimento populacional é uma das mais altas do país apresentando entre os anos 2000 e 2010 uma taxa de 2,3% (CODEPLAN, 2011a), no caso da bacia do Riacho Fundo, observa-se para o período de 2004 – 2011 taxas de crescimento maiores, como na localidade do Riacho Fundo II, com um crescimento de 11,41% e Águas Claras com 14,12% (CODEPLAN, 2011b).

Essa problemática motivou o presente trabalho, que buscou integrar a modelagem da qualidade e quantidade da água para contribuir no aperfeiçoamento da gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal, processo esse que visa a satisfazer as necessidades ecológicas e antrópicas enquanto ao desenvolvimento econômico e social do DF. Com esse fim se formulou o projeto de pesquisa ÁGUA DF, desenvolvido por diferentes grupos de pesquisa da Universidade de Brasília, técnicos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com colaborações de universidade alemãs como *The Royal Tropical Institute (KIT)*, *Technische Universität Dresden (TU Dresden)* e *Universität der Bundeswehr München (UnIBwM)*.

A presente dissertação se insere na linha de pesquisa intitulada “Sistema Integrado de Recursos Hídricos”, do projeto AGUA DF e foi desenvolvida na sub-bacia do Riacho Fundo, devido às problemáticas que se apresentam na ocupação de uso de solo da sub-bacia, especialmente nos solos com ocupação urbana e as diferentes alterações que isso pode causar no balanço hídrico da sub-bacia e na qualidade das fontes hídricas que drenam suas águas no lago Paranoá, futura fonte de abastecimento do Distrito Federal.

Para avaliar a problemática que se apresenta na sub-bacia de Riacho Fundo, foi utilizada a plataforma computacional *Water Evaluation and Planning (WEAP)*, que é uma ferramenta de planejamento de recursos hídricos e contém módulos de alocação da água, hidrologia e qualidade da água, permitindo promover uma avaliação completa do recurso hídrico, considerando a expansão das áreas urbanas, as atividades agrícolas, o crescimento da população e a demanda de água entre outros.

Utilizou-se o modelo SWAT para obter informação da hidrologia na área de estudo e estimar a poluição difusa e pontual. Essa informação foi integrada no WEAP para avaliar a qualidade da água e sua disponibilidade, na sub-bacia do Riacho Fundo, por ser um importante afluente da bacia do Lago Paranoá, futura fonte de abastecimento do Distrito Federal.

Esse estudo considerou, ainda, a contribuição da ETE Riacho Fundo gerenciada pela CAESB, o crescimento da população, as áreas urbanizadas e de agricultura, mediante cenários futuros que foram elaborados com base em variações desses fatores, considerando, também, as possíveis mudanças por parte da CAESB no sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal.

Finalmente avaliou-se a integração desses modelos como ferramentas de auxílio à gestão integrada dos recursos hídricos no Distrito Federal, tendo como foco principal a qualidade de seus corpos hídricos.

Os itens a seguir apresentam a estrutura da presente dissertação, iniciando pelos objetivos (capítulo 2). No capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica abrangendo temáticas relacionadas com a gestão integral dos recursos hídricos, a qualidade das águas e os sistemas de informações para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos-GIRH. O capítulo 4 tratará da metodologia utilizada nesse estudo, incluindo a descrição da área de estudo e a integração dos modelos WEAP e SWAT. No capítulo 5 serão apresentadas as análises de resultados e finalmente apresentaram-se as conclusões e recomendações.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia para a integração de modelos de simulação qualitativa e quantitativa susceptível de avaliar a disponibilidade e a qualidade da água na sub-bacia do Riacho Fundo como ferramenta para subsidiar o processo de gestão integrada dos recursos hídricos do Distrito Federal.

2.2 - OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Modelar processos hidrológicos e de aporte de nutrientes na sub-bacia Riacho Fundo.
- Integrar os modelos SWAT e WEAP, para análise de qualidade da água da sub-bacia Riacho Fundo.
- Propor uma metodologia que permita avaliar as cargas de contaminantes que poderão atingir os corpos hídricos superficiais da área de estudo, com base em diferentes cenários.
- Gerar informações relacionadas à disponibilidade e à qualidade da água na área de estudo a partir de diferentes cenários baseados em alterações de uso e ocupação do solo, de expansão da demanda, e de eficiência de tratamento da ETE Riacho Fundo.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, mostrar-se-á uma revisão bibliográfica com temáticas relacionadas com a gestão integrada dos recursos hídricos - GIRH em geral e do Distrito Federal, igualmente abordar-se-ão temas relacionados com a qualidade das águas e os sistemas de informações para a GIRH.

3.1 - GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Gestão de recursos hídricos é uma atividade pela qual se pretende abordar as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer o uso adequado, visando a otimização dos recursos em benefício da sociedade (Setti *et al.*, 2001).

Os problemas da gestão passam pela definição quantitativa, qualitativa e equilibrada da distribuição do recurso hídrico para o atendimento do ponto de vista social, das exigências de crescimento econômico e dos princípios de conservação e de preservação ambiental. Uma vez definidas essas distribuições, a meta da gestão passa a ser garantia de estabilidade e melhoria da qualidade da água em longo prazo (Aguilar, 2011).

Para a resolução dos problemas relativos aos recursos hídricos, é necessária uma visão integrada da gestão assim como implicações sociais, econômicas, tecnológicas e ambientais das decisões.

Nesse contexto, a *Global Water Partnership - GWP* (2000) definiu a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos- GIRH como um processo que favorece o desenvolvimento e a gestão da água, do território e dos recursos conexos para maximizar, de modo equitativo, o bem-estar econômico e social, sem comprometer a perenidade dos ecossistemas vitais.

Essa definição foi questionada por Biswas (2004) que afirma que esse princípio não é aplicável em termos operacionais, já que o conceito precisa integrar outras questões. O trabalho dele reúne 35 itens que diferentes autores consideram importante na formulação do conceito GIRH. O autor afirma que a gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH) é um conceito que vem se desenvolvendo há muitos anos, mas, nos anos 1990, começou a ter

mais relevância entre os profissionais da água e as instituições. Segundo o autor, embora o termo tenha sido discutido ao longo do tempo, até agora não se tem uma ideia clara sobre o que significa GIRH nem como implementá-la.

Grigg (2008) resume os 35 tópicos reunidos por Biswas (2004) em 8 questões:

- Setores políticos: integração de setores como ambiente, saúde, energia, agricultura, transporte, etc.
- Setores da água: integração de abastecimento de água, qualidade, irrigação, energia, etc.
- Unidades de Governo: integração de unidades nacionais, regionais e locais.
- Níveis organizacionais: inclui políticas, gestão e níveis operacionais.
- Funções de gestão: Integração de funções gerenciais entre engenheiros, planejadores, finanças e outros membros da organização.
- Unidades geográficas: gestão de bacias.
- Fases de gestão: planejamento, construção, operação, renovação, etc.
- Disciplinas e profissões.

Esses elementos são desenvolvidos na medida em que surgem conflitos pela água, nos diversos setores que estão inter-relacionados e associados à gestão integral do recurso hídrico, como mostra a Figura 3.1.

Para aplicar o conceito de GIRH e implementá-lo, segundo as necessidades dos diferentes setores mostrados anteriormente, é preciso considerar outros conceitos como o planejamento que é um termo que com o tempo tomou importância, especialmente para as instituições e governos que começaram a se preocupar com crescimento da população, à expansão do uso da terra e outras atividades antrópicas que estão gerando problemas de poluição dos recursos naturais, afetando seu uso, distribuição, e, por sua vez, alterando a qualidade de vida da população.

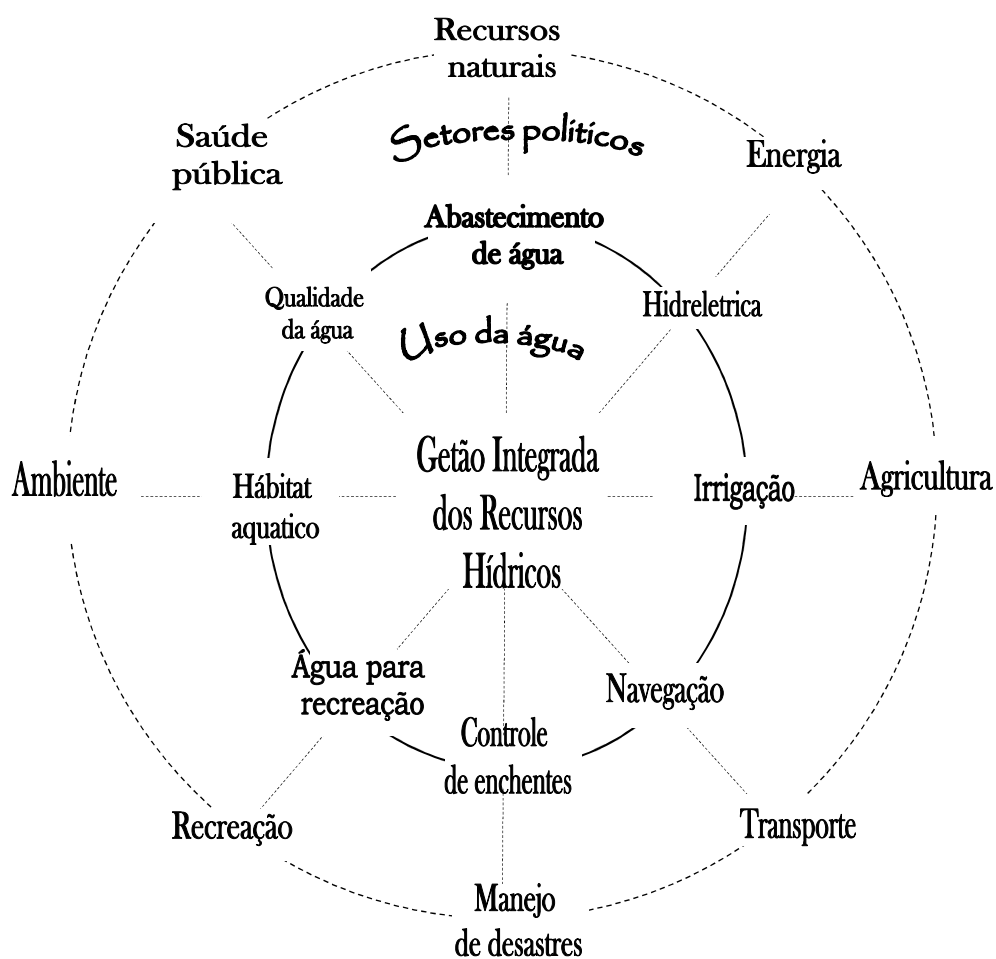


Figura 3.1 - Integração da gestão da água por setores (modificado - Grigg, 2008)

Segundo Santos (2004), o planejamento ambiental surgiu como uma solução a conflitos entre as metas da conservação ambiental e do desenvolvimento tecnológico, relacionando também, sistemas ecológicos e os processos da sociedade, considerando as necessidades socioculturais e as atividades e interesses econômicos, para manter a máxima integridade possível dos seus elementos componentes.

Esses conceitos são aplicados e particularizados para cada tipo de recurso. No caso dos recursos hídricos, estão sendo desenvolvidas políticas e ferramentas de planejamento para melhorar a qualidade, distribuição e uso da água, uma vez que é um recurso vital não apenas para o desenvolvimento das atividades antrópicas, mas também para a sobrevivência do ser humano.

No desenvolvimento do planejamento dos recursos hídricos é preciso considerar o problema da escassez e distribuição da água, originado pelos acelerados processos de expansão urbana, o aumento da demanda, a degradação da qualidade dos recursos hídricos e a alocação da água entre usos múltiplos.

A escassez é um de muitos fatores que geram conflito quanto ao uso da água e está relacionada com a disponibilidade e as demandas. A escassez pode ser quantitativa, quando a demanda ultrapassa a disponibilidade, ou qualitativa, quando a qualidade do recurso hídrico não se ajusta ao uso destinado. Dadas essas situações de conflito, é preciso que os planejadores considerem as quantidades mínimas que a população requer para suprir as necessidades básicas que garantam uma boa qualidade de vida.

3.1.1 - Gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal.

Como enfatiza a Agencia Nacional de Aguas (ANA, 2010) o Distrito Federal está localizado nas cabeceiras das regiões hidrográficas de Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco, mas devido à proximidade entre as nascentes existentes na região e as áreas urbanas do DF, os mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica. Os mananciais de abastecimento público mais importantes no DF, que atendem a mais de 80% da população, são os sistemas Descoberto e Torto/Santa Maria, que são mostrados na Figura 3.2.

ANA (2010) apresentou estudos de demandas e disponibilidades de água projetadas para o ano 2015 e mostra que os sistemas de abastecimento necessitarão de um reforço de um manancial para atender à população no futuro. Atualmente, está-se considerando a implementação de dois empreendimentos previstos para reforçar o sistema atual do DF, o reservatório Corumbá IV e o lago Paranoá, que aumentariam em 8,2 m³/s a oferta hídrica da região. O sistema Corumbá IV será operado conjuntamente pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e a Empresa de Saneamento de Goiás (SANEAGO) e atenderá os municípios de Goiás (Luziânia, Valparaíso de Goiás, Cidade Ocidental e Novo Gama) e as regiões administrativas de Gama e Santa Maria, reforçando o sistema Descoberto.

O lago Paranoá fortalecerá o abastecimento dos sistemas de Santa Maria/Torto, Planaltina/Sobradinho e São Sebastião. O lago se localiza na bacia do rio Paranoá que, por

sua vez, divide-se em 5 unidades hidrográficas de gerenciamento e seus principais afluentes são o Riacho Fundo e os ribeirões Torto, Bananal, Gama e Cabeça de Veado. Essa bacia se caracteriza por apresentar a maior densidade demográfica local (ADASA, 2012). A disponibilidade hídrica que apresenta cada unidade hidrográfica é apresentada na Tabela 3.1

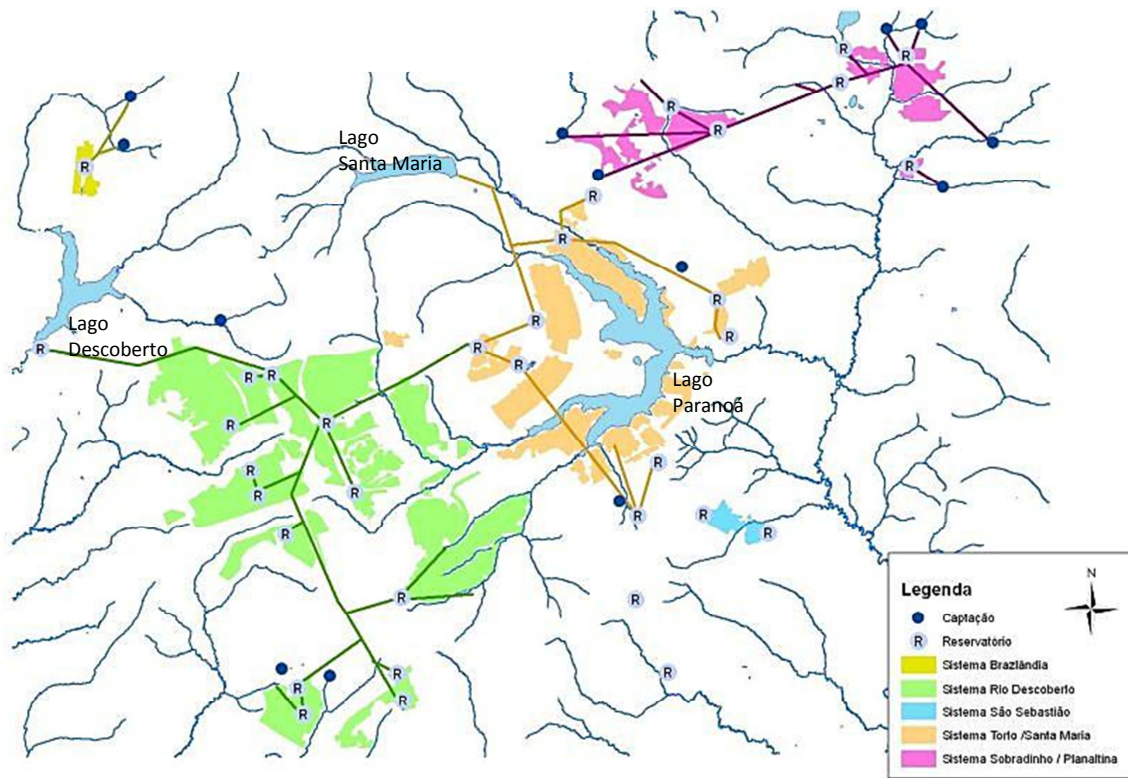


Figura 3.2 - Sistemas de Abastecimento de Água do Distrito Federal, (modificado, CAESB, 2008)

Esses dados de quantidade de água são importantes no contexto da escassez e do desenvolvimento social e econômico no DF. No entanto, também é necessário considerar a quantidade e a alocação de água em conjunto com sua qualidade, já que esta tem um papel muito importante na saúde da população, pois a água contaminada pode transportar agentes que colocam em risco a vida das pessoas, afetando também a disponibilidade da água.

Para gerenciar essas questões, existem ações que podem contribuir com a gestão da qualidade dos recursos hídricos como a caracterização ambiental, a avaliação dos impactos das atividades na área de influência, determinação da capacidade de assimilação de um corpo receptor, o monitoramento ambiental e a retroalimentação do processo de gestão.

No Brasil, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que apresenta, entre outros objetivos, assegurar à atual e às gerações futuras a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, igualmente, define as diretrizes gerais de ação que estabelecem a indispensável integração da gestão das águas com a gestão ambiental. Segundo a Lei nº 9.433/1997, os instrumentos da PNRH são os seguintes: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água, a outorga do direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o sistema de informações sobre recursos hídricos e a compensação a municípios (MMA, 2006).

Tabela 3.1 - Disponibilidade e demandas médias e máxima na bacia hidrográfica do rio Paranoá, modificado (ADASA, 2012)

Bacia hidrográfica	Unidades hidrográficas	Área de drenagem Km ²	Disponibilidades hídricas (m ³ /s)			Demandas sem captação subterrânea (m ³ /s)			
						Vazão Média		Vazão Máxima	
			Q _{ml} [*]	Q _{7,10} [*]	Q ₉₀ [*]	Retirada	Consumida	Retirada	Consumida
Rio Paranoá	Córrego Bananal	129,80	1,93	0,56	1,09	0,010	0,004	0,010	0,004
	Ribeirão Torto	244,19	3,89	1,14	2,20	1,782	1,780	1,782	1,780
	Riacho Fundo	228,32	3,18	0,93	1,80	0,118	0,049	0,196	0,089
	Ribeirão Gama	149,36	3,38	0,69	1,34	0,086	0,063	0,128	0,085
	Lago Paranoá	282,80	5,34	1,56	3,02	0,113	0,006	0,113	0,006
Total Rio Paranoá		1034,47	17,72	4,88	9,45	2,09	1,902	2,23	1,964

* Q_{ml}: vazão média de longo termo

*Q_{7,10}: vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno

*Q₉₀: vazão mínima de referência com 90% de permanência.

A PNRH fornece instrumentos importantes que consideram a água como um bem de domínio público e são utilizados principalmente para garantir a disponibilidade do recurso hídrico. No entanto, para estudos de gestão de recursos hídricos, é importante a integração dessas políticas com os princípios estabelecidos pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) na lei 6938 de 31 de agosto de 1981, que tem por objetivo a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental. Essa integração entre a PNRH e a PNMA permite que o processo de gestão do recurso hídrico considere tanto os aspectos quantitativos como qualitativos dos recursos para garantir a conservação do meio ambiente.

3.2 - QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade das águas pode ser alterada por diferentes fatores, especialmente por atividades humanas que podem poluir as águas superficiais. Existem dois tipos de fontes de poluição, as fontes pontuais, cujo lançamento é localizado num ponto com fácil identificação de vazão e concentração de poluentes, como no caso do lançamento de esgoto ou de resíduos industriais, e as fontes difusas, que são dispersas e os poluentes atingem os mananciais de maneira distribuída, como no caso do escoamento superficial de áreas urbanas e agrícolas.

Segundo Vito (2007), é importante fazer o tratamento adequado para as fontes de abastecimento para proteger os mananciais, pois o conteúdo de elementos nocivos à saúde na fonte hídrica encarece o processo de tratamento, podendo também impedir sua utilização.

Entre os principais parâmetros de qualidade, os mais utilizados são: pH, acidez, alcalinidade, Nitrogênio Total, Fósforo Total, temperatura, cor, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e parâmetros biológicos. O estudo desses parâmetros é importante, pois os tratamentos convencionais exigem que a água bruta tenha um padrão de qualidade determinado, uma vez que os poluentes presentes nos mananciais podem alterar a qualidade da água inesperadamente, gerar doenças, dureza excessiva, corrosão de canalizações, cor, sabor e odores desagradáveis, desenvolvimento de algas, formação de espuma e elevação dos custos (Derísio,1992 *apud* Vito,2007).

Na avaliação dos poluentes nas fontes hídricas, é importante considerar que todo corpo hídrico possui uma capacidade de diluição de cargas contaminantes, seja por uma fonte pontual ou difusa. Vito (2007) comenta que se não existe esta capacidade, a fonte hídrica pode transportar os contaminantes até outro corpo receptor, sem reduzir sua carga, e se ela tem valores altos de contaminantes orgânicos, podem consumir o OD.

Um dos problemas principais na poluição das águas é a matéria orgânica presente, isso ocasiona o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos, afetando a qualidade da água. Tucci (2005) afirma que “o oxigênio é um dos principais indicadores de qualidade da

água”, também expõe que um bom nível de OD não é suficiente para estabelecer uma condição de qualidade, pois podem existir outros elementos capazes de produzir impactos ambientais. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US. EPA, 1986) uma concentração maior ou igual a 5 mg/l de OD em qualquer tempo protege a diversidade da vida aquática.

Uma atividade que gera poluição em zonas habitadas é o lançamento de efluentes, seja industrial ou doméstico. Os impactos que causam os esgotos podem ser maiores, se são lançados nos corpos de água sem o devido tratamento. A contribuição de poluição de esgotos domésticos e industriais é do tipo pontual e é responsável especialmente pela queda de oxigênio na água, contribuição de sólidos, organismos patogênicos e nutrientes.

No caso dos esgotos pluviais, há contribuição de poluição pontual e não pontual. Os esgotos pluviais podem levar para os corpos hídricos impurezas da atmosfera e contaminantes provenientes dos solos que foram transportados pelo escoamento da chuva em áreas carentes de limpeza pública e coleta de lixo, tornando-se uma contribuição equivalente à de esgotos primários. A coleta das águas pluviais muitas vezes se encontra ligada a despejos clandestinos de esgotos sanitários constituindo uma carga adicional, prejudicando o tratamento e aumentando os custos.

No Brasil, existem instrumentos em termos de qualidade da água, reunidas a continuação:

Resolução N° CONAMA 357 de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;

Resolução CONAMA 247 de 29 de novembro de 2000: define parâmetros para a balneabilidade;

Portaria MS N° 2914 DE 12 de dezembro de 2012: dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Os rios apresentam processos de autodepuração como dispersão, difusão, diluição, sedimentação, entre outros, que degradam compostos orgânicos e outros poluentes lançados aos corpos hídricos e retornam às condições iniciais do rio em termos de concentração de matéria orgânica (DBO), oxigênio dissolvido (OD) e outros. Entretanto, algumas vezes a autodepuração ocorre de maneira parcial, permitindo a formação de produtos e subprodutos resultantes da decomposição de substâncias orgânicas como no caso do aumento de Nitrogênio e Fósforo, afetando o ecossistema e provocando o crescimento de algas.

O aumento de nutrientes no ambiente aquático, principalmente Nitrogênio e Fósforo, causa uma excessiva produção primária, processo chamado de eutrofização, e gera problemas tanto nos lagos como nos rios, provocando efeitos adversos na saúde humana, na economia, no turismo, no setor de saneamento. As grandes quantidades de vegetação aquática começam a consumir e competir pelo OD, causando um desequilíbrio no ecossistema. Nessa situação predominam compostos reduzidos como gás sulfídrico, metano e amônia, que podem trazer problemas à água de abastecimento igualmente, pode ocorrer floração de cianobactérias, em alguns casos conferindo fortes odores, sabores e eventual liberação de toxinas (Vito, 2007).

As principais fontes externas de nutrientes que podem causar eutrofização são: resíduos municipais, industriais, escoamento superficial da agricultura, de florestas, de zonas suburbanas e urbanas e deposição de material particulado proveniente da atmosfera (Thomann e Mueller, 1987).

A eutrofização em rios e lagos se desenvolve de diferentes maneiras pelas diversas condições hidráulicas que os corpos hídricos apresentam. Segundo Vollenweider (1968 *apud* Hilton, 2006) nos lagos o tempo de residência da água é um parâmetro importante que afeta a capacidade das algas planctônicas para utilizar os nutrientes; se o tempo de retenção é mais curto que o tempo de duplicação das algas no sistema, o desenvolvimento da biomassa não é suficiente para causar perturbação, independentemente dos nutrientes, porque as algas são lavadas para fora a uma taxa mais rápida do que podem crescer. No caso dos rios o parâmetro equivalente é o tempo de viagem, que é associado aos processos de dispersão do rio.

O impacto da entrada do poluente nos corpos hídricos depende da concentração do nutriente, sua disponibilidade nas imediações do rio e na área de infiltração, e dos mecanismos de retenção da bacia (Nijboer e Verdonschot, 2004). O uso do solo é um fator que pode influenciar nesses mecanismos de retenção que dependem do tipo vegetação ribeirinha e dos processos de restauração, que podem causar uma diminuição dos nutrientes que chegam aos corpos hídricos. (Billen e Garnier, 2000; Allan *et al.*, 1997). Geralmente observa-se uma relação entre urbanização e eutrofização (Preston *et al.*, 2003; Paerl, 1999).

Segundo Nijboer e Verdonschot (2004), altas concentrações de Nitrogênio, especialmente nitrato, são características de rios em áreas de agricultura intensiva e setores industriais, pelo uso de fertilizantes, encontrando-se concentrações de nitrato maiores que 10 mg/L.

Um processo natural importante que pode afetar a retenção de Nitrogênio no ecossistema, é a desnitrificação pelo seu papel na decomposição da matéria orgânica tornando-se um dos principais fatores que explicam a diferença de quantidades de nutrientes que entram e saem do rio.

Quanto ao Fósforo, geralmente é encontrado em águas naturais e superficiais em forma de fosfatos, classificados como ortofosfatos, fosfatos condensados e fosfatos organicamente ligados, que podem se encontrar em solução, em partículas ou em detritos ou em corpos de organismos aquáticos (APHA, 1995).

A concentração de Fósforo depende da ocupação do solo. No caso da presença de matas e florestas, ocorrem baixas cargas de P, já que em geral os nutrientes infiltram-se pelo solo e são absorvidos pelas raízes das plantas. No caso de áreas agrícolas, pode-se observar um aumento da carga de P, devido à substituição de florestas por culturas agrícolas e à adição de fertilizantes, que diminui a capacidade de infiltração do solo, aumentando o escoamento superficial, que por sua vez pode causar erosão, carreando nutrientes adicionados em excesso aos corpos hídricos (von Sperling, 1995). Para solos com ocupação urbana pode ocorrer uma deterioração do corpo hídrico ainda maior, devido à alteração do ciclo hidrológico provocado pela impermeabilização do solo, que pode acelerar o processo de transporte de nutrientes como o Fósforo, até os corpos hídricos pelo aumento do escoamento superficial.

A eutrofização pode causar odor e sabor desagradáveis nas águas. No caso de floração de cianobactérias pode causar problemas na saúde dos seres vivos que consomem água do ambiente eutrofizado. Esses problemas, entre outros, podem gerar um aumento nos custos de tratamento da água, nos processos de remoção de Nitrogênio e das toxinas das algas, e de produtos da decomposição, para atender aos padrões de abastecimento. O excesso de produção primária também pode gerar problemas de tipo estético afetando o uso da água para recreação, pesca desportiva e navegação, aumentando os custos por interdição do corpo hídrico para tratamento e limpeza, especialmente em épocas de verão, desvalorizando as propriedades que ficam perto da área impactada e provocando perdas econômicas no turismo e na indústria (Dodds *et al.*, 2009; Pretty *et al.*, 2003)

Para evitar o problema da eutrofização é preferível o desenvolvimento de ações preventivas, do que o tratamento da água quando já aconteceu o problema, que requer de tecnologias ou químicos de tratamento custosos, dependendo do tipo de organismos que se apresentem no corpo hídrico.

Para estabelecer os estados tróficos em rios e reservatórios diversos autores os classificam segundo o conteúdo de Fósforo Total, Nitrogênio Total, clorofila entre outros. Lamparelli (2004) estabeleceu valores para os estados tróficos no estado de São Paulo, que servem de referência para as condições no Brasil. A proposta de Lamparelli está resumida na Tabela 3.2.

No Brasil, tem-se teores máximos de nutrientes permitidos estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86 para rios classe 1 e 2. A Resolução CONAMA 357/05 apresenta alterações desses valores conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela3.2 - Limites entre as classes tróficas para o estado de São Paulo, (modificado, Lamparelli,2004)

AMBIENTE	CLASSE TROFICA	Clorofila µg/L	Fosforo Total µg/L	Nitrogênio Total µg/L
RIOS	Oligo-mesotrófico	1,1	40	700
	Meso-eutrofico	2,1	130	1800
	Eutrófico- Hipereutrófico	4,6	230	2660
RESERVATORIOS	Oligo-mesotrófico	3,0	24	850
	Meso-eutrofico	12,5	50	1900
	Eutrófico- Hipereutrófico	27	90	2800

Tabela3.3 - Valores máximos de nutrientes para rios classe 1 e 2.

Parâmetro	CONAMA 20/86 Valor Máximo	CONAMA 357/05 Valor Máximo.
Nitrato	10 mg/L	10 mg/L
Nitrito	1 mg /L	1 mg/L
Nitrogênio amoniacal	1 mg /L	0,5 a 3,7 mg/L, de acordo com o pH
Fosforo Total	0,0025 mg/L	Ambientes lênticos: 0,020 mg/L, 0.030 mg/L para classe 1 Ambientes intermediários, 0,025 mg/L e 0,050 mg/L para classe 1. Ambientes lóticos: 0,1 mg/L

3.3 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA GESTÃO INTEGRADA DE SISTEMAS HÍDRICOS

O planejamento dos recursos hídricos é uma atividade complexa que pode ser melhor estruturada por meio de ferramentas como os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) que são

formados por bases de dados e modelos matemáticos, que interagem através de uma interface gráfica, propiciando o diálogo entre o tomador de decisões e os sistemas de informação (Porto e Azevedo, 1997).

Os sistemas de suporte à decisão integram processos de alocação do recurso hídrico, estimação da qualidade da água, análise de demanda e oferta, alternativas de políticas no contexto do recurso hídrico, e outras aplicações e funcionalidades. Um exemplo da integração do âmbito socioeconômico com o manejo da água e seu sistema de infraestrutura se apresenta no estudo feito por Qin *et al.* (2011), na bacia do rio Shenzhen na China caracterizada por ser uma bacia com um acelerado processo de urbanização. Nela foram feitos estudos utilizando modelo matemático SyDWEM obtendo-se resultados de qualidade da água por um período de tempo de 20 anos (2000-2020) segundo o crescimento da população e a demanda da água considerando também o desenvolvimento econômico da área de estudo.

O ModSimP32 (Roberto e Porto, 1999) é outro modelo utilizado para planejamento que permite estudar o impacto econômico considerando a construção de infraestrutura hidráulica e os princípios de gerenciamento de águas. No Brasil, este modelo foi aplicado por Lima *et al.*, (2007), no sistema de reservatórios Curema - Mãe D'Água, na Paraíba e por Baltar (2001), no reservatório do rio Descoberto no Distrito Federal

O MODSIM-DSS (Labadie *et al.*, 1989) é um modelo baseado em uma rede de fluxo desenvolvido pela Universidade do Estado de Colorado (EUA) foi desenvolvido para conhecer o crescimento da demanda e as pressões no gerenciamento das bacias. Pode ser utilizado com modelos de simulação de qualidade da água para avaliar a eficácia das estratégias utilizadas e o controle da poluição, o modelo também pode ser empregado para o gerenciamento de bases de dados espaciais que requer a gestão da bacia hidrográfica. Azevedo *et al.* (1998) integraram esse modelo com QUAL2K para estudar aspectos de quantidade e qualidade na bacia do rio Piracicaba.

O ACQUANET (USP, 2002) foi desenvolvido a partir do modelo MODSIM e MODSIMP32, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões- LabSid. O ACQUANET modela a rede de fluxo de bacias hidrográficas permitindo que o usuário simule reservatórios, demandas e redes de

drenagem, para representar a zona de estudo detalhadamente. O modelo permite fazer cálculos de simulação contínua sequencial no tempo ou estatisticamente (Planejamento Tático).

O ACQUANET é um instrumento de gerenciamento, que pode ser utilizado para o planejamento, análises de impacto de propostas alternativas para projetos de aproveitamento de recursos hídricos e análises econômicas (Carvalho *et al.*, 2009). No Distrito Federal, o ACQUANET foi preliminarmente avaliado por Osorio (2011) para dar suporte às tomadas de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos no DF. Leão *et al.* (2007) utilizaram esse modelo para avaliar disponibilidades hídricas na Bacia Canindé, no Estado do Piauí.

O Interactive River and Aquifer Simulation-IRAS, (Loucks *et al.*, 1995) é um programa de simulação para auxílio a gestão dos recursos hídricos. Foi desenvolvido pela Universidade de Cornell em 1995 e recentemente atualizado por Matrosov e Harou (2010). Segundo os autores, o modelo simula fluxos e armazenamentos de água, consumo de água, hidrelétricas e produção de energia por meio de bombas. O IRAS permite o desenvolvimento de uma rede composta de nós e arcos de diferentes tipos. Os nós podem ser demandas, lagoas naturais, reservatórios, aquíferos, *wetlands*, locais de monitoramento com séries de tempo de fluxo definido e sítios de demanda. Os arcos podem ser unidirecionais ou bidirecionais e representar transporte de água superficial e subterrânea.

O IRAS permite interagir com módulos externos de chuva-vazão e programas de previsão de impacto econômico e ecológico. É usado no planejamento para avaliar o impacto de projetos alternativos e políticas operacionais de sistemas de recursos hídricos regionais simples ou complexos.

3.3.1 - *Water Evaluation and Planning- WEAP*

O WEAP (SEI, 2001) é um sistema de suporte a decisão que é utilizado como ferramenta para o planejamento e distribuição dos recursos hídricos. O WEAP permite o desenvolvimento de uma rede de nós e arcos para simular a demanda da água numa zona determinada, considerando prioridades e preferências de abastecimento e avaliar as necessidades associadas ao recurso hídrico.

A estrutura do WEAP apresentada na Figura 3.3 está formada por 4 elementos ressaltados com vermelho, que são desenvolvidos passo a passo para obter os resultados do modelo, estes são;

- ✓ Esquema
- ✓ Dados do esquema
- ✓ Resultados
- ✓ Exploração de cenários

Na Figura 3.3 também podem identificar-se as ferramentas que fornece o WEAP, contidas no quadrado verde da Figura, para desenhar a rede com diferentes elementos como rios, reservatórios, demandas, fontes subterrâneas, estações de tratamento de esgoto, fluxos de retorno etc. Na Figura se apresenta uma janela, ressaltada pelo círculo azul, que permite importar *layers* em formato vetorial ou *raster* de uma plataforma de geoprocessamento, que servem de base para desenhar os rios e localizar os nós utilizados na rede.

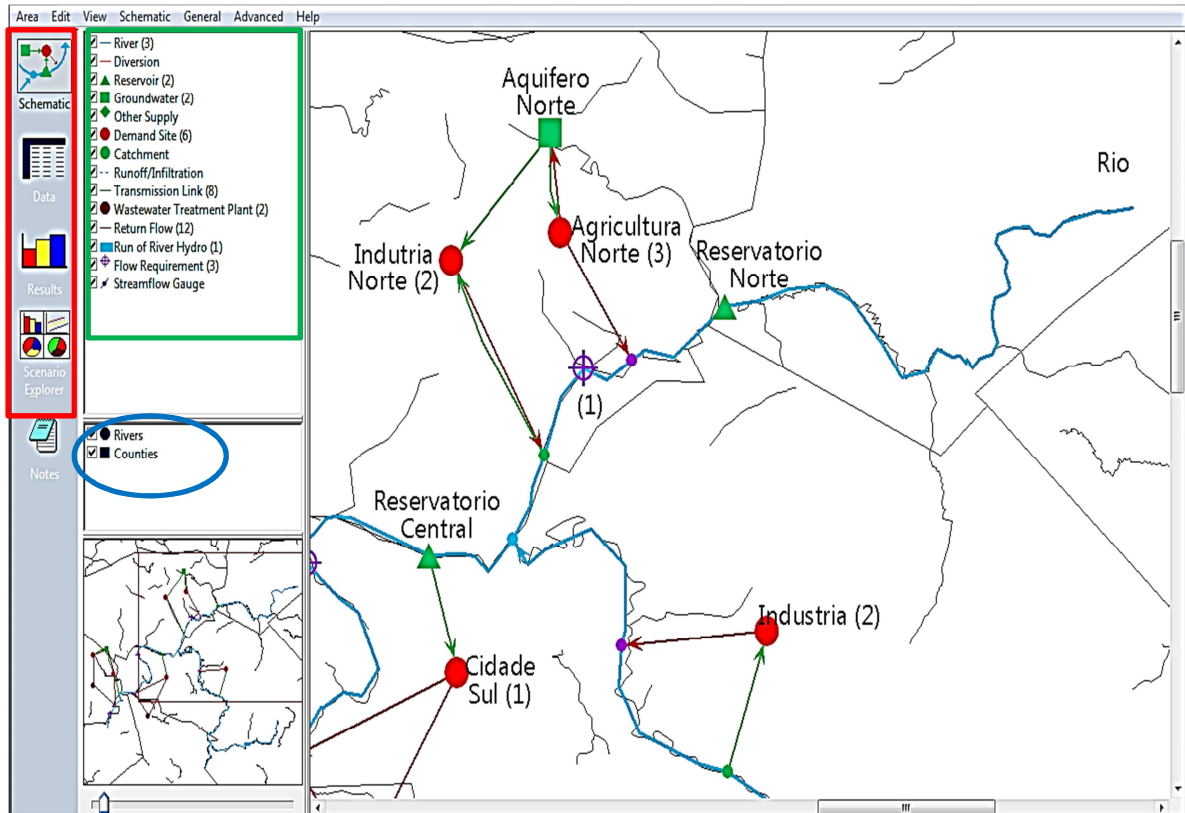


Figura 3.3 - Tela principal do WEAP

Os dados são inseridos para cada elemento da rede mediante uma série de tabelas criadas pelo WEAP ou importadas pelo modelo. A rede de oferta-demanda é construída no modelo e a rotina de otimização distribui o fluxo disponível para todas as demandas.

Quanto aos resultados, a plataforma WEAP mostra gráficos e tabelas para os diferentes cenários e anos simulados.

O *software* opera com base de dados do balanço hídrico, ferramentas de geração de cenários e de análise de políticas considerando opções para manejo da água. O WEAP permite integrar outros modelos e aplicativos, como o MODFLOW (Harbaugh, e McDonald, 1996) de água subterrânea; o QUAL 2K (Chapra, e Pelletier, 2008) de qualidade de água; o MODPATH para estudo de transporte de partículas subterrâneas; o PEST para estimação e análises de incertezas, particularmente utilizado para calibração; Excel para manejo de dados, e o GAMS para estimação de demandas e distribuição do abastecimento. Adicionalmente, possui um módulo de análise financeira para fazer análises de custo-benefício dos projetos.

As prioridades de demanda que refletem as preferências de abastecimento são usadas na heurística da programação linear para resolver problemas de alocação de água. O propósito da ferramenta é tentar reduzir a distância entre a gestão e a hidrologia da bacia junto com os requerimentos que um GIRH precisa.

O WEAP integra hidrologia conceitual com gestão de demandas e infraestrutura instalada de um modo coerente, permitindo a análise de cenários múltiplos, incluindo cenários climáticos, atividades antropogênicas como variações no uso do solo, mudanças nas demandas municipais e industriais, etc.

O WEAP inclui uma interface gráfica e algoritmos de solução robusta para resolver problemas de alocação de água. A estrutura do modelo apresenta-se em linguagem de programação *Delphi Studio*[®] (Borland Software Corporation) e utiliza o *software Map Objects*[®] do *Environmental Systems Research Institute – ESRI* (Yates *et al.*, 2005).

O modelo conta com módulos de alocação, de hidrologia, de qualidade, de análise financeira, modulo para estudos de hidrelétricas e análises climáticas. O módulo de hidrologia é o primeiro em se executar para construir o estado da hidrologia da bacia,

fornecendo as variáveis de balanço de massa usadas no problema de distribuição linear da água. O modelo divide a bacia em sub-bacias que por sua vez são divididas em N frações de áreas, e o balanço de água é feito para cada fração de área. Nelas o clima é assumido uniforme.

O módulo de alocação de WEAP foi utilizado por Danner, C *et al.* (2009) para analisar a alternativa de uso da água da bacia do rio Grande/Bravo para abastecimento e para satisfazer as necessidades dos diferentes setores. Esse tipo de análise é realizado pelo módulo de alocação do sistema onde as análises da gestão de água se fazem a partir de demandas da bacia hidrográficas; e o usuário define a prioridade de cada demanda, que pode ter um valor de 1 (maior prioridade) até 99 (baixa prioridade).

Mounir *et al.* (2011) utilizaram o WEAP para avaliar as demandas futuras no rio Níger, na República de Níger, particularmente nas cidades de Niamey e Tillabéry. O estudo foi feito para um período de 2009-2030, considerando mudanças climáticas e problemas de degradação causados pelo incontrolado crescimento da população, práticas agrícolas inapropriadas, superpastoreio, erosão do solo e desmatamento. Os resultados mostraram, em cenários de alto crescimento da população e variação climática, uma demanda de água não satisfeita para os meses de maio, junho e julho, com um déficit em 2030 e ressaltaram a importância de implantar mecanismos de gestão dos recursos hídricos propondo a construção de uma barragem para controlar os fluxos de água e ajudar na melhoria da qualidade socioeconômica da área de estudo.

3.3.1.1 - Módulo de qualidade para águas superficiais

O módulo de qualidade do WEAP permite modelar contaminantes conservativos e não conservativos, estações de tratamento de águas residuais e qualidade de água ao longo do rio. A modelagem pode ser feita por meio de cenários considerando restrições na qualidade, a população, hidrologia demandas de água entre outros.

Os principais dados de entrada nesse módulo são:

- Concentração de contaminantes de afluentes de nós.
- Dados para estações de tratamento de águas residuais: consumo, capacidade diária, remoção dos contaminantes e concentração dos contaminantes.

- Características da geometria do rio: Cálculo de velocidade, tempo de residência etc.
- Dados climatológicos, temperatura mensal, umidade, latitude.
- Atividades que geram contaminação

Segundo Yates *et al.* (2005) o módulo de qualidade no WEAP apresenta as seguintes características:

- Representação desagregada de instalações de tratamento de esgoto em termos de suas especificações de projeto, distribuição e custos financeiros (Assaf e Saadeh, 2008).
- Inclusão de modelos descritivos de cargas de poluentes de fontes pontuais, como impacto gerado por águas residuais.
- Modelagem de constituintes conservativos com uso de mistura simples. Constituintes com decaimento exponencial são estimados por *Streeter-Phelps*, a demanda bioquímica de oxigênio e temperatura utilizam a equação de balanço de calor, com função de radiação de ondas curtas e ondas longas, perdas de calor resultantes de processos de convecção e evaporação (Oliveira *et al.*, 2007).
- Possibilita a introdução de limites de concentrações e parâmetros físico-químicos, como potabilidade nos sistemas de abastecimento(Oliveira *et al.*, 2007).
- As equações de qualidade são resolvidas de montante para jusante para calcular primeiro a mistura de todos os tributários, fluxos de retorno, e fontes subterrânea, “j” e para cada constituinte, “x”, em cada nó, como se mostra na equação 3.1.

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n Q_j x_j}{\sum_{j=1}^n Q_j} \quad (3.1)$$

- Permite integrar o modelo Qual 2K para outros estudos de qualidade.
- Impossibilidade de modelar reservatórios.

Essas características do programa no módulo de qualidade geram diferentes perspectivas de análises como no caso do Assaf e Saadeh (2008), que utilizaram o WEAP para avaliar a gestão da qualidade da água da bacia do rio Litani, no Líbano, suas redes de tratamento de esgoto e suas alternativas de políticas. A problemática que se apresenta nessa região é a

quantidade de esgotos não tratados lançados nos corpos hídricos, tornando a água imprópria para a maioria dos usos. No trabalho, identificaram-se as relações de custo e eficácia de combinações das ETES considerando diferentes alternativas de concepção de sistemas de tratamento de esgoto.

Esse tipo de estudo reflete a flexibilidade do WEAP na simulação da distribuição das águas superficiais e esgotos. O programa também permita trabalhar com distribuição de águas subterrâneas considerando fatores de qualidade.

Oliveira *et al.* (2007) trabalharam no planejamento de fontes de produção de água de comunidades rurais, para maximizar o atendimento das demandas no município de São Francisco-MG. Essa zona é abastecida principalmente por águas subterrâneas que têm trazido problemas de fluorose dentária na comunidade, devido à alta concentração de fluoreto na água. Os cenários feitos para o estudo introduziram restrições na concentração de fluoreto e fontes de água alternativas como a chuva. O modelo desenvolvido com o WEAP permitiu identificar as operações de captação e distribuição que conseguiram atender os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde. Igualmente o trabalho identificou a necessidade de interligação com sistemas vizinhos e a possibilidade de combinar água não contaminada com fontes com altas concentrações de fluoreto, para reduzir custos de abastecimento e fornecer sustentabilidade operacional ao longo prazo.

O WEAP também permite fazer estudos de qualidade em grandes bacias hidrográficas, como no caso da bacia do rio Grande/Bravo, que é uma bacia que atravessa a fronteira entre México e E.U.A. Estudada pelo CRWR (2009), esta região de características semiárida dominada pela agricultura e com abastecimento limitado de água superficial. Nesse caso o modelo desenvolvido obteve uma boa resposta do sistema na simulação do comportamento dos contaminantes e mostrou um problema na qualidade do rio pela quantidade de sólidos dissolvidos totais e uma queda do oxigênio nos meses de estiagem.

3.4 - INTEGRAÇÃO DE MODELOS PARA SIMULAÇÃO DE QUALIDADE

Para o estudo do transporte da quantidade de nutrientes que chegam aos corpos hídricos, se tem desenvolvido diferentes modelos que consideram as condições hidrológicas, o tipo e uso de solo da bacia, entre outros fatores. Alguns modelos são:

- **GWLF** (Haith *et al.*, 1996) : estima Nitrogênio dissolvido e Total e cargas de Fósforo dissolvido e Total em bacias hidrográficas complexas. Inclui escoamento superficial e fontes de água subterrânea, igualmente trabalha com cargas de nutrientes de fontes pontuais e com sistemas de disposição de águas residuais. O modelo fornece a vazão mensal, a erosão do solo e produção de sedimentos.
- **Modelo SWIM** (Krysanova e Wechsung, 2000): simula o escoamento e geração de nutrientes, e ciclo do carbono, o crescimento da planta e da produtividade das culturas, vazão do rio e erosão como processos inter-relacionados em um passo de tempo diário com base em dados disponíveis regionalmente.
- **Modelo LASCAM** (Viney *et al.*, 2000): estuda o impacto provocado pelo uso da terra e as mudanças climáticas na vazão e a qualidade da água. Foi desenvolvido para condições da Austrália.
- **Qual 2K** (Chapra e Pelletier, 2008): é uma modernização da versão Qual 2E desenvolvido para estudar qualidade em rios e córregos. O modelo representa o rio em trechos com características hidráulicas constantes e assume um regime hidráulico permanente.

3.4.1 - *Soil and Water Assessment Tool-SWAT*

O modelo SWAT (Arnold *et al.*, 1998) é um modelo desenvolvido pela *US Department of Agriculture – Agriculture Research Service* (USDA-ARS), para prever o impacto na água do uso da terra, sedimentos e químicos de agricultura em bacias hidrográficas complexas com diferentes usos e tipos de solo em longos períodos de tempo.

O SWAT permite modelar processos físicos associados com o movimento da água, de sedimentos, crescimento de vegetação, ciclo de nutrientes, etc., a partir de informações específicas de condições climáticas, propriedades do solo, topografia, vegetação, e condições e práticas de manejo na bacia (Neitsch *et al.*, 2002).

A simulação com o SWAT inicia-se pela delimitação da bacia a partir de uma partição em sub-bacias que irá conter pelo menos uma unidade de resposta hidrológica (HRU), um canal afluente e um canal principal. As HRUs são porções da sub-bacia que têm atributos únicos de uso de solo, tipo de solo e declividade e são consideradas hidrológicamente homogêneas em toda sua área. O programa assume que não há interação entre as HRUs na sub-bacia, os cálculos são feitos separadamente e no final são somados para obter as cargas de nutrientes, escoamento com sedimentos, etc., na sub-bacia.

Quanto à simulação hidrológica da bacia, o SWAT separa este fenômeno em duas partes. A primeira divisão é a fase terrestre do ciclo hidrológico, que controla as quantidades de água, sedimento, nutrientes e cargas de pesticidas que atingem o canal principal do rio em cada sub-bacia. A segunda divisão é a fase aquática do ciclo hidrológico, que esta relacionada com o movimento da água, sedimentos, nutrientes entre outros através da rede hídrica da bacia em direção ao seu exutório. Nessa fase, o SWAT modela a transformação dos químicos no fluxo de água e no leito do rio.

Os componentes principais que considera o SWAT são apresentados a seguir com base nos trabalhos de Neitsch, *et al.*(2011):

- **Clima:** O SWAT requer informações de variáveis climáticas como precipitação diária, temperatura do ar máximo/mínimo, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. O conjunto de dados climatológicos produzidos para cada sub-bacia será gerado independentemente.
- **Hidrologia:** No ciclo hidrológico do SWAT, parte da precipitação pode ser interceptada e retida pela vegetação e outra parte atinge a superfície do solo, infiltrando-se ou escoando sobre a superfície. A água que se infiltra pode ser mantida e aproveitada pela vegetação e evapotranspirar. Igualmente pode percolar para camadas inferiores do solo, ser

armazenada no aquífero, ou voltar para o sistema de água superficial através de caminhos subterrâneos.

O ciclo hidrológico é baseado na equação do balanço hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (3.2)$$

Em que:

- SW_t = quantidade final de água no solo (mm H₂O);
- SW_0 = quantidade inicial de água no solo no dia i (mm H₂O);
- t = tempo (dias);
- R_{day} = quantidade de precipitação no dia i (mm H₂O);
- Q_{surf} = quantidade de escoamento superficial no dia i (mm H₂O);
- E_a = quantidade de evapotranspiração no dia i (mm H₂O);
- W_{seep} = quantidade de água que percola da camada simulada para a camada inferior no dia i (mm H₂O);
- Q_{gw} = quantidade de água que retorna ao curso d'água no dia i devido ao escoamento sub-superficial (mm H₂O).

A subdivisão feita na sub-bacia considera diversos tipos de evapotranspiração para diferentes culturas e solos existentes na bacia. O escoamento é simulado separadamente para cada HRU e finalmente obter o escoamento total da bacia.

Para estimar o escoamento superficial o modelo trabalha com dois métodos modificados: o método de *Soil Conservation Service-SCS*, chamado também como método Curva Número, que considera, na sua formulação, a quantidade de água interceptada pelas plantas; e o método de infiltração de *Green-Amp* que é utilizado só quando se possuem dados subsidiários de precipitação.

A equação para o cálculo do Curva Número do SCS é:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (3.3)$$

Sendo:

Q_{surf} = quantidade de escoamento superficial acumulado ou excesso de chuva (mm);

R_{day} = altura pluviométrica em um dia (mm);

I_a = perdas iniciais que incluem acumulação superficial, interceptação e infiltração anterior ao escoamento superficial (mm);

S = parâmetro de retenção (mm).

O parâmetro de retenção varia espacialmente com mudanças no tipo e uso da terra, manejo, inclinação e temporalmente em função das variações da quantidade de água no solo. O parâmetro de retenção é calculado por:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3.4)$$

Sendo, o CN o número da curva para um dia. Esse parâmetro é função da permeabilidade e uso da terra e da umidade que tem o solo antes de ocorrer a precipitação. O CN também é definido de acordo com o tipo hidrológico do solo.

O Serviço de Conservação dos Recursos Naturais dos Estados Unidos (NRCS) classifica os solos em quatro grupos hidrológicos baseados nas características de infiltração. Um grupo hidrológico é definido como um grupo de solos que apresentam potenciais similares de escoamento superficial sob mesmas condições de chuva e cobertura. Os solos podem ser classificados nos grupos A, B, C ou D e nas classes A/D, B/D e C/D. Essas classificações foram classificadas por Sartori *et al.* (2005) para condições brasileiras e são mostradas na Tabela 3.5.

Tabela3.4- Classificação dos grupos hidrológicos dos solos para condições brasileiras, (modificado - Sartori *et al.*, 2005).

Grupo	Características
A	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); ✓ Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; ✓ Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); ✓ Solos de textura média; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa
B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos profundos (100 a 200 cm); ✓ Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; ✓ Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; ✓ Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; ✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; ✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); ✓ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; ✓ São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; ✓ Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); ✓ A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
D	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; Solos rasos (prof. < 50 cm); ✓ Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; ✓ Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); Solos orgânicos.

As perdas iniciais, I_a (acumulação superficial, interceptação e infiltração anterior ao escoamento superficial), são normalmente aproximadas para $0,2S$, fazendo com que a Equação 3.3 se transforme na equação 3.5.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2S)^2}{(R_{day} + 0,8S)} \quad (3.5)$$

O escoamento superficial só poderá ocorrer se $R_{day} > I_a$, ou seja, quando a precipitação for maior do que as perdas iniciais.

- **Cobertura do solo e crescimento de plantas:** o SWAT utiliza o modelo de crescimento da planta para simular vários tipos de cobertura do solo.

O SWAT considera o crescimento potencial da planta que é definida pelo incremento da biomassa sob condições de crescimento ideal, o processo de transpiração atual e potencial, a absorção dos nutrientes considerando as demandas de Nitrogênio e Fósforo da planta. Finalmente o modelo considera variáveis como o estresse causado pela água, nutrientes e temperatura que condicionam o crescimento da planta.

- **Nutrientes:** considera o movimento e a transformação das diferentes formas do Fósforo e do Nitrogênio na bacia, mediante os ciclos de cada elemento.

As transformações dos nutrientes no fluxo são controladas pelo componente de qualidade no fluxo de água de um modelo cinético adaptado do QUAL2E. O modelo controla nutrientes dissolvidos no fluxo de nutrientes e adsorvidos ao sedimento. Os nutrientes dissolvidos são transportados com a água, enquanto aqueles adsorvidos aos sedimentos são depositados com os sedimentos do leito do canal do rio.

- **Erosão:** a erosão e a produção de sedimentos causada pela chuva e o escoamento são estimadas para cada unidade de resposta hidrológica (HRU), com a equação universal de perda de solo modificada (*Modified Universal Soil Lost Equation* - MEUPS):

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (3.6)$$

Sendo:

sed= produção de sedimento em um dia (tonelada métrica);

Q_{surf} = lâmina de escoamento superficial (mm/ha);

q_{peak} = vazão de pico (m^3/s);

$area_{hru}$ = área da HRU (ha);

K_{USLE} = fator erodibilidade da Equação Universal de Perda de Solo

C_{USLE} = fator cobertura e manejo da Equação Universal de Perda de Solo

P_{USLE} = fator práticas conservacionistas da Equação Universal de Perda de Solo

LS_{USLE} = fator topografia da Equação Universal de Perda de Solo

CFRG = fator fragmentos grosseiros.

- **Pesticidas:** o SWAT simula o movimento do pesticida dentro da rede hídrica, pelo escoamento superficial, seja em solução ou por sorção de sedimentos, ou simula dentro do perfil do solo e do aquífero por percolação. O movimento do pesticida é controlado pela sua solubilidade, degradação média e pelo coeficiente de adsorção de carbono orgânico do solo.
- **Manejo:** O SWAT permite definir práticas de gestão para cada HRU, operações como pastagem, aplicação de água e fertilizante automatizado e incorporação de todas as opções de manejo para uso da água. Depois o modelo permite incorporar rotinas para calcular sedimentos e cargas de nutrientes das áreas urbanas.

O SWAT pode considerar nas simulações a irrigação, a drenagem, a transferência de água, os usos consuntivos e os lançamentos de cargas pontuais.

Entre os trabalhos feitos com o SWAT cita-se o estudo de Machado *et al.* (2007) que simularam a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins em Piracicaba (SP), e analisaram a relação entre o número de sub-bacias adotado e a produção de sedimentos. Machado e Vettorazzi (2003), também fizeram estudos de simulação de sedimentos e seu transporte, avaliando sua distribuição espacial na micro bacia Ribeirão dos Marins.

Os sedimentos também são importantes nos estudos de nutrientes nas bacias já que podem carrear Fósforo e Nitrogênio, como no caso do estudo de Neves *et al.* (2006) na micro bacia rio Bonito, no estado de São Paulo mostrando este efeito de arraste de nutrientes por sedimentos e o risco de poluição dos recursos hídricos por dejetos avícolas.

Baltokoski *et al.* (2010) fizeram estudos para avaliar os fluxos de massa de Fósforo Total e estimar vazão nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro, no estado de Paraná. Nesse trabalho eles avaliaram a sensibilidade do SWAT, considerando a frequência de amostragem e o número de dados.

Garbosa *et al.* (2011) realizaram uma revisão dos trabalhos feitos com SWAT no Brasil desde o ano 1999 até o 2010, mostrando que o modelo teve bom desempenho em várias regiões do país, igualmente os autores mostraram o modelo SWAT como uma ferramenta de suporte à decisão, capaz de simular aspectos hidrológicos e qualitativos das bacias. Os autores indicaram que os estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná apresentaram o maior número de trabalhos com SWAT, sendo responsáveis por 51% das publicações no período de estudo.

O SWAT também tem sido trabalhado em conjunto com outros programas como no caso do estudo feito por Bressiani *et al.* (2011) na Bacia Maacama, California/EUA, que fizeram uso dos programas SWAT, WEAP e GAMS para analisar o atendimento da demanda de água na área de estudo, os impactos econômicos nas culturas de uva em tempos de estiagem e os problemas da redução de vazões pelas derivações de água superficial e o bombeamento de água subterrânea para agricultura. Nesse caso o SWAT foi utilizado para estimar vazões diárias, calculando o balanço hídrico no WEAP e no GAMS, fazendo que o exutório de cada sub-bacia estivesse a montante de cada seção do rio. O WEAP também foi utilizado para estudar a interação de água superficial e água subterrânea, permitindo mostrar a necessidade da utilização de água subterrânea em algumas irrigações.

Outro exemplo da integração do SWAT com outros modelos é o trabalho feito na bacia de Moroccona África, por Terink *et al.* (2011) e Droogers *et al.* (2011) que fizeram estudos de impactos de uso de solo, estimando os processos físicos na bacia como evaporação transpiração das culturas, escoamento etc., com o SWAT a montante dos rios e com esses

dados fizeram um análise de custo-benefício com o WEAP, com o objetivo de implementar o *Green Water Credits-GWC* (Grieg-Gran *et al.*, 2006) na área de estudo, ao norte do África.

No ocidente desse continente, em Gana, na bacia Volta, Forkuor *et al.* (2011) utilizaram o SWAT para determinar a evapotranspiração e o escoamento superficial e estes dados foram utilizados no WEAP para avaliar os efeitos do aumento de demandas para irrigação, uso doméstico e geração de energia.

A revisão bibliográfica mostra a problemática quanto à gestão integrada dos recursos hídricos considerando aspectos quantitativos e qualitativos. Tendo em vista que a plataforma WEAP não tem sido utilizada no DF, o presente estudo visou fornecer uma avaliação dessa ferramenta para uso em uma bacia hidrográfica inserida nessa área.

No caso da integração dos modelos SWAT e WEAP em nível global, têm-se trabalhado projetos focados na alocação da água e estudos de demandas e custos. Entretanto, no caso da utilização dos modelos com o objetivo de estudo de qualidade da água e seu efeito na disponibilidade, poucos trabalhos têm sido realizados e, particularmente no Brasil, não foram encontrados registros de tais levantamentos.

4 - METODOLOGIA

Nesse capítulo será feita uma caracterização da área de estudo, juntamente com a descrição das simulações realizadas no SWAT e no WEAP e a construção de dados de entrada dos modelos. Também será descrita a integração dos modelos SWAT e WEAP para análise de disponibilidade de água e qualidade das fontes hídrica da sub-bacia Riacho Fundo.

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo da presente dissertação é a sub-bacia do Riacho Fundo, localizada na bacia do lago Paranoá como se apresenta na Figura 4.1. Esta sub-bacia tem uma área de 225,48 km², seus principais afluentes são os córregos Vicente Pires e Guará. O corpo hídrico principal é o ribeirão Riacho Fundo, com extensão de 13 km e vazão média de 4,04 m³/s desembocando no lago Paranoá.

Na sub-bacia do Riacho Fundo, encontra-se a região com maior densidade urbana e diversidade de ocupação do DF, compreendendo as regiões administrativas do Riacho Fundo, Núcleo Bandeirantes, Guará, Candangolândia, Mansões Park Way e Águas Claras, além do Setor de Indústria e de Abastecimento e áreas de atividade agrícola (Ferrante *et al.*, 2001).

O rio Riacho Fundo recebe o afluente da Estação de Tratamento de Esgotos Riacho Fundo. A ETE foi projetada para tratar os esgotos domésticos da localidade Riacho Fundo I, com uma capacidade de 94 L/s, para atender a uma população de 40.000 habitantes aproximadamente. A área de atendimento foi ampliada para o setor Industrial CSG de Taguatinga e Setor de Mansões de Samambaia.

Os esgotos produzidos recebem um tratamento preliminar para retirada de materiais grosseiros, depois são colocados numa unidade de pre-fermentação e posteriormente são distribuídos alternadamente para três reatores que compõem a unidade responsável pelo tratamento biológico, mediante introdução de oxigênio. O tratamento da ETE é de tipo terciário, removendo Fósforo e Nitrogênio para reduzir o risco de eutrofização das águas

do lago Paranoá. Atualmente, a estação trata uma vazão média de 46,79 L/s que são lançados ao rio em horários estratégicos (CAESB, 2012).

4.1.1 - Geologia

Na sub-bacia do Riacho Fundo encontram-se quatro conjuntos litológicos: os grupos Paranoá e Canastra, que apresentam uma idade meso/neoproterozóica; Araxá e Bambui, idade neoproterozóica. Segundo Campos (2004), são encontradas as seguintes unidades litoestratigráficas:

Unidade Q₃ que é composto por quartzitos brancos ou rosado, apresentando estratigrafias cruzadas e ocasionalmente onduladas. Os quartzitos podem ser silicificados e intensamente fraturados.

- Unidade S, composta por metassiltitos maciços e metarritmitos arenosos. Podem ocorrer em camadas de quartzitos estratificados.
- Unidade R₃, que tem intercalações irregulares de quartzitos finos brancos e laminados com camadas de metassiltitos, metalamitos e metassiltitos argilosos com cores cinza escuro. Podem ser observados estratificações sigmoidais e *hummocky* marcas onduladas.
- Unidade A, constituída por ardósias roxas, com forte clivagem ardosiana, e homogêneas e dobradas. Quando frescas são cinza escuro, fraturadas em afloramentos.

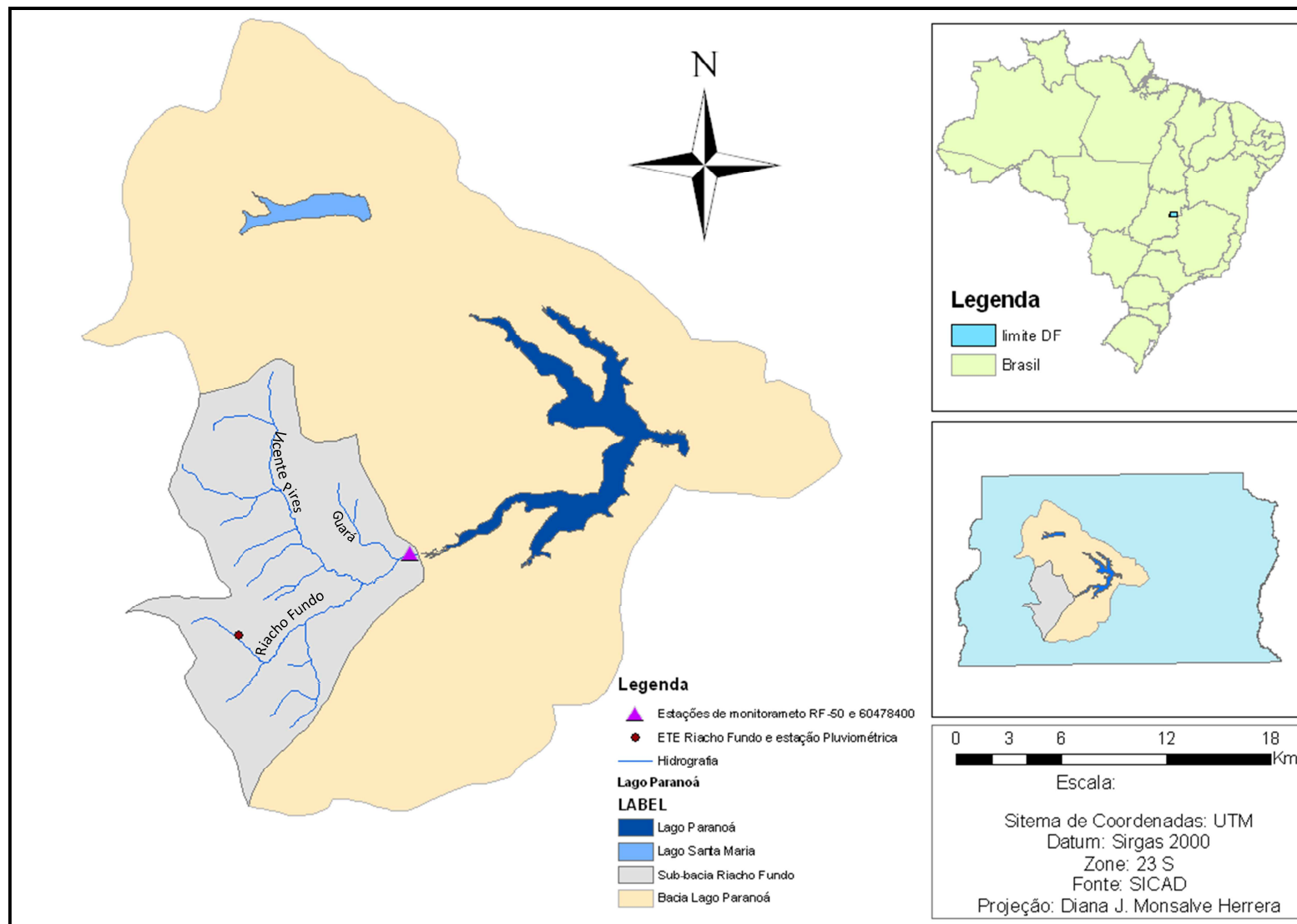


Figura 4.1 - Localização da área de estudo

4.1.2 - Geomorfologia

Segundo Ferrante *et al.* (2001) as rochas mais resistentes são responsáveis pela manutenção das chapadas e terrenos mais elevados, o controle tectônico é evidenciado no padrão semicircular das zonas de chapadas e no controle do padrão de drenagem. Encontram-se comportamentos geomorfológicos como:

- Região das Chapadas elevadas: que inclui chapadas de Contagem de Brasília, com regiões planas a suave onduladas contendo quartzito e metarritmitos arenosos do grupo Paranoá. Sobre esta superfície se construíram as cidades Taguatinga, Ceilândia, Samambaia, Gama, Santa Maria, Recanto de Emas, Riacho Fundo I e II.
- Região de dissecação intermediária: tem relevo suave ondulado, situado no interior do domo estrutural de Brasília, situando-se em cotas entre 1000 e 1100 m, com presença de ardósias, quartzitos e metassiltitos do grupo Paranoá.
- Região de rebordos: situada entre a região de dissecação intermediária e de dissecação de vales, definido pelo relevo ondulado, com presença de quartzitos do topo da unidade S do grupo Paranoá.
- Região de vales dissecados: ocorre no baixo curso do Rio Paranoá e apresenta terrenos movimentados com vales em V, com variações entre 950 m e 750 m.

4.1.3 - Pedologia

Na Figura 4.2 são apresentados os solos da sub-bacia Riacho Fundo, identificando-se predominância do latossolo vermelho escuro (LEd) e cambissolo (Cd). Os seguintes solos apresentam-se em menores proporções:

- Laterita hidromórfica distrófica-A, com solos hidromórficos indiscriminados (HLd)
- Solos hidromórficos (Hi)

- Latossolo vermelho amarelo (LVd)
- Pedzólítico vermelho-amarelo equivalente eutrófico (PE)

Segundo Reatto *et al.*(2004) esses solos apresentam as seguintes características:

- Os latossolos são altamente intemperizados e concentram minerais secundários do grupo da caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio como hematita, goethita e gibsita. São solos minerais, não hidromórficos e profundos, podem ser excessivamente drenados, fortemente drenados e acentuadamente drenados segundo a estrutura e a topografia.

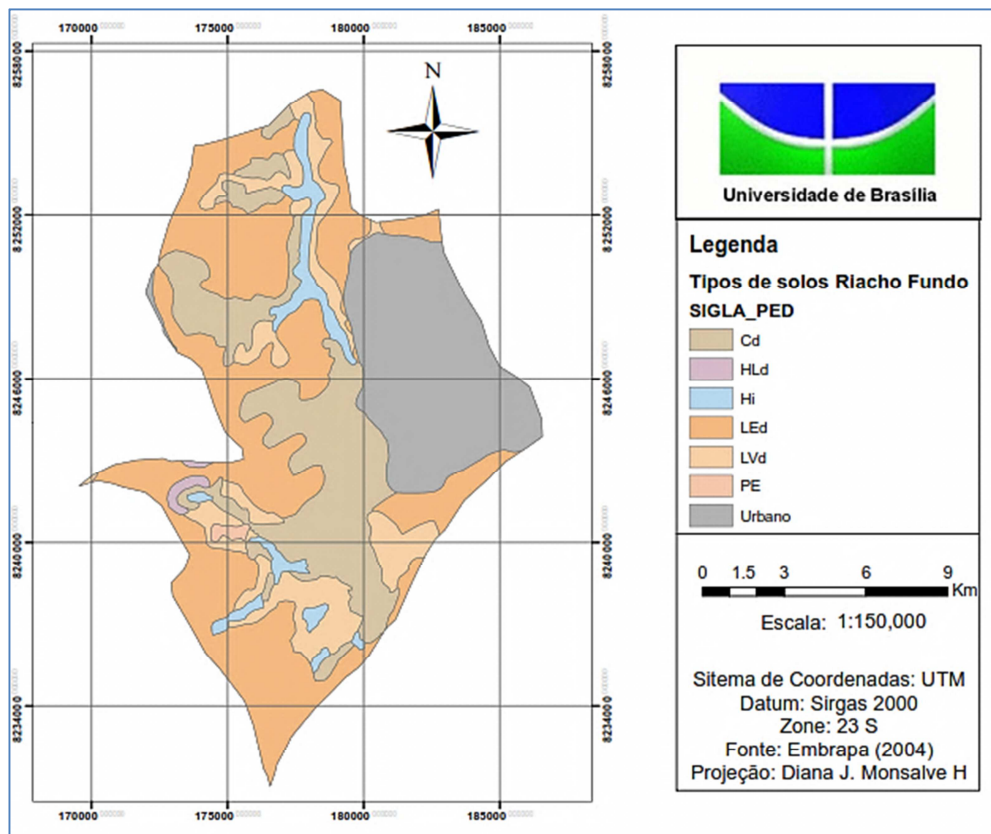


Figura 4.2 - Tipo de solo da sub-bacia Riacho Fundo

- Os cambissolos são solos submetidos a pouca alteração física e química, apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis. Seu horizonte subsuperficial é denominado B incipiente. Esse solo corresponde a 30,98% da área do DF e usualmente está associado a

relevos ondulados ou fortemente ondulados e a profundidade pode variar de 0,2 a 1 m. Apresenta textura variada, desde muito argilosa até franco-arenosa, com cascalho ou sem cascalho.

4.1.4 - Uso do solo

O uso do solo que predomina na sub-bacia de Riacho Fundo é urbano como se apresenta na Figura 4.3. As áreas urbanas são classificadas segundo a densidade demográfica e o grau de impermeabilização do solo.

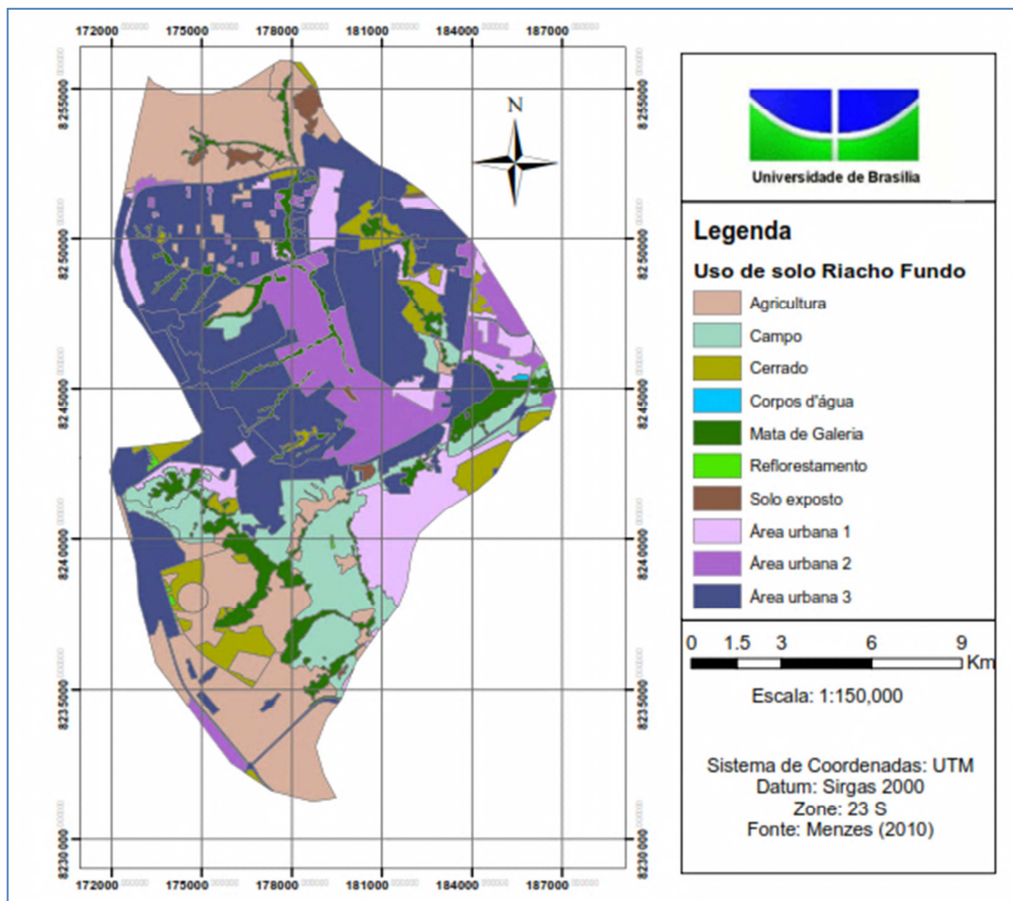


Figura 4.3 - Uso de solo da sub-bacia Riacho Fundo

Menezes (2010), que estudou a evolução da mancha urbana na região hidrográfica do Riacho Fundo, para o 2009, o 37% da área da sub-bacia encontrava-se com uma área impermeável maior que 70%, circundando o córrego Vicente Pires. O autor menciona a tendência na sub-bacia Riacho Fundo de substituir as áreas agrícolas localizadas nas bordas

por áreas urbanas. A porcentagem de cada tipo de uso de solo da sub-bacia Riacho Fundo é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Área e porcentagem das classes de usos de solo para o Riacho Fundo, modificado (Menezes,2010)

Classe	Km ²	%
Cerrado	10,2	4,7
Campo	21,1	9,7
Mata de Galeria	17,1	7,9
Corpos de água	0,0	0,0
Agricultura	44,6	20,5
Solo exposto	1,9	0,9
Reflorestamento	0,5	0,2
Área Urbana	122,4	56,2

4.1.5 - Clima

O clima na classificação de Köppen é “tropical de savana” com concentração da precipitação pluviométrica no verão, entre os meses de outubro a abril, sendo o trimestre mais chuvoso entre novembro e janeiro, e dezembro o mês com maior precipitação no ano. A estação seca se apresenta entre maio e setembro e os meses mais secos são junho, julho e agosto.

A precipitação média interanual, varia entre 1200 e 1700 mm, a temperatura varia entre 18° e 22°C.

4.2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse item são apresentados os processos de integração dos modelos *Soil and Water and Assessment Tool* - SWAT e o *Water Evaluation and Planning* - WEAP, os dados a serem utilizados e seu processamento. A metodologia geral de integração dos modelos encontra-se sintetizada na Figura 4.4

Dado que o WEAP precisa de dados hidrológicos, especialmente de tipo fluviométrico a montante das fontes hídricas da sub-bacia do Riacho Fundo, e que atualmente não há disponibilidade de dados monitorados nessa região, utilizou-se o modelo SWAT que

facilitou a geração desse tipo de informação hidrológica. O SWAT foi utilizado para determinar poluição pontual e difusa, auxiliando o processo da simulação, pois o WEAP tem restrições para modelar poluição difusa.

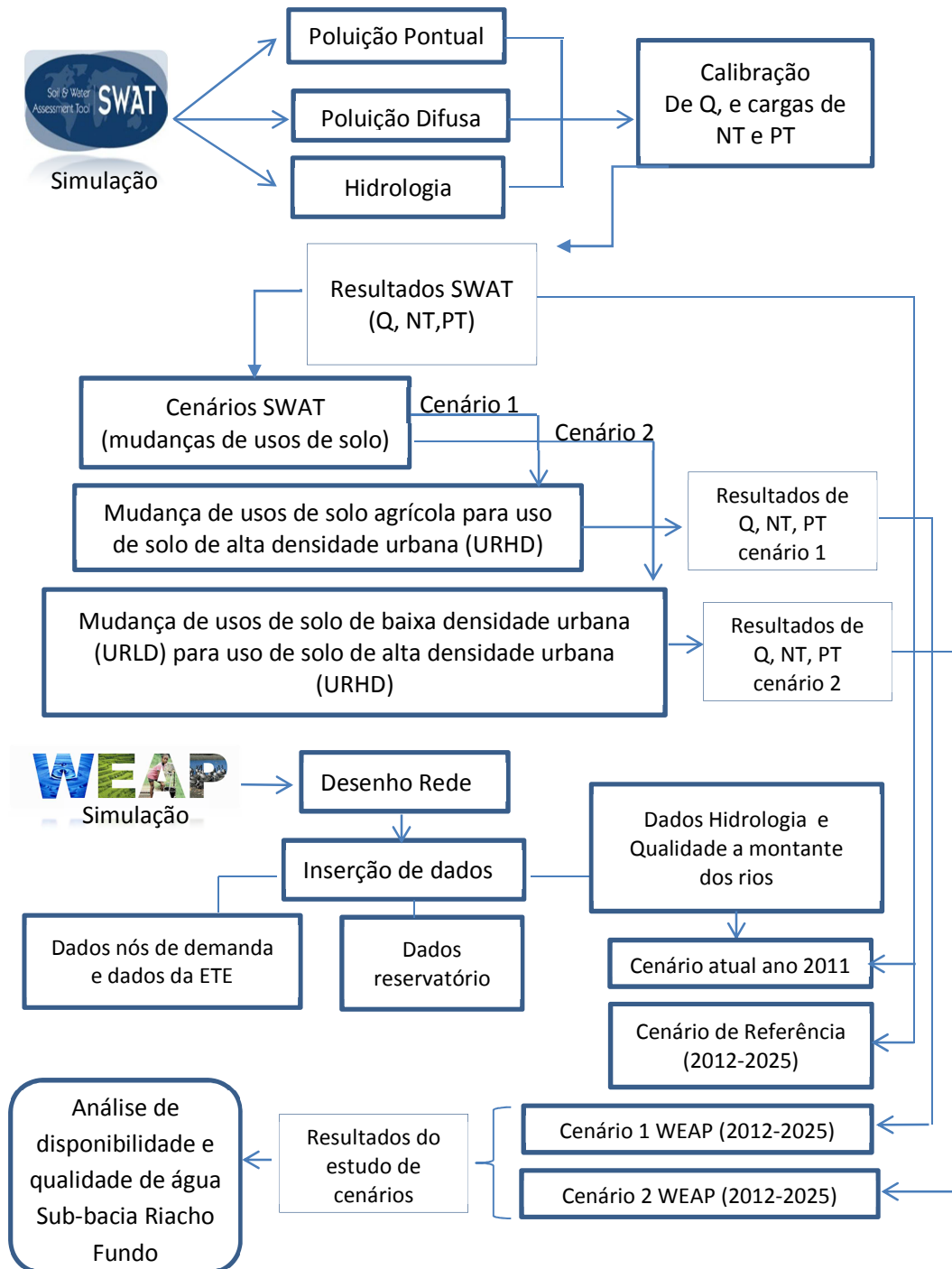


Figura 4.4 – Fluxograma da proposta metodológica para a integração dos modelos SWAT e WEAP

Os dados simulados no SWAT foram calibrados primeiramente no SWAT Cup, mas não foi possível obter resultados satisfatórios, por isso procedeu-se à calibração manual que permitiu desenvolver o estudo.

Depois da calibração manual e verificação das vazões e da qualidade, foram simulados cenários no SWAT com base nas mudanças de uso de solo. Os resultados de vazão, Nitrogênio Total e Fósforo Total do SWAT foram inseridos no WEAP para fazer análise de qualidade da água e de disponibilidade hídrica da sub-bacia Riacho Fundo, que drena suas águas até o lago Paranoá. A análise foi feita propondo diferentes cenários no WEAP considerando mudanças no crescimento da população, nas demandas por água, na eficiência de tratamento da ETE, etc.

4.2.1 - Construção da base de dados dos modelos

Para contribuir com o levantamento de dados e informações no desenvolvimento do projeto, foi feito contato com técnicos da área de monitoramento da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal-ADASA e da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal-CAESB, para obter os dados respectivos. Igualmente foram utilizadas as informações fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e as contidas no banco de dados da HIDROWEB disponibilizado pela da Agência Nacional de Águas (ANA).

Em reunião com o representante da CAESB identificaram-se problemas de poluição importantes na sub-bacia Riacho Fundo devido à expansão urbana e às possíveis ligações clandestinas que lançam o esgoto no rio.

A CAESB monitora dados de qualidade, fluviometria e pluviometria na sub-bacia do Riacho Fundo. No caso do monitoramento da qualidade da água dos corpos receptores do esgoto tratado, são analisados dados de temperatura, OD, pH, turbidez, condutividade, sólidos suspensos, DBO, Fósforo Total, amônia, nitrato, nitrito e *E. coli*. A coleta é feita bimestralmente e os dados fornecidos são do período 2003-2011.

As estações que forneceram dados observados para fazer a calibração de vazões e de qualidade (NT, FT) foram a estação Ponte Aeroporto código 60478400 da CAESB, e a estação RF-50, respectivamente. A localização dessas estações é apresentada na Figura 4.1.

4.2.2 - Obtenção e processamento de dados para o SWAT

Para realizar a simulação com o SWAT, foram necessários os dados e procedimentos apresentados na Figura 4.5.

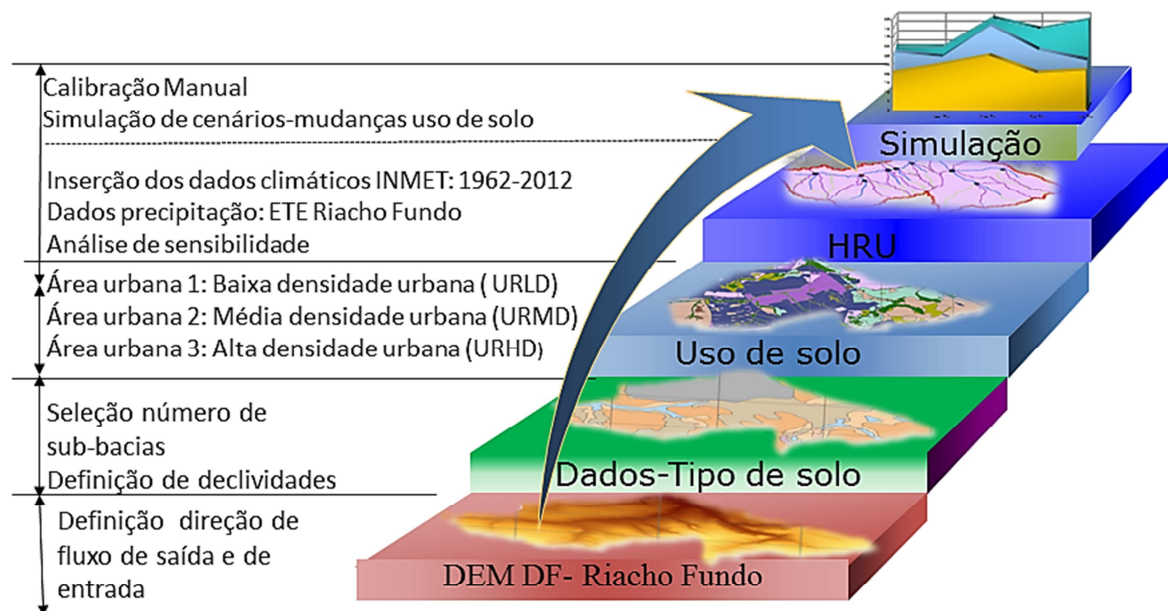


Figura 4.5 - Síntese do processo de simulação no SWAT

Para a construção da base de dados foi utilizado o software ArcGis versão 9.3, a versão 2009.93.5 do SWAT, na interface ArcGis-ArcSWAT.

Utilizou-se o modelo de elevação digital (DEM), obtido mediante a ferramenta *Topo to Raster* do ArcGis, na extensão *Spatial Analyst*, utilizando curvas de nível separadas por uma distância vertical de 5 m na escala de 1:10.000, pontos de elevação, hidrografia, lagos e o limite da bacia. O DEM pode observar-se na Figura 4.6.

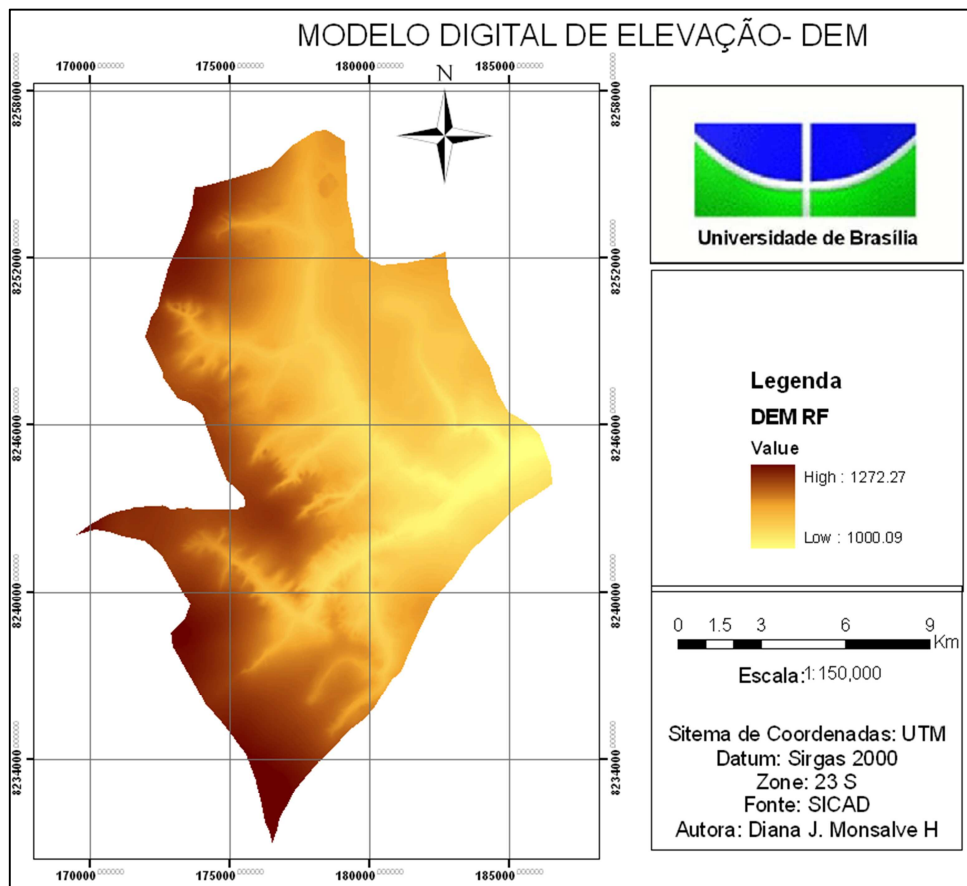


Figura 4.6 - Modelo de elevação digital da sub-bacia do Riacho Fundo

Os tipos de solos foram identificados no mapeamento de solos de Reatto (2004), para o Distrito Federal na escala 1:100.000.

Dado que o SWAT tem uma base de dados de solos para os Estados Unidos, foi feita uma pesquisa das características físicas para cada tipo de solo da área de estudo, e dessa maneira construiu-se uma base de dados própria para a bacia hidrográfica. As únicas fontes bibliográficas com estudos de solos no Distrito Federal são da Embrapa (1978) e Reatto (2003), porém, também foram estudadas outras fontes com trabalhos no resto do país, como são apresentas na Tabela 4.2. Os dados correspondentes aos parâmetros são apresentadas no Anexo B.

Tabela 4.2 - Parâmetros de solos requeridos pelo SWAT.

SIGLA-SWAT	Descrição da variável	Fonte Bibliográfica
SNAM	Nome do solo	Reatto <i>et al.</i> , 2004
NLAYERS	Número de camadas no perfil do solo	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
HYDGRP	Grupo hidrológico do solo	Sartori <i>et al.</i> , 2005
SOL_ZMX	Profundidade das raízes	Strauch*
ANION_EXCL	Porosidade do solo em que ânions são excluídos	Default-SWAT
SOL_CRK	Potencial ou máximo volume de fissuras do perfil do solo	Default-SWAT
TEXTURE	Textura	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
SOL_Z	Profundidade da camada de solo	Embrapa 1978, Reatto <i>et al.</i> , 2003
SOL_BD	Densidade do solo seco, ou aparente.	Barbosa <i>et al.</i> , 2009; Santos, 2007; Bennedetti, 2007; Zoldan, 2006
SOL_AWC	Capacidade de armazenamento de água	Oliveira <i>et al.</i> , 2007b; Silva <i>et al.</i> , 2010; Reatto, 1998; Strauch*
SOL_CBN	Conteúdo de carbono orgânico	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada	Lima, 2010; Oliveira <i>et al.</i> , 2011
CLAY	Conteúdo de argila %	Embrapa 1978, Reatto <i>et al.</i> , 2003
SILT	Conteúdo de silte	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
SAND	Conteúdo de areia	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
ROCK	Conteúdo de rocha	Embrapa 1978; Reatto <i>et al.</i> , 2003
USLE_K	Fator de erodibilidade	Bloise <i>et al.</i> , 2001
SOL_ALB	Albedo do solo em condições saturadas	Strauch*
SOL_EC	Condutividade elétrica	Parâmetro não ativo no SWAT.

* Strauch, M. comunicação pessoal.

O uso de solo foi obtido de Menezes (2010), que desenvolveu o geoprocessamento do Riacho Fundo classificando a bacia em 10 usos de solo:

Área urbana 1, 2, e 3, Mata de galeria, Cerrado, Solo exposto, Agricultura, Campo, Reflorestamento, Corpos de água. O autor classificou as áreas urbanas segundo a porcentagem da área impermeável e o adensamento demográfico. Nesse sentido essas áreas foram reclassificadas segundo os usos de solo urbanos já estabelecidos pelo SWAT, mudando da seguinte maneira:

Área urbana 1: Baixa densidade urbana (URLD)

Área urbana 2: Média densidade urbana (URMD)

Área urbana 3: Alta densidade urbana (URHD)

A classificação de usos de solo feita pelo autor foi apresentada anteriormente na Figura 4.3.

Na escolha das declividades a utilizar, foram considerados os trabalhos de Ramalho Filho e Beek (1995 *apud* Minoti, 2006). O mapa de declividades, apresentado na Figura 4.7, foi feito a partir do DEM, realizando uma reclassificação para 3 classes e dessa maneira diminuiu-se o ruído da imagem e garantiu-se que o direcionamento do fluxo simulado na bacia fosse correto. A partir dessas declividades foram definidos os intervalos de declividade (*slope definition*) no SWAT, como é apresentado na Tabela 4.3.

Os dados climáticos foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a partir de dados da estação central de Brasília, que forneceu uma série histórica diária de temperatura, velocidade do vento, umidade e radiação solar no período de 1952-2012. Quanto aos dados de precipitação, foi utilizada a série histórica diária no período de 1978-2000 da estação da ETE Riacho Fundo, monitorada pela CAESB.

Tabela 4.3 - Classificação de declividades inseridas no SWAT.

Classes de Declividade	Classificação do Relevo (Ramalho Filho e Beek, 1995)
0-8%	Plano/Suave ondulado
8-20%	Moderadamente ondulado/ ondulado
> 20%	Forte ondulado/montanhoso

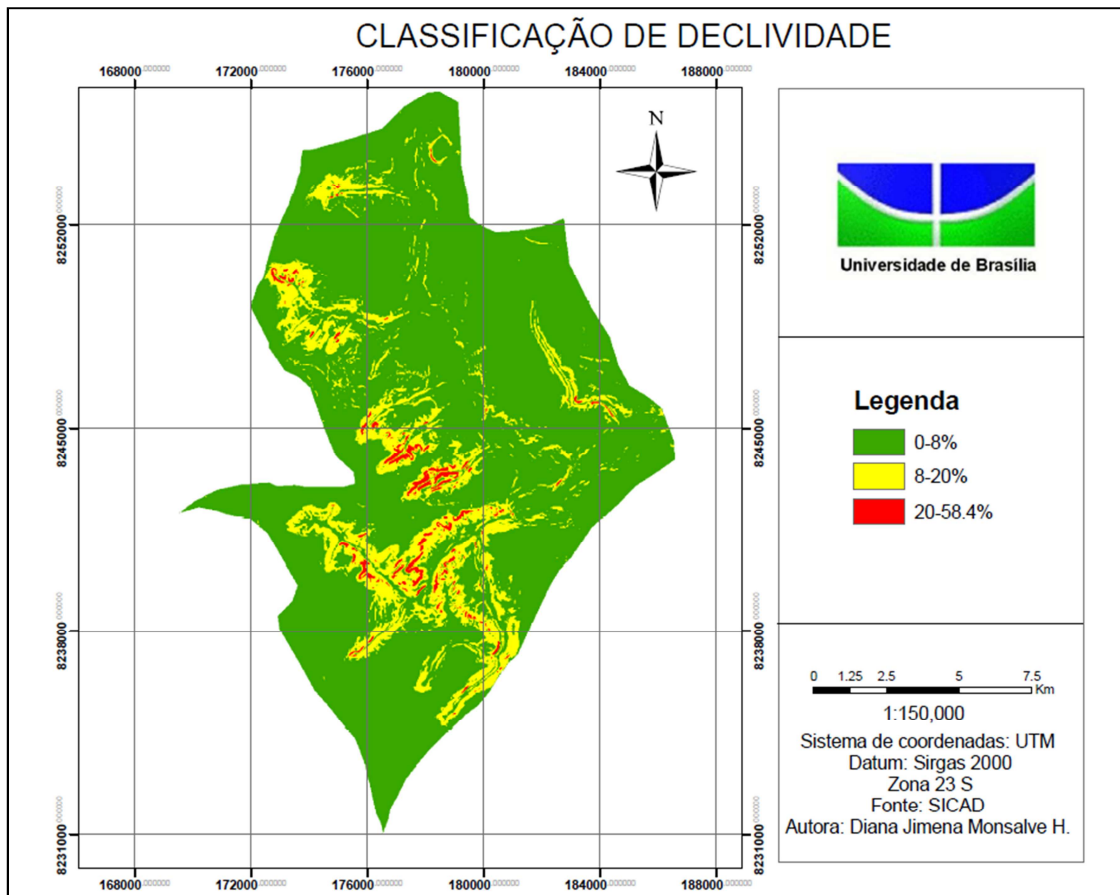


Figura 4.7 - Classificação da declividade da sub-bacia Riacho Fundo

Depois de fazer a classificação de uso de solo, tipo de solo e declividade foram definidas as Unidades de Resposta Hidrológica (HRU) sem nenhuma restrição, introduzidos os dados de clima da estação Brasília DF operada pelo INMET, e os dados de precipitação da estação ETE Riacho Fundo GM3. Posteriormente, o modelo foi rodado para estudar a vazão e qualidade da sub-bacia Riacho Fundo.

4.2.2.1 - Simulação hidrológica e de qualidade no SWAT

Depois de fazer a simulação no modelo e obter os dados de vazões simuladas, foi feita análise de sensibilidade para determinar os parâmetros mais relevantes na simulação. A análise foi feita automaticamente pelo SWAT, onde foram escolhidos os parâmetros para fluxo, e estabelecidos limites inferiores e superiores para cada parâmetro.

Uma vez determinados os parâmetros mais importantes, foi realizada calibração automática pelo programa SWAT Cup. Inicialmente a simulação e a calibração foram feitas para dados diários de vazões, mas como a calibração automática não foi satisfatória procedeu-se a calibração mensal. Porém os resultados da calibração com uso do SWAT Cup continuavam sendo insatisfatórios. Por essa razão optou-se pela calibração manual, nesse caso a calibração foi feita mensal já que o WEAP só trabalha com dados mensais, facilitando dessa maneira a integração dos modelos. Além disso, a escolha de trabalhar com dados mensais também foi feita porque para estudos de gestão os resultados mensais fornecem análises suficientes para fazer o estudo.

Depois de obter a calibração e a verificação das vazões, foi feita a calibração e verificação manual mensal dos nutrientes Nitrogênio Total e Fósforo Total. Os dados de vazões e de nutrientes simulados e calibrados no SWAT foram utilizados para fazer a simulação no WEAP, que precisa de informações das vazões a montante dos córregos afluentes do Riacho Fundo para alimentar a rede hídrica desenhada no modelo.

Não existem informações observadas nos córregos para fazer a calibração nesses pontos, logo, a bacia foi calibrada a partir dos dados disponíveis do exutório, considerando que os resultados nos córregos fornecidos pelo SWAT iam estar próximos da realidade, e dessa maneira poderiam ser utilizados no WEAP.

A simulação, a calibração e a verificação no SWAT foram avaliadas segundo o trabalho de Moriasi *et al.* (2007) que recomenda fazer análises estatísticas com coeficiente Nash

Sutcliffe (NSE), porcentual de tendência (PBIAS), erro padrão normalizado (RSR), além de análises visual de gráficos das séries.

Nesse trabalho foram calculados os parâmetros de avaliação NSE, PBIAS, RSR e R².

O NSE representa a magnitude em relação aos dados observados, os valores próximos a 1 indicam um bom ajuste, enquanto que valores iguais a zero indicam que a vazão média observada prediz melhor os dados que a simulação do modelo (Gupta *et al.*, 1999). O NSE pode se calcular mediante a Equação 4.1.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (4.1)$$

O PBIAS mostra a tendência dos dados simulados serem maiores ou menores do que os dados observados. Valores positivos indicam que o modelo está subestimando os resultados enquanto que valores negativos tende a superestimar os valores obtidos no estudo (Gupta *et al.*, 1999). O PBIAS pode se calcular com a Equação 4.2.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (4.2)$$

O RSR é o erro padrão médio normalizado (EPN) pelo desvio padrão das observações, calcula-se mediante a Equação 4.3.

$$RSR = \frac{EPM}{DvpadQ_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}} \quad (4.3)$$

Sendo:

Q_{obs}: o parâmetro observado

Q_{sim}: o parâmetro simulado

$\overline{Q_{obs}}$: a média do parâmetro observado no período simulado

Finalmente os resultados foram comparados segundo a classificação da Tabela 4.4 para determinar se os resultados eram aceitáveis ou não.

Tabela4.4 - Classificação dos resultados dos índices de qualidade da simulação da vazão, Nitrogênio e Fósforo médio mensal pelo modelo SWAT (Moriassi *et al.*, 2007).

Classificação	RSR	NSE	PBIAS (%)	
			Vazão	N,P
Muito bom	$0,0 \leq RSR \leq 0,5$	$0,75 \leq NSE \leq 1,0$	$PBIAS \leq \pm 10$	$PBIAS \leq \pm 25$
Bom	$0,5 \leq RSR \leq 0,6$	$0,65 \leq NSE \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$\pm 25 \leq PBIAS \leq \pm 40$
Satisfatório	$0,6 \leq RSR \leq 0,7$	$0,50 \leq NSE \leq 0,60$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$	$\pm 40 \leq PBIAS \leq \pm 70$
Insatisfatório	$RSR \geq 0,7$	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 70$

4.2.2.2 - Cenários no SWAT

Os cenários desenvolvidos foram feitos segundo a mudança de usos de solo:

- **Cenário 1:** mudança de uso de solo agrícola para usos de solo urbano de alta densidade urbana.
- **Cenário2:** mudança de usos de solo urbano de baixa densidade urbana para uso de solo de alta densidade urbana.

Os cenários forneceram resultados de vazão e qualidade (NT,PT) que foram inseridos posteriormente no WEAP.

4.3 - INTEGRAÇÃO DO SWAT COM WEAP

Os dados de qualidade, tanto da poluição difusa como pontual, e de hidrologia obtidos na simulação com SWAT foram introduzidos no WEAP para gerar cenários de disponibilidade e qualidade da água da sub-bacia Riacho Fundo.

Para fazer a simulação no WEAP foi necessário construir a rede hídrica, introduzir dados para cada elemento da rede e formular cenários para análise de resultados. Os cenários que foram simulados no WEAP são:

- Cenário Atual (*current account*): representa as condições atuais do sistema hídrico. Para o ano base foi escolhido o ano 2011 devido que não se tinha suficiente informação do ano 2012 e 2013, além disso o ano 2011 contava com dados representativos para o estudo.
- Cenário de Referência: herda as características do cenário atual e há evoluções similares do sistema atual, sem intervenção. O cenário de Referência foi simulado no período de 2012-2025
- Cenários Futuros: São criados para responder à pergunta “o que acontece se?”, nesses cenários o Cenário de Referência é alterado segundo as políticas, tecnologias e demais condições do estudo para avaliar os efeitos na área de estudo. Os cenários Futuros foram simulados no período de 2012-2025

4.3.1 - Construção da rede

Nesse documento se apresenta a rede hídrica, que é mostrada na Figura 4.8, com os seguintes elementos:

- Nós: representam demandas das zonas urbanas da área de estudo e a Estação de Tratamento de Esgoto-ETE do Riacho Fundo.
- Reservatórios: a rede conta com o reservatório Lago Descoberto que fornece água para a bacia do Riacho Fundo e outras localidades.
- Arcos: Nesse caso, são utilizados arcos entre o lago Descoberto e os nós de demandas para distribuir a água potável na área de estudo e em algumas regiões administrativas do DF. Também há arcos de fluxo de retorno entre o nó de demanda do Riacho Fundo e a ETE Riacho Fundo e também o retorno da ETE para o ribeirão Riacho Fundo.
- Rios: na rede são desenhados os rios, considerando o esquema de drenagem que o SWAT processou no modelo. O desenho tem como rio principal o ribeirão Riacho Fundo com os seguintes tributários:

- ✓ O córrego Vicente Pires cujos afluentes são: Córrego Valo, Córrego Reino, Córrego Samambaia, Córrego Água Clara, Córrego Vereda da Cruz, Córrego Arniqueira, Córrego Vereda Grande e seu afluente.
- ✓ Córrego Guará
- ✓ Córrego Açudinho
- ✓ Córrego Coqueiro e seus afluentes: Córrego Preto e Ipê.

Essas fontes hídricas também foram simuladas no SWAT.

4.3.1.1 - Dados de entrada da rede

- **Nós de demanda**

A informação introduzida nos nós de demanda da rede pode-se observar na Tabela 4.5. A informação requerida foi:

- ✓ Número de habitantes: a informação foi obtida nos Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios (PDAD) de cada localidade, para o ano 2010/2011
- ✓ Consumo per cápita: Calculado segundo dados de consumo fornecidos pela CAESB e o número de habitantes.
- ✓ Consumo: no WEAP representa as perdas de água para cada nó de demanda ou para a ETE. È a quantidade de fluxo que entra no nó, mas que não sai.
- ✓ Taxa média de crescimento de população: foi obtida no CODEPLAN (2011b).
- ✓ Prioridade: Estabelece a prioridade de consumo de água potável, o valor pode variar de 1-99 segundo as necessidades de consumo.

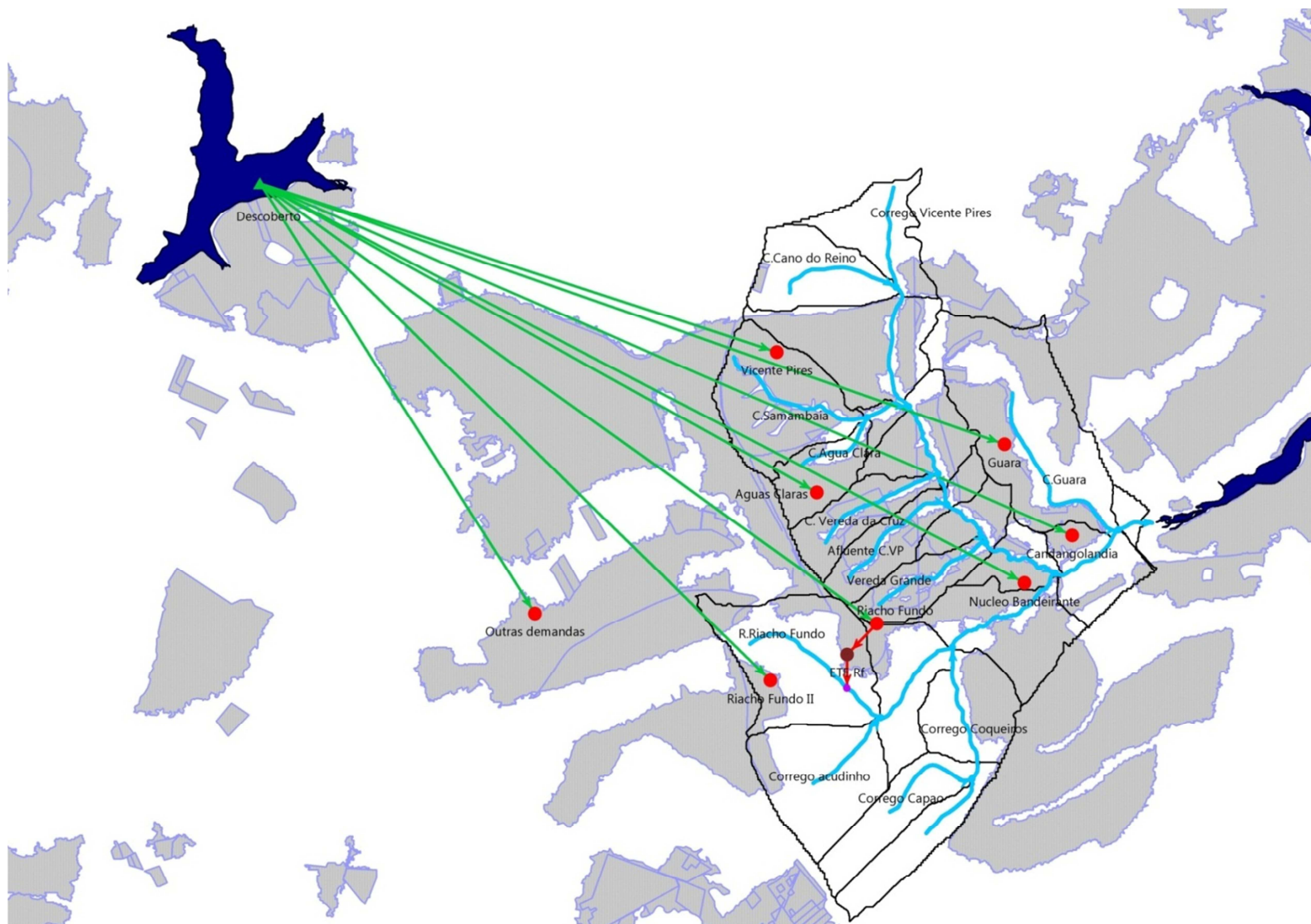


Figura 4.8 - Desenho da rede de WEAP com dados de SWAT.

Tabela4.5 - Dados de entrada para o ano base 2011 nos nós de demanda.

Nó de Demanda	Número de habitantes¹	Consumo per capita² (m³/habitante)	Consumo (%)	Taxa de crescimento³ (%)	Prioridade
Vicente Pires	67783	74,27	100	2,3	1
Aguas Claras	109935	132,24	100	2,3	1
Riacho Fundo	35268	70,48	32.7	2,3	1
Núcleo Bandeirante	26089	134,17	100	2,3	1
Candangolândia	16196	70,22	100	2,3	1
Guara	125703	59,38	100	2,3	1
Riacho Fundo II	38936	41,46	100	2,3	1
Outras demandas ⁴	1195263	67,43	100	2,3	1

¹Dados inseridos no *Annual activity Level* do WEAP.

²Dados inseridos no *Annual water use Rate* do WEAP.

³Taxa introduzida no *Annual activity level* do Cenário de Referência (2012-2025).

⁴Localizadas fora da sub-bacia do Riacho Fundo.

A prioridade de consumo pode ter diferentes valores dependendo da atividade do nó. Geralmente o consumo para água potável tem maior prioridade que atividades como a agricultura, indústria, etc. Nesse estudo foram consideradas somente as demandas de água potável das localidades da sub-bacia Riacho Fundo e fora da sub-bacia, inserindo-se valor de 1 (um) para todos os nós, pois apresentam as mesmas necessidades de consumo de água. Essa ferramenta é indispensável no módulo de alocação do WEAP para distribuição do recurso hídrico, segundo as necessidades dos nós colocados na rede.

Para o caso do Cenário de Referência utilizou-se uma função de crescimento populacional que o WEAP fornece para determinar a população no período de 2012-2025, tendo como base a população no ano 2011. O crescimento da população para o cenário de Referência como uma taxa de crescimento populacional de 2.3 % é apresentado na Figura 4.9

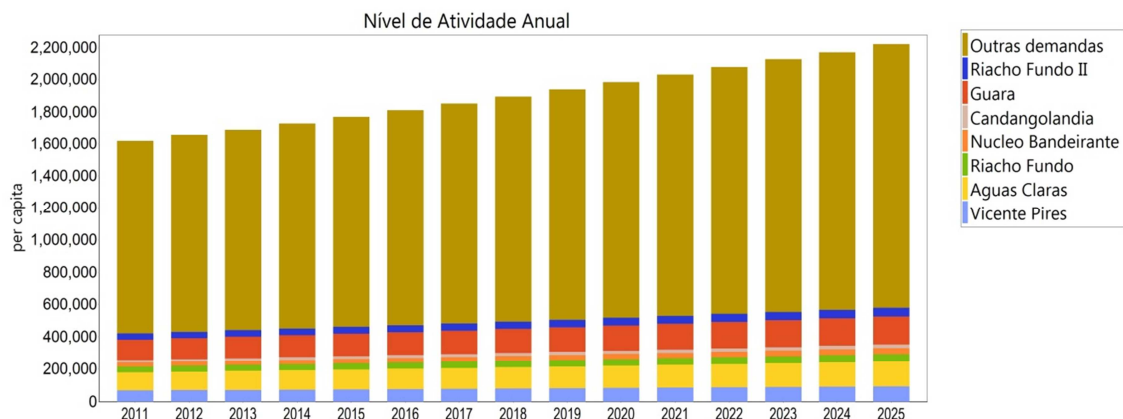


Figura 4.9 - Crescimento da população no Cenário de Referência, com uma taxa média de crescimento de 2.3%

- **Recursos e suprimentos**

Representam a água que entra ao sistema, seu transporte e saída. Reúne o conjunto de rios, reservatórios, elementos de transferência e fluxos de retorno.

- ✓ **Rios**

No caso dos rios, foram introduzidas as vazões simuladas no SWAT, para ano base 2011, no Cenário de Referência e nos Cenários Futuros (2012-2025).

Como o WEAP solicita a introdução das vazões na cabeceira do rio (*headflow*), foi necessário determinar a correspondência entre os rios (a montante) desenhados no WEAP e as sub-bacias determinadas no SWAT, como apresentado na Tabela 4.6. Os códigos identificadores (ID) de cada sub-bacia obtida no SWAT correspondente a cada rio desenhado no WEAP são mostrados na Figura 4.10

Tabela 4.6 - Sub-bacias localizada a montante dos rios da área de estudo.

RIO (WEAP)	ID da Sub-bacia (SWAT) correspondente a montante do rio (WEAP)
Córrego Vicente Pires	2
Córrego cano do Reino	1
Córrego Samambaia	5
Córrego Águas Claras	6
Córrego Vereda da Cruz	8
Afluente do Córrego Vicente Pires	10
Córrego Vereda Grande	14
Ribeirão riacho Fundo	18
Córrego Açudinho	21
Córrego Capão	22
Córrego Coqueiros	23
Córrego Guará	11

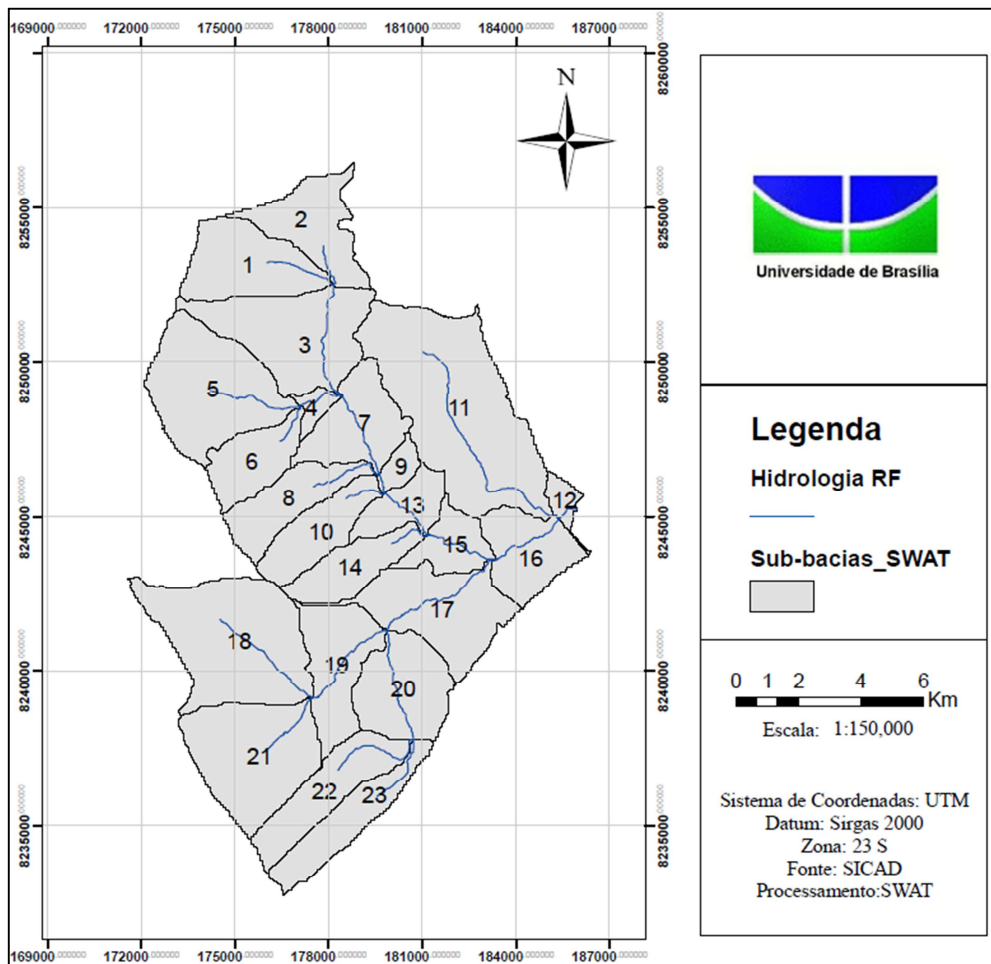


Figura 4.10 - Sub-bacias obtidas no SWAT

Como as vazões simuladas no SWAT foram obtidas no período de 1988-2012, tomaram-se as vazões do período de 1988 até 2001 do SWAT, deslocando-as como se fossem as vazões do 2012-2025 no WEAP, devido à falta de dados a partir de 2012 e a necessidade de simular cenários futuros para avaliar a integração dos modelos estudados nessa dissertação.

Os dados de qualidade também foram introduzidos aos componentes dos rios da rede, com valores de concentrações em mg/L de Nitrogênio e Fósforo Total. Esses dados também foram simulados no SWAT para os mesmos períodos de tempo utilizando os valores correspondentes às mesmas sub-bacias utilizadas para a simulação das vazões.

No WEAP cada rio é dividido por trechos para facilitar os cálculos do modelo particularmente da qualidade. Nesses trechos foram introduzidos valores fornecidos pela CAESB da geometria do rio como comprimento, largura, profundidade e vazão correspondente a essas variáveis.

Os principais trechos para o córrego Vicente Pires e o rio Riacho Fundo são apresentados na Figura 4.11

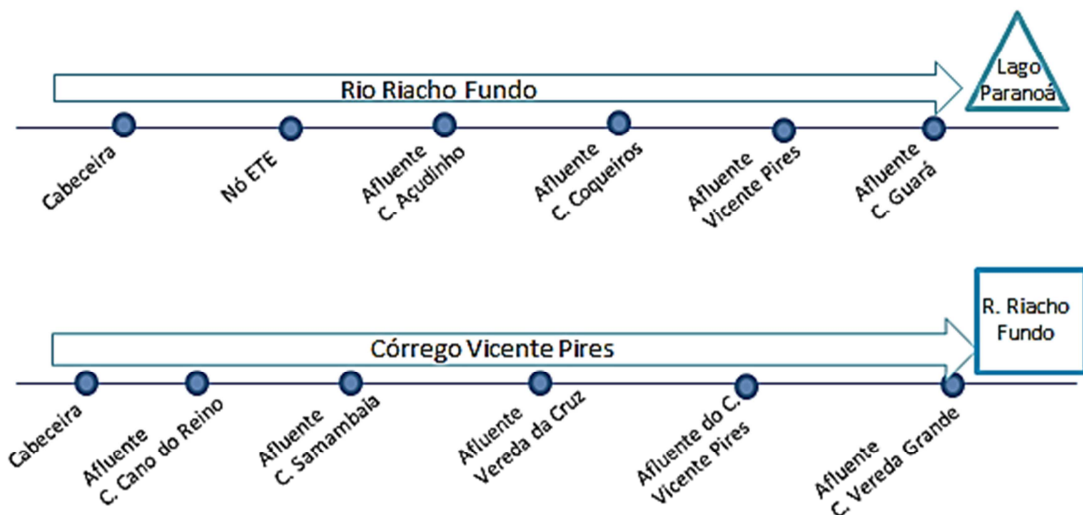


Figura 4.11 - Principais trechos considerados no WEAP do córrego Vicente Pires e do rio Riacho Fundo

✓ Reservatório

Na rede hídrica foi adicionado o lago Descoberto, que abastece os nós de demandas. Os dados de vazões em m^3/s (CMS) para simular o comportamento do reservatório estão disponíveis na Figura 4.12.

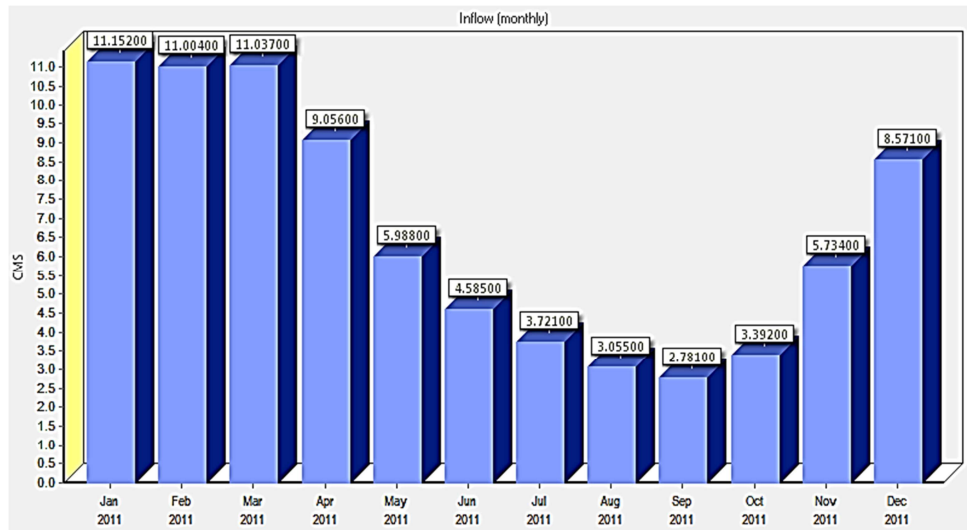


Figura 4.12 - Vazões de entrada no lago Descoberto em m^3/s (ADASA,2012)

Os dados de vazões de entrada foram obtidos somando as vazões dos afluentes do reservatório encontradas no Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGI RH (ADASA,2012). A vazão de entrada não foi modificada para o Cenário de Referência.

O Lago Descoberto foi modelado com as características reais do reservatório de operação que o WEAP considera, mostradas na Figura 4.13 e obtidas pela CAESB. A informação inserida é apresentada na Tabela 4.7.

Além dessa informação, foi preciso introduzir dados de evaporação líquida no WEAP, nesse caso foram utilizados dados do SEINFRA (2006). A evaporação líquida foi obtida mediante a diferença entre a taxa de evaporação e a taxa de precipitação, os valores positivos representam as perdas do reservatório e os valores negativos um incremento da água que podem ser observados na Tabela 4.8. Os dados de cota volume, como se mostra na Tabela 4.9 também foram utilizados.

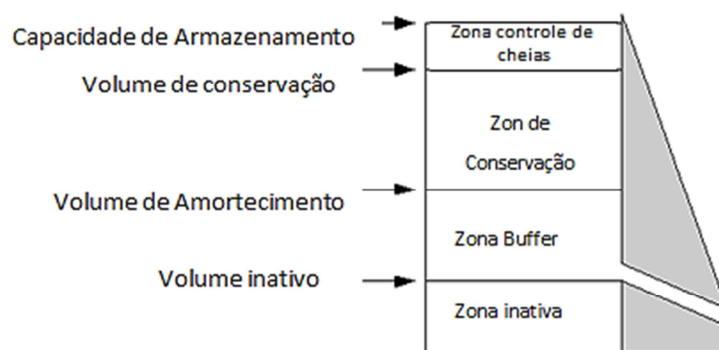


Figura 4.13 - Características de operação consideradas pelo WEAP (modificado, SEI, 2001).

Tabela 4.7 - Características do reservatório utilizadas na simulação no WEAP.

Características utilizadas no WEAP	Valor
Capacidade de armazenamento	102,3 hm ³
Armazenamento inicial	70 hm ³
Volume de conservação	85 hm ³
Volume inativo	9,97 hm ³
Coefficiente de amortecimento*	1
Prioridade	99

*Fracção da água, na zona de amortecimento disponível em cada mês.

Tabela 4.8 - Calculo da taxa de evaporação no lago Descoberto.

Mês	Taxa de evaporação^a (m)	Taxa de precipitação^a (m)	Taxa de evaporação líquida (m)	Taxa de evaporação líquida (mm)
Janeiro	0,0868	0,2185	-0,1317	-131,7
Fevereiro	0,0784	0,1832	-0,1048	-104,8
Março	0,0825	0,1926	-0,1101	-110,1
Abril	0,084	0,0994	-0,0154	-15,4
Maio	0,0977	0,0285	0,0692	69,2
Juno	0,1113	0,0063	0,105	105
Julho	0,1259	0,0068	0,1191	119,1
Agosto	0,1628	0,0133	0,1495	149,5
Setembro	0,1323	0,0447	0,0876	87,6
Outubro	0,0868	0,1363	-0,0495	-49,5
Novembro	0,0714	0,228	-0,1566	-156,6
Dezembro	0,076	0,239	-0,163	-163

a. Dados do SEINFRA (2006)

Tabela4.9 - Dados de cota e volume do lago Descoberto.

Cota (m)	Volume (hm ³)
1011	0,000
1012	0,32
1013	0,61
1014	1,00
1015	1,60
1016	2,60
1017	4,00
1018	6,00
1019	8,40
1020	11,20
1021	15,40
1022	20,40
1023	27,00
1024	35,10
1025	44,30
1026	54,00
1027	64,10
1028	74,80
1029	87,50
1030	102,30

- **Qualidade da água**

Os dados da estação de tratamento de esgoto Riacho Fundo, que recebe seu afluente do nó de demanda Riacho Fundo obtidos pela CAESB, são apresentados na Tabela 4.10. Esses dados foram utilizados no Cenário Base 2011 e no Cenário de Referência (2012-2025)

Tabela4.10 - Características da ETE Riacho Fundo.

Característica da ETE	Valor
Capacidade diária	6,75 hm ³
Consumo*	0 %
Remoção de Nitrogênio Total	71,56%
Remoção de Fósforo Total	92,20 %

* O WEAP considera o consumo como as perdas do esgoto da ETE.

4.3.2 - Definição e caracterização de Cenários

Os cenários futuros foram baseados nos cenários processados no SWAT. No WEAP os cenários herdaram as características do Cenário de Referência, mas nesse caso, não herdaram as características hidrológicas e de qualidade já que foram introduzidos os valores simulados nos Cenários 1 e 2 do SWAT.

Nos cenários de disponibilidade hídrica, o Lago Descoberto é o atual manancial de abastecimento da área de estudo. Portanto a hidrologia simulada no SWAT não afeta as disponibilidades de água da bacia, já que o suprimento da água não era dos rios da sub-bacia do Riacho Fundo modelados no SWAT. Porém as modificações no crescimento da população para os diferentes cenários originam-se nas áreas que sofreram modificações nos usos de solo simulados no SWAT, como segue:

- Cenário 1. Aumento da taxa de crescimento da população no Vicente Pires e Riacho Fundo II, localizadas perto da área agrícola que foi modificada para área urbana no SWAT.
- Cenário 2. Aumento da taxa de crescimento de população nas localidades de Águas Claras, Núcleo Bandeirante e Candangolândia, que representaram o aumento de densidade urbana feita no SWAT.

Também foram criados cenários de disponibilidade, mudando as quantidade de vazão de entrada no lago Descoberto por valores de vazões mínimas encontradas no PGIRH, (2012) herdando as características de população do Cenário 1 e 2 citados anteriormente .

Quanto aos cenários de qualidade, foram importadas as informações de vazões e qualidade dos Cenários 1 e 2 do SWAT e criados cenários com mudanças na eficiência da ETE, herdando as características dos Cenários 1 e 2.

A Tabela 4.11 mostra os cenários desenvolvidos no WEAP, suas características e os dados utilizados do SWAT.

Tabela 4.11 - Integração do SWAT nos cenários do WEAP.

CENÁRIO	MUDANÇAS	DADOS UTILIZADOS DO SWAT
Cenário de Referência	✓ Nenhuma	Vazões e qualidade calibradas originais
Cenário 1. Estudo de Disponibilidade	✓ Aumento da taxa de crescimento da população de 4.6 % para as localidades de Vicente Pires e Riacho Fundo II	Nenhum
Cenário 1. Estudo da qualidade	✓ Vazões e qualidade dos rios	Vazões e qualidade do Cenário 1 do SWAT.
Cenário 2. Estudo de Disponibilidade	✓ Aumento da taxa de crescimento da população de 4.6 % para as localidades de Águas Claras, Núcleo Bandeirante e Candangolândia.	Nenhum
Cenário 2. Estudo de qualidade	✓ Vazões e qualidade dos rios	Vazões e qualidade do Cenário 2 do SWAT
Eficiência da ETE	✓ Aumento de 20% na remoção de Nitrogênio Total da ETE Riacho Fundo	Valores de vazões e qualidade introduzidas no Cenário de Referência, Cenário 1 e 2.
Cenário Sem a ETE	✓ Simulação tirando a ETE da área de estudo.	Valores de vazões e qualidade introduzidas no Cenário de Referência, Cenário 1 e 2.

5 - ANALISE DE RESULTADOS

Nesse capítulo apresentar-se-ão os resultados da simulação e da calibração de vazões e de qualidade utilizando o modelo SWAT. Também serão apresentados os resultados da integração dos modelos WEAP e SWAT para estudos de disponibilidade e qualidade de água da sub-bacia Riacho Fundo.

5.1 - SIMULAÇÃO E CALIBRAÇÃO COM O SWAT

Para começar o processamento do SWAT foi necessário criar o modelo digital de elevação e posteriormente com base no Modelo de elevação Digital (DEM) foi criada uma reclassificação de declividades, para saber os intervalos de valores a inserir no modelo.

Após serem introduzidas essas informações, e ter-se construído a base de dados para a bacia de estudo, foi feita a simulação, obtendo-se 74 HRU, para as 23 sub-bacias. As informações de vazão e qualidade obtidas nessas sub-bacias foram utilizadas posteriormente, como dados de entrada para o WEAP. Cada sub-bacia pertence a um trecho de rio, fornecendo informação de vazões, qualidade e uso de solo entre outros, para cada área.

A sub-bacia 12, localizada no exutório, forneceu todas as informações quantitativas e qualitativas que estavam saindo da bacia e foi nela que se fizeram as análises de calibração de vazões e qualidade.

5.1.1 - Simulação da vazão antes da calibração

Antes de iniciar a calibração realizou-se a comparação das vazões observadas e simuladas no período de 1988-1996, e calculou-se o coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NSE), o erro padrão médio normalizado (RSR) e o coeficiente de determinação (R^2), para saber como o modelo estava comportando-se inicialmente.

Na Figura 5.1 podem-se visualizar os hidrogramas iniciais da vazão média mensal calculada e simulada, podendo se observar que o modelo precisava ser calibrado, pois, não foi possível modelar as vazões satisfatoriamente, já que os picos da vazão foram superestimados e o fluxo de base foi subestimado chegando a zero. Igualmente, os cálculos estatísticos apresentaram resultados pouco favoráveis como o NSE= -0,152, PBIAS= -0,246 e RSR= 1,073, sendo esses valores classificados como insatisfatórios segundo Moriasi *et al* (2007)

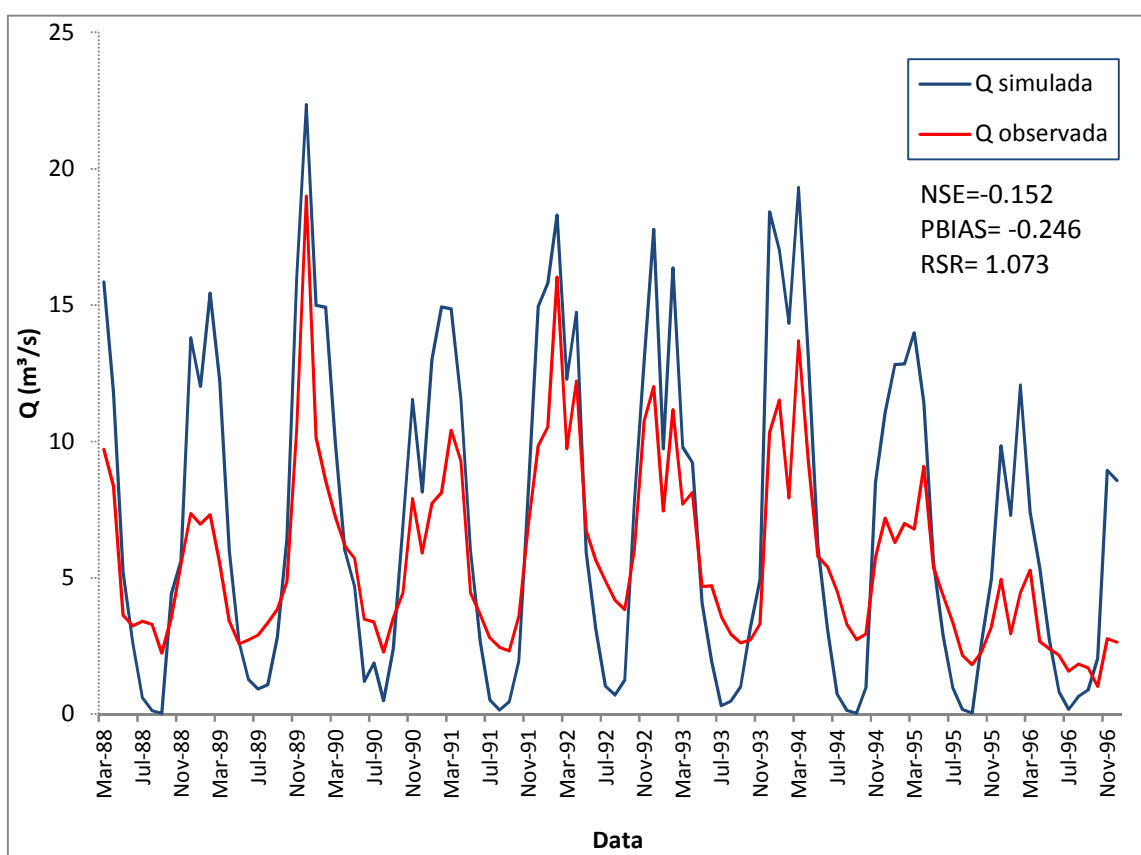


Figura 5.1 - Serie simulada sem calibração no período de 1988-1996

A correlação apresentada entre as vazões simulada e observada, na Figura 5.2, mostrou um valor aceitável, mas foi preciso melhorá-la, pois, os dados ainda se encontraram dispersos.

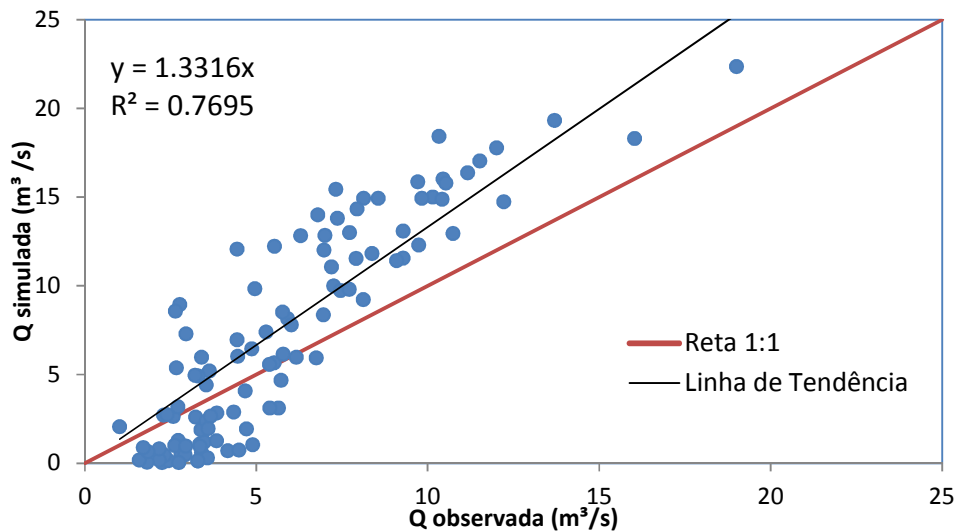


Figura 5.2 - Coeficiente de determinação da serie de vazões sem calibrar no período 1988-1966.

Os resultados estatísticos e os gráficos anteriormente apresentados mostraram a necessidade de calibrar o modelo, com base na análise de sensibilidade feita para identificar os parâmetros que mais influenciavam no balanço hídrico da área de estudo.

A análise de sensibilidade para estudo de vazões mostrou que os parâmetros mais influentes na simulação eram:

- Surlag - Coeficiente de retardo do escoamento superficial: O Surlag controla a fração de água disponível para abastecer diariamente o canal.

Em bacias grandes, com tempo de concentração superiores a um dia, só uma parte do escoamento superficial atingirá o canal principal no dia em que ele for gerado. O SWAT incorpora parte do armazenamento do escoamento superficial, de forma que retarda parte da entrada de água que vem do escoamento superficial no canal principal.

- Cn_2 - Valor inicial do SCS Curva-Número para a condição de umidade II: O SCS Curva-Número é uma função da permeabilidade do solo, uso do solo e condições antecedentes de umidade no solo.
- Ch_N2 - Coeficiente de rugosidade de *Manning*: depende das características físicas do canal estudado.
- Ch_K2 - Condutividade hidráulica efetiva do canal ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$): Para rios perenes e que recebem constantemente água do escoamento de base a condutividade hidráulica será igual a zero.

- Alpha_Bf - Constante de recessão do escoamento de base (dias): é um índice que mostra a resposta da vazão subterrânea em função da recarga.
- Rchrg_Dp - Fração de água percolada, para o aquífero profundo: Representa a fração de água percolada do aquífero raso para o aquífero profundo.

5.1.2 - Calibração da vazão

O modelo foi calibrado no exutório onde está localizada a estação Ponte Aeroporto, código número 60478400 pertencente à CAESB, apresentado anteriormente na Figura 4.1 Essa estação foi utilizada porque era a única com dados de vazões históricas observadas suficientes para fazer a calibração.

Os dados históricos diários observados fornecidos no período 1978-2009 tinham muitas inconsistências, que fizeram reduzir o período para 1978-2000. Assim, utilizaram-se os primeiros 10 anos como período de aquecimento do modelo, começando a calibração em 1988 e terminando em 1996. A verificação foi feita no período 1997-2000.

No início do trabalho foi feita calibração de vazões diárias no SWAT Cup, que não forneceu resultados satisfatórios, obtendo um NSE de -0,05 na melhor calibração. Esses resultados podem ser observados no anexo A.

Devido aos resultados anteriores optou-se por fazer calibração manual de dados diários, que também não foi satisfatória. Uma vez WEAP que trabalha com dados mensais, procedeu-se à calibração mensal manual com o objetivo de se alcançar melhores resultados da calibração.

Na melhor calibração mensal manual obtida no período de 1988-1996, foram modificados os parâmetros mostrados na Tabela 5.1.

Na Tabela 5.2, pode-se observar que os resultados foram satisfatórios para as análises estatísticas feitas, considerando os valores apresentados por Moriasi *et al.* (2007). Na

Figura 5.3 apresenta-se a aderência entre os dados simulados e observados na calibração e na Figura 5.5a pode-se observar uma melhora na dispersão dos dados, com um $R^2 = 0.87$.

Tabela5.1 - Valores dos parâmetros modificados na calibração de vazões mensais.

Parâmetros modificados	Valor	Método de variação do parâmetro
Surlag	0,05	Substituição
Ch_N	0,04	Substituição
Alpha_Bf	0,01	Substituição
Cn2	0,9	Multiplicação
Esco	0,4	Substituição
Sol_Awc	0,3	Soma
Canmx	10	Soma
Gw_delay	20	Soma
Revapmn	10	Soma

A calibração foi muito boa, porém a verificação não forneceu resultados satisfatórios como se mostra nos cálculos estatísticos da Tabela 5.2. No hidrograma da Figura 5.4 observa-se pouca aderência entre as vazões simuladas e observadas, o que pode ser verificado na Figura 5.5b, com uma grande dispersão dos dados, com um $R^2= 0,1$.

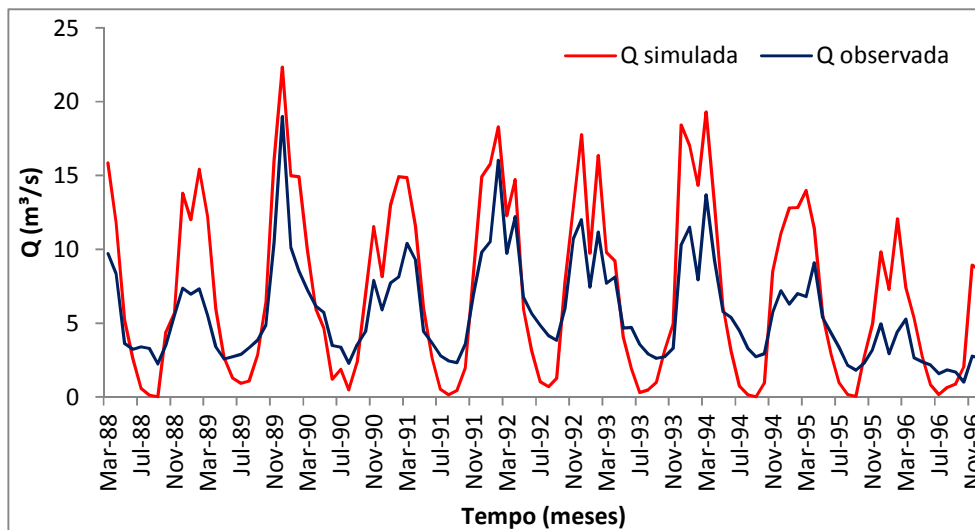


Figura 5.3 - Melhor calibração de vazões obtida no período 1988-1996

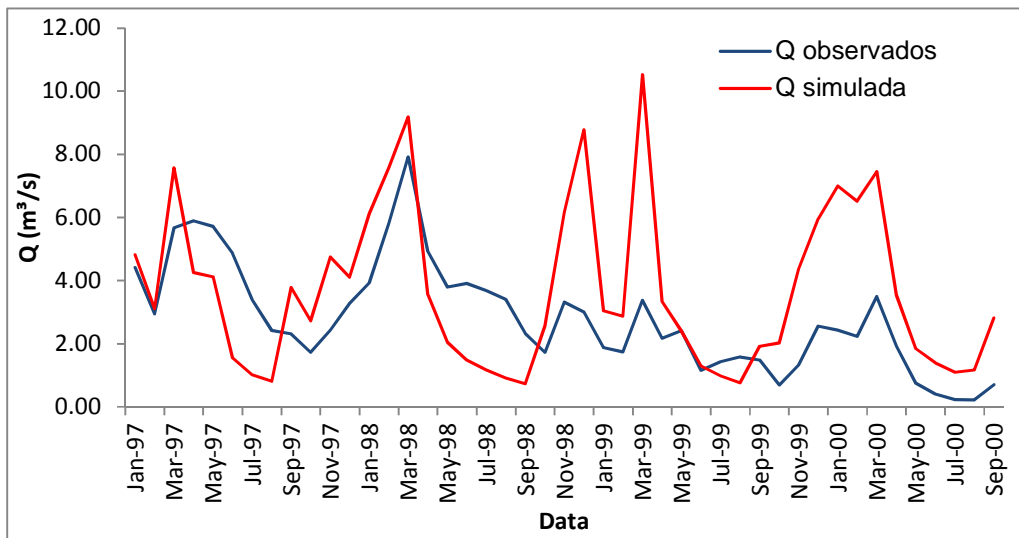


Figura 5.4 - Verificação do modelo no período 1997-2000

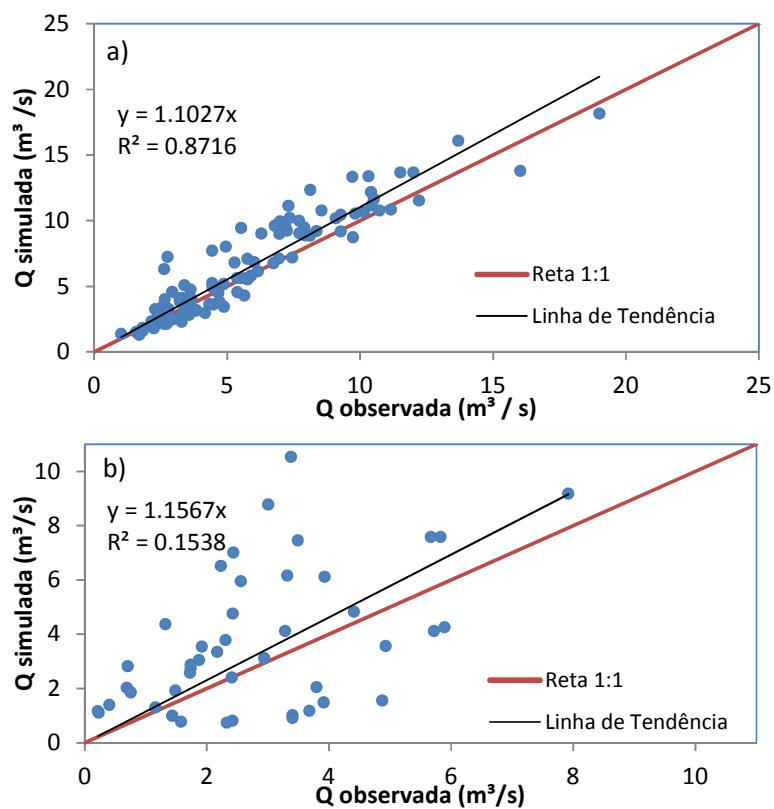


Figura 5.5 - Correlação de dados da calibração e verificação; a) correlação de dados de vazões no período de calibração; b) correlação de dados de vazões no período de verificação.

Segundo as análises estatísticas calculadas na verificação, o valor negativo no PBIAS mostra que o modelo está superestimando as vazões. O NSE mostrou pouca eficiência na simulação e RSR e o R^2 também apresentaram valores insatisfatórios.

O comportamento da vazão na calibração e verificação junto com a precipitação é apresentado na Figura 5.6, que permite identificar melhor os dados da série simulada.

Tabela 5.2 - Resultados estatísticos da calibração e verificação no período de 1988-2000.

Etapas Simulação	Estatística	Valor	Classificação (Moriasi <i>et al.</i>, 2007)
Calibração 1988-1996	NSE	0,79	Muito bom
	PBIAS %	-11,47	Bom
	RSR	0,45	Muito bom
Verificação 1997-2000	NSE	-1,02	Insatisfatório
	PBIAS %	-30,04	Muito Bom
	RSR	1,42	Insatisfatório

Dado que não foram obtidos resultados satisfatórios na calibração foi necessário analisar motivos para o qual o modelo não estava tendo um bom desempenho, avaliando se o problema estava nos dados das vazões observadas que desde o começo apresentaram inconsistências. As inconsistências identificadas nas vazões observadas apresentaram-se a partir do ano 2000, onde o valor diário de vazão era o mesmo para todos os dias do mês.

Foi feita uma comparação gráfica das vazões e da precipitação e também foram comparados os valores médios, máximos e mínimos de cada parâmetro.

Comparando as Figuras 5.7 a 5.10 para cada ano de chuvas e vazões junto com a Tabela 5.3, se identifica que a vazão observada e simulada nos quatro anos tem uma tendência similar com um comportamento de acordo com a chuva, porém graficamente pode-se observar que o ano 1997 desde o mês de setembro apresenta vazões muito baixas e que o comportamento da vazão simulada se encontra mais de acordo com a chuva.

Quanto aos valores máximos encontrados para cada ano, pode se observar que nos anos de 1997 e 1999 que apresentaram a chuva máxima no mês de março, com chuvas antecedentes, as vazões não têm um comportamento similar. Para o ano de 1997 com uma chuva máxima de 330 mm se tem uma vazão de 5,9 m³/s e no ano 1999 com uma chuva máxima de 401,6 mm se tem uma vazão observada de 3,4 m³/s.

Esse tipo de análise não pode garantir que os dados de vazões observadas estão errados, mas abre espaço para uma verificação mais detalhada dos dados observados.

O SWAT é um modelo que foi criado principalmente para bacias rurais e de grande tamanho. Essa característica do modelo pode ter interferido na simulação das vazões, já que o uso de solo predominante da sub-bacia Riacho Fundo é urbano. Porém como não se tinha certeza dos dados observados, não se pode concluir que o modelo não é apto para simular bacias urbanas, mas é importante mencioná-lo para dar início a estudos que avaliem o comportamento do SWAT para esse tipo de bacias.

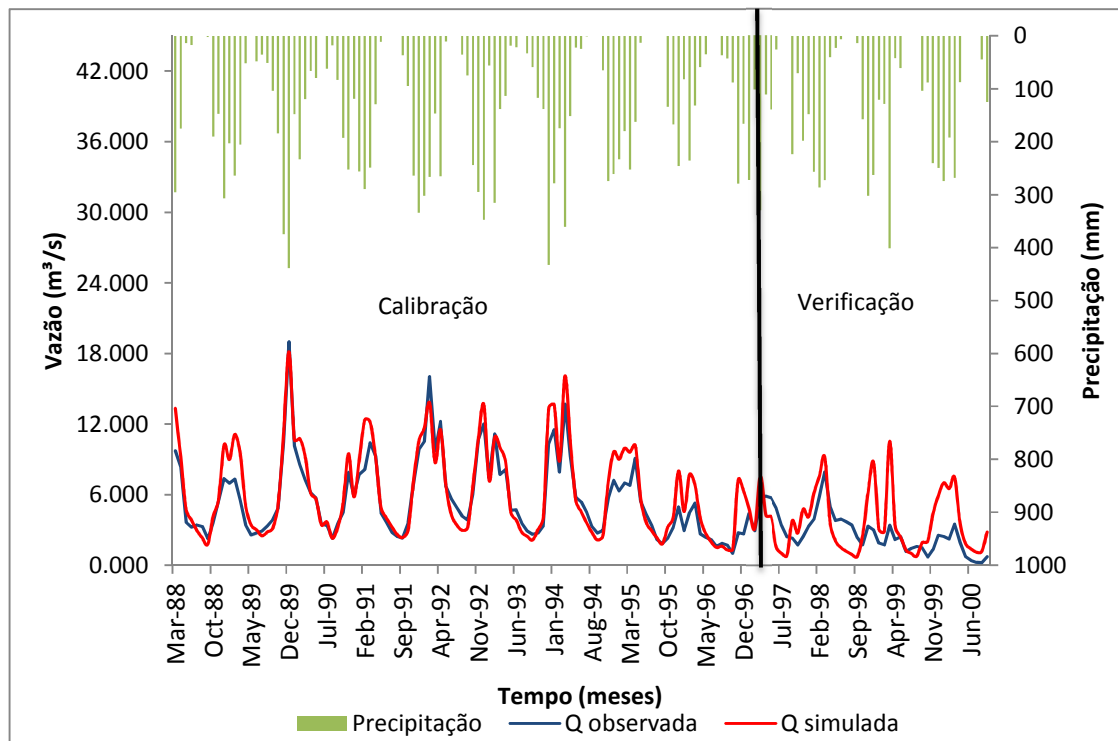


Figura 5.6 - Calibração e verificação das vazões no período 1988-2000

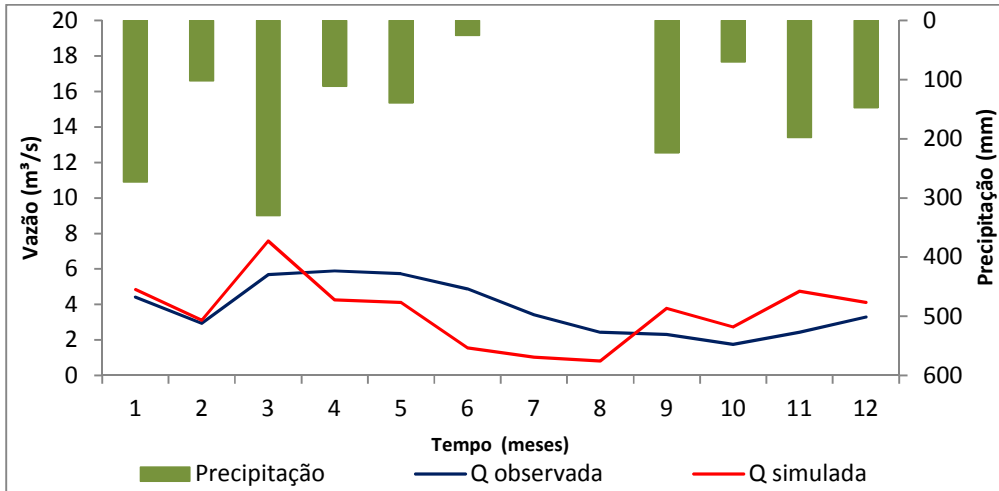


Figura 5.7 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1997.

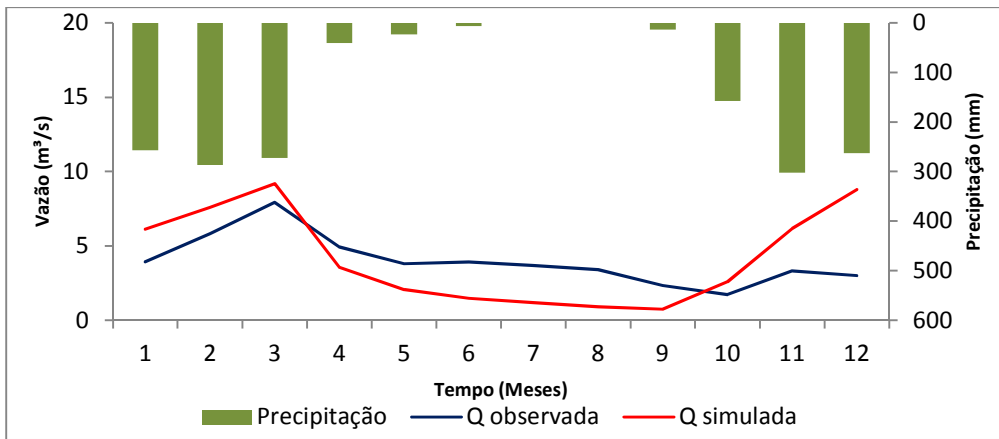


Figura 5.8 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1998

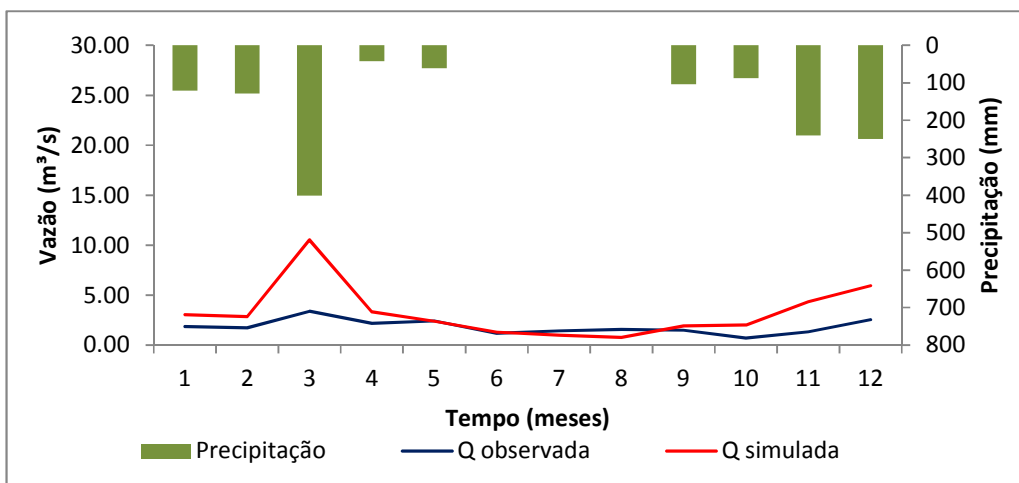


Figura 5.9 - Comportamento da chuva e da vazão no ano 1999.

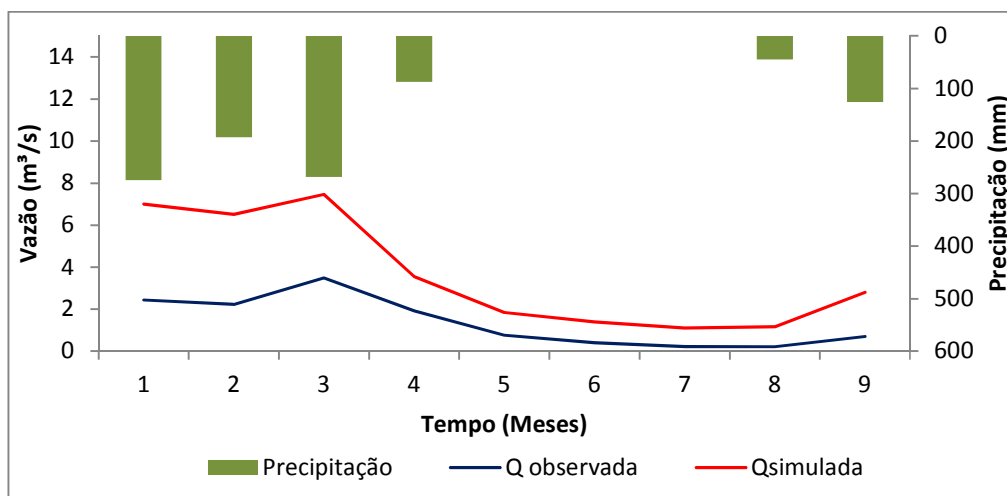


Figura 5.10 - Comportamento da chuva e da vazão desde janeiro até setembro de 2000

Tabela 5.3 - Comparação de valores de chuva e vazão para o período de verificação.

Ano		Precipitação	Q observada	Q simulada
1997	Média	135,3	3,8	3,6
	Max	330,2	5,9	7,6
	Min	0,0	1,7	0,8
1998	Média	135,2	4,0	4,2
	Max	302,6	7,9	9,2
	Min	0,0	1,7	0,7
1999	Média	119,7	1,8	3,3
	Max	401,6	3,4	10,5
	Min	0,0	0,7	0,8
2000	Média	136,9	1,4	3,6
	Max	274,3	3,5	7,5
	Min	0,0	0,2	1,1

Devido às dúvidas mencionadas anteriormente, fez-se a calibração para um período menor de 1988 até 1993. Os parâmetros modificados para essa calibração são mostrados na Tabela 5.4.

Com o novo período de calibração, os dados melhoraram satisfatoriamente apresentando bons resultados estatísticos, melhoria na aderência dos hidrogramas e boa correlação na calibração e na verificação como se apresentam nas Figuras 5.11- 5.14 e na Tabela 5.5

Tabela 5.4 - Parâmetros modificados para a calibração das vazões no período de 1988-1993.

Parâmetros modificados	Valor	Método
Surlag	0,05	Substituição
Ch_N	0,04	Substituição
Alpha_Bf	0,01	Substituição
Cn_2	0,9	Multiplicação
Esco	0,5	Substituição

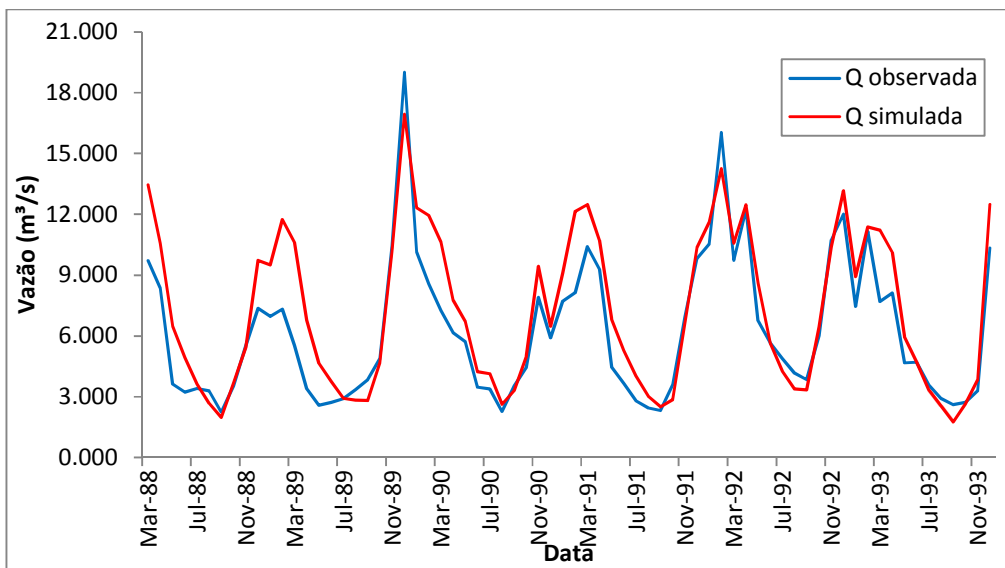


Figura 5.11 - Calibração das vazões no período de 1988-1993.

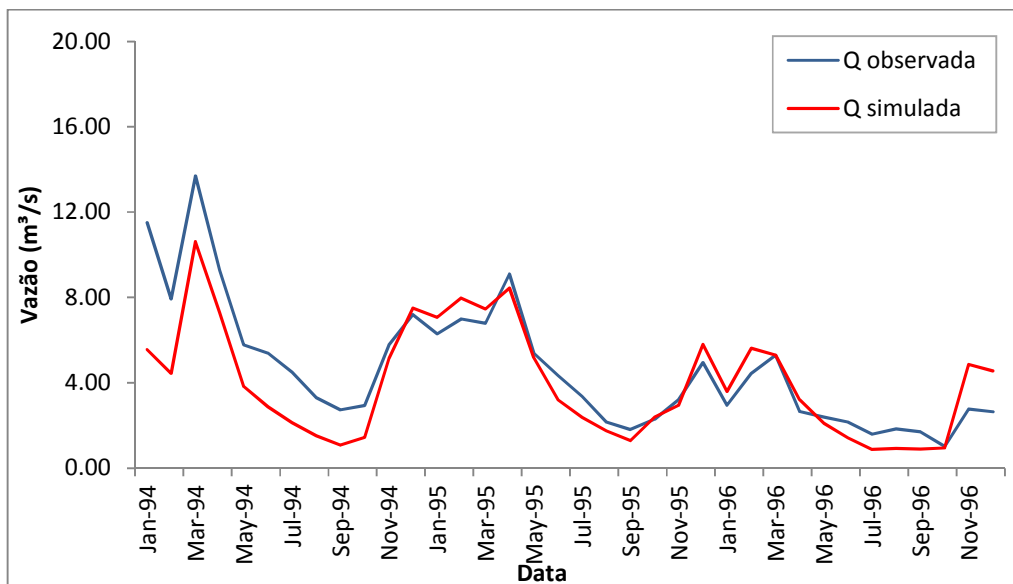


Figura 5.12 - Verificação do modelo no período 1994-1996.

Quanto ao coeficiente de determinação dos dados pode-se observar na Figura 5.13 que se obteve um coeficiente de determinação de 0,86 que é um valor aceitável para a simulação. Na Figura 5.14 é apresentada uma maior dispersão na verificação do modelo com um R^2 de 0,69, que também pode-se considerar aceitável. Srinivasan *et al.* (1998) estudaram duas estações fluviométricas na bacia hidrográfica do rio *Richland-Chambers* (EUA), e obtiveram R^2 de 0,87 e 0,65 na calibração e validação, respetivamente para uma das estações. Salles (2012) fez estudos de vazões na bacia do Pipiripau obtendo um R^2 de 0,68 para a calibração e 0,88 para a verificação.

Em geral, os resultados estatísticos obtidos no período de calibração e de verificação foram bons, como se mostra na Tabela 5.5.

Na calibração a eficiência do modelo foi boa, representada pelo coeficiente de NSE, considerando valores “bons” a partir de 0,65 segundo a classificação de Moriasi *et al.* (2007). Na verificação o NSE diminuiu, mostrando uma redução na capacidade do modelo para simular o fluxo, embora o valor obtido seja considerado satisfatório.

O resultado do PBIAS mostra que foram superestimadas 15,63% das vazões simuladas na calibração, e na verificação foram subestimadas 14,48% por parte do modelo nesse período.

O RSR foi melhor na calibração que na verificação mostrando um menor erro padrão e uma melhor simulação no período de 1988-1993 correspondente à calibração. .

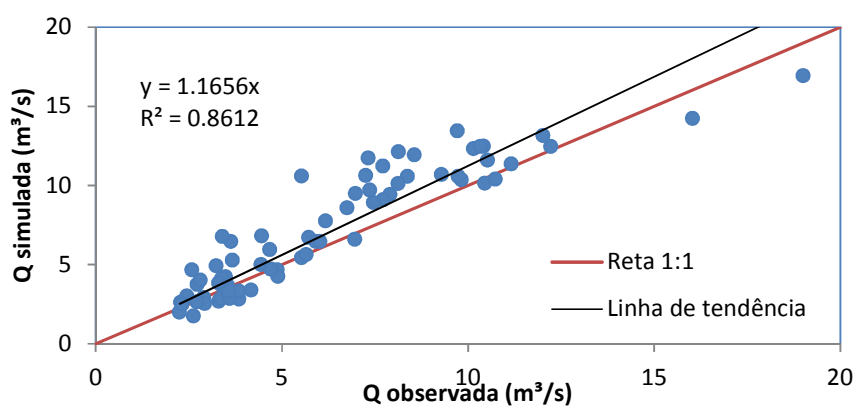


Figura 5.13 - Coeficiente de determinação na calibração das vazões no período de 1988-1993.

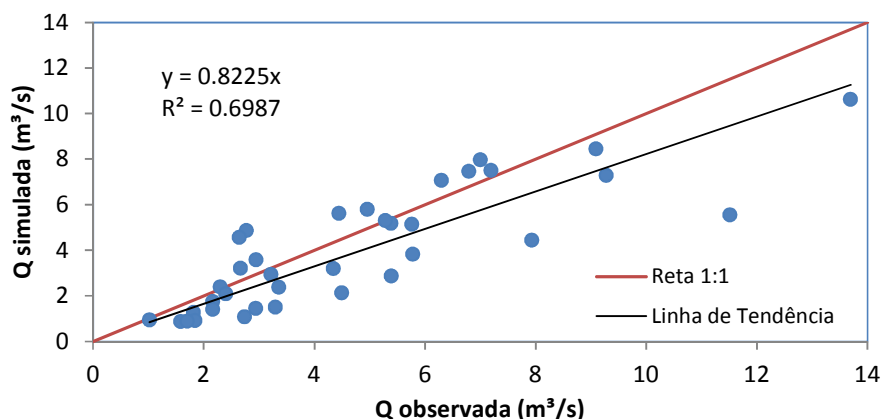


Figura 5.14 - Coeficiente de determinação na verificação no período de 1994-1996

Tabela 5.5 - Resultados estatísticos da calibração e da verificação das vazões.

Etapa Simulação	Estatística	Valor	Classificação (Moriasi <i>et al</i>, 2007)
Calibração 1988-1993	NSE	0,73	Bom
	PBIAS %	-15,63	Satisfatório
	RSR	0,51	Bom
Verificação 1994-1996	NSE	0,615	Satisfatório
	PBIAS %	14,48	Bom
	RSR	0,62	Satisfatório

5.1.3 - Calibração de Fósforo e Nitrogênio Total

Uma vez obtidas às calibrações das vazões foi feita a calibração do Fósforo e Nitrogênio Total. Antes da calibração para o Fósforo e o Nitrogênio foi feita análise de sensibilidade que mostrou os parâmetros mais influentes no modelo:

- Nperco: Coeficiente de percolação de Nitrogênio.
- Biomix: Eficiência do revolvimento biológico.
- Phoskd: Coeficiente de partição de Fósforo no solo.
- Pperco: Coeficiente de percolação do Fósforo.

A calibração e a verificação do NT e PT foram feitas no período de 2004 - 2010, e simulado em termos de carga contaminante. Os parâmetros modificados são mostrados na Tabela 5.6.

Tabela5.6 - Parâmetros modificados para calibração dos nutrientes.

Parâmetros modificados	Valor	Método
N_perco	0,01	Substituição
Phoskd	200	Substituição
N_updis	50	Substituição
SDNCO	0,6	Substituição
Biomix	0,7	Substituição

Os dados observados de Fósforo Total e Nitrogênio Total disponíveis para fazer comparações foram fornecidos pela CAESB em unidade de concentração (mg/L), que depois foi transformada em carga contaminante usando dados de vazões que o SWAT simulou, já que não se tinham dados de vazões observadas confiáveis nessas datas. Essa alteração no cálculo da carga contaminante observada pode ter interferido com a calibração e verificação que não forneceram resultados satisfatórios, como se observa nas Figuras 5.15 e 5.17 para calibração de Fósforo e Nitrogênio e nas Figuras 5.16 e 5.18 para a verificação dos mesmos.

Nas Tabelas 5.7 e 5.8 podem se observar os resultados estatísticos dos nutrientes analisados, mostrando uma melhor eficiência na calibração do Nitrogênio Total com o NSE de 0,45, e um PBIAS de 24,70 mostrando a subestimação das cargas simuladas.

No caso do Fósforo Total, o NSE foi insatisfatório mostrando a pouca eficiência na simulação desse nutriente. Os valores de PBIAS tanto para a calibração como para a verificação mostraram a superestimação dos valores das cargas simuladas, com valores altamente negativos.

O coeficiente de determinação também apresentou melhores valores na simulação do Nitrogênio Total que do Fósforo Total, como se mostra na Figura 5.19.

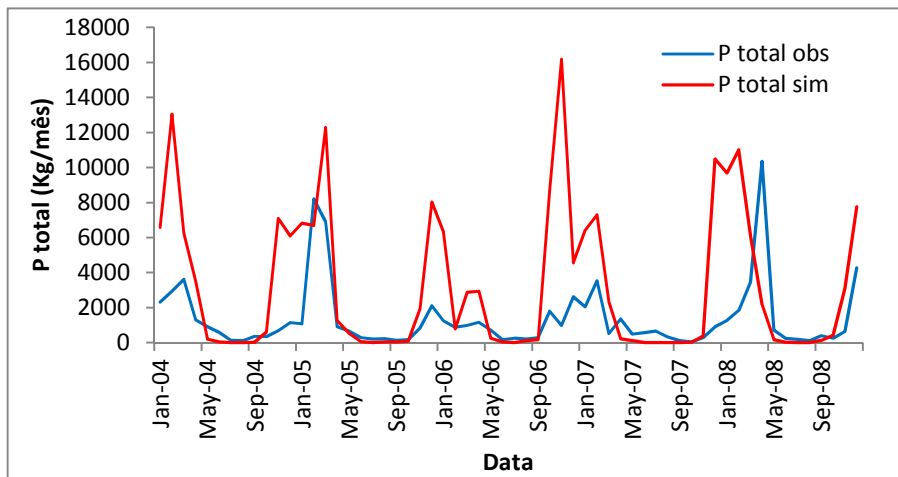


Figura 5.15 - Calibração do Fósforo Total no período 2004-2008

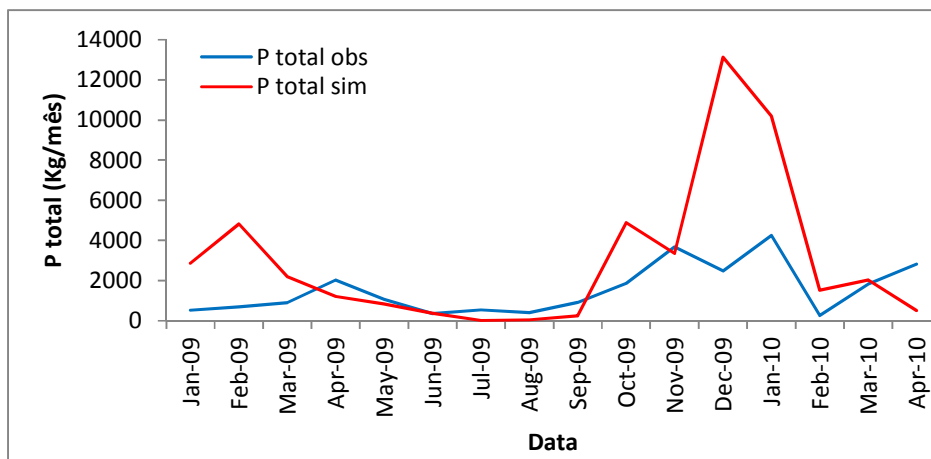


Figura 5.16 - Verificação da simulação do Fósforo no período 2009-2010

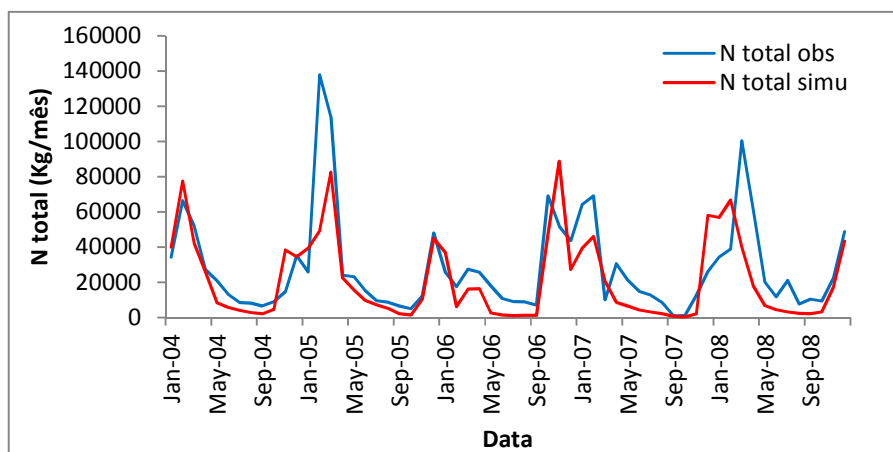


Figura 5.17 - Calibração do Nitrogênio Total no período 2004-2008

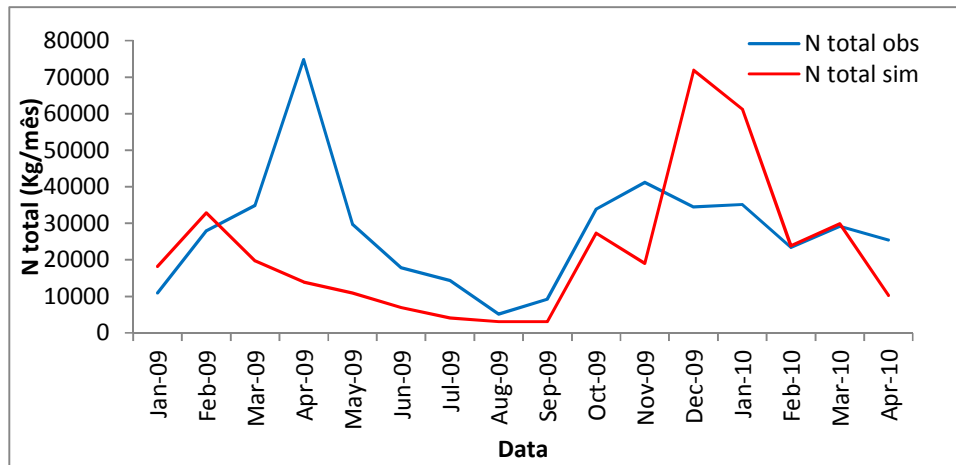


Figura 5.18 - Verificação do Nitrogênio Total no período 2009-2010

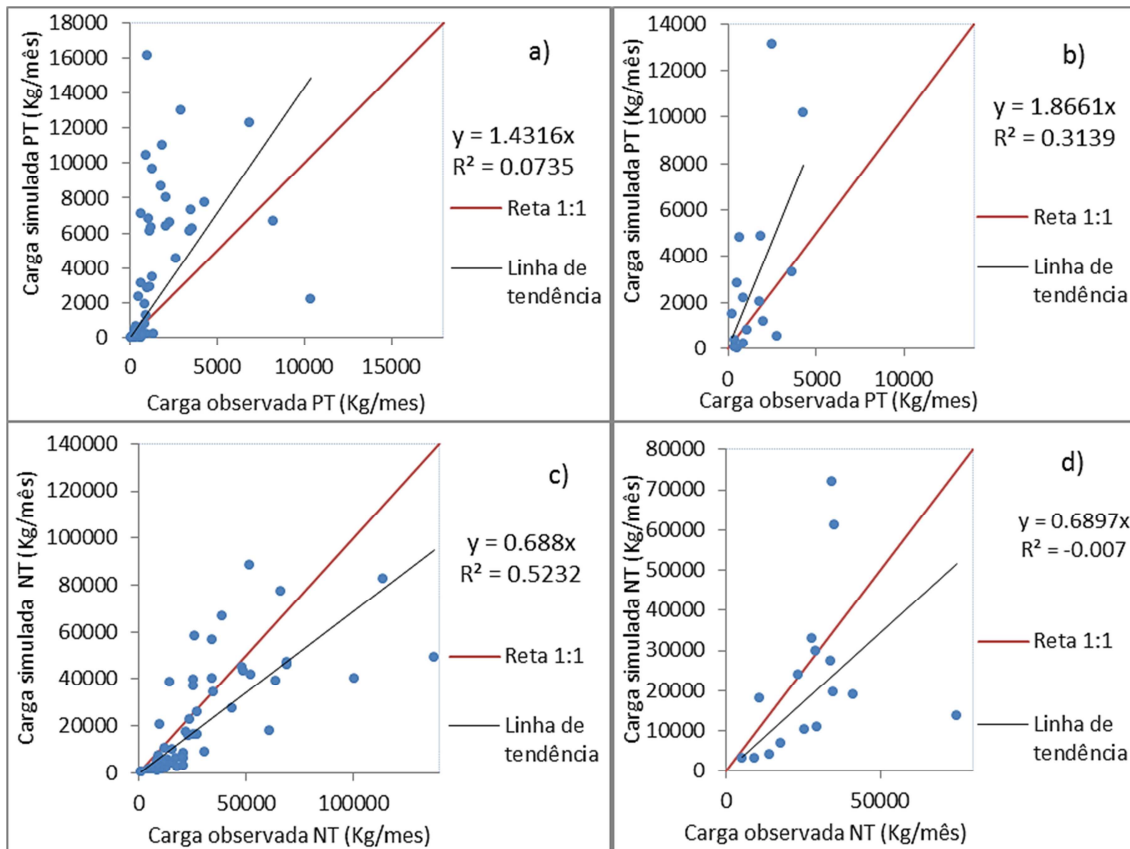


Figura 5.19 - Resultados do coeficiente de determinação para a) serie calibrada do Fósforo Total; b) verificação do Fósforo Total; c) serie calibrada do Nitrogênio Total ; d) verificação do Nitrogênio Total.

Tabela5.7 - Dados estatísticos do Nitrogênio Total da calibração e verificação.

Etapa Simulação	Estatística	Valor	Classificação (Moriasi <i>et al.</i> , 2007)
Calibração 2004-2008	NSE	0,45	Insatisfatório
	PBIAS %	24,70	Muito bom
	RSR	0,73	Insatisfatório
Verificação 2009-2010	NSE	-0,85	Insatisfatório
	PBIAS %	20,47	Muito Bom
	RSR	1,36	Insatisfatório

Tabela5.8 - Dados estatísticos do Fósforo Total da calibração e verificação.

Etapa Simulação	Estatística	Valor	Classificação (Moriasi <i>et al.</i> , 2007)
Calibração 2004-2008	NSE	-3,43	Insatisfatório
	PBIAS %	-133,8	Insatisfatório
	RSR	2,10	Insatisfatório
Verificação 2009-2010	NSE	-7,31	Insatisfatório
	PBIAS %	-95,88	Insatisfatório
	RSR	2,88	Insatisfatório

Segundo Neitch *et al.* (2011), a calibração no SWAT deve ser feita iniciando com a vazão seguida dos sedimentos e nutrientes devido ao comportamento hidrológico do modelo e aos processos de transporte de nutrientes que desenvolve.

Os autores mencionam que o modelo simula o ciclo do Nitrogênio e seu transporte desde os solos até os corpos hídricos. No caso do nitrato, pode ser transportado pelo escoamento superficial, filtração ou fluxo lateral. O Nitrogênio orgânico se adere às partículas do solo, podendo ser transportado por escoamento superficial para o canal principal. O Nitrogênio orgânico é associado com a carga de sedimento de cada HRU e as mudanças nas cargas de sedimento serão refletidas nas cargas dessas duas formas de Nitrogênio pelo SWAT.

O Fósforo orgânico e mineral também se aderem nas partículas do solo, podendo ser transportadas pelo escoamento superficial para o canal principal. É por isso que essa forma do Fósforo é associada com a carga de sedimento do HRU e da mesma maneira como acontece com o Nitrogênio orgânico, as mudanças nas cargas de sedimento serão refletidas nas cargas dessas formas de Fósforo.

Considerando o anterior para o transporte de nutrientes no SWAT, fica claro que é necessária a calibração dos sedimentos para obterem-se bons resultados na simulação de nutrientes como o Fósforo e o Nitrogênio. Nesse trabalho não foi possível fazer isso devido à falta de informação de cargas de sedimentos observadas na área de estudo.

Possivelmente por essa razão, os resultados obtidos na qualidade não foram satisfatórios. Apesar dos resultados insatisfatórios, os valores da melhor calibração do Fósforo e Nitrogênio Total foram utilizados na simulação com o WEAP para atingir o objetivo da integração dos modelos e analisar o seu comportamento.

5.1.4 - Cenários no SWAT

Os cenários desenvolvidos no SWAT foram feitos para complementar os cenários simulados posteriormente no WEAP. Os cenários se desenvolveram com base na mudança de usos de solo da área de estudo, no período de 1988-2012, porém devido ao longo período simulado, para facilitar a interpretação dos resultados, a continuação serão mostrados os cenários para os anos 1988, 2003 e 2011 nos cenários. Os cenários escolhidos foram:

- Cenário 1: Mudança de usos de solo agrícola (AGRC) para solo de alta densidade urbana (URHD)
- Cenário 2: Mudança de usos de baixa densidade urbana (URBD) para solo de alta densidade urbana (URHD)

Nas Figuras 5.20 a 5.22, pode-se observar que o efeito nas vazões foi maior no Cenário 1 devido ao uso de solo predominante na bacia ser urbano, e nesse cenário foi aumentada a área impermeável, facilitando o escoamento superficial e aumentando as vazões. Nas Figuras mencionadas, no período chuvoso da sub-bacia Riacho Fundo, correspondente aos meses de novembro a março, pode-se observar o aumento significativo nas vazões de pico, características em áreas impermeabilizadas.

Para o cenário 2 as vazões não atingiram os valores do Cenário 1, pois a área impermeabilizada no cenário 2 foi menor que a do Cenário 1.

As mudanças do uso do solo do cenário 2 aumentaram a densidade urbana com áreas habitadas ocupadas na sua maioria por prédios, ocupando um espaço somente na vertical, deixando espaços sem impermeabilizar, que possivelmente geraram vazões menores que o cenário 1.

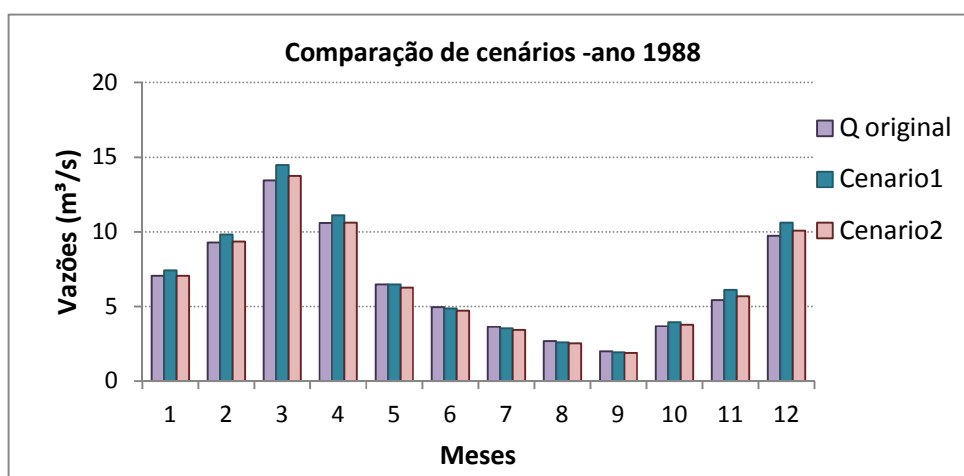


Figura 5.20 - Comparação de cenários para estudo de vazões no ano 1998

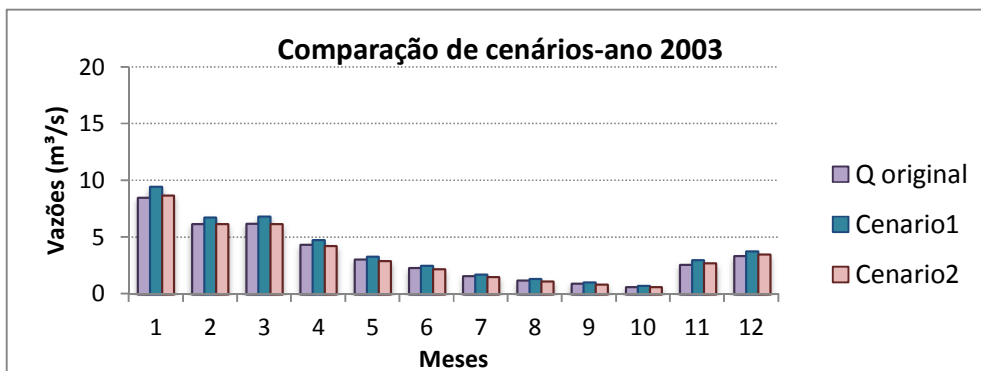


Figura 5.21 - Comparação de cenários para estudo de vazões no ano 2003.

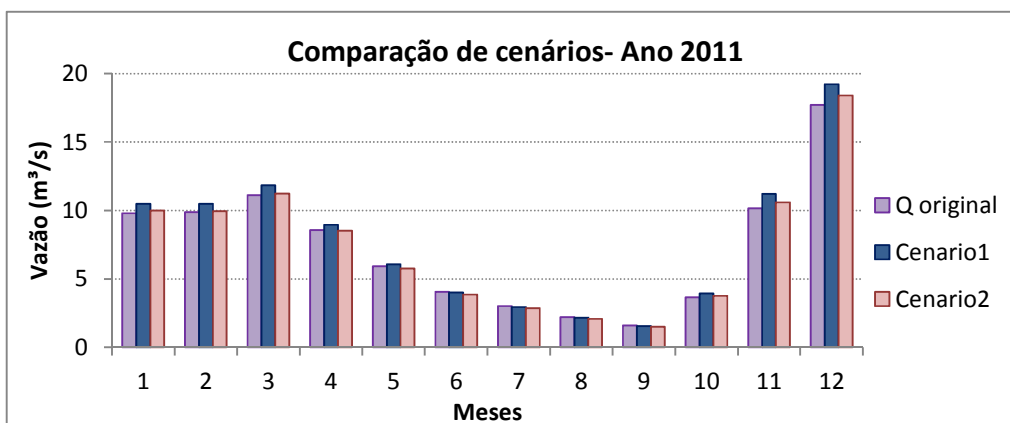


Figura 5.22 - Comparação de cenários para estudos de vazões no ano de 2011.

Nas Figuras 5.23 a 5.28, observam-se a comparação dos cenários para o Fósforo Total e Nitrogênio Total. O Cenário 1 atingiu valores mais altos que o cenário 2, para os nutrientes simulados, refletindo a contribuição da contaminação difusa da área, provocada pela área urbana que foi estendida ao longo da bacia.

Segundo Bowes *et al.* (2008) nas fontes difusas as cargas de Fósforo aumentam com o fluxo, isso é válido para cargas contaminantes em geral e é refletido nos resultados encontrados já que o Cenário 1 teve um aumento nas vazões e também nas cargas contaminantes.

No caso da simulação do Nitrogênio no Cenário 2, também há um aumento nas cargas mas são menores que as cargas simuladas originalmente, dado que uma parte do Nitrogênio é fixado pelas plantas da área agrícola.

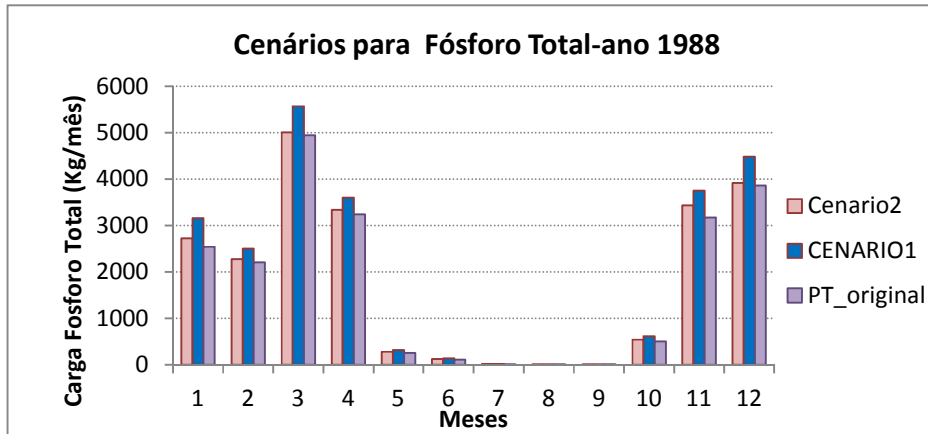


Figura 5.23 - - Comparação de cenários para o PT no ano 1998

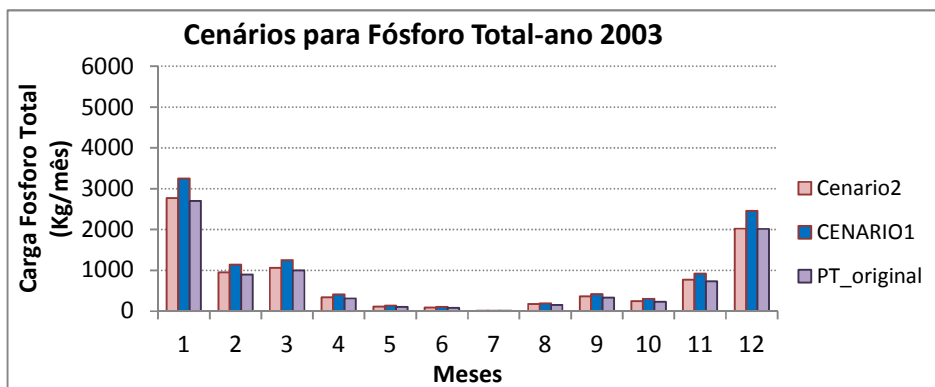


Figura 5.24 - Comparação de cenários para PT no ano 2003.

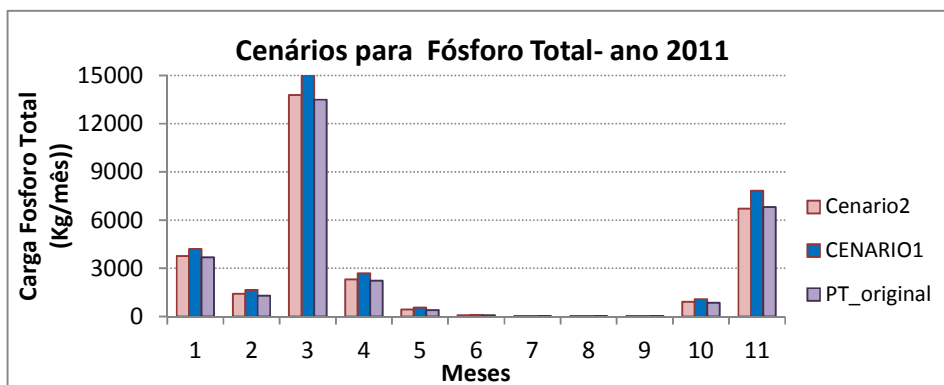


Figura 5.25 - Comparação de cenários para PT no ano 2011.

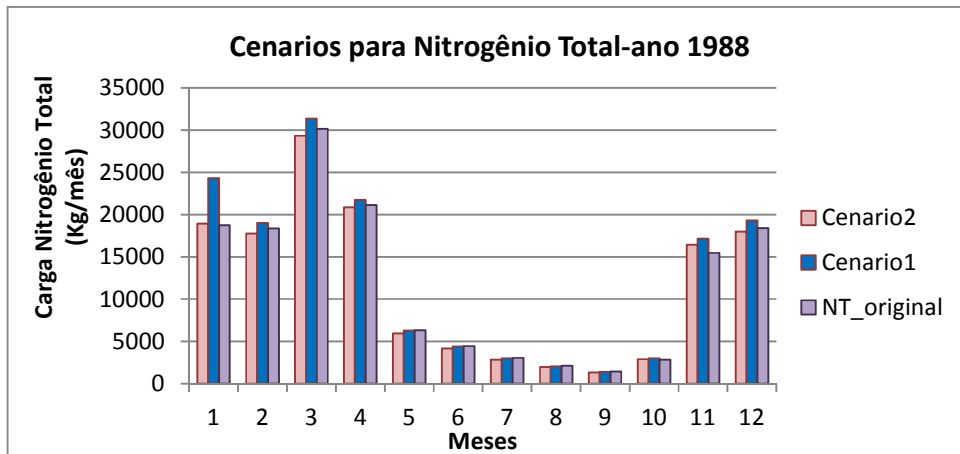


Figura 5.26 - Cenários para o NT no ano 1988.

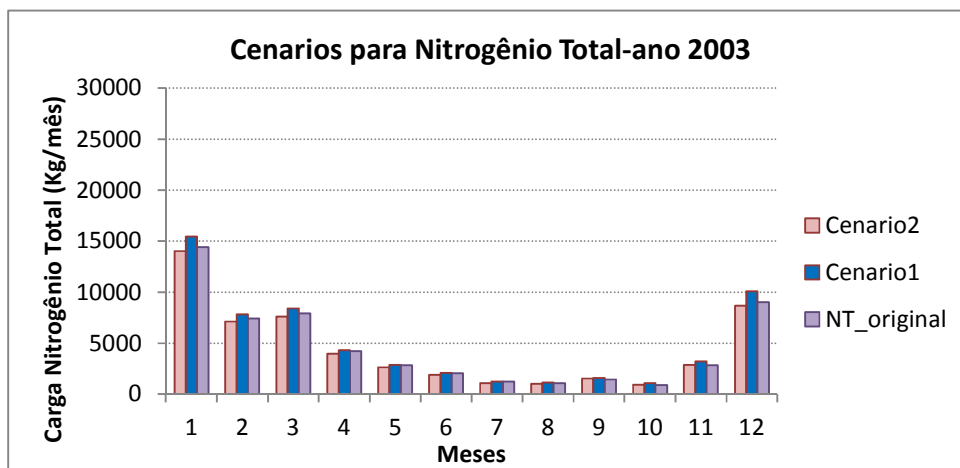


Figura 5.27 - Cenários para o NT no ano 2003

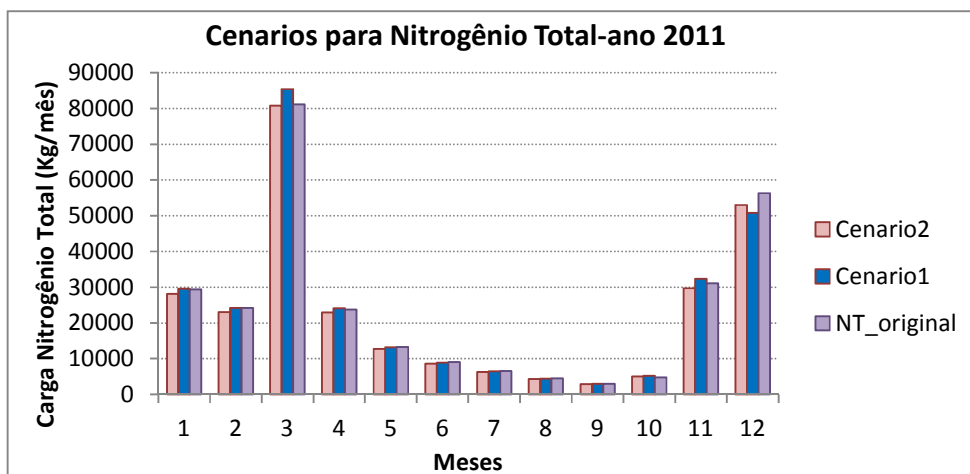


Figura 5.28 - Cenários para NT no ano 2011

5.2 - INTEGRAÇÃO DOS MODELOS SWAT E WEAP

Com o objetivo de integrar os modelos SWAT e WEAP, os resultados simulados e calibrados no SWAT foram utilizados no WEAP para desenvolver cenários de disponibilidade e de qualidade da sub-bacia Riacho Fundo.

Os resultados obtidos na simulação no WEAP são apresentados a seguir.

5.2.1 - Desenho da rede

Na rede hídrica criada foram considerados os nós de demandas representando as localidades abastecidas pelo lago Descoberto, situadas na sub-bacia Riacho Fundo e fora da área de estudo dessa dissertação. Os nós foram representados por pontos vermelhos.

Foi desenhada a hidrologia com base no plano de informação da rede hidrológica do DF e também considerando as sub-bacias geradas pelo SWAT que foram importadas no desenho para fazer a correspondência entre o número ID da sub-bacia do SWAT e o trecho do rio desenhado no WEAP. Conforme apresentado anteriormente na Tabela 4.5, Além disso, foi colocada a ETE Riacho Fundo. O resultado do desenho nessa fase inicial se apresenta na Figura 4.8

5.2.2 - Construção e integração de cenários do SWAT com cenários do WEAP.

Os cenários criados no WEAP basearam-se nos cenários desenvolvidos no SWAT. Desenvolveram-se cenários para estudo de disponibilidade de água da sub-bacia Riacho Fundo, considerando as vazões mensais atuais de entrada no lago Descoberto e as vazões mínimas encontradas no PGIRH.

Também foram feitos cenários de qualidade considerando tirar a ETE, e também considerando uma variação na eficiência de remoção do Nitrogênio.

Os cenários utilizados foram:

Cenário de Referência: criado com dados de vazões e dados de qualidade obtidas na calibração do SWAT.

Cenário1: criado com dados de vazões e de qualidade do Cenário 1 do SWAT, onde foi mudado o tipo de solo agrícola para uso urbano.

Cenário2: desenvolvido com dados de vazões e de qualidade do cenário 2 do SWAT, onde foi mudado o tipo de solo com densidade urbana baixa para uso com densidade urbana alta.

5.2.2.1 - Cenários de disponibilidade de água.

Os resultados obtidos são mostrados na Figura 5.29 para os três cenários simulados, onde se mostra uma maior diminuição no armazenamento do reservatório ao longo dos anos, no Cenário 2, uma vez que nesse cenário aumentou a densidade populacional para mais número de cidades que no Cenário 1. Pode-se observar também que o valor mínimo de armazenamento que atinge o reservatório aconteceria no ano 2025 com quase 50 hm³ de água, que ainda seria um valor pequeno, não igualaria o volume inativo de 11,22 hm³, mas que mostra a vulnerabilidade do lago às mudanças na população.

Os cenários anteriormente simulados ressaltam a importância do cuidado dos mananciais de abastecimento, especialmente no DF, que é um dos locais com maior crescimento da taxa de população no país e que atualmente está sofrendo pela diminuição da quantidade de água disponível, e pelos problemas na qualidade da água que podem vir a limitar o abastecimento.

O lago Descoberto é o principal manancial de DF atendendo cerca de 67 % da população do DF. Com aumentos na taxa de população na sub-bacia do Riacho Fundo que hoje consome aproximadamente 30% da vazão distribuída pelo lago Descoberto, a disponibilidade hídrica poderia ser afetada significativamente ao longo dos próximos anos. Isso deve colocar uma alerta para melhorar o cuidado dessa fonte de abastecimento e para ter uma melhor gestão do recurso hídrico e da distribuição do uso de solo na sub-bacia do Riacho Fundo e no DF em geral. Assim, esses resultados mostram a importância dos novos

projetos de mananciais de abastecimento para o Distrito Federal, como o reservatório Corumbá IV localizado em Goiás e o lago Paranoá no DF.

Quanto à integração dos modelos SWAT e WEAP para gerar cenários de disponibilidade hídrica, algumas considerações devem ser feitas.

Dado que nos cenários do SWAT foram modificados os usos de solo para uso urbano, tentou-se aumentar no WEAP a população perto dessas áreas, mas o SWAT trabalha com dados de densidade urbana, e não trabalha com dados específicos de população. Além disso, a base de dados do SWAT para níveis de adensamento urbano é feita para os Estados Unidos, que é diferente do tipo de adensamento urbano apresentado no Brasil, o que pode interferir nos resultados. Por essa razão o crescimento da população nas áreas urbanas criadas no cenário do SWAT foi feito nas localidades que se encontravam perto dessas áreas com taxas da população baseadas no CODEPLAN (2011b).

Outro obstáculo que se apresentou no estudo de disponibilidades, foi que não era possível calcular a disponibilidade de água potável para a sub-bacia Riacho Fundo, mediante dados de vazões simulados no SWAT porque, para isso, a hidrologia do lago Descoberto deveria ter sido simulada no SWAT, trabalho que levaria muito tempo. Porém, na simulação da hidrologia do lago Descoberto as vazões seriam mais precisas. Por tanto as vazões mensais de entrada do lago Descoberto foram introduzidas no WEAP e mantidas constantes no tempo.

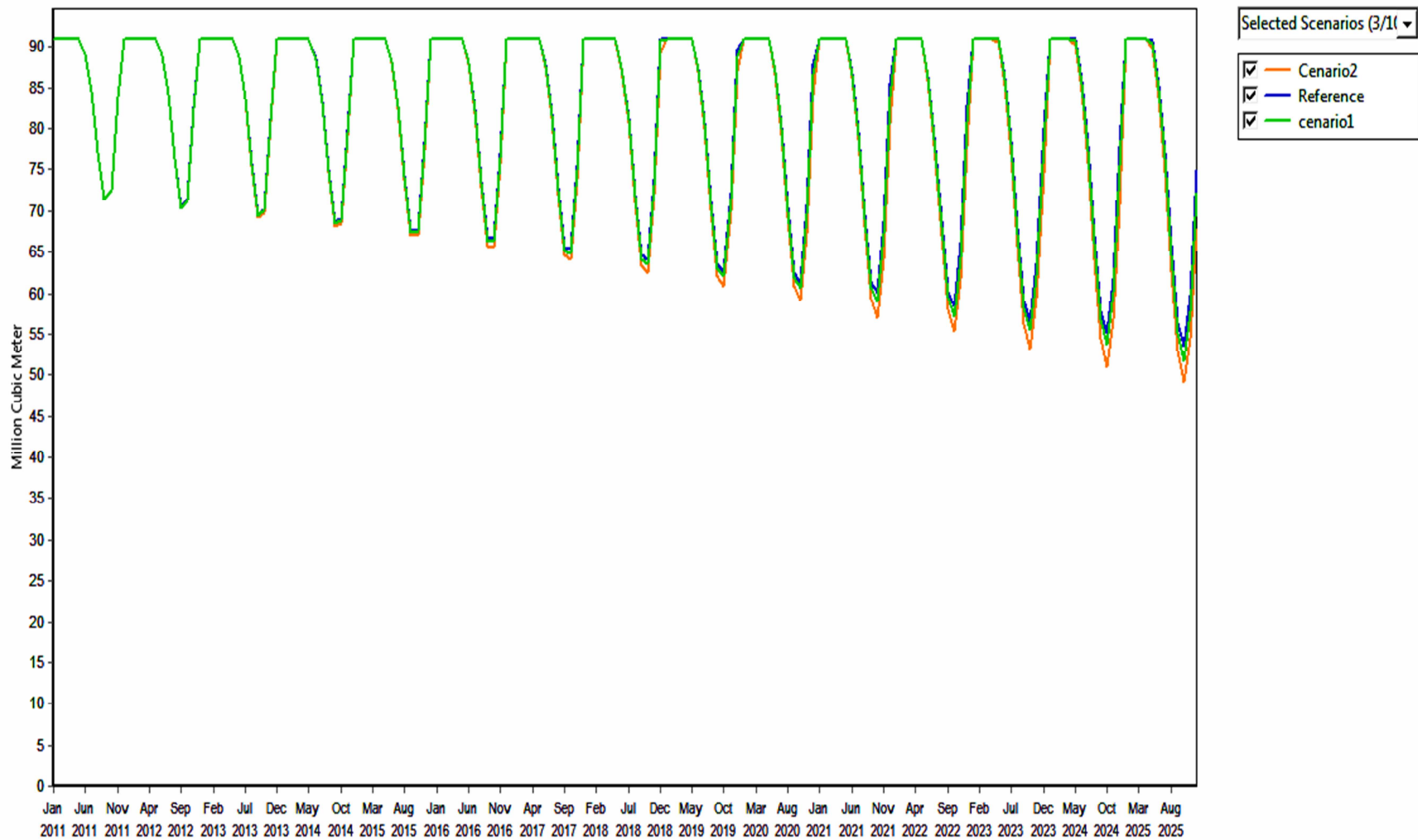


Figura 5.29 - Armazenamento do lago Descoberto para os três cenários estudados no período 2011-2025

5.2.2.2 - Cenários de qualidade da água

Os cenários de qualidade desenvolvidos no WEAP foram feitos com dados de vazões e de qualidade modelados no SWAT.

Nas Figura 5.30 e 5.31 pode se observar o comportamento do Nitrogênio Total ao longo do trecho do ribeirão Riacho Fundo onde pode-se identificar o afluente do córrego Coqueiros, do córrego Vicente Pires e do córrego Guará e o lançamento do esgoto tratado da ETE, chamado “*Return flow node 1*”.

Na Figura 5.30 pode-se observar para o mês de janeiro, época de chuva no Riacho Fundo, uma diminuição da concentração do Nitrogênio Total nos Cenários 1 e 2, devido ao fator de diluição que afeta as concentrações de Nitrogênio.

Na Figura 5.31, no mês de agosto, época sem chuva, o NT no começo aumenta para o Cenário 2, comparado ao Cenário de Referência, mas chegando no final do trecho as concentrações diminuem, nos Cenário 1 e 2. Essa diminuição pode acontecer porque a jusante da ETE encontraram-se outros afluentes aportando vazão e provocando uma diluição nas concentrações do NT.

Nas Figuras 5.32 e 5.33, apresenta-se o comportamento do Fósforo Total no Riacho Fundo. Nesse caso para o mês de janeiro o nutriente aumenta nos Cenários 1 e 2 desde o começo do trecho, diminuindo ao longo dele, mas se mantém acima dos valores do Cenário de Referência. No mês de agosto, época sem chuva, o Cenário 2 diminuiu e o Cenário 1 aumentou. Isso pode ter acontecido devido à quantidade de sedimento originado e transportado na bacia pelo uso urbano predominante.

Anteriormente nas análises dos cenários no SWAT comentou-se que tanto o Nitrogênio como o Fósforo podem ser transportados pelos sedimentos, porém o Nitrogênio pode se encontrar em diversas formas, e em seu processo de transformação nos diferentes estados encontra-se envolvidas as plantas e os processos oxidativos. No caso do Fósforo, a

tendência de se unir com partículas granuladas é maior que o Nitrogênio. Além disso, sua natureza e seu ciclo são diferentes do Nitrogênio.

Do exposto anteriormente, pode se explicar o aumento do Fósforo no mês de janeiro, pelo aumento no escoamento e arraste de sedimentos. No caso do mês de agosto, o Fósforo Total aumenta no Cenário 1 no final do trecho porque além de ter os sedimentos da nova área urbana estabelecida, também tem os sedimentos gerados perto do exutório das áreas urbanas adjacentes como Guará e Candangolândia.

As concentrações máximas de NT e PT no Riacho Fundo são mostradas na Tabela 5.9, onde podem ser observadas as concentrações no final do trecho, ou seja, no exutório da bacia que diminuem comparando-se com as concentrações no nó da ETE. Isso também pode se observar nas Figuras 5.30 a.5.333

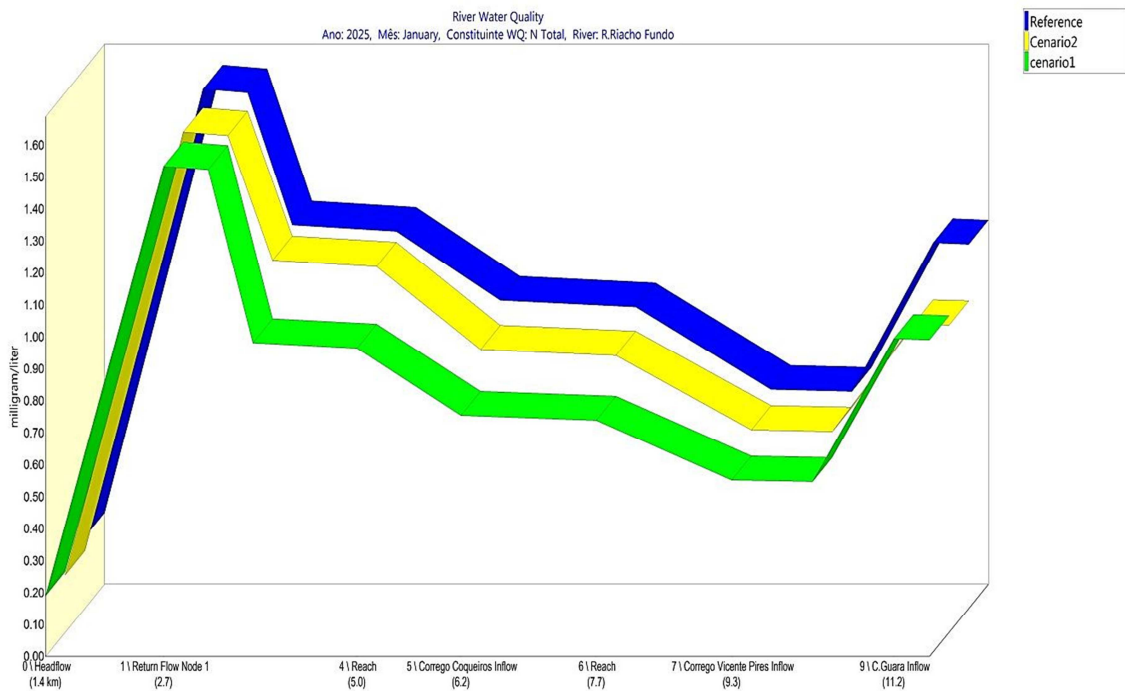


Figura 5.30 - Comportamento do NT nos três cenários no mês de janeiro de 2025 para o rio Riacho Fundo

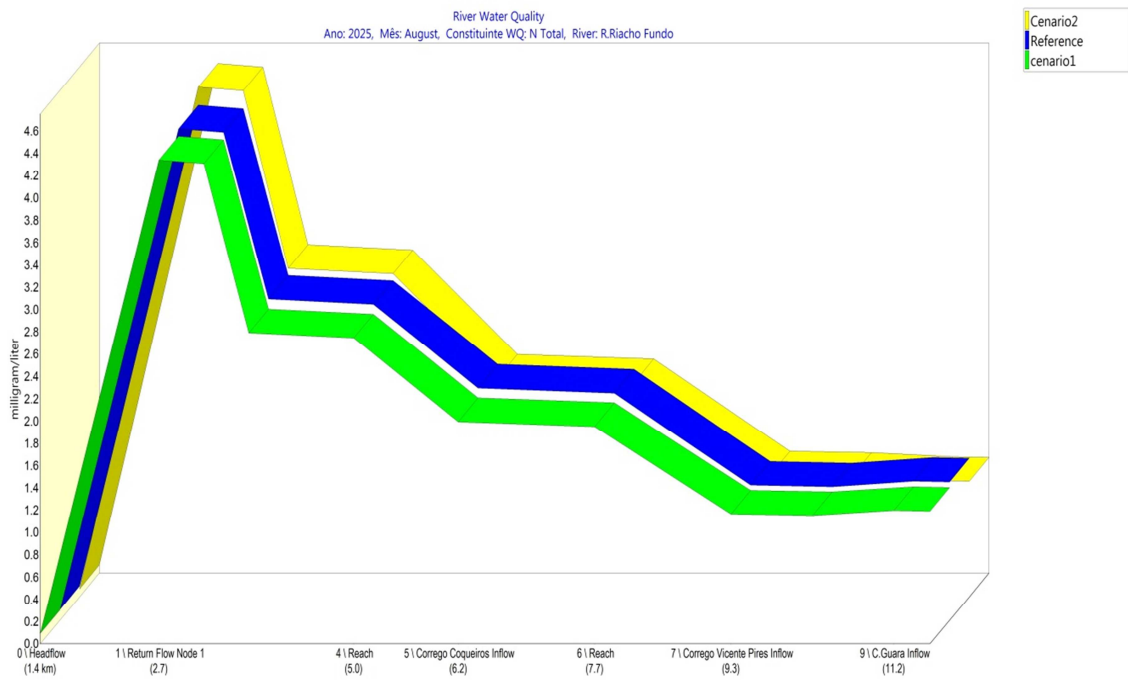


Figura 5.31 - Comportamento do NT nos três cenários no mês de agosto de 2025 para o rio Riacho Fundo

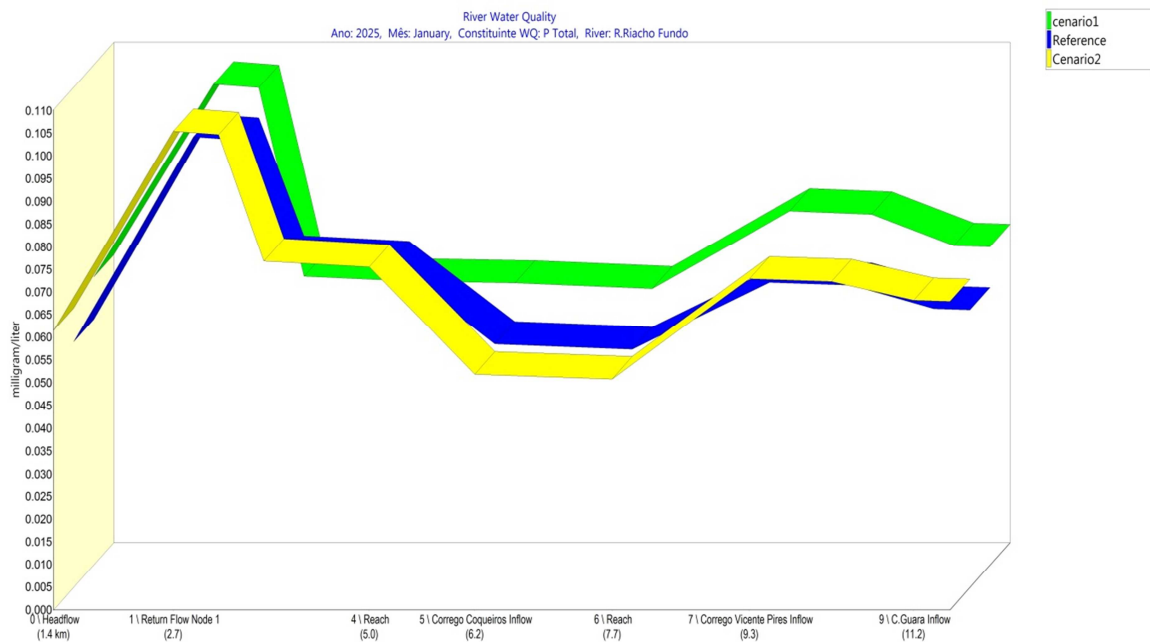


Figura 5.32 - Comportamento do PT nos três cenários no mês de janeiro de 2025 para o rio Riacho Fundo

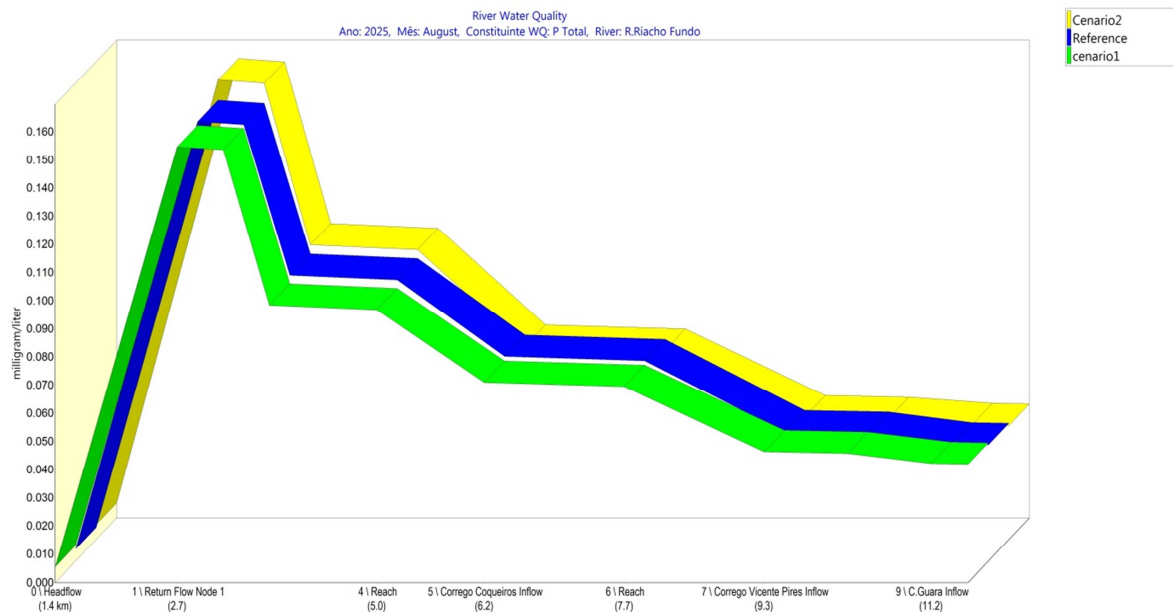


Figura 5.33 - Comportamento do PT nos três cenários no mês de agosto de 2025 para o rio Riacho Fundo

Nas Figuras 5.34 e 5.35 são mostradas as concentrações médias ao longo dos anos do Nitrogênio Total e Fósforo Total para toda a rede hídrica no Cenário 2, que apresentou os maiores valores de carga contaminante. Nas duas figuras as concentrações dos nutrientes para todas as fontes hídricas são diferenciadas segundo a espessura do rio e o valor que é apresentado sobre cada trecho dos rios. Na figura 5.34a, pode-se observar o comportamento do NT para o mês de janeiro, mês chuvoso, onde os valores são menores que os apresentados na Figura 5.34b que mostra a concentração do NT para o mês de agosto, mês de seca. Essa diminuição de concentrações pode ser explicada pelo fator de diluição que diminui as concentrações desse nutriente nos meses de chuva. No caso do córrego Guará, por não ter tributários representativos que aportem vazão para diminuir os teores de NT, apresenta-se o maior valor na época de chuva com referência aos outros corpos hídricos. No mês de agosto o valor aumenta para todos os corpos hídricos, no caso do córrego Guará o valor também aumenta, mas não excede a concentração de NT encontrada no nó do lançamento da ETE. O córrego Guará tem um grande aporte de NT para rio Riacho Fundo.

Na Figura 5.35a é mostrado o comportamento do PT para o mês de janeiro, onde são apresentadas as maiores quantidades do nutriente, especialmente nos tributários do córrego Vicente Pires que atravessam a maior parte da área urbana da sub-bacia, mostrando o

aporte de sedimentos por parte dessa área e seu transporte por causa do escoamento superficial. Na Figura 5.35b é mostrado o comportamento do PT no mês de agosto, onde o transporte do nutriente para as fontes hídricas diminui pela redução na precipitação, mostrando os maiores aportes de PT no nó do lançamento da ETE Riacho Fundo.

Tabela5.9 - Máximo teor de NT e PT encontrado no período 2012-2025

Nutriente	Valor máximo Nó da ETE (mg/L)	Valor no Exutório	Cenário
NT	6,68	1.68	2
PT	0,23	0.12	2

O maior valor encontrado de Nitrogênio Total e Fósforo Total vertido no Lago Paranoá aconteceu no Cenário 2 com concentrações de NT e PT, respectivamente de 1,68 mg/L e 0,12 mg/L.

Esses valores são classificados por Lamparelli (2003) como rios com uma classe trófica mesoeutrófica, ou seja, com níveis intermediários de produtividade.

Os valores obtidos para os três cenários no WEAP podem ser comparados com os valores máximos da Resolução CONAMA 357/05. Nesse caso o valor máximo permitido para ambientes lóticos é de 0,1 mg/L, mas para esse estudo o maior valor encontrado de Fósforo Total no final do trecho, entre os três cenários foi de 0,12 mg/L, que está no limite da normativa.

Segundo as classificações anteriores, o ribeirão Riacho Fundo não se encontra em condições críticas nem terá condições críticas para os cenários propostos. Porém, o valor do Fósforo encontra-se no limite da normativa, pondo uma alerta na qualidade da água da fonte hídrica, já que com as condições de falta de planejamento do uso de solo e dos recursos hídricos da bacia, a qualidade do rio pode piorar como também a qualidade do Lago Paranoá que recebe suas águas. É por isso que se deve ressaltar a importância do planejamento do uso de solo e controle de fontes pontuais como a ETE para evitar problemas de poluição e disponibilidade.

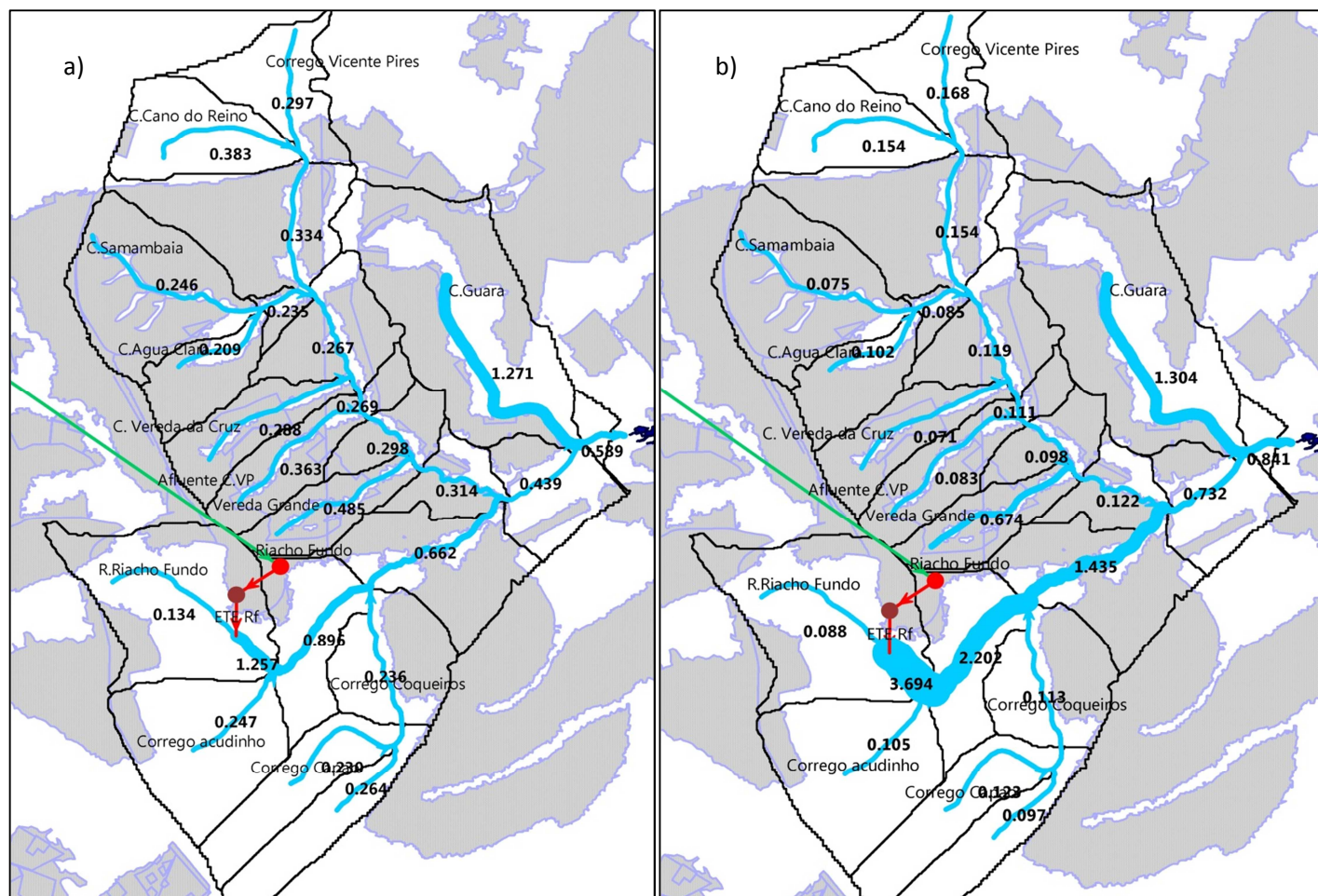


Figura 5.34 - Comportamento do NT no sistema hídrico da sub-bacia Riacho Fundo. a) concentrações médias de NT em mg/L para o mês de Janeiro no cenário 2. b) concentrações médias de NT em mg/L para o mês de Agosto

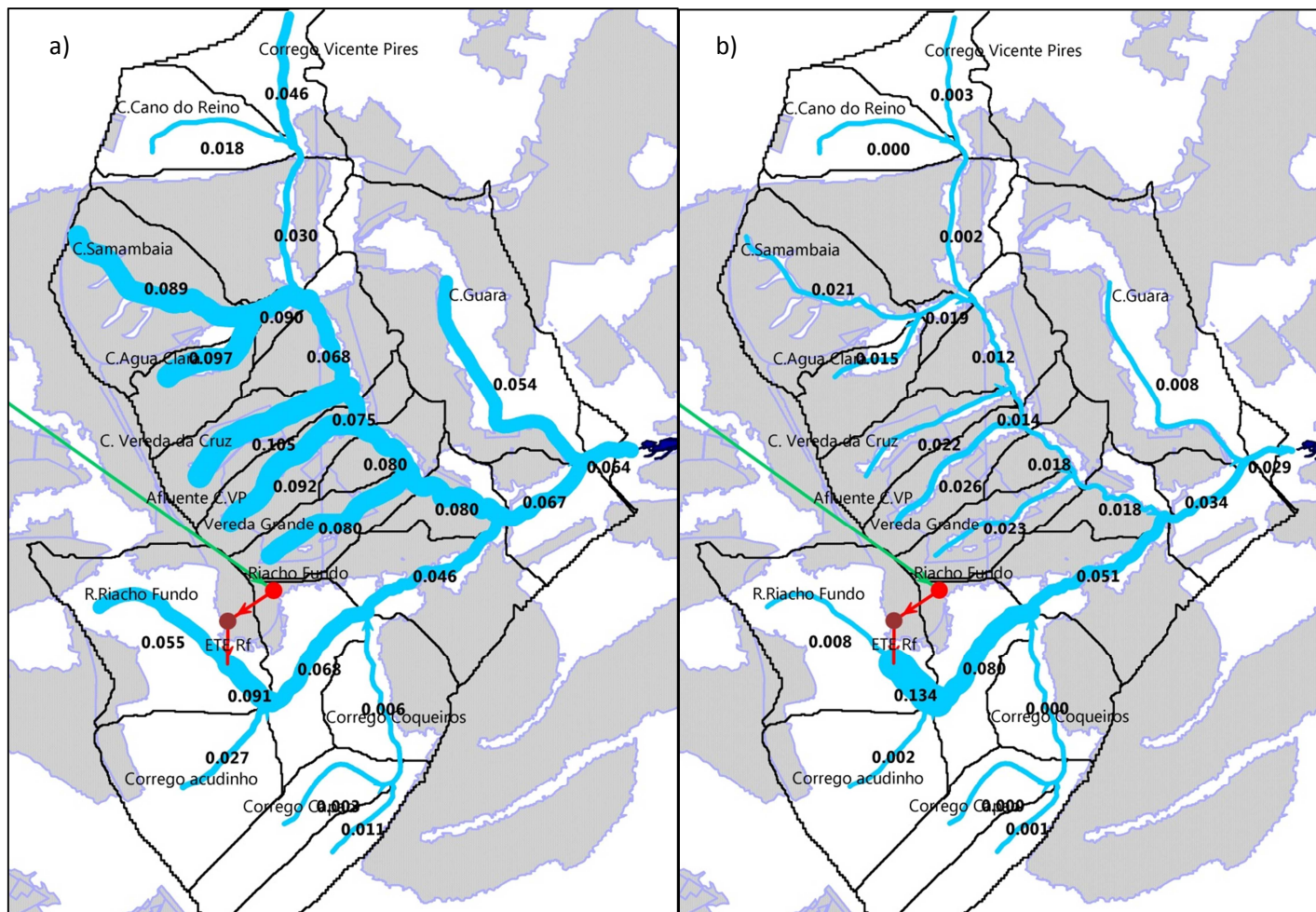


Figura 5.35 - Comportamento do PT no sistema hídrico da sub-bacia Riacho fundo. a) concentrações médias de PT em mg/L para o mês de Janeiro no cenário 2. b) concentrações médias de PT em mg/L para o mês de Agosto.

Outro cenário desenvolvido no WEAP foi o cenário aumentando-se 20% da remoção do Nitrogênio Total na ETE Riacho Fundo. Na Figura pode-se observar esse cenário no qual as concentrações de NT diminuem significativamente no nó do lançamento da ETE. Porém no final do trecho do rio Riacho Fundo tem-se um aumento dos teores de NT, especialmente no mês de janeiro devido ao aporte do nutriente pelo córrego Guará como é apresentado na Figura 5.36.

Na Figura 5.37 pode-se observar esse cenário para o mês de agosto, onde os valores de NT são maiores que no mês de janeiro, mas continua apresentando-se uma diminuição dos teores de NT com relação ao Cenário de Referência que não teve nenhuma modificação na eficiência da ETE.

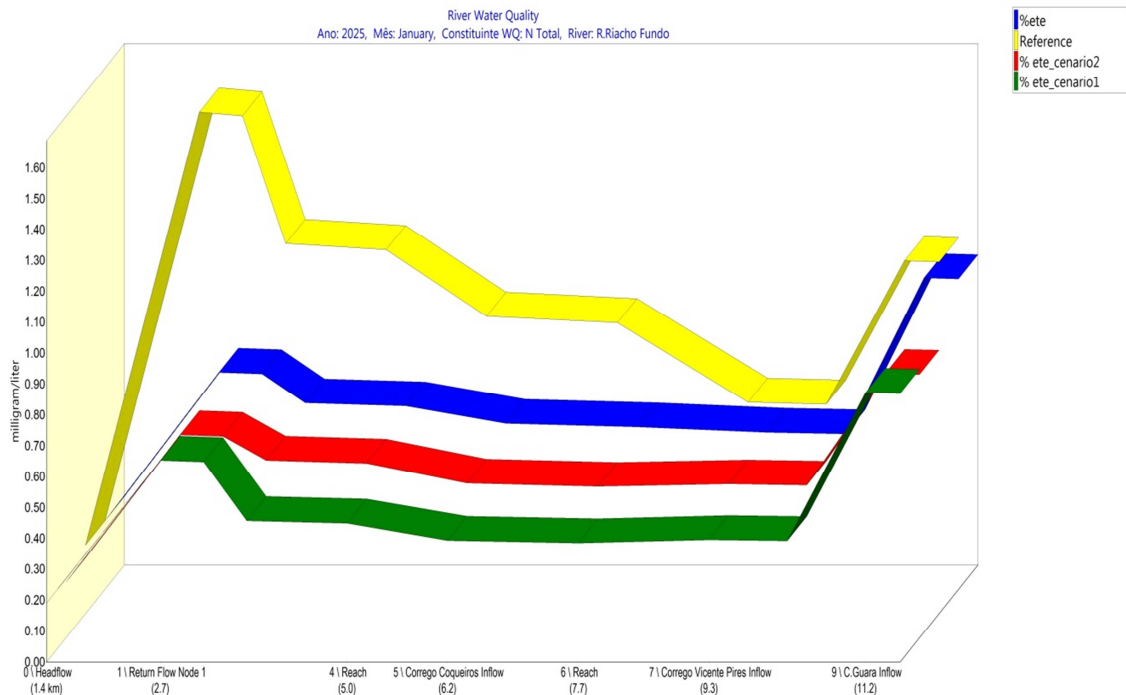


Figura 5.36 - Comportamento do NT no rio Riacho Fundo em janeiro de 2025, melhorando a remoção de NT da ETE

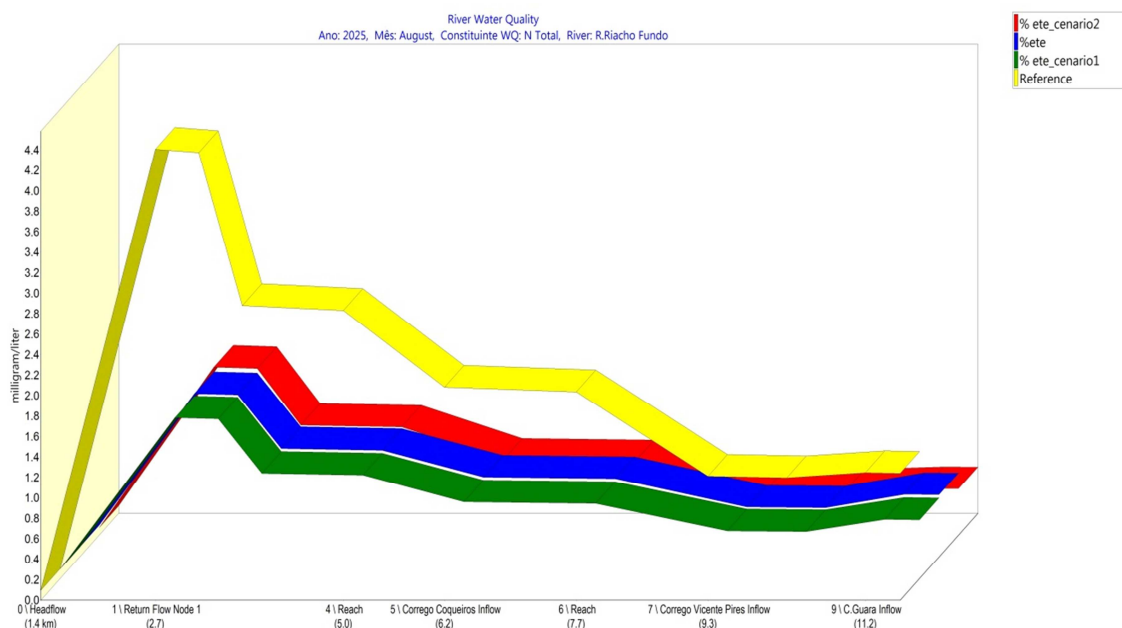


Figura 5.37 - Comportamento do NT no rio Riacho Fundo em agosto de 2025, melhorando a remoção de NT da ETE

No WEAP também foi desenvolvido um Cenário Sem a ETE, para avaliar o desempenho da qualidade do rio Riacho Fundo sem essa fonte pontual de poluição.

Os resultados desse cenário são mostrados nas Figuras 5.38 e 5.39 onde se tem o Cenário de Referência com a ETE e com sua eficiência de remoção original (cor amarela), o cenário melhorando a eficiência da ETE (cor laranja) e os cenários que não tem presença da ETE. Pode se observar na Figura 5.38 que a qualidade melhora com relação ao cenário de Referência e ao cenário com melhor eficiência da ETE, especialmente no nó do lançamento da ETE Riacho Fundo. Porém, o aporte do nutriente por parte do Córrego Guará, aumenta significativamente os teores de NT no exutório, atingindo valores próximos aos contidos no cenário de Referência. Esses resultados podem se tornar o início do planejamento do ribeirão do Riacho Fundo em um cenário sem ETE por parte da CAESB, sendo importante para tal, a execução de projetos de recuperação da qualidade do córrego Guará.

Na Figura 5.39 pode-se observar o comportamento do PT no rio Riacho Fundo, sem a ETE. Nesse caso também diminuíram os teores de PT no nó do lançamento da ETE, mas no exutório da sub-bacia, o córrego Guará provocou o aumento dos valores, como havia apresentado anteriormente para o NT.

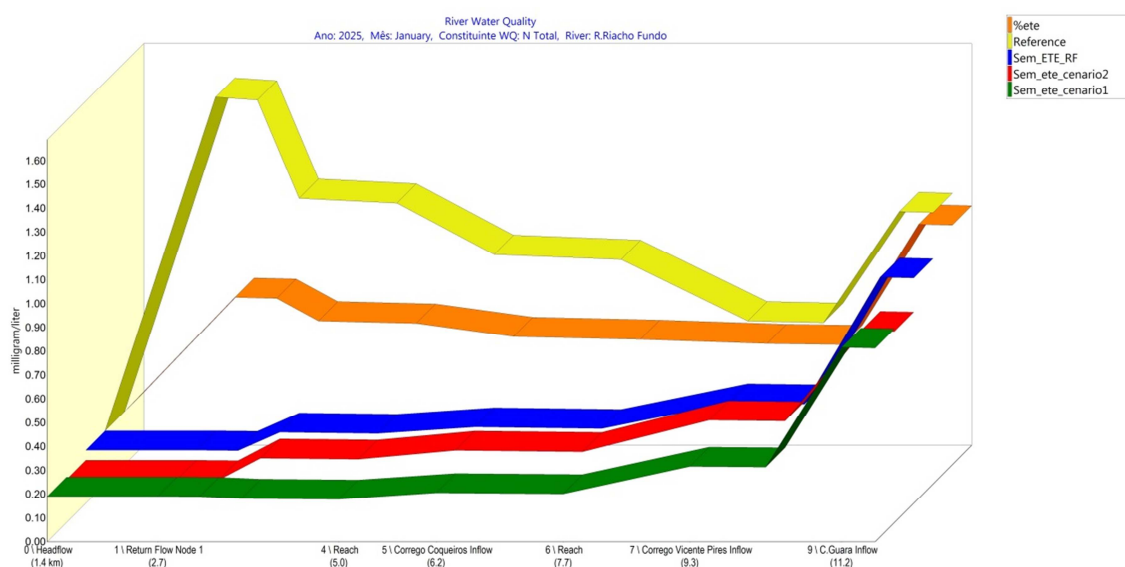


Figura 5.38 - Comparação de cenários para o NT sem a ETE Riacho Fundo em janeiro de 2025.

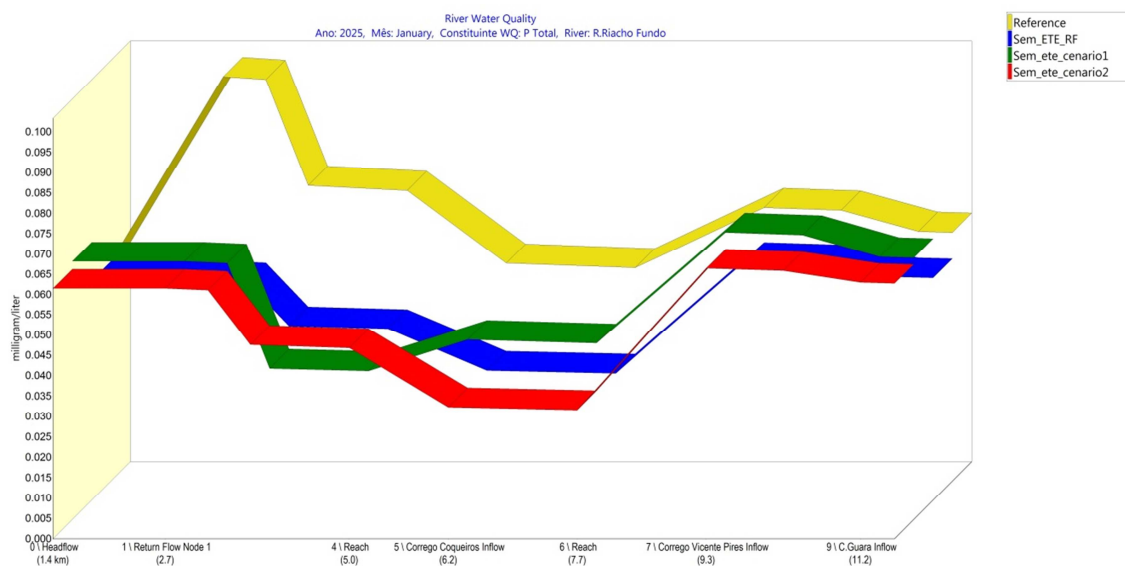


Figura 5.39 - Comparação de cenários para o PT sem a ETE Riacho Fundo em janeiro de 2025.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A simulação da hidrologia no SWAT apresentou resultados satisfatórios. A calibração e a verificação da qualidade não foram satisfatórias, possivelmente pela não calibração de sedimentos na área de estudo e ao uso de vazões simuladas no cálculo das cargas observadas porém, esses resultados de vazões e qualidade obtidos no SWAT foram posteriormente utilizados na simulação dos cenários do WEAP para fazer a integração desses modelos.

A integração do SWAT e WEAP fornece bons resultados no caso da simulação da qualidade da água. Dado que o WEAP não pode simular poluição difusa e o SWAT é um modelo muito útil que fornece esse tipo de resultados de uma maneira detalhada, e considerando todas as características da bacia como uso de solo, manejo, tipo de solo entre outras.

O rio Riacho Fundo recebe contaminação de fontes difusas pelas áreas urbanas e de agricultura e também de fontes pontuais como a ETE do Riacho Fundo. No nó do efluente da ETE, simulado no WEAP, encontraram-se as maiores concentrações especialmente de Nitrogênio Total, que foram diminuindo ao longo do trecho pelo fator de diluição do aporte de vazões dos tributários do Riacho Fundo.

A presença do Fósforo Total foi principalmente afetada pela quantidade de sedimentos da sub-bacia. A concentração final de PT no exutório mostrou que estava no limite da Resolução CONAMA 357/05, demonstrando a vulnerabilidade da fonte hídrica. Além disso, os valores no exutório de NT e de PT classificaram a fonte hídrica como mesoeutrófica, que representa níveis intermediários de produtividade. Esses resultados mostraram a importância do cuidado das fontes hídricas da sub-bacia Riacho Fundo, uma vez que qualquer problema apresentado na qualidade dos rios da sub-bacia Riacho Fundo pode afetar diretamente o lago Paranoá que recebe as águas da área afetando também o uso futuro do lago como manancial de abastecimento.

O cenário sem o lançamento do esgoto tratado da ETE Riacho Fundo e o cenário melhorando a eficiência de remoção de NT da ETE mostraram melhoria na qualidade da água, especialmente no nó do lançamento da ETE, porém, o córrego Guará teria um aporte significativo de nutrientes ao rio Riacho Fundo, mostrando que nenhum dos cenários anteriores melhoraria a qualidade do rio Riacho Fundo se não for feita uma recuperação da qualidade do córrego Guará.

É possível fazer a integração dos modelos SWAT e WEAP para estudos de qualidade e disponibilidade de bacias hidrográficas. Porém, no presente trabalho não foi possível fazer a integração dos modelos para o estudo de disponibilidade já que a água captada para abastecimento não fazia parte das fontes hídricas simuladas no SWAT para a sub-bacia do Riacho Fundo, mas sim do lago Descoberto cuja hidrologia não foi simulada no SWAT.

Da mesma forma, para fazer a integração dos modelos no estudo de disponibilidade da sub-bacia Riacho Fundo, seria necessário simular a hidrologia dos córregos afluentes ao lago Descoberto no SWAT; simulação que o WEAP poderia fazer de uma maneira mais simples e rápida. Nesse contexto, pode-se concluir que a integração dos modelos depende do nível de detalhe do estudo, já que o SWAT fornece simulações muito detalhadas de hidrologia e qualidade que talvez não sejam necessárias nos estudos de gestão integrada dos recursos hídricos, pois esses estudos precisam de uma visão geral do estado da bacia obtida no menor tempo possível, visão que pode ser fornecida pelo WEAP.

Não foi possível estabelecer uma relação entre as mudanças de uso de solo urbano simuladas nos cenários do SWAT e a taxa de crescimento populacional nos nós de demanda no WEAP, pois o SWAT simula essas áreas como adensamento urbano e não fornece dados de população ou taxas de crescimento populacional. Além disso, a base de dados de uso de solo urbano do SWAT foi feita com base nos usos de solo dos Estados Unidos, o que interfere na integração dos modelos e na representação da realidade do Distrito Federal.

Com base nos resultados obtidos do Lago Descoberto no WEAP, observou-se que o reservatório tem a capacidade de abastecer as localidades que atualmente fazem uso dessa água. Esse abastecimento diminuirá ao longo dos anos, já que o reservatório atingira o valor mínimo de armazenamento no ano 2025 com aproximadamente 50 hm³. A diminuição do armazenamento mostra a vulnerabilidade do lago para diferentes cenários com altas taxas de crescimento da população, que são umas das mais altas do país e que pode afetar significativamente o suprimento da água por parte do manancial. É por isso que é importante a geração de projetos de novos mananciais de abastecimento que reforcem o atual sistema. Esses resultados também mostram a importância da preservação das fontes hídricas que abastecem o reservatório, para manter a quantidade de água suficiente para consumo.

É importante fazer um estudo completo das características de simulação e dos dados que requer cada modelo antes da integração, para evitar erros e acelerar o desenvolvimento do trabalho.

Como nesse estudo não foram consideradas algumas situações, recomendam-se alguns tópicos que poderiam ser objeto de trabalhos futuros tais como:

- ✓ Realizar a simulação das bacias do Distrito Federal construindo uma base de dados completa dos parâmetros de uso e manejo do solo do DF no SWAT, visando fazer uma simulação mais próxima da realidade da área de estudo e obter dados mais precisos da hidrologia e qualidade da água.
- ✓ Utilizar mais um modelo para simular a qualidade do Lago Descoberto e avaliar se os resultados atendem as condições de qualidade de abastecimento da área de estudo, uma vez que o SWAT e o WEAP não simulam qualidade de reservatórios.
- ✓ Desenvolver um estudo da hidrologia do lago Descoberto com SWAT objetivando fazer uma integração completa do SWAT com WEAP nos estudos de cenário de disponibilidade

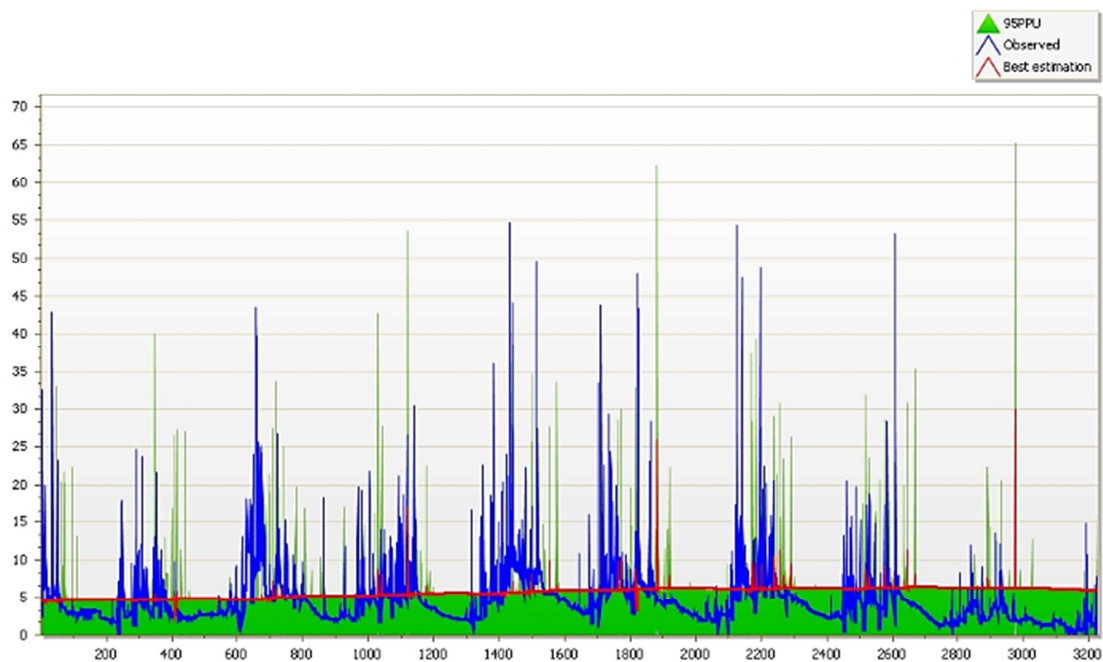
das sub-bacias que se abastecem do lago Descoberto e, assim, determinar as quantidades de água disponíveis para diferentes condições de uma maneira mais próxima da realista.

✓ Para melhorar a calibração dos nutrientes na sub-bacia Riacho Fundo, propõe-se fazer uma coleta de dados observados de sedimentos durante um período mínimo de um ano, para depois fazer a calibração de sedimentos e posteriormente de nutrientes no SWAT.

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS DA MELHOR CALIBRAÇÃO DIÁRIA NO SWAT CUP

FLOW_OUT_12



Goal_type= Nash_Sutcliffe (type 5) Best_sim_no= 1 Best_goal = -5.295314e-002

Variable	p-factor	r-factor	R2	NS	br2	MSE	SSQR
FLOW_OUT_12	0.73	1.27	0.00	-0.05	0.0000	25.9452	18.6782

ANEXOB B . VALORES DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CADA TIPO DE SOLO UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO DO SWAT

NAME	Latossolo Vermelho Distrofico							Latossolo Vermelho Amarelo			
SNAM	LVd5							LVAd6			
NLAYERS	6							4			
HYDGRP	A							A			
SOL_ZMX	3000							1200			
ANION_EXCL	0.61							0.61			
SOL_CRK	0.05							0.05			
TEXTURE	Media argilosa							Argilosa			
HZ	A1	A3	B1	B21	B22	B3cn	IIC	A	AB	BA	Bw
SOL_Z	90	180	480	1800	2200	2400	3000	200	400	600	1200
SOL_BD	0.98	0.98	0.93	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	0.9	0.9	1.28
SOL_AWC	0.21	0.21	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.1	0.11	0.13	0.13
SOL_K	723.96	723.96	459.72	459.72	459.72	459.72	459.72	1124.28	1124.28	436.68	436.68
SOL_CBN	1.19	0.86	0.59	0.25	0.19	0.18	0.1	2.21	1.3	0.95	0.81
CLAY	19	18	20	23	27	26	22	49.55	44.71	47.3	53.64
SILT	9	7	8	10	10	12	21.5	22	19.5	21.8	17.52
SAND	72	75	72	67	63	62	56.5	27.85	32.83	27.6	26.87
ROCK	1	1	1	1	1	15	1.5	1	1	1	3
USLE_K	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
SOL_ALB	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.1	0.1	0.1

NAME	Cambissolo háptico				Gleissolo háptico			
SNAM	Cxd9				GX			
NLAYERS	4				4			
HYDGRP	D				D			
SOL_ZMX	500				800*			
ANION_EXCL	0.5				0.5			
SOL_CRK	0.05				0.05			
TEXTURE	Argiloso, media cascalhenta				Argilosa			
HZ	A1	A3	B2	C	Ap	A3	C1g	C2g
SOL_Z	80	220	320	500	180	350	500	800
SOL_BD	0.98	0.98	1.16	1.16	1.08	1.27	1.13	1.13
SOL_AWC	0.18	0.18	0.23	0.31	0.14	0.14	0.13	0.14
SOL_K	894.24	894.24	894.24	894.24	494.28	494.28	494.28	494.28
SOL_CBN	2.94	1.26	0.57	0.11	1.49	0.79	0.19	0.44
CLAY	40	43	29	12	44	44	48	42
SILT	36	39	58	83	22	25	21	25
SAND	24	18	13	5	34	31	31	33
ROCK	59	54	43	6	0	0	0	0
USLE_K	0.0210	0.0210	0.0210	0.0210	0.0355	0.0355	0.0355	0.0355
SOL_ALB	0.1	0.12	0.12	0.12	0.05	0.07	0.07	0.07

NAME	Plintossolo Petrico					Nitossolo Vermelho					
SNAM	FF					NVx					
NLAYERS	5					6					
HYDGRP	D					B					
SOL_ZMX	1600										
ANION_EXCL	0.5										
SOL_CRK	0.05										
TEXTURE	Argilosa/media arenosa					Argilosa a siltosa					
HZ	A1	A3g	B1gcn	B2gcn	II Cgcnp	Ap	A3	B1t	B2t	IIB3tcn	IIIC
SOL_Z	80	200	300	450	600	160	350	500	85	1350	1500
SOL_BD	1.32	1.32	1.13	1.13	1.13	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
SOL_AWC	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13	0.4	0.4	0.21	0.21	0.21	0.21
SOL_K	1099.44	1099.44	1099.44	1099.44	1099.44	367.2	367.2	367.2	367.2	367.2	367.2
SOL_CBN	4.13	2.46	1.02	0.79	0.38	2.36	1.18	0.79	0.6	0.34	0.21
CLAY	51	62	62	52	74	30	31	39	53	36	55
SILT	23	19	16	13	12	33	32	29	23	19	42
SAND	23	19	16	13	12	37	37	32	24	45	3
ROCK	7	7	24	58	13	1	1	1	1	27	1
USLE_K	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
SOL_ALB	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de 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 2012

_____(2012). HidroWeb: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em:13 de junho de 2012.

Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal- ADASA (2011). Mapa Hidrográfico do Distrito Federal. Brasília.

_____(2012). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Revisão e atualização. Relatório Final, Volume I. Diagnostico .Brasília, DF.

Aguiar Junior, S(2011). *Análise de gestão: política da água e sustentabilidade*. Tese de doutorado. Centro de Desenvolvimento sustentável. Universidade de Brasília. Brasília, 232 p.

Allan, J.,Erickson, D., e Fay, J. (1997). “The influence of catchment and use on stream integrity across multiple spatial scales”.*Freshwater Biology*, 37, 149-161.

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.

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”.*EnvironmentalModelling& Software*, 23(10-11), 1327-1337.

- Arnold, J. G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R. S. e William, J. R. (1998). "Large area hydrologic modeling and assessment part i: model development". *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1), 73-89
- Azevedo, L.G.T; Porto, R. L. L.; Porto, M. (1998). "Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso". *Revista Brasileira de Recursos hídricos*. 3(1), 21-51.
- 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.
- Baltokoski, V., Tavares, M. H., Machado, R., e Oliveira, M. P. (2010). "Calibração de modelo para a simulação de vazão e de Fósforo Total nas sub-bacias dos rios conrado e pinheiro – Pato Branco(PR)". *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34, 253-261.
- Barbosa, I., Lacerda, M. e Bilich, M. (2009). "Relações pedomorfológicas nas chapadas elevadas do Distrito Federal". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 33(5), 1373-1383.
- Beekman, G.B. (1999). Gerenciamento integrado dos recursos hídricos. IICA, Brasília, 64p.
- Benedetti, U. (2007). *Estudo detalhado dos solos do campus do Cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Roraima. Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Boa Vista. 103p.
- Billen, G., e Garnier, J. (2000). "Nitrogen transfers through the Seine drainage network: a budget based on the application of the " Riverstrahler " model". *Hidrobiologia*, 410, 139-150.
- Biswas, A.K. (2004). "Integrated Water Resources Management: A Reassessment, A Water Forum Contribution". *Water International*, 29(2), 248–256.

- Bloise, G., Carvalho Junior, O., Reatto, A., Guimrães, E., Martins, E., Carvalho, A. (2001). "Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria-DF". Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento No 14. Embrapa-Cerrados. Planaltina-DF
- Bowes, M., Smith, J., Jarvie, H., Neal, C. (2008) "Modelling of phosphorus inputs to rivers from diffuse and point sources". *Science of the Total Environment*. 395(1-2) 125-138.
- Bressiani, D. de A.; Hecht, J.; Cheng, L.; Abdou, S.; Thomas, A.; Newburn, D.; Cai, X. e Mendiondo, E. M. (2011). "Aplicação de modelos SWAT, WEAP E GAMS para otimização econômica de demandas agrícolas sujeitas a restrições ambientais". *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Campos, J. E. G. (2004). "Hidrogeologia do distrito federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos". *Revista Brasileira de Geociências*. 34(1):41-48
- Carvalho, M., Mélo Júnior, A., Schardong, A., e Porto, R. (2009). "Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13,(1),10–17 .
- Center for Research in Water Resources-CRWR.(2009). Modelado de calidad del agua para la cuenca del río bravo/grande, Reporte de avance de actividades. University of Texas at Austin.
- Chapra, S. C. e Pelletier, G. J. (2008). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA
- Companhia de Planejamento do Distrito Federal-CODEPLAN. (2011a). Pesquisa distrital por amostra de domicílios –Riacho Fundo. Brasília, DF.
- _____. (2011b). Pesquisa distrital por amostra de domicílios –Distrito Federal –. Brasília, DF.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal-CAESB. (2008). Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal-Siagua. Assessoria de Planejamento, Programação e Controle-PPC.17ª Ed. Versão1.

_____. (2012). Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal-SIESG.25ª Ed.

_____. (2012). Inventário fluviométrico e pluviométrico geral do Distrito Federal e o entorno. Brasília.

Danner, C.;McKinney, D. C; Teasley ,R L; Solis,S.(2009).Documentation and Testing of the WEAP Model for the Rio Grande/Bravo Basin.Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin.

Dodds, W. K., Bouska, W. W., Eitzmann, J. L., Pilger, T. J., Pitts, K. L., Riley, A. J., Schloesser, J. T., et al. (2009). "Eutrophication of U .S . Freshwaters: analysis of Potencial Economic Damages". *EnvironmentalScience&Technology*, 43(1), 12-19.

Droogers,P; Terink, W; Hunink, J; Kauffman, S; Lynden,G. (2011). "Green Water Credits Morocco: Inception PhaseWater Use and Demand in the Sebou Basin, Morocco – A Cost-Benefit Analysis using the Water and Evaluation and Planning Tool (WEAP)". FutureWater Report 102. ISRIC-IFAD

Echeverria,R.M.(2007). *Avaliação de impactos ambientais nos tributários do lago Paranoá, Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 121p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa (1978). "Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal". Boletim Técnico 53. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Rio de Janeiro. 455p

- Forkuor, G.; McCartney, M.; Amisigo, B. (2011). "Evaluating the implications of future water resource development under current and projected climate in the Volta basin". International Water Management Institute-IWMI.
- Ferrante, J. E. T.; Rancan, I.; Braga Netto, P. (2001). Meio Físico in: Fonseca, F. O. *Olhares sobre o lago Paranoá*. 1ª Edição. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Brasília, DF.
- Garbosa, L.H.P.; Vasconcelos, L.R.C.; Lapa, K.R.; Blainski, E.; Pinheiro, A. (2011). "The use and results of the soil and water assessment tool in Brazil: A review from 1999 until 2010". *International SWAT Conference and Workshop*.
- Global Water Partnership-GWP. (2000). "Integrated Water Resources Management." *TAC Background Papers No. 4*. Stockholm: GWP Secretariat.
- Grieg-Gran, M.; Noel, S. e Poras, I. (2006). Lessons learned from payments for environmental services. Green water Credits Report 2, ISRIC, Wageningen.
- Grigg, N. S. (2008): "Integrated water resources management: balancing views and improving practice", *Water International*, 33(3), 279-292
- Gupta, H; Sorooshian, S; Yapo, P. (1999). "Status of automatic calibration for hydrologic models: comparison with multilevel expert calibration". *Journal of hydrologic Engineering*, 4 (2), 135-143.
- 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.
- Haith, D. A; Mandel, R., Wu, R. S., & Hall, R. (1996). Generalized watershed loading functions version 2.0 user's manual.

- Hilton, J., Hare, M. O., Bowes, M. J., & Jones, J. I. (2006). "How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers". *Science of Total Environment*, 365, 66-83.
- Krysanova, V; Wechsung, F. (2000). "Swim-Soil and Water Integrated Model. User Manual". Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- Labadie, J.L., Brazil, I. C. e L.Johnson (eds).(1989). *Computerized Decision Support system of Water Managers*. New York: American Society of Civil Engineers.
- Lamparelli, M. (2004). *Grau de trofia em corpos hídricos d'aguas do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. São Paulo. 207 p.
- Leão, J. Gil; M.L; Lima, M.G.(2007) "Simulação do comportamento de Reservatórios de grande porte, na Bacia do rio Canindé-PI". *Revista Brasileira de Recursos hídricos*. 12(4), 159-167.
- Lima, C. A. G; Curi, W.F.; 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 (4), 73-86.
- Lima, J.(2010). *Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado*. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 312p. Brasília. DF
- Linsen, M. (2009). *Barriers for water: About the decision-making process regarding locations for new small dams in the Preto River Basin in the Federal District, Brazil*. Embrapa.

- Loucks, D.P., P.N. French e M.R. Taylor. (1995). IRAS-Interactive River-Aquifer Simulation: Program Description and Operation. Resources Planning Associates, Incorporated, Ithaca, NY, USA.
- Machado, R.E, e Vettorazzi, C. (2003). "Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP)". *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 27, 735-741.
- Machado, R.E; Xavier, A. C., Cruciani, D. E., eVettorazzi, C. A. (2007)."Efeito do Nível de Subdivisão em uma Bacia Hidrográfica na Simulação da Produção de Sedimentos". *Revista Brasileira de Ciências do Solo*.12(4), 49-58.
- Matrosov, E. S. e Harou, J. J. (2010)."Simulating the Thames water resource system using IRAS-2010".*International Congresson Environmental Modellingand Software 2010*.
- Menezes, P. (2010). *Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do lago Paranoá*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília.
- Minoti,R.(2006).*Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior/SP*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo.231p
- Ministerio do Meio ambiente-MMA.(2006). Plano Nacional de Recursos Hídricos. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasilia. 135p.
- Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W.V.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.;Veith, T.L. (2007)."Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations". *Watershed Simulations*, 50,(3), 885-900.
- Mounir, Z. M., Ma, C. M., e Amadou, I. (2011). "Application of Water Evaluation and Planning (WEAP): A Model to Assess Future Water Demands in the Niger River (In Niger Republic)". *Modern Applied Science*, 5(1), 38-49.

- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., e King, K. W. (2002). Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation. Versão 2000. Water Resources. Texas: Texas Water Resources Institute, College Station.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., (2011). Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation. Versão 2009. Water Resources. Texas: Texas Water Resources Institute, College Station.
- Neves, F. F.; Silva, F. G. B.; Crestana, S. (2006). "Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de Nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola". *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 11(4).311-317
- Nijboer, R.C., e Verdonchot, P.F. (2004). "Variable selection for modelling effects of eutrophication on stream and river ecosystems". *Ecological Modelling*, 177(1-2), 17-39.
- Oliveira, F., Marques, G., e Velasquez, L. (2007). "Estudo do planejamento de fontes de produção de água subterrânea em área com alta incidência de flúor natural". *Anais XVII Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo.
- Oliveira, G., Severiano, E. e Mello, C. (2007b). "Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 11(3).265-270
- Oliveira, L., Gonçalves, R., Alves, E. (2011). "Relação entre condutividade hidráulica, textura, estrutura e das diversas formas de uso em nitossolos vermelhos férricos ocorrentes na bacia do rio São Lourenço, município de Ituiutaba/MG". *Anais Simposio Brasileiro de Geografia Aplicada*. Universidade Federal de Viçosa.
- Osório, A.L.N.A. (2011). *O Uso do Aplicativo Acquanet no Auxílio ao Gerenciamento de Recursos Hídricos no Distrito Federal*. Monografia de Projeto Final,

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 85 p.

Paerl, H. W. (1999). "Cultural eutrophication of shallow coastal waters: Coupling changing anthropogenic nutrient inputs to regional management approaches". *Limnologica*, 29(3), 249-254.

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

Preston,C.;Sheail, J.;Armitage, P., e Davybowker, J. (2003). "The long-term impact of urbanisation on aquatic plants: Cambridge and the River Cam". *The Science of The Total Environment*, 314-316, 67-87.

Pretty, J. N., Mason, C. F., Nedwell, D. B., Hine, R. E., Leaf, S., e Dils, R. (2003)."Environmental Costs of Freshwater Eutrophication in England and Wales".*Environmental Science & Technology*, 37(2), 201-208.

Qin, H.P.; Su, Q. e Khu, S.T. (2011). "An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment".*Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1502-1514.

Reatto, A. Correia,J.R Spera, S.T (1998). Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S. e Almeida, S. (eds.) Cerrado: Ambiente e Flora. p. 47-86. Planaltina. EMBRAPA-CPAC

Reatto, A., Martins, E. S, Cardoso, E.A, Spera, S.T, Carvalho Jr., O. A. C. , Guimarães,R, Silva, A. V ,Farias, M. F. R (2003) "Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do rio Descoberto, DF/GO, escala 1: 100.000" *Boletim de pesquisa e desenvolvimento* Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Planaltina-Distrito Federal

- Reatto, A., Martins, E. S., Farias, M. F. R.; Silva, A. V.; Carvalho Jr., O. A. C., (2004) "Mapa Pedológico Digital – SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100000 e uma síntese do texto explicativo." *Documentos, Nº 120*. EMBRAPA Cerrados, Planaltina-Distrito Federal
- Roberto, A. e Porto, R.L.L. (1999). "Sistema Generalizado para Análise de Alocação de Água em Bacias Hidrográficas – ModSimP32: Manual do Usuário". Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões/EPUSP, São Paulo, Brasil.
- Salles, L. (2012). *Calibração e validação do modelo swat para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiripau*. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 114p.
- Santos, R. F. (2004). *Planejamento ambiental: teoria e prática*. Oficina de Textos (ed). São Paulo. 183p.
- Santos, E. (2007). *Carbono, Nitrogênio e relação c/n em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, antonina - PR*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e engenharia Agrícola. Curitiba. 104p
- Sartori, A., Lombardi Neto, F., Genovez, A. (2005). "Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 10(4), 05-18.
- Secretaria De Infraestrutura e obras-SEINFRA (2006). *Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal, Diagnóstico das Demandas Hídricas, Vol. 1*. Brasília-DF.
- Setti, A.A., Lima, J.E.F.W, Chaves, A.G.M e Pereira, I.C. (2001) "Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos". 2ª ed, Agência Nacional de Energia elétrica- ANNEL, Superintendencia de estudos e Informações hidrológicas, Agência Nacional de Aguas-ANA, Brasília, 225 p

- Silva,E., Silva,B.,Oliveira,G.,Carducci,C.,Duarte,B.,Pereira,M. (2010). "Avaliação da porosidade total e disponibilidade hídrica em latossolo vermelho amarelo câmbico sob cultivo de cafeeiros". *Anais do XIX Congresso de Pós-graduação da UFLA*.Lavras_MG.
- Srinivasan, R.; Ramanarayanan, T.S.; Arnold, J.G.; Bednarz, S.T.(1998)"Large area hydrologic modeling and assessment Part II: Model Application". *American Water Resources Association*, 34(1), p. 91-101.
- Stockholm Environment Institute-SEI,(2001). Water Evaluation and Planning-WEAP: User Guide for WEAP21.Boston USA.
- Terink,W.;Hunink, J; Droogers ,P; Reuter, H; Lynden, G.; Kauffman, S. (2011)."Green Water Credits Morocco: Inception phase green and blue water resources for the Sebou basin, Morocco: soil and water management scenarios using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT).Report Future Water: 101.World Soil Information-ISRIC.
- Thomann, R e Mueller,J. (1987)."Principles of surfaces water quality modeling and control". New York. 644p.
- Tucci, C.E.M. (2005). ModelosHidrológicos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. AssociaçãoBrasileira de RecursosHídricos. Porto Alegre. 678p.
- United States Environmental Protection Agency-U.S. EPA (1986). Quality criteria for water. 477p.
- 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.

- Viney, N.R; Sivapalan, M; Deeley, D. (2000). "A conceptual model of nutrient mobilisation and transport applicable at large catchment scales". *Journal of Hydrology*. 240, 23-44.
- Vito, M. D. E. (2007). Avaliação do risco de contaminação de mananciais hídricos para o abastecimento: o caso da bacia da barragem do descoberto. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília. 181p.
- 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. 240 p.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., e Huber-Lee, A. (2005). "WEAP21 – A Demand- , Priority- , and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics". *Water International*. International Water Resource Association, 30(4), 487-500.
- Zoldan Junior, W. (2006). *Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um nitossolo háplico*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Centro de Ciências Agroveterinárias. Lages-SC. 98 p.

REFERENCIAS CITADAS POR TERCEROS

- Derísio, J.C.(1992). Introdução ao controle de poluição ambiental. Cetesb, São Paulo, Brasil. 201p
- Ramalho Filho, A.; Beek, K.J. (1995). Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS. 65p.

Vollenweider R.E. (1968). "Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication". Paris: OECD; p. 250.