



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

CECÍLIA AMÉLIA MIRANDA COSTA

**APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ELABORAÇÃO DE
CENÁRIOS DE ENQUADRAMENTOS DE CORPOS HIDRICOS: O CASO DA
BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU, PALMAS - TO.**

PALMAS - TO
Março, 2016

CECÍLIA AMÉLIA MIRANDA COSTA

**APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ELABORAÇÃO DE
CENÁRIOS DE ENQUADRAMENTOS DE CORPOS HIDRICOS: O CASO DA
BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU, PALMAS - TO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa

PALMAS - TO

Março, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- C837a Costa, Cecília Amélia Miranda .
Aplicabilidade de Modelos Matemáticos Para Elaboração de Cenários de Enquadramentos de Corpos Hídricos: O Caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas - TO.. / Cecília Amélia Miranda Costa. – Palmas, TO, 2016. 150 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.
- Orientador: Fernán Enrique Vergara Figueroa
1. Enquadramento dos cursos de água. 2. Recursos Hídricos. 3. Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - MGB-IPH. 4. Sistema de Apoio a Decisão - SAD-IPH. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

CECÍLIA AMÉLIA MIRANDA COSTA

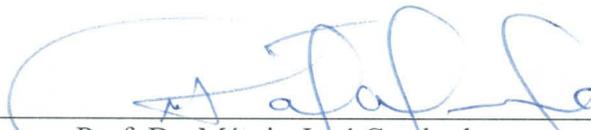
APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ELABORAÇÃO DE
CENÁRIOS DE ENQUADRAMENTOS DE CORPOS HIDRICOS: O CASO DA
BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU, PALMAS - TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

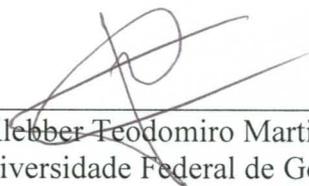
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Márcio José Catalunha
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga
Universidade Federal de Goiás

Aprovada em: 20 de abril de 2016

Local de defesa: Sala 27 do bloco II

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dedico este trabalho em memória ao meu pai
Leão Nepomuceno Miranda da Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo.

Ao meu professor e orientador Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa pela paciência, amizade e os conselhos que contribuíram para a minha evolução profissional e pessoal e principalmente por me fazer acreditar que poderia dar certo.

A todos os professores do Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Governo do Estado do Tocantins por meio da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH e da FAPT – Fundação de Amparo a Pesquisa do Tocantins pelo apoio financeiro que cooperou com o desenvolvimento dessa pesquisa.

A todos os colegas de mestrado, pela convivência durante esses dois anos, principalmente ao Bruno Emmerick que nos apoiou com seus conhecimentos e a Juliana Costa pelos momentos de companheirismo e apoio.

A Viviane Basso Chiesa que, por trabalharmos na mesma bacia hidrográfica e utilizando os mesmos modelos matemáticos, dividimos horas intermináveis de laboratório, muitas dúvidas, angústias, tristezas e também muitas risadas e comemorações a cada vitória alcançada, que com certeza fizeram nascer uma grande amizade. Obrigada por estar ao meu lado, com certeza tornou as coisas muito mais fácil, mesmo tendo sido difícil.

Ao meu noivo Eder Soares Pinto, pelo apoio, atenção, companheirismo, amor e amizade.

Todos da Secretaria do Planejamento e Orçamento, em especial a Roberta Mara de Oliveira Vergara pelas orientações e apoio, ao Rodrigo Sabino Teixeira Borges por entender a minha ausência em vários momentos e a todos os colegas de trabalho que de alguma forma contribuíram com meus estudos.

Ao Dr. Walter Collischonn e Rafael Kayser, do Núcleo de Pesquisas de Clima e Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) por ter sanado todas as dúvidas referentes ao uso dos modelos MGB e SAD-IPH.

Ao meu filho, que sempre foi uma inspiração e por quem tenho um amor incondicional.

A minha mãe e meu padrasto Ostenilde e Antônio Carlos, pelo amor, carinho e incentivo ao estudo.

A todos os amigos, em especial os adquiridos no período da faculdade e a minha família por entender e compreender as minhas ausências.

As minhas amigas Raquel Aparecida Mendes Lima que incentivou a busca por esse aprendizado e colaborou no decorrer deste e a Aracy Siqueira de Oliveira Nunes que auxiliou muito no início dessa nova jornada.

Ao Plácido Beserra, que não tive o prazer de conhecer e que mesmo assim nos auxiliou no uso do modelo MGB-IPH, sanando as dúvidas com relação ao uso da ferramenta.

A Companhia de Saneamento – Odebrech|Saneatins pelo fornecimento dos dados de qualidade da água e de vazões da bacia do Ribeirão Taquaruçu em Palmas - TO.

E também a todas as pessoas que de maneira direta ou indireta auxiliaram na realização desta pesquisa.

Muito Obrigada!

RESUMO

COSTA, C. A. M. **Aplicabilidade de Modelos Matemáticos para Elaboração de Cenários de Enquadramentos de Corpos Hídricos: O Caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas - TO.** 2016. 150f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental). Fundação Universidade Federal do Tocantins, TO, 2016.

O enquadramento de corpos hídricos visa classificar e monitorar a qualidade dos corpos hídricos, tornando-se uma ferramenta que possibilita a determinação das suas necessidades e capacidades. A pesquisa teve como objetivo geral elaborar uma proposta de referência para o enquadramento qualitativo dos corpos d'água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, em Palmas – Tocantins, utilizando modelos matemáticos como ferramenta para a gestão. Para isso foram avaliados 16 pontos selecionados na rede de drenagem, para análises dos parâmetros físico-químicos da água frente aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05. Diante do importante papel que a bacia do Ribeirão Taquaruçu representa para o município, como principal bacia de abastecimento, a presente pesquisa apresentou os procedimentos para a elaboração de uma proposta atual para o enquadramento qualitativo dos corpos de água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes na referida bacia. Foram utilizados os modelos matemáticos MGB-IPH e SAD-IPH, onde respectivamente obtiveram-se as vazões e a modelagem dos parâmetros de qualidade DBO, OD, fósforo total, séries de nitrogênio e coliformes termotolerantes. Dessa forma, obteve-se o cenário atual (o rio que temos) de qualidade da água e suas respectivas classes de enquadramento, mostrando que embora a bacia esteja em uma área urbanizada apresentou condições favoráveis ao enquadramento em classes 1 e 2. Em seguida foi realizado cenário tendencial (o rio que iremos ter) em que não seriam realizadas as intervenções necessárias para garantir a qualidade da água e conservacionista (o rio que queremos) em que seriam realizadas as intervenções necessárias, baseado na evolução dos usos e ocupação dos solos. O cenário tendencial mostrou que sem a implantação de políticas de gestão de recursos hídricos a bacia se enquadraria em classes 2 e 3. Enquanto que no cenário conservacionista com a aplicação das políticas a bacia se enquadraria em classe especial e classes 1 e 2. Assim sendo a tomada de decisão por meio das ferramentas de modelagem matemática com o objetivo de enquadramento dos cursos de água é possível e satisfatória.

Palavras-chave: Enquadramento dos cursos de água, classes de uso, recursos hídricos, MGB-IPH, SAD-IPH.

ABSTRACT

COSTA, C. A. M. Applicability of mathematical models for the elaboration of scenarios of classification of bodies of water: the case of the Basin of Ribeirão Taquaruçu, Palmas - TO. 2016. 150f. Dissertation (Professional Master's in Environmental Engineering). Fundação Federal University of Tocantins, TO, 2016.

The classification of bodies of water aims to classify and monitor the quality of the water body, becoming a tool that shows the conditions of water resources and enables the determination of its needs and capabilities. The research had as a general objective to draw up a proposal for a reference classification for the quality of the water bodies into class according to the uses of water resources for the predominant, the catchment area of Ribeirão Taquaruçu, in Palmas - Tocantins, using mathematical models as a tool for the management of these resources. For this reason, 16 selected points in the drainage network were evaluated for analyzes of physical-chemical parameters of the water front to the quality patterns established by CONAMA Resolution No. 357/05. Before the important role that the basin of Ribeirão Taquaruçu represents for the municipality, the present study showed the procedures for drawing up a proposal for the current qualitative classification of the water bodies into class according to the uses of water resources predominant mentioned basin. Mathematical models were used MGB-IPH and SAD-IPH, where respectively obtained-If flows and the modeling of the quality parameters DBO, OD, total phosphorus, series of nitrogen and thermotolerant coliforms. This way, it was obtained the current scenario (or river that we have) of water quality and their respective class of classification, showing that although the basin is in an urbanized area presented favorable conditions to the classification in class 1 and 2. Then trend scenario was tendential (or river that we have) and conservationist (or river we want) study based on uses and occupation of the soil. Where the trend scenario tendential that without the deployment of policies for the management of water resources in the basin sit in class 2 and 3. While in conservationist scenario with the application of policies framed in special class and classes 1 and 2. Thus the decision by means of mathematical modeling tools with the objective of the classification of the water bodies courses is possible and satisfactory.

Keywords: classification of the water bodies, in class, water resources, MGB-IPH, SAD-IPH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interdependência e complementariedade dos instrumentos de gestão.....	26
Figura 2: Classes de enquadramento e qualidade da água.	31
Figura 3: Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos.	32
Figura 4: Os “3 rios” considerados para o enquadramento.	33
Figura 5: Classes de Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu segundo PBH do entorno do lago da UHE Luís Eduardo Magalhães.	34
Figura 6: Inter-relação entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.	39
Figura 7: Etapas a serem cumpridas para aplicação na ferramenta MGB-IPH.	44
Figura 8: (a) Células do modelo hidrológico MGB-IPH interconectadas pela rede de drenagem; (b) URH (blocos) de uso/tipo de solo em uma célula do modelo subdividido em minibacias.	49
Figura 9: Exemplo de rede de drenagem ilustrando a estrutura topológica da bacia.	50
Figura 10: formas de inserção dos usuários de água da bacia: (a) inserção por seleção de trecho, de forma manual, (b) de forma automática por meio de uma tabela de valores, e (c) inserção automática por meio do carregamento de um arquivo vetorial.....	51
Figura 11: Esquema de funcionamento do SAD-IPH.	52
Figura 12: Fluxograma das etapas desenvolvidas neste estudo.....	54
Figura 13: Localização da bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.	56
Figura 14: Classes e associações de classes de solos identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu... ..	60
Figura 15: Classes e associações de classes de uso da terra identificados na bacia do ribeirão Taquaruçu.....	62
Figura 16: Principais rios da bacia do Ribeirão Taquaruçu.	64
Figura 17: Distribuição espacial da localização dos pontos de coleta de água na bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	66
Figura 18: Unidades de conservação existentes na bacia (Estadual e Municipal).	69
Figura 19: Identificação dos usos preponderantes para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	71
Figura 20: Sequência de passos para a geração de uma rede de drenagem com informações topológicas no <i>ArcGis</i> usando ferramentas <i>ArcHydro</i> : (a) Modelo de elevação (remoção de depressão); (b) Direções de escoamento; (c) Área de drenagem acumulada; (d) Sub-bacias formato <i>raster</i> ; (e) Mini-bacias formato vetorial; (f) Rede de drenagem final.	80
Figura 21: Classes e associações de classes de uso da terra reclassificados para 4 classes na bacia do ribeirão Taquaruçu.	81
Figura 22: Classes e associações de classes reclassificadas para solos raso e profundo da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu.	82
Figura 23: Classes e associações de classes de uso da terra reclassificadas com as classes de solos. ..	83
Figura 24: Arquivo MINI MGB-IPH.....	83
Figura 25: Centroides da bacia do Ribeirão Taquaruçu.	84
Figura 26: Parâmetros fixos estabelecidos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	85
Figura 27: Valores dos dados calibráveis para as bacias do Ribeirão Taquaruçu: (a) Médio Taquaruçu Pequeno – MTP; (b) Alto Taquaruçu Grande - ATG; (c) Alto Taquaruçu Pequeno – ATP; (d) Taquaruçu do Porto – “ANA”; (e) Baixo Taquaruçu Grande – BTG; (f) Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP.	86
Figura 28: Subbacias definidas em função dos postos fluviométricos e a barragem identificada na bacia.	87
Figura 29: Hidrograma calculado e observado para a bacia 1 – Médio Taquaruçu Pequeno – MTP... ..	90

Figura 30: Hidrograma calculado e observado para a bacia 2 – Alto Taquaruçu Grande – ATG.....	90
Figura 31: Hidrograma calculado e observado para a bacia 4 – Agência Nacional de Águas - ANA. .	91
Figura 32: Hidrograma calculado e observado para a bacia 5 – Baixo Taquaruçu Grande - BTG.....	91
Figura 33: Hidrograma calculado e observado para a bacia 6 – Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP.....	91
Figura 34: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 1– MTP.	92
Figura 35: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 2 – ATG.	93
Figura 36: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 4 – ANA.	93
Figura 37: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 5 – BTG.....	94
Figura 38: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 6 – BTP.	94
Figura 39: Dados dos usuários de água da bacia inseridos no modelo.	96
Figura 40: Forma de representação de: (a) usuários que retiram água da bacia; (b) pontos de lançamento de carga pontual; (c) pontos de monitoramento; (d) representação da relação entre demanda e oferta de água, denominado comprometimento da vazão.	97
Figura 41: Disponibilidade hídrica do mês de Janeiro com relação ao somatório das demanda (total).	98
Figura 42: Disponibilidade hídrica do mês de Novembro com relação ao somatório das demanda (total).	98
Figura 43: Disponibilidade hídrica do mês de Agosto com relação ao somatório das demanda (total).	99
Figura 44: Valores das cargas pontuais identificados na bacia e inseridos no modelo.	100
Figura 45: Arquivo do modelo para inserção das cargas de poluição difusas identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.	101
Figura 46: Classes inseridas no modelo SAD-IPH para atribuição das cargas difusas.	102
Figura 47: Valores default para os parâmetros de cabeceira, calibrados pelo modelo.....	104
Figura 48: Inserção dos dados de monitoramento levantados em campo (a) e o arquivo vetorial (b) gerado pelo modelo.	105
Figura 49: Resultado da calibração dos coeficientes com os pontos monitorados na bacia: a) DBO; b) OD; c) Fosforo; d) Coliformes; e) Nitrogênio Amoniacal; f) Nitrito; g) Nitrato.	108
Figura 50: Parâmetros DBO calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	109
Figura 51: Parâmetro Fósforo total calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	110
Figura 52: Parâmetro coliforme termotolerantes calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	111
Figura 53: Parâmetro OD calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	111
Figura 54: Parâmetro nitrogênio amoniacal calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	112
Figura 55: Parâmetro nitrito calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	112
Figura 56: Parâmetro nitrato calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	113
Figura 57: Enquadramento atual baseado nos parâmetros (DBO, OD, Séries de Nitrogênio e Coliformes) analisados e calibrados pelo modelo para a bacia.	115
Figura 58: Cobertura e uso do solo identificados na bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	116
Figura 59: Cobertura e uso do solo após reclassificação da classe área agrícola da bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	117
Figura 60: Classes de Enquadramento sugeridas para o cenário tendencial (o rio que podemos ter). .	118
Figura 61: Cobertura e Uso da bacia após reclassificação das classes de vegetação nativa.	119
Figura 62: Classes de enquadramento sugeridas para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Enquadramento de corpos hídricos. Adaptado de Christofidis, 2006.	27
Tabela 2:Localização dos pontos de coleta de água na bacia do Ribeirão Taquaruçu.	65
Tabela 3: Parâmetros analisados.	67
Tabela 4:Localização das cargas de poluição pontual.....	68
Tabela 5:Valores calculados de cargas difusas para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	68
Tabela 6: Valores utilizados para a calibração dos parâmetros hidráulicos e de temperatura na modelo qualitativo.....	106
Tabela 7: Valores utilizados para a calibração dos parâmetros físico-químicos do modelo.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estratégias de gestão - Política Nacional de Recursos Hídricos e Política Estadual de Recursos Hídricos.	24
Quadro 2: Arcabouço legal vigente federal e estadual aplicável aos recursos hídricos.	40
Quadro 3: Os níveis de subdivisão da bacia adotados pelo modelo MGB-IPH.	45
Quadro 4: Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH.	46
Quadro 5: Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH.	47
Quadro 6: Postos fluviométricos operados pela Saneatins Odrebrech na bacia em estudo.	72
Quadro 7: Estações Pluviométricas utilizadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.	72
Quadro 8: Resultados das funções objetivo para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.	88
Quadro 9: Cargas unitárias de poluentes (kg.ha-1.ano-1) por tipo de uso (valores entre parêntesis são médios).	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ASCII	Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
D BAS	Drenagem Subterrânea ao Longo do Intervalo de Tempo
D CAP	Fluxo do Reservatório Subterrâneo para a Camada Superior do Solo
D INT	Drenagem Sub-superficial ao Longo do Intervalo de Tempo
D SUP	Drenagem Superficial ao Longo do Intervalo de Tempo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
DQA	Diretiva Quadro da Água
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fdr	Arquivo Raster das Direções de Fluxo
Fill	Arquivo de MDE da Bacia
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRUs	<i>Grouped Response Units</i>
IAF	Índice de Área Foliar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
LARSIM	<i>Laboratoire des Recherches sur les Sciences de la Matière</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGB-IPH	Modelo de Grandes Bacias Desenvolvido Pelo IPH

OD	Demanda de Oxigênio
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PrePro	Software de Preparação dos Dados de Entrada MGB-IPH
RCA	Regulamento sobre a Classificação das Águas
SAD-IPH	Sistema de Apoio a Decisão
SEQ-Eau	<i>Système d'évaluation de la Qualité de l'eau</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Str	Arquivo da Rede de Drenagem
TIFF	Tagged Image File Format
UC	Unidades de Conservação
UE	União Europeia
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
VIC-2L	<i>Two-layer Variable Infiltration Capacity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	22
	2.1 Geral.....	22
	2.2 Específicos	22
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
	3.1 Gestão de Recursos Hídricos.....	23
	3.2 Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos	24
	3.3 O Enquadramento no Mundo – Um Breve Histórico.....	26
	3.3.1 O Enquadramento na Europa	27
	3.3.2 O Enquadramento nas Américas	29
	3.3.3 O Enquadramento no Brasil	30
	3.3.4 O Enquadramento no Tocantins	34
	3.4 Considerações sobre as Normativas de Enquadramento	35
	3.5 Inter-relação do Instrumento Enquadramento com outros Instrumentos de Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos.....	37
	3.6 Aspectos Jurídicos e Institucionais	40
	3.7 Comitês das bacias hidrográficas - CBHs	40
	3.8 Proposições de Modelos Matemáticos para o Enquadramento	41
	3.8.1 Modelos de Grandes Bacias Hidrográficas – MGB-IPH	42
	3.8.2 Sistema de Apoio à Decisão - SAD-IPH.....	49
4	MATERIAIS E METODOS	53
	4.1 Etapa 1: Aquisição de Dados Secundários.....	55
	4.2 Etapa 2: Área de Estudo: Bacia do Ribeirão Taquaruçu	56
	4.2.1 Localização.....	56
	4.2.2Aspectos Históricos da Ocupação	58
	4.2.3 Aspectos Ambientais.....	59
	4.2.3.1Pedológico.....	59
	4.2.3.2Uso e Ocupação do Solo	62
	4.2.3.3 Hidrografia	64
	4.2 Etapa 3: Diagnóstico dos Recursos Hídricos	64
	4.2.1 Identificação dos Usos Pretendidos dos Corpos d’Água.....	65

4.2.2	Análise da Condição Atual dos Corpos d'Água.....	65
4.2.3	Diagnóstico das Fontes de Poluição.....	67
	Valor em % da concentração de saturação;.....	68
	Concentração em mg.L^{-1}	68
	Fonte: Larentis (2004).....	68
4.2.4	Levantamento das Áreas Reguladas por Legislação Específica Existentes na Bacia	68
4.2.5	Planos e Programas Previstos para a Bacia.....	69
4.3	Etapa 4: Prognóstico dos Recursos Hídricos.....	70
4.3.1	Escolha dos Parâmetros Prioritários para o Enquadramento	70
4.3.2	Vazão de Referência.....	70
4.3.3	Definição dos Usos Preponderantes Desejados por Trecho	71
4.4	Dados de entrada para o MGB-IPH	71
4.4.1	Etapas Necessárias para Aplicação do Modelo MGB-IPH	74
4.4.2	Calibração do Modelo MGB-IPH	75
4.5	Etapas necessárias para Aplicação do Sistema de Apoio a Decisão SAD-IPH.....	77
4.6	Etapa 5: Elaboração das Propostas de Enquadramento.....	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1	Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu.....	79
5.2	Unidades de Resposta Hidrológica – URH.....	80
5.3	Aplicabilidade do PrePro-MGB-IPH	83
5.5	Resultados da Calibração do Modelo Hidrológico – MGB-IPH.....	86
5.5	Resultados e Aplicação do Sistema de Suporte a Decisão - SAD-IPH.....	95
5.5.1	Modelagem Quantitativa	95
5.5.2	Modelagem Qualitativa	100
5.6	Proposta de Enquadramento para a Bacia do Ribeirão Taquaruçu.	113
6	CONCLUSÕES.....	122
7	RECOMENDAÇÕES	125
	REFERENCIAS	126
	APÊNDICES.....	132
	APÊNDICE A – Enquadramento atual (o rio que temos).....	133
	APÊNDICE B – Enquadramento tendencial (o rio que podemos ter).	134
	APÊNDICE C – Enquadramento conservacionista (o rio que queremos ter).....	135
	ANEXOS.....	136

ANEXO A – Interface do MGB-IPH associado ao software <i>MapWindow® GIS</i>	137
ANEXO B – Interface do SAD-IPH associado ao software <i>MapWindow® GIS</i>	138
ANEXO C – Modelo de formulário aplicado aos chacareiros da bacia do Ribeirão Taquaruçu	139

1 INTRODUÇÃO

A importância do uso racional da água e da manutenção da sua qualidade podem ser verificadas na Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como “Lei das Águas” (BRASIL, 1997). Com um papel principal de instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A partir desse marco legal, novos instrumentos de gestão foram criados como planos de bacia, outorga de direito de uso, enquadramento dos corpos d’água, sistemas de informação e cobrança pelo uso da água.

Segundo a resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), o enquadramento de corpos de água é definido como o “estabelecimento de metas de qualidade da água, as quais devem ser obrigatoriamente, alcançadas e mantidas em um segmento de corpo hídrico ao longo do tempo, para garantir aos usuários a qualidade necessária ao atendimento de seus usos”. No cumprimento dessa resolução, Magalhães Jr.(2007) argumenta que apesar de se conhecer os benefícios do enquadramento de corpos de água, coloca-lo em prática é considerado um desafio para o sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, visto que são poucas as experiências de aplicação desse instrumento de gestão, seguindo a nova política de recursos hídricos. Para Amaro (2009 *apud* Brites, 2010), a sua prática ainda é restrita devido, principalmente, a três fatores: falta de conhecimento e entendimento sobre o instrumento; dificuldades metodológicas para a sua aplicação; e insuficiência de ações de gestão e de recursos fundamentais para sua efetivação.

Para a ANA (2009), o processo de enquadramento dos corpos d’água conta com pouca ou nenhuma participação da sociedade civil e dos usuários e os motivos dessa situação são, principalmente, o desconhecimento, as dificuldades metodológicas e a prioridade de aplicação de outros instrumentos de gestão, em detrimento dos instrumentos de planejamento. Ainda de acordo com a ANA (2009), o enquadramento é uma ferramenta de planejamento que permite associar os aspectos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos, pois ao se definir os usos preponderantes da água, naturalmente são estabelecidas as respectivas condições e padrões de qualidade que darão sustentação a esses usos.

Para o enquadramento, as informações levantadas precisam ser espacializadas por meio de coordenadas geográficas (latitude/longitude). Dentre as geotecnologias mais utilizadas, estão os sistemas de posicionamento por satélites como o *Global Positioning System* (GPS), imagens de satélites e os Sistemas de Informações Espaciais, integrando em uma única base georreferenciada, dados obtidos por essas diferentes geotecnologias, possibilitando ainda buscas, análises e consultas espaciais.

Segundo a Resolução nº 91/08 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH (CNRH, 2008), que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água subterrâneas e superficiais, cinco fases são consideradas: diagnóstico; prognóstico; elaboração da proposta; análise e deliberações do comitê; e implementação do programa de efetivação. Neste trabalho, serão consideradas as etapas elaboradas pela Agência Nacional de Águas – ANA, onde apenas três das cinco fases serão consideradas: diagnóstico, para a identificação da atual situação da bacia hidrográfica, do uso e ocupação do solo, e do uso dos recursos hídricos; prognóstico, determinando os cenários de desenvolvimento para o horizonte de planejamento adotado; e a elaboração das propostas de enquadramento.

Diante dessa circunstância essa pesquisa se justifica, pois o enquadramento de corpos de água necessita de um conjunto de ferramentas que auxilie na sua implantação. A principal contribuição desta pesquisa sustenta-se no desenvolvimento de um formato de proposta metodológica para o enquadramento de corpos de água em classes, utilizando modelos matemáticos MGB e SAD-IPH para a construção dessas propostas, direcionados para a gestão e o gerenciamento de bacias hidrográficas.

Nesse cenário de gestão dos recursos hídricos, objetiva-se apresentar os procedimentos para a elaboração de uma proposta de referência para o enquadramento qualitativo dos corpos de água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, em Palmas – Tocantins.

Para atingir estes objetivos, o presente trabalho está estruturado em cinco partes. A primeira contempla a revisão de literatura visando à gestão de recursos hídricos e seus instrumentos, com um breve histórico do enquadramento pelo mundo e no Tocantins. Os aspectos jurídicos e institucionais relacionados à política nacional de recursos hídricos e os

comitês, bem como a escolha de modelos matemáticos de suporte à decisão para o enquadramento. A segunda apresenta a área de estudo. Já a terceira, aborda os aspectos metodológicos, centrando esforços no diagnóstico e prognóstico da bacia, no processamento dos dados espaciais para identificar as classes de enquadramento e na definição da proposta de enquadramento. A quarta apresenta e discute os resultados obtidos. E, finalmente, a quinta argumenta as conclusões e recomendações advindas da percepção de se ter atingidos os objetivos deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Elaborar uma proposta de referência para o enquadramento qualitativo dos corpos de água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, em Palmas – Tocantins, utilizando modelos matemáticos MGB e SAD-IPH como ferramenta para a gestão desses recursos.

2.2 Específicos

- ✓ Levantar as informações para a elaboração do diagnóstico e prognóstico, da Bacia do Ribeirão Taquaruçu – TO como subsídio ao enquadramento;
- ✓ Aplicar os modelos matemáticos: MGB-IPH e SAD-IPH para a modelagem da bacia;
- ✓ Apresentar a proposta de enquadramento com as análises geradas nas fases de diagnóstico e prognóstico, avaliadas para o estabelecimento das classes de enquadramento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gestão de Recursos Hídricos

No Brasil, a Lei Nº. 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) instituiu a Política e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos para efetivar a gestão de águas e a formulação de princípios e diretrizes, com vários instrumentos legais que norteiam as atividades do setor, mediante um modelo de gerenciamento das águas (SETTI *et al*, 2000).

Os órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Recursos Hídricos são organismos que irão implementar a Política de Recursos Hídricos por meio de mecanismos legais. A formulação dos Planos de Recursos Hídricos deve ser elaborada por bacia hidrográfica com o objetivo de planejar a gestão, os usos e a preservação desses recursos (GRABHER; BROCHI; LAHÓZ, 2003).

A Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH, órgão gestor de recursos hídricos do Tocantins, promove a elaboração de estudos subsidiando a aplicação de recursos financeiros em obras e serviços de regularização de cursos d'água, alocação e distribuição e controle da poluição hídrica. No domínio estadual, os Planos de Recursos Hídricos possuem a mesma função em relação à Política Estadual de Recursos Hídricos.

No Plano de Recursos Hídricos, são estabelecidas ações a serem desenvolvidas a curto, médio e longo prazo, além de diretrizes e arranjos institucionais para garantir a sustentabilidade técnica, econômica e financeira da sua execução. É necessário ainda que o plano seja elaborado de forma participativa, prevendo a situação atual da bacia e projetando cenários e tendências para o futuro. Como resultados, são estabelecidas ações a serem desenvolvidas a curto, médio e longo prazo, além de diretrizes e arranjos institucionais para garantir a sustentabilidade técnica, econômica e financeira de sua execução.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2011), o enquadramento dos corpos hídricos em classe é o instrumento da política que está no âmbito do planejamento estabelecendo a classe e assegurando qualidade compatível com os usos mais restritivos a que

foram destinadas diminuindo os custos de combate permanente à poluição. A observância deste instrumento garante a prática de um processo racional, objetivo, prático e direcionado ao resultado esperado.

3.2 Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

A Lei Federal 9.433/97 (BRASIL, 1997) estabelece cinco instrumentos para sua adequada gestão, enquanto que a Lei Estadual 1.307/02 (TOCANTINS, 2002) institui os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos e em conjunto abordam estratégias de gestão conforme Quadro 1.

Quadro 1: Estratégias de gestão - Política Nacional de Recursos Hídricos e Política Estadual de Recursos Hídricos.

Política Nacional de Recursos Hídricos	Política Estadual de Recursos Hídricos.
1. Os planos de recursos hídricos; 2. O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; 3. A outorga de direito de usos de recursos hídricos; 4. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e 5. O sistema de informação sobre os recursos hídricos.	I - o plano estadual de recursos hídricos; II - os planos de bacia hidrográfica, incluindo-se o enquadramento dos corpos de água em classe de uso preponderante; III - a outorga de direito de uso dos recursos hídricos; IV - a cobrança de taxa pelo uso dos recursos hídricos; V - a compensação aos municípios; VI - o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos; VII - a educação ambiental.

Os Planos de Recursos Hídricos estabelecem diretrizes a serem realizadas considerando a bacia hidrográfica e contemplando as diferentes prioridades de gestão. No Estado do Tocantins o plano iniciou-se em 2008.

A outorga é um ato administrativo – autorização, concessão ou licença – condicionada à disponibilidade hídrica e às prioridades expressas nos Planos de Recursos Hídricos. O deferimento ocorre quando da execução de qualquer atividade, empreendimento ou uso que interfira ou possa alterar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos. No Estado do Tocantins, é expedida e monitorada pelo Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, seguindo o estabelecido no Decreto Estadual n.º 2.432, de 06/2005 (DECRETO, 2005).

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos é executada por órgãos federais ou estaduais, em função da dominialidade do corpo hídrico considerado. No Estado do Tocantins, esse instrumento ainda não foi implementado, porém para a bacia do Rio Formoso existem estudos realizados e os mesmos já foram aprovados pelo respectivo comitê da bacia.

Magrini e Santos (2001) considera como mudança significativa a determinação das bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento, rompendo com o conceito de gestão aplicada à divisão administrativo-territorial. Para LANNA (2000) essa gestão envolve a consideração de uma grande diversidade de objetivos, dentre eles os econômicos, ambientais e sociais e os diferentes tipos de usos. Assim, o gerenciamento ou gestão dos recursos hídricos, deve englobar o planejamento, a administração e regulação desse recurso natural.

De acordo com a ANA (2002) os instrumentos de gestão são fortemente interdependentes e complementares do ponto de vista conceitual, e têm por objetivo comum a promoção da proteção e recuperação das águas de uma bacia hidrográfica. A sua implementação demanda não somente capacidades técnicas, políticas e institucionais, mas requer também a participação e aceitação por parte da coletividade, conforme demonstrado na figura 1 abaixo.

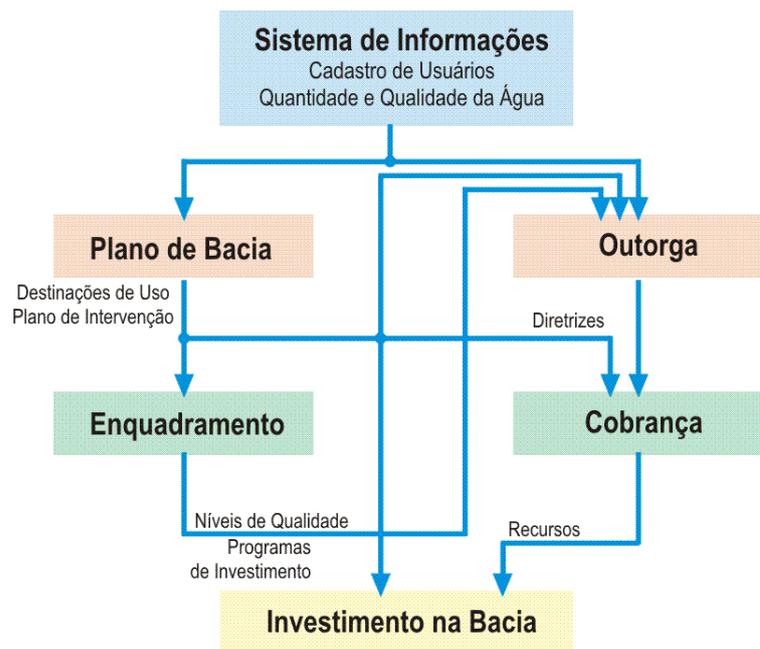


Figura 1: Interdependência e complementariedade dos instrumentos de gestão.
Fonte: ANA (2002).

O enquadramento nas esferas federal e estadual deverá estar em consonância com o Plano de Recursos Hídricos formulados com base nas indicações de uso apontadas pelos estudos existentes e em fase de execução e que por sua vez deverá indicar e estimar custos das ações necessárias à efetivação do enquadramento.

3.3 O Enquadramento no Mundo – Um Breve Histórico

Diversos países demonstram grande atenção no que diz respeito ao instrumento do enquadramento, o que reflete em ações de manutenção da qualidade da água, uma vez que representa alívio na busca incessante pela manutenção da qualidade de vida das populações humanas e pelo bem-estar econômico.

Em alguns países a água é considerada um bem privado, associado à posse de terra onde aflora ou por onde passa o corpo hídrico, como nos Estados Unidos e Chile, enquanto o México, Brasil, Canadá e outros países latinos enfatizam a gestão participativa (CHRISTOFIDIS, 2006).

Neste trabalho serão enfatizados os países no quais os recursos hídricos são tratados como um bem público, de direito difuso e gestão participativa, conforme tabela 1.

Tabela 1: Enquadramento de corpos hídricos. Adaptado de Christofidis, 2006.

País	Legislação pertinente	Força Jurídica	Participação Comunitária	Classes de água	Parâmetros
Brasil	Lei 9433/97 CONAMA 357/05 Leis Estaduais	Sim	Sim	5 doces, 4 salobras, 4 salgadas	97
Canadá	Regulamento sobre a Classificação das Águas 2002	Sim	Sim	6	36
México	Política Hídrica Nacional Lei das Águas Nacionais Declaração de Classificação dos Corpos d'água Nacionais	Sim	Sim	3 doces e 4 usos	135
Europa	Diretiva Quadro da Água Objetivos de Qualidade das Águas por Bacia Hidrográfica	Sim	Sim	Não específica	-
França	SEQ-eau	Sim	Sim	-	21

3.3.1 O Enquadramento na Europa

Em outubro de 2000, foi publicada a “Diretiva do Parlamento e do Conselho para o Estabelecimento de um Quadro para a Ação Comum do Domínio da Política da Água”, mais conhecida por Diretiva Quadro da Água (DQA). (CHRISTOFIDIS, 2006 *apud* IRMER, 2000).

A Diretiva 2000/60/CE do Parlamento e Conselho Europeu é um instrumento integrador da política de recursos hídricos da União Europeia (UE), por estabelecer um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Para atingir este objetivo foram estabelecidas metas progressivas no sentido de garantir o maior acompanhamento do processo. Várias ações estão sendo implementadas, dentre elas ressalta-se o estabelecimento de um plano de ação comunitária no domínio da política da água, onde foi estabelecido um enquadramento para proteção das águas superficiais continentais, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas, com o objetivo de se alcançar um bom estado para os corpos d'águas superficiais (SOBRAL *et al.*, 2008).

A Diretiva estabelece a definição de programas para atingir os objetivos de qualidade da água, de forma integrada no âmbito das bacias hidrográficas, independentemente dos limites territoriais. Caso essa meta não seja atingida, sanções financeiras (multas) serão aplicadas. (SOBRAL *et al.*, 2008).

Segundo Christofidis (2006) a DQA considera ainda como princípios que “A água não é um produto comercial como outro qualquer, mas um patrimônio que deve ser protegido, defendido e tratado como tal” e também que “A boa qualidade da água assegurará o abastecimento das populações com água potável”.

O objetivo da Diretiva é estabelecer um enquadramento para a proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas visando (CHRISTOFIDIS, 2006):

- a) Evitar a continuação da degradação, proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos, e também dos ecossistemas terrestres e zonas úmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades em água;
- b) promover um consumo de água sustentável, baseado numa proteção em longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
- c) Alcançar uma proteção reforçada e um melhoramento do ambiente aquático, nomeadamente através de medidas específicas para a redução gradual das descargas, das emissões e perdas de substâncias prioritárias e da cessação ou eliminação por fases de descargas, emissões e perdas dessas substâncias prioritárias;
- d) Assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar a agravamento da sua poluição; e
- e) Contribuir para mitigar os efeitos das inundações e secas.

Segundo TUCCI *et al.* (2001) essa divisão dos objetivos de qualidade das águas é executada por bacia hidrográfica, assim como no Brasil, onde o objetivo de alcançar um bom estado das águas deverá ser alcançado para cada bacia hidrográfica, de modo que as medidas relativas às águas de superfície e subterrâneas que pertençam ao mesmo ecossistema, hidrológico e hidrogeológico, sejam coordenadas. Também há considerações sobre o caráter indissociável dos aspectos de qualidade e quantidade da água.

De acordo Christofidis (2006) a França mesmo com sua legislação adequada aos preceitos dessa diretiva possui uma legislação específica. Em destaque seus princípios da gestão de recursos hídricos são:

- abordagem global (ou integrada) considerando os equilíbrios físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas: águas superficiais e subterrâneas quantidade e qualidade e do conjunto dos usos;
- território adaptado à gestão dos recursos de água: a bacia hidrográfica;
- gestão descentralizada e decisões locais (coletividades, industriais, agricultores);
- participação das diversas categorias de usuários;
- instrumentos econômicos de estímulo: princípio do "poluidor-pagador", "de usuário-pagador";
- coerência entre política da água e ordenamento territorial;
- política integrada de prevenção dos riscos.

Na França segundo Christofidis (2006) existe uma série de parâmetros que são levados em consideração quando da classificação de corpos hídricos, de acordo com suas fontes antrópicas (naturais, industriais, rejeições urbanas e agrícolas). Existe ainda um sistema de avaliação da qualidade dos corpos d'água denominado de SEQ-eau desenvolvido em 1971. Esse sistema efetua medidas da qualidade físico-química da água, a partir dos índices de condição atual (micropoluentes orgânicos como nitrato e fósforo e parâmetros de oxigenação da água).

A Diretiva Quadro Europeia fixa para os cursos de água dois objetivos, dos quais a França deve compartilhar (CHRISTOFIDIS, 2006):

1. Um bom estado químico que é determinado pelo respeito de limiares de concentração de substâncias prioritárias e de substâncias perigosas;
2. Um bom estado ecológico que é determinado pela ausência dessas substâncias e pela presença de indicadores de fauna e de flora.

3.3.2 O Enquadramento nas Américas

No Canadá, o Regulamento sobre a Classificação das Águas (RCA) é a Lei Canadense que regula o Enquadramento de Corpos d'água Superficiais. Ela estabelece que se as fontes de água fornecem recursos de boa qualidade em abundância em um futuro previsível essas devem ser protegidas e geridas com cuidado especial, conforme as orientações do regulamento sobre a classificação ou enquadramento das águas que faz parte da lei sobre o

saneamento ambiental para o Canadá. O RCA estabelece as categorias e as normas de qualidade de água e sublinha os métodos administrativos e as exigências para que se dê a classificação das águas (CHRISTOFIDIS, 2006).

A classificação das águas coloca a água dos lagos e os rios ou os segmentos de rios em categorias ou classes baseadas nos objetivos de qualidade de água, assim como no Brasil. Os objetivos associados a uma categoria específica são estabelecidos em função (CHRISTOFIDIS, 2006):

1. das utilizações projetadas da água (conhecidos no Brasil como usos prioritários);
2. da qualidade da água;
3. da quantidade de água requerida para proteger os usos projetados.

E para Christofidis (2006) outro país, o México, promulgou em 2004 a Lei de Águas Nacionais, onde conta a Política Hídrica Nacional que instituiu como princípios fundamentais muitos valores considerados importantes para o enquadramento dos corpos d'água e para um melhor entendimento da gestão dos recursos hídricos naquele país.

A classificação da água no México é regulada pelos 135 parâmetros, emitidos nas Declarações de Classificação dos corpos d'água nacionais, segundo o Art. 87, da Lei das Águas Nacionais, que deverão conter: a delimitação do corpo d'água classificado, os parâmetros que devem ser cumpridos para descargas segundo o corpo d'água classificado, a capacidade de assimilação e diluição de poluentes pelo corpo d'água classificado, os limites máximos de descarga dos poluentes analisados, bases para fixar as condições particulares de descarga (CHRISTOFIDIS, 2006).

3.3.3 O Enquadramento no Brasil

Os primeiros marcos legais para o enquadramento dos corpos hídricos são: a Resolução CONAMA nº 20/1986 (CONAMA 20) e a Resolução nº 12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, de 19/07/2000 (CNRH 2000). E, atualmente as principais regulamentações para o enquadramento de corpos de água são:

- ✓ A Resolução CONAMA n° 357/2005 (CONAMA 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- ✓ A Resolução CONAMA n° 430/2011 (CONAMA 2011) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução n° 357 (CONAMA 2005).
- ✓ A Resolução CNRH n° 91/2008 (CNRH 2008), que estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos.

A Resolução CONAMA 357 (CONAMA 2005) classifica as águas doces em: “classe especial” e classes 1, 2, 3 e 4; e as águas salinas e salobras em: “classe especial” e classes 1, 2 e 3. Cita ainda que cabe a cada estado realizar o enquadramento de seus corpos de água e, enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2; as salinas, classe 5; e as salobras, classe 7, conforme figura 2 e figura 3. Por exemplo, se as águas de um rio são utilizadas para abastecer uma cidade, este é seu uso preponderante, e a sua qualidade deve estar de acordo com este destino (consumo para abastecimento humano, preparo de refeições e higiene pessoal e de seus pertences), ou seja, classe 1 após tratamento simplificado ou classes 2 e 3 após tratamento convencional.



Figura 2: Classes de enquadramento e qualidade da água.
Fonte: (ANA,2009).

ÁGUAS	CLASSE	DESTINAÇÃO
DOCES	ESPECIAL	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, com <u>desinfecção</u> - preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas - preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
	1	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após <u>tratamento simplificado</u> - proteção das comunidades aquáticas recreação de contato primário - irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película
	2	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após <u>tratamento convencional</u> - proteção das comunidades aquáticas - recreação de contato primário - irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto - aquicultura e à atividade de pesca
	3	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após <u>tratamento convencional ou avançado</u> - irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras - pesca amadora - recreação de contato secundário - dessedentação de animais
	4	<ul style="list-style-type: none"> - navegação - harmonia paisagística

Figura 3: Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos.

De acordo com a ANA (2009) o enquadramento deve considerar ainda três aspectos principais, conforme figura 4:

- ✓ o rio que temos que representa a condição atual do corpo d'água, a qual condiciona seus usos;
- ✓ o rio que queremos, representa a vontade da sociedade, expressa pelos usos que ela deseja para o corpo d'água, geralmente sem considerar as limitações tecnológicas e de custos e representa a “visão de futuro” para a bacia; e
- ✓ o rio que podemos ter que representa a visão mais realista, que incorpora as limitações técnicas e econômicas existentes para tentar transformar o “rio que temos” no “rio que queremos”.



Figura 4: Os “3 rios” considerados para o enquadramento.
 Fonte: ANA (2011)

A Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), destaca o enquadramento dos corpos de água em classes, como um processo decisório que envolve a qualidade da água, as cargas poluidoras e os custos para redução da poluição. Assim, busca-se garantir padrões de qualidade da água compatibilizados com os usos que dela se faz - ou se espera diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL 1997).

Considerado fundamental no setor do planejamento, o enquadramento é o instrumento da gestão de recursos hídricos que objetiva estabelecer o nível de qualidade (classe) a ser alcançado e mantido em um segmento de corpo d’água ao longo do tempo, não fundamentado apenas no seu estado atual, mas em níveis de qualidade que um corpo d’água deveria possuir para atender as necessidades definidas pela sociedade.

Conforme Tucci e Cordeiro (2004) a área de recursos hídricos é caracterizada como interdisciplinar e de interface com as diferentes áreas do conhecimento que procuram entender os processos naturais e antrópicos e que a adequada implantação desse instrumento requer, entre outros, uma série de dados e informações, muitos deles escassos, de difícil acesso ou inexistentes para uma dada região. No entanto, o processo de elaboração do enquadramento deve considerar toda a bacia como uma unidade de gestão de recursos hídricos. Assim, deverá ser realizado nos principais corpos de água onde possuem

informações necessárias para o diagnóstico e os não enquadrados não deverão gerar desconformidades nos rios enquadrados. Ressalta-se que esse processo de enquadramento de todos os corpos de água às vezes se torna inviável, pelo tamanho da bacia.

3.3.4 O Enquadramento no Tocantins

No Estado de Tocantins, a Política Estadual de Recursos Hídricos - Lei nº 1.307/02 (TOCANTINS, 2002) definiu que o instrumento de enquadramento dos corpos de água em classe de uso preponderante deve estar incluído no plano de bacia hidrográfica - PBH. No PBH do Entorno do Lago, onde a bacia em estudo está contemplada, foi proposto um enquadramento dos corpos hídricos em classes de uso e conservação. Os cursos hídricos que cortam as áreas urbanas de Palmas e adjacências (Ribeirão Taquaruçu Grande, Córregos Taquari, Machado, Tiúba, Prata, Brejo Comprido, Ribeirão Água Fria, Córregos Almescão, Atoleiro e Jaú) seriam enquadrados como classe 1 apenas em suas nascentes, quando estas se situarem no interior da APA. Já o restante dos trechos que cortam zonas urbanas atuais e de expansão, com diversos usos das águas, inclusive diluição de efluentes, seriam enquadrados como classe 2 até as suas desembocaduras no reservatório da UHE, conforme figura 5.

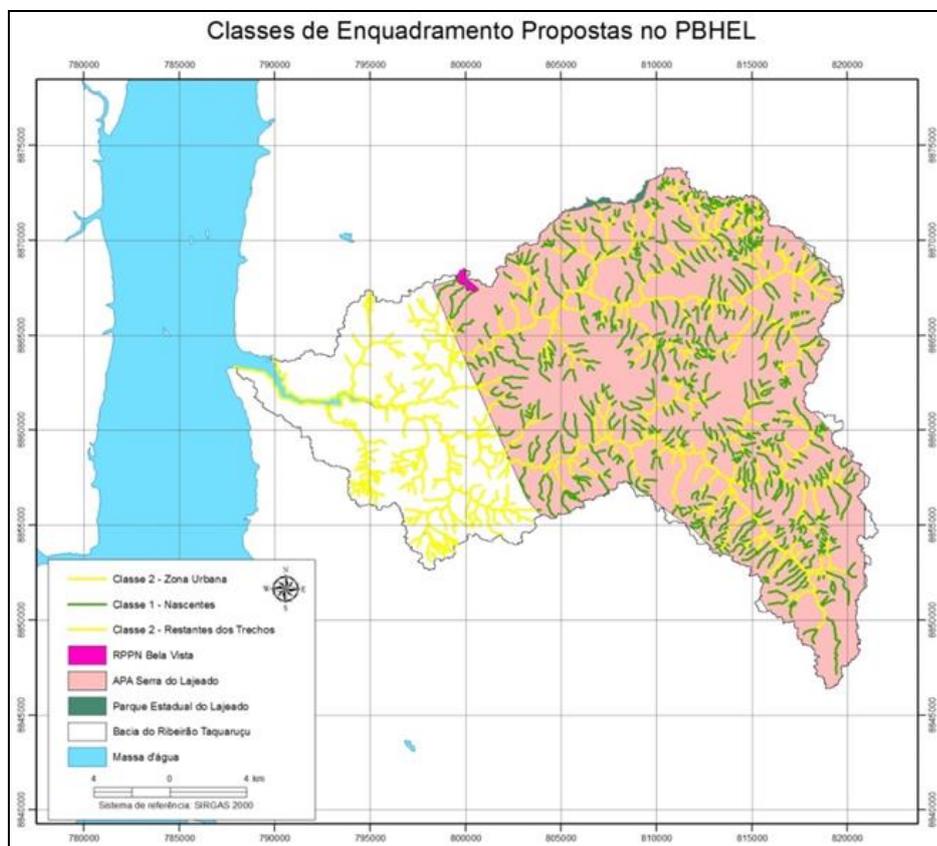


Figura 5: Classes de Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu segundo PBH do entorno do lago da UHE Luís Eduardo Magalhães.

Apesar da existência do PBH, o órgão gestor estadual tem adotado o disposto no Artigo 42 da Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), determinando que todos os corpos hídricos ainda não enquadrados, são considerados Classe 2. Dentre os aspectos decisórios relevantes detecta-se que para o enquadramento no estado pode-se elencar a falta dos planos de bacia, sendo uma de suas etapas, bem como a reduzida quantidade de Comitês de bacia instituídos, além disso, aonde há planos de bacia, as propostas de enquadramento não foram discutidas com a sociedade civil e usuários, o que os torna apenas documentos burocráticos.

3.4 Considerações sobre as Normativas de Enquadramento

Segundo Silva (1998), o enquadramento permite fazer a ligação entre a gestão da quantidade e a gestão da qualidade da água, o que torna esse instrumento importante para se estabelecer um sistema de vigilância sobre os níveis de qualidade da água dos mananciais. Em outras palavras, fortalece a relação entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão do meio ambiente. Assim, neste importante cenário de planejamento e inter-relação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, a proposta de referência para o enquadramento qualitativo e quantitativo aborda aspectos decisórios relevantes para a concretização do planejamento e gestão da bacia hidrográfica.

De acordo com resolução do CNRH n.º 91/08 (CNRH, 2008, Art. 3º), a proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devendo conter o seguinte:

- I - diagnóstico;
- II - prognóstico;
- III - propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e;
- IV - programa para efetivação.

Ainda, de acordo com a resolução, a elaboração da proposta de enquadramento deve considerar, de forma integrada e associada, as águas superficiais e subterrâneas, com vistas a alcançar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com os

usos preponderantes identificados. O processo de elaboração da proposta de enquadramento dar-se-á com ampla participação da comunidade da bacia hidrográfica, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho e outros.

E, segundo a resolução as propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento deverão ser elaboradas com vistas ao alcance ou manutenção das classes de qualidade de água pretendidas em conformidade com os cenários de curto, médio e longo prazo. Especificamente em seu parágrafo 1º as propostas de metas deverão ser elaboradas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade da água e das vazões de referência definidas para o processo de gestão de recursos hídricos.

No mesmo documento, o conjunto de parâmetros tem de ser definido em função dos usos pretendidos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, considerando os diagnósticos e prognósticos elaborados e deverá ser utilizado como base para as ações prioritárias de prevenção, controle e recuperação da qualidade das águas da bacia hidrográfica. As metas deverão ser apresentadas por meio de quadro comparativo entre as condições atuais de qualidade das águas e aquelas necessárias ao atendimento dos usos pretendidos identificados.

O programa para efetivação, segundo a mesma resolução em seu Artigo 7º, recomenda-se que a expressão de objetivos e metas articulados ao correspondente plano de bacia hidrográfica, quando existente, deve conter propostas de ações de gestão e seus prazos de execução, os planos de investimentos e os instrumentos de compromisso. No entanto este item não será possível de ser realizado, pois envolve articulação entre a sociedade civil organizada e os poderes públicos municipais, estaduais e federal para que possa ter a efetiva gestão e execução das recomendações pertinentes ao enquadramento da bacia.

Para a análise econômica das medidas de despoluição hídrica é fundamental para o estabelecimento de metas ou objetivos de qualidade em um corpo de água, uma vez que a disponibilidade de recursos financeiros poderá interferir na escolha e implementações de alternativas. Essa análise conjunta da disponibilidade de investimentos com os custos das medidas de despoluição possibilita avaliar a viabilidade financeira para o alcance da classe de enquadramento desejada. Dessa forma, pode-se dizer que a gestão de recursos hídricos e os

investimentos formam um bloco indissociável para a solução dos problemas relacionados à poluição hídrica (BRITES 2010).

E ainda, conforme Brites (2010) visto a falta de dados referentes aos custos das medidas de despoluição e a dificuldade de acesso público a esses dados, ressalta-se a necessidade de divulgação de estudos e levantamentos que possibilitem o uso dessas informações para a seleção de alternativas de despoluição adequadas para a região de estudo.

Mas, de acordo com a metodologia da ANA, mais coesa, especificamente voltada para o enquadramento do que a resolução do CNRH nº 91/08 que é direcionada a obtenção de um Plano de Bacias obtendo como um dos resultados o enquadramento, e ainda justificada pela não obtenção de todas as informações necessárias para se elaborar uma proposta de enquadramento da bacia, adotaram-se os seguintes procedimentos de enquadramento, consultados em <http://portalpnqa.ana.gov.br/enquadramento-procedimentos.aspx>:

3.5 Inter-relação do Instrumento Enquadramento com outros Instrumentos de Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos

O enquadramento e os planos de recursos hídricos são os instrumentos destinados ao planejamento, e que servem de referência para outros dois instrumentos: outorga e cobrança pelo uso da água. Entretanto, a elaboração dos planos de recursos hídricos e do enquadramento necessita de bases técnicas confiáveis e representativas, daí sua relação estreita e a dependência junto ao Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos estruturados (ANA, 2009).

Deve-se observar que todos os instrumentos de gestão são interligados entre si, haja vista que para uma outorga ser emitida, preliminarmente deve ser consultado o Sistema de Informações para verificar a disponibilidade hídrica da bacia e demandas dos usuários à jusante e à montante, em seguida devem ser observados os critérios de alocação de água definidos pelo Plano de Bacias, esses critérios devem respeitar as metas de qualidade definidas no enquadramento e, ainda, deverão determinar os quantitativos a serem arrecadados pela Cobrança (ALMEIDA, 2002; SILVA e MONTEIRO, 2004; ANA, 2009).

É por meio do instrumento da outorga de direitos de uso de recursos hídricos que o órgão ambiental competente irá controlar quantitativa e qualitativamente os usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a ela. Assim, a emissão da outorga deverá estar em consonância com a operação dos outros instrumentos de gestão, como as classes de qualidade de água definidas pelo enquadramento dos corpos hídricos e as prioridades na alocação da água constante nos Planos de Recursos Hídricos nos estados e na federação.

Estão previstos no Artigo. 7º da Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997) as diretrizes e o conteúdo mínimo dos planos de recursos hídricos são considerados como um instrumento de Planejamento Estratégico da Bacia Hidrográfica e, Plano Diretor para a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, o diagnóstico e prognóstico de uso e ocupação do solo; o aproveitamento de recursos hídricos da bacia hidrográfica; as alternativas a serem utilizadas para a definição do enquadramento dos corpos hídricos, bem como as viabilidades econômicas e políticas para a realização do enquadramento, deverão ser definidas no plano da bacia hidrográfica.

Com relação ao instrumento de cobrança por uso dos recursos hídricos, a própria Lei 9.433/97, em seu Artigo. 20º dispõe que: “Serão cobrados os usos dos recursos hídricos sujeitos à outorga.” Isso significa que o regime de Outorga procura, em última análise, instituir cobrança por uso de água proporcional à sua utilização. Em outros termos, a água é tida pela própria legislação como um bem público de uso comum, o que fundamenta a instituição de cobrança proporcional aos usos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, como forma de incentivar uma utilização racional da água.

No que se refere à cobrança pelo uso da água, ainda não foi efetivado em nenhuma bacia hidrográfica do Estado, entretanto, o Governo Estadual, por meio da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH contratou uma empresa de consultoria para elaboração de um estudo de metodologia e avaliação dos impactos da Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos na bacia hidrográfica do rio Formoso. Essa bacia já apresenta um histórico de conflitos pelo uso da água em função da grande demanda advinda dos projetos de agricultura irrigada, instalados nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, na Planície do Araguaia.

Os sistemas de informações, por serem instrumentos de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre os recursos hídricos, fornecem subsídios para o desenvolvimento das várias fases do processo de enquadramento (avaliações diagnósticas e prognósticas e mobilização social para o enquadramento) assegurando o acesso aos dados e informações sobre os recursos hídricos a toda a sociedade. De positivo, ressalta-se que em 2014 foi celebrado um convênio entre a SEMARH e a FAPTO para a elaboração do Plano Estadual de Gestão de Informações, constituindo assim o passo preliminar para a futura implantação do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os instrumentos, quando sincronizados e harmônicos, asseguram na prática a efetivação dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. A figura 6 apresenta a inter-relação proposta pela Agência Nacional das Águas.

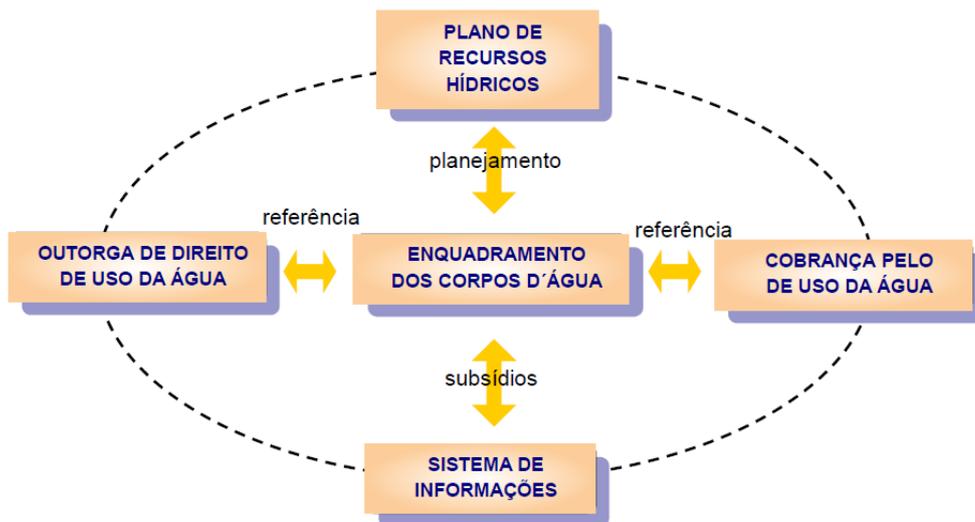


Figura 6: Inter-relação entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.
Fonte: (ANA, 2007)

O enquadramento dos corpos d'água é um importante instrumento de planejamento e gestão ambiental em bacias hidrográficas, cujo objetivo é assegurar às águas qualidade compatível com os usos a que forem destinados, diminuir os custos do combate à poluição hídrica e orientar as ações de controle ambiental (ANA, 2009).

3.6 Aspectos Jurídicos e Institucionais

Nesta parte são descritas as legislações pertinentes às instituições públicas, federal e estadual que possuem competência para analisar, avaliar e fiscalizar os projetos relacionados à gestão dos recursos hídricos, bem como o arcabouço legal aplicável, ao enquadramento composto por leis, decretos e resoluções relacionados no Quadro 2.

Quadro 2: Arcabouço legal vigente federal e estadual aplicável aos recursos hídricos.

Leis e Resoluções Federal e Estadual sobre enquadramento dos corpos de água em classes	
Federal	
Lei/Resoluções	
Norma	Ementa
Lei nº. 9.433/1997	Define o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água.
Resolução do CONAMA 357/2005	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 do CONAMA 430/2005	Complementa e altera a Resolução nº 357/2005 e Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementam e alteram a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.
Estadual	
Lei	
Lei nº 1.307, de 22 de Março de 2002.	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências.
Decretos	
Decreto nº 2.432, de 06 de junho de 2005.	Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os Artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002.

3.7 Comitês das bacias hidrográficas - CBHs

Os comitês de bacias são órgãos deliberativos e normativos das bacias hidrográficas, onde é assegurada a participação paritária de representantes da sociedade civil e dos usuários. Atualmente, estão instituídos e em funcionamento no Estado de Tocantins 04 comitês de bacias hidrográficas, são eles: Comitê da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago UHE – Luís Eduardo Magalhães; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves e; Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda. Os Comitês de bacias do rio Palma e dos rios Balsas e São Valério ainda não foram

instituídos, todavia, os esforços para a criação da comissão pró-comitê da bacia do rio Palma, iniciaram no ano de 2007 e ainda não obtiveram sucesso (CORDEIRO, 2011).

A bacia do Ribeirão Taquaruçu está inserida na área de responsabilidade do Comitê das Bacias Hidrográficas do Entorno do Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães (CBHEL), abrangendo 20 bacias hidrográficas de 20 municípios afetados pela formação do lago da hidrelétrica, incluindo Palmas. O comitê foi instituído em 07 de novembro de 2011 por meio do Decreto Estadual nº 4.434 e tem por finalidade promover a gestão dos recursos hídricos, visando o desenvolvimento sustentável das Bacias Hidrográficas do Entorno do Lago; a viabilização técnica, econômica e financeira dos programas de investimento e a consolidação das políticas de estruturação urbana e regional.

O colegiado tem sede em Palmas e possui 38 membros que representam a sociedade civil organizada; os usuários da água das 20 bacias hidrográficas e o poder público nas esferas federal, estadual e municipal. Essa composição é dividida da seguinte maneira: 30% de representantes do poder público, 30% da sociedade civil e 40% de usuários de água, sendo que a escolha das entidades que o integram é realizada a cada 02 anos. Uma vez eleitas as entidades, ocorre eleição para escolha do Presidente, do Vice-Presidente e do Secretário Executivo entre os seus pares para compor a sua diretoria.

3.8 Proposições de Modelos Matemáticos para o Enquadramento

Para Porto e Azevedo (1997) o melhor sistema de apoio à decisão - SAD não é obrigatoriamente aquele que utiliza as melhores técnicas, mas o que é capaz de induzir às melhores decisões. De acordo com esses autores os SAD são sistemas computacionais que tem por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados), tal como ocorre no processo de planejamento e enquadramento de recursos hídricos.

Segundo Collischonn (2001) o processo de planejamento de recursos hídricos exige, em diversos estágios da sua implementação, a necessidade de tomadas de decisão, para isso

são utilizados os modelos matemáticos de simulação dos processos hidrológicos, hidráulicos, e de qualidade das águas como forma de representação da realidade da bacia e de geração de cenários futuros e modelos baseados em metodologia multicriterial como suporte a tomada de decisão do gestor, sobre que caminho escolher na definição do cenário futuro a ser configurado como objetivo do plano, que resulta no Enquadramento, nas metas e nas diretrizes do plano de bacia. onde verifica-se a necessidade de duas famílias de modelos.

O software MGB-IPH, modelo de grandes bacias é um pacote de modelos de simulação hidrológica e hidráulica, que tem capacidade de representar desde o início da formação do escoamento, simulando a transformação da chuva em vazão, até o escoamento em rios, canais e reservatórios (Collischonn, 2002).

O SAD-IPH realiza a modelagem hidrológica de balanço hídrico e qualidade da água e fornecer elementos para tomada de decisões quanto aos cenários futuros, e pode servir para subsidiar as alternativas de enquadramento, justificando assim a escolha da utilização de duas famílias de modelos: os modelos matemáticos de simulação dos processos hidrológicos e os baseados em metodologia multicriterial como suporte a tomada de decisão do gestor (KAYSER, 2011).

3.8.1 Modelos de Grandes Bacias Hidrográficas – MGB-IPH

O modelo MGB-IPH é um modelo distribuído que simula o processo de transformação chuva-vazão e foi desenvolvido em 2001 por Walter Collischonn, do IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul) (COLLISCHONN, 2001).

Esse modelo apresenta uma discretização da bacia em unidades irregulares definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e denominadas minibacias e foi desenvolvido para aplicações em grandes bacias hidrográficas, com áreas superiores a aproximadamente, 10.000 km². No entanto em contato direto com o autor ele informou que o modelo poderia ser aplicado à bacia do Ribeirão Taquaruçu, que apresenta

uma área inferior a 500 km² e mesmo assim simular os processos necessários à aplicabilidade da ferramenta e ter sucesso.

A estrutura do modelo MGB-IPH foi inicialmente baseada nos modelos hidrológicos LARSIM apresentado por Bremicker (1998) e VIC-2L (Wigmosta *et al.*, 1994; Liang *et al.*, 1994; Nijssen *et al.*, 1997), com algumas modificações nos módulos de balanço de água no solo, evapotranspiração, percolação e propagação de vazões. O modelo incorpora informações de características físicas importantes das bacias, como o relevo e os tipos de solos, bem como sua distribuição no espaço. Esse aspecto é particularmente importante em bacias com características variadas, como em regiões com afloramentos rochosos e com alto potencial de geração de escoamento superficial (COLLISCHONN, 2001).

O modelo MGB-IPH é composto dos seguintes algoritmos: i) Balanço de água no solo é realizado de maneira independente para cada bloco de uso onde o escoamento superficial é gerado por excesso de capacidade de armazenamento, com uma relação probabilística entre a umidade do solo e a fração de área do solo saturada (onde a infiltração é nula); ii) Evapotranspiração, calcula a evaporação e a transpiração pela equação de Penman-Monteith, de modo semelhante ao utilizado por Wigmosta *et al.* (1994); iii) Interceptação, ou retenção da água da chuva pela vegetação, é simulada através de um reservatório de volume dependente da cobertura vegetal; iv) Escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula, que são os termos D_{sup} , D_{int} e D_{bas} respectivamente, são processos, representados através das relações com o volume de água no solo, no caso do escoamento interno da célula estes três tipos de escoamento estão separados, porém ao atingir a rede de drenagem eles são agregados; e v) Escoamento na rede de drenagem, realiza a propagação nos trechos de rio utilizando o método de Muskingum-Cunge (Tucci, 1998), que relaciona a vazão de saída de um trecho de rio, em um intervalo de tempo qualquer, às vazões de entrada e saída no intervalo de tempo anterior e à vazão de entrada no intervalo atual, conforme figura 7.

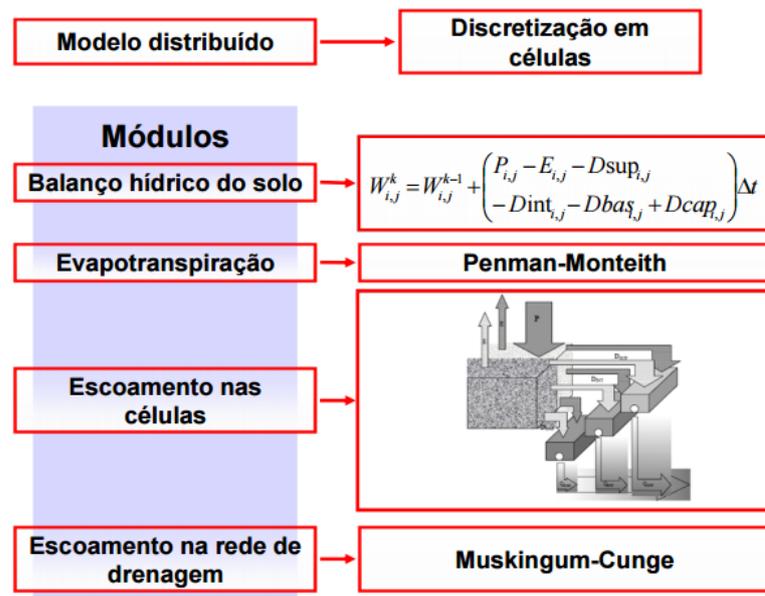


Figura 7: Etapas a serem cumpridas para aplicação na ferramenta MGB-IPH.
Fonte: (Collischonn, 2001).

Esse modelo já foi aplicado em várias regiões do Brasil na previsão de vazões e simulação hidrológica, como por exemplo: nas bacias do Rio Taquari–Antas – RS, Rio Taquari – MS, e do Rio Uruguai (COLLISHONN, 2001); na bacia do Rio Negro (GETIRANA, 2009); na bacia do Rio Solimões – AM (PAIVA, 2009); na bacia do Rio dos Sinos – RS (PEREIRA, 2012). O modelo MGB-IPH também foi utilizado para simulações de qualidade da água, na dispersão de poluentes nos corpos d’água, na bacia do Rio Taquari–Antas – RS (LARENTIS, 2004) e nas bacias do Rio Ijuí – RS e do Rio São Francisco – MG (FAN, 2013) e para a modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba – MG (SILVA, 2014).

Uma grande vantagem sobre o modelo MGB-IPH foi sua integração a um software livre de SIG, facilitando não só a organização e formatação dos dados de entrada do modelo, como também a interpretação de resultados e as saídas de dados (FAN e COLLISCHONN, 2012). Utiliza técnicas específicas para entrada dos dados, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (BUARQUE *et al* , 2009). Além disso, o modelo MGB-IPH conta com uma rotina de calibração automática multi-objetivo dos seus parâmetros, desenvolvida por YAPO *et al* (1998) e adaptada por COLLISCHONN e TUCCI (2003) e BRAVO *et al* (2009).

Segundo FAN (2012) aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH requer a preparação de alguns planos de informação, como o Modelo Digital de Elevação (MDE), direções de fluxo, áreas acumuladas de drenagem, comprimentos e declividades dos trechos de rio, e uso e tipos de solo. Tais informações são utilizadas para caracterizar fisicamente a bacia dentro da representação dos processos hidrológicos modelados. Dados de vazão são também necessários para a calibração do modelo.

A partir do MDE é realizada a divisão em bacia, sub-bacias e minibacias. A bacia é a área total que será representada no modelo hidrológico. As minibacias são as menores unidades em que a bacia é dividida (discretizada). As sub-bacias são unidades maiores do que as minibacias e menores do que a bacia, que podem ser utilizadas para a definição de valores de parâmetros do modelo hidrológico e nos procedimentos de calibração. O quadro 3 apresenta um sumário dos níveis de subdivisão de bacia hidrográfica que é adotado no MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001).

Quadro 3: Os níveis de subdivisão da bacia adotados pelo modelo MGB-IPH.

Unidade	Descrição
Bacia Hidrográfica	Região hidrográfica de estudo simulada pelo modelo.
Sub-bacia hidrográfica	Subdivisão da bacia hidrográfica de estudo em grandes áreas de drenagem.
Mini-bacia Hidrográfica	Subdivisão da bacia hidrográfica em pequenas regiões formadas pela área de drenagem de cada trecho da rede de drenagem.

Fonte: Collischonn (2001).

Os parâmetros fixos das URHs podem ser obtidos da bibliografia (ex. SHUTTLEWORTH, 1993; COLLISCHONN, 2001) e não são calibrados, embora apresentem variação ao longo do tempo. Geralmente, tem valores que podem ser medidos, relacionados à vegetação e não interferem de forma significativa nos resultados (FAN, 2013).

A descrição dos parâmetros fixos que devem ser definidos para o uso do MGB-IPH está apresentada no quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH.

Parâmetro Fixo	Descrição
Índice de Área Foliar (IAF)	O IAF expressa a relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. É um parâmetro adimensional ($m^2 \cdot m^{-2}$) e que, em geral, pode ser medido ou estimado a partir de informações na bibliografia.
Albedo	O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal.
Resistência Superficial	A resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. Esta resistência é diferente para os diversos tipos de plantas e dependem de variáveis ambientais como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta.
Altura do Dossel	A altura média da vegetação é utilizada no modelo hidrológico para estimar a resistência aerodinâmica, que atua no controle da evapotranspiração. Quanto maior a resistência aerodinâmica, menor é o fluxo de evapotranspiração. A resistência aerodinâmica é considerada menor em florestas, onde a altura média da vegetação é maior e intensifica a turbulência do vento.

Fonte: Fan (2011).

Os parâmetros calibráveis, que estão associados às propriedades físicas das URHs, ou diretamente às minibacias, podem ser alterados durante a calibração do modelo, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e os calculados. O Quadro 5 sumariza os parâmetros calibráveis do modelo (Fan, 2011).

Quadro 5: Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH.

Parâmetro Calibrável	Descrição
Capacidade de Armazenamento do Solo (Wm)	Capacidade de armazenamento de água no solo.
Forma da relação entre armazenamento e saturação (b)	Parâmetro empírico que define a variabilidade da capacidade de armazenamento do solo em torno de Wm.
Taxa de percolação para aquífero (Kbas)	Parâmetro que controla a taxa de percolação para o aquífero durante a estiagem. Valores mais altos implicam em maior escoamento subterrâneo.
Quantidade de água que escoar sub-superficialmente (Kint)	Parâmetro controla a quantidade de água da camada de solo que escoar sub-superficialmente.
Forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL)	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo.
Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP)	Controla a possibilidade de retorno de água subterrânea para a camada de solo.
Armazenamento Residual (Wc)	Limita o armazenamento residual e subterrâneo.
Calibração da propagação superficial (CI)	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas mini-bacias.
Calibração da propagação sub-superficial (CS)	Parâmetro para calibração da propagação subterrânea nas mini-bacias.
Retardo do reservatório subterrâneo (CB)	Parâmetro que representa o retardo do reservatório subterrâneo.
Vazão de Base (QB)	Parâmetro que representa o fluxo de base da mini-bacia.

Fonte: Fan (2011)

De acordo Collischonn (2001), ao final da calibração, o modelo hidrológico pode ser utilizado com todos os conjuntos de parâmetros encontrados, gerando uma família de hidrogramas, que define uma banda de incerteza das vazões previstas.

De acordo com o mesmo autor o modelo exige alguns parâmetros calibráveis que são alterados a cada aplicação, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e calculados.

Para a preparação do modelo MGB-IPH são necessários as seguintes séries de dados:

- ✓ séries de dados de vazões de rios em postos fluviométricos;
- ✓ séries de dados de precipitação em postos pluviométricos;
- ✓ séries de dados de variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, pressão atmosférica).

A calibração do módulo hidrológico é realizada, com a série histórica de dados climatológicos e hidrológicos disponíveis, pelo método de tentativas variando os parâmetros fixos e calibráveis do modelo. Nessa etapa os valores de precipitação observados nos postos pluviométricos são utilizados para estimar a precipitação em todas as células do modelo, em todos os dias da simulação. O método de interpolação utilizado é a interpolação de Thiessen (COLLISCHONN, 2001).

A bacia é sub-dividida em células quadradas (geralmente, da ordem de 10 x 10 km) interconectadas entre si por uma rede de drenagem (Figura 8-a). Cada célula está dividida em blocos ou unidades de resposta hidrológica, sem considerar a localização dentro da célula (Figura 8-b). Essa abordagem segue a consideração das Grouped Response Units (GRUs) de Kouwen *et al.* (1993), permitindo levar em conta a variabilidade das características físicas da bacia no interior de cada célula. O número de blocos é escolhido de acordo com o número de grupos resultantes da combinação das características de uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo. Um bloco é caracterizado por uma série de parâmetros, como o armazenamento máximo no solo e o índice de área foliar da vegetação (COLLISCHONN, 2001).

As URH também denominadas blocos, que são áreas de comportamento hidrológico similar definido pela comparação do tipo de solos com a cobertura e uso, esses mapas são combinados e reclassificados em um SIG, gerando um novo mapa de classes hidrológicamente relevantes, com o objetivo de diferenciar as regiões de acordo com os processos hidrológicos predominantes. Os processos hidrológicos verticais, incluindo interceptação, evapotranspiração, balanço de água no solo, geração de escoamentos superficial e sub-superficial e percolação ao aquífero, são simulados para as URH, somados e

propagados nas mini-bacias, sendo posteriormente propagados pela rede de drenagem representando os processos hidrológicos horizontais do sistema (COLLISCHONN, 2001).

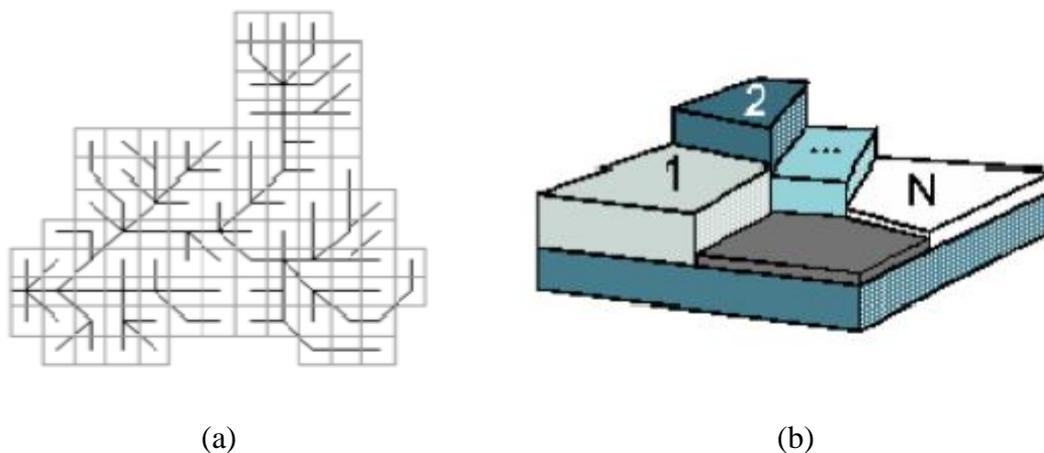


Figura 8: (a) Células do modelo hidrológico MGB-IPH interconectadas pela rede de drenagem; (b) URH (blocos) de uso/tipo de solo em uma célula do modelo subdividido em minibacias. (Fonte: Collischonn e Tucci, 2001).

3.8.2 Sistema de Apoio à Decisão - SAD-IPH

O SAD-IPH foi desenvolvido, por meio de um projeto de graduação intitulado Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de Recursos Hídricos Integrado a um SIG: Desenvolvimento e Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), visando à integração de sistemas de apoio à decisão com modelos hidrológicos e SIG, cuja base é o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - MGB-IPH, (KAYSER, 2011).

É um sistema integrado a um software de SIG (*MapWindow*) e, que possui uma relação de conexão feita por meio de um plug-in. Esta conexão corresponde a um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica e permite a análise de ofertas e demandas de água em bacias hidrográficas tanto no aspecto quantitativo como qualitativo (FRAGOSO JR. *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2009; KAYSER, 2009).

De acordo com o Kayser (2009) os atributos mais importantes para o SAD-IPH são: a vazão, que pode ser inserida de duas formas, com equações de regionalização ou pela aplicação do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH); o comprimento; a

declividade e a área de drenagem. As etapas seguintes são necessárias para a sua aplicação: discretização da bacia; definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio; definição de parâmetros gerais de simulação; introdução de demandas consuntivas e lançamentos de efluentes; cálculo das condições de quantidade e qualidade em cada trecho de rio. Os dados da disponibilidade são obtidos da aplicação do modelo chuva-vazão MGB.

O produto final mais importante da etapa de discretização da bacia é um arquivo vetorial correspondente à rede de drenagem, dividida em trechos definidos como uma parte da rede de drenagem localizada entre duas confluências; ou entre o início da rede de drenagem e uma confluência. Cada trecho de rio tem vários atributos, que são as variáveis que caracterizam o trecho, a figura 9 ilustra um esquema de uma rede de drenagem associada a sua tabela de atributos. A tabela mostra os códigos que estabelecem a topologia da bacia. A definição dos valores da maior parte dos atributos dos trechos de rio da rede de drenagem é realizada utilizando um programa denominado PrePro-MGB, que também é utilizado para realizar parte do pré-processamento para a aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH (SILVA, 2014).

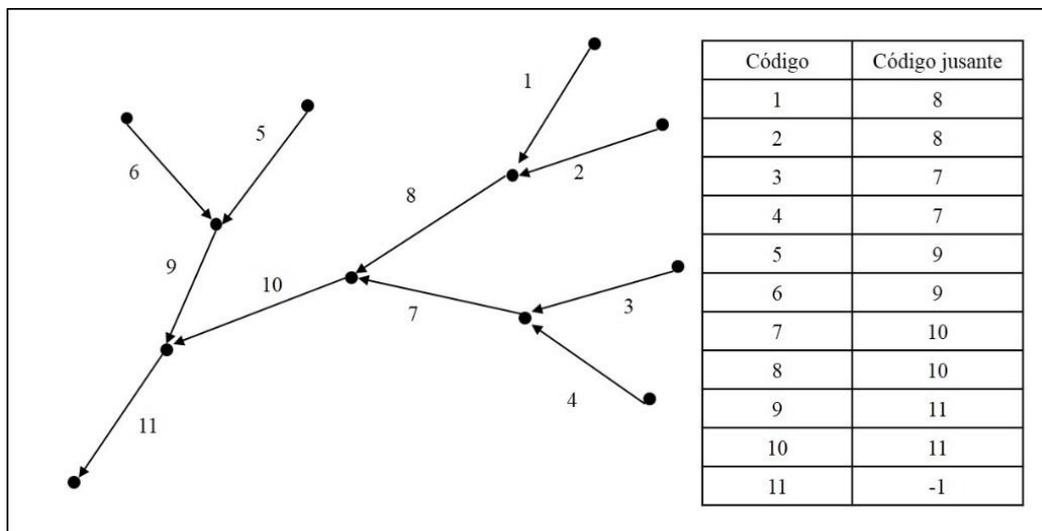


Figura 9: Exemplo de rede de drenagem ilustrando a estrutura topológica da bacia.
Fonte: Kayser (2009)

As informações referentes aos usuários de água da bacia e da rede de drenagem podem ser inseridas no SAD-IPH de três formas distintas, conforme figura 10.

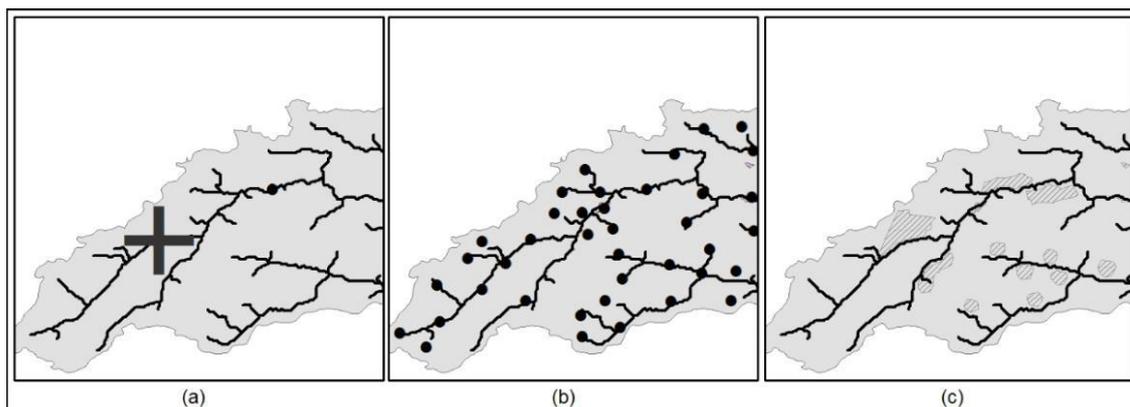


Figura 10: formas de inserção dos usuários de água da bacia: (a) inserção por seleção de trecho, de forma manual, (b) de forma automática por meio de uma tabela de valores, e (c) inserção automática por meio do carregamento de um arquivo vetorial.

Fonte: Collishonn (2001).

Segundo Collishonn (2001), uma das potencialidades do uso desse modelo é o fato de poder se conectar diretamente a um banco de dados geoespacial e gerar mapas ilustrativos do comprometimento da disponibilidade de água existente sobre a rede de drenagem, podendo ser flexível para qualquer bacia hidrográfica, estar constituído com ferramentas de configuração de *layers*, inserção dos dados de disponibilidade hídrica, inserção e edição de usuários e visualização dos resultados. São realizados cálculos quantitativos e qualitativos, o que significa que é possível avaliar as demandas e ofertas do ponto de vista de vazão e concentração de poluentes. Os dados da disponibilidade são obtidos da aplicação do modelo chuva-vazão MGB, descrito antes neste texto.

O SAD-IPH também permite avaliar a parte qualitativa da bacia, realizando simulações de lançamentos pontuais e contínuos ao longo da rede de drenagem e o transporte do poluente ao longo do trecho do simulado segue o modelo Streeter-Phelps (Chapra, 1997) e para o módulo de simulação da qualidade da água, analisa os seguintes parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), formas nitrogenadas (nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e coliformes termotolerantes. Para cada parâmetro, são considerados os ajustes necessários na etapa de transporte das concentrações (SILVA, 2014).

Segundo Porto *et al.* (1997) a figura 11 apresenta um esquema das operações realizadas pelo SAD-IPH, onde a linha tracejada indica as operações que são executadas no próprio sistema, já a etapa de pré-processamento é responsável pela geração do banco de

dados da bacia hidrográfica, enquanto que os dados dos usuários são inseridos por meio da interface do sistema, onde é criado um banco de dados específico para eles.

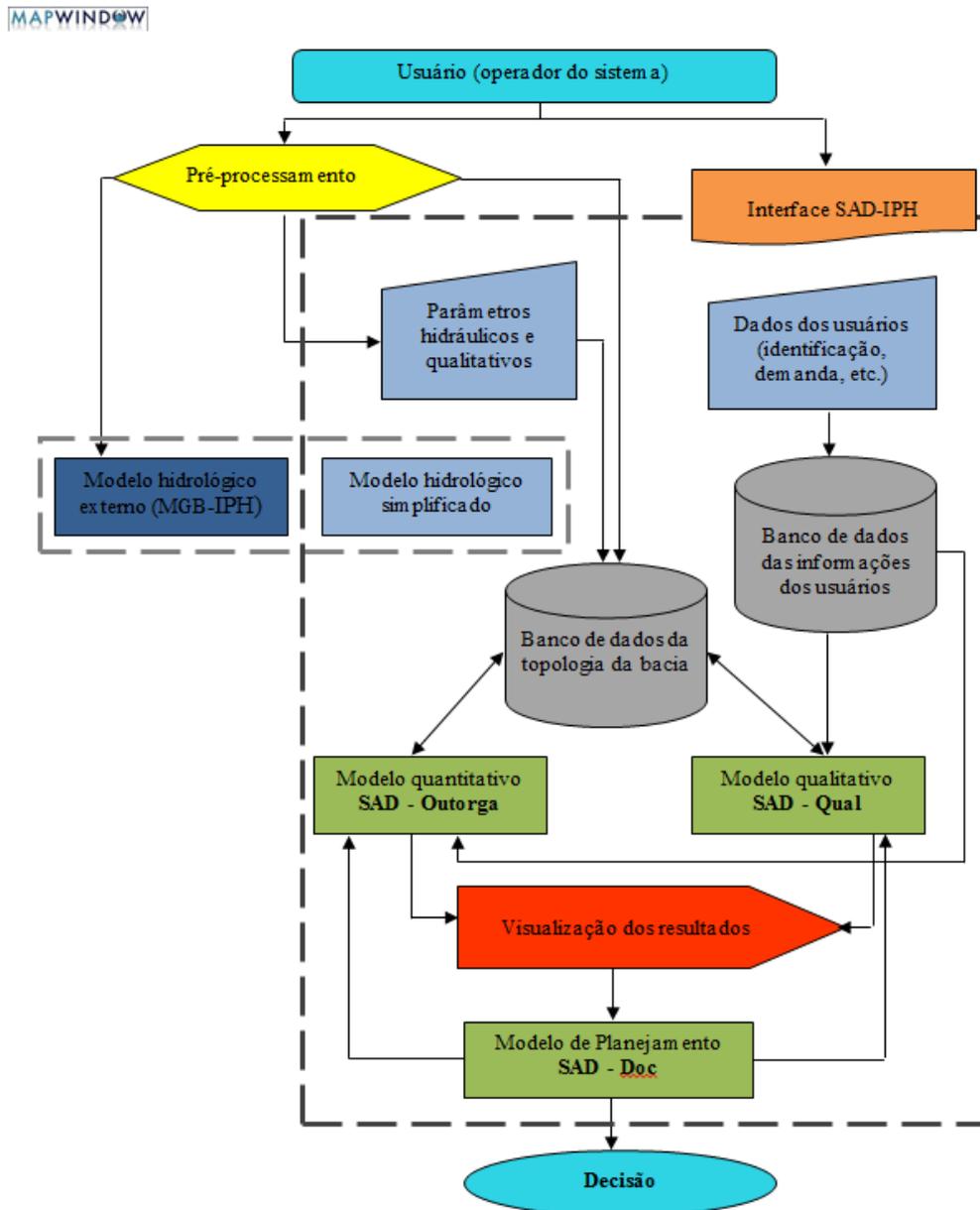


Figura 11: Esquema de funcionamento do SAD-IPH.

As etapas como: discretização da bacia; definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio; definição de parâmetros gerais de simulação; introdução de demandas consuntivas e lançamentos de efluentes; cálculo das condições de quantidade e qualidade em cada trecho de rio e análise e visualização dos resultados se fazem necessárias para a aplicação do SAD-IPH. Maiores detalhes sobre esta versão são apresentadas por Kayser (2011).

4 MATERIAIS E METODOS

Nesse capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados para elaborar a proposta de enquadramento das águas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, integrando-se, um modelo hidrológico chuva-vazão distribuído e um sistema de apoio à decisão associado ao Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Conduziu-se este trabalho a partir das seguintes etapas conforme figura 16:

1. Aquisição de dados secundários;
2. Área de Estudo: Bacia do Ribeirão Taquaruçu;
3. Diagnóstico dos recursos hídricos;
4. Prognóstico dos recursos hídricos e
5. Elaboração das propostas de enquadramento.

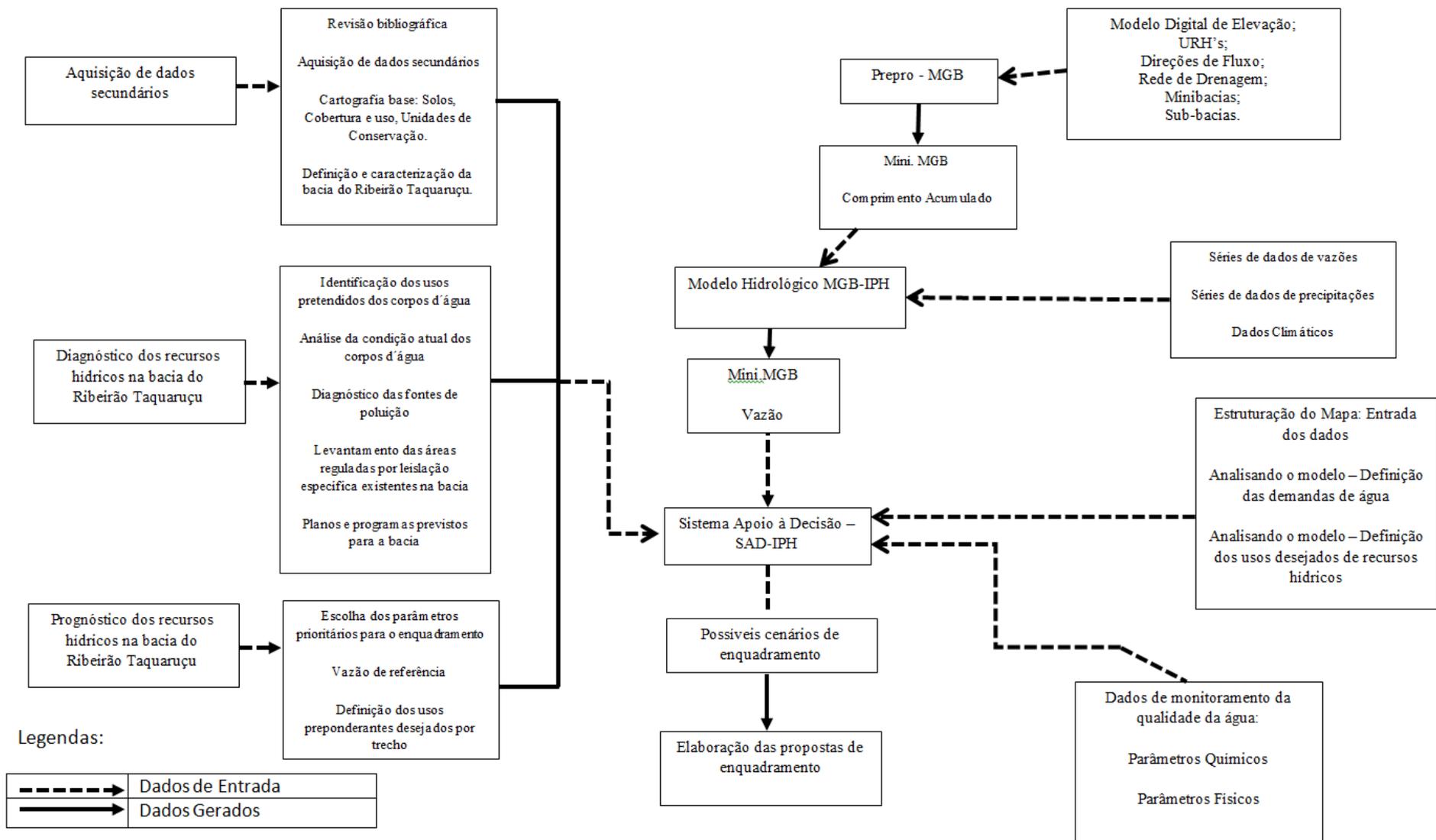


Figura 12: Fluxograma das etapas desenvolvidas neste estudo.

4.1 Etapa 1: Aquisição de Dados Secundários

A etapa de aquisição de dados secundários iniciou-se com a revisão bibliográfica, a cartografia base, a definição e caracterização da bacia do Ribeirão Taquaruçu envolvendo solos, cobertura e uso e unidade de conservação. A revisão bibliográfica foi realizada em fontes diversas, além do emprego das bases existentes dos projetos desenvolvidos na bacia do Ribeirão Taquaruçu, considerando o rigor científico.

Os produtos Uso e Cobertura do Solo e Unidades de Conservação foram obtidos a partir da cartografia base oriundos do projeto de Atualização Cartográfica e Mapeamento do Uso do Solo do Município de Palmas - TO, executado em cumprimento ao TAC 25º Promotoria de Justiça da Capital com a Empresa de Saneamento do Tocantins (Saneatins). Os mesmos foram elaborado a partir de imagens SPOT 5, com 2,5 mts de resolução espacial, imageado no ano de 2011 (Junho/Julho), com o sensor *HRC (Hight-Resolution Geomatic)*. Os dados de solos foram obtidos a partir de Santos (2000). Destaca-se que as variáveis utilizadas estão disponíveis em estudos recentes, o que facilita a sua obtenção.

Serão utilizados os seguintes softwares para a execução desse trabalho:

ArcGIS 10.3;

ArcHydro Tolls;

MapWindows 4.8.6;

PrePro-MGB;

Modelo de Grandes Bacias - MGB-IPH;

Sistema de Apoio a Decisão SAD-IPH.

4.2 Etapa 2: Área de Estudo: Bacia do Ribeirão Taquaruçu

4.2.1 Localização

A bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, localiza-se na parte centro-sul do município de Palmas, entre os paralelos 10°10'41" e 10°25'05" de latitude Sul e os meridianos 48°03'46" e 48°18'34" de longitude Oeste de Greenwich, apresenta 438,15 Km² de área, se estendendo por 29,2 km, como se observa na figura 12.

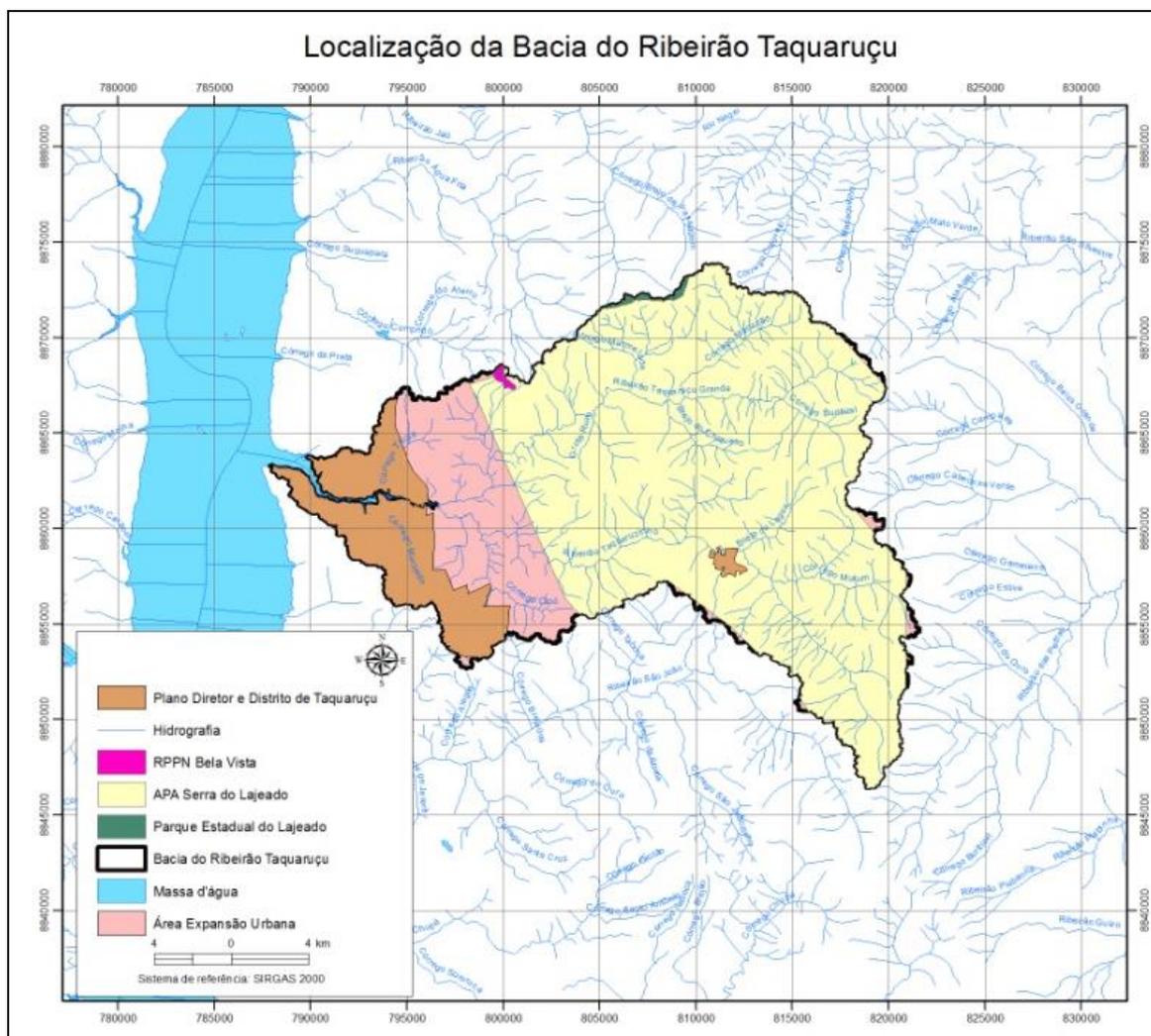


Figura 13: Localização da bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

A nascente do Ribeirão Taquaruçu está situada na Serra do Lajeado, onde ocorrem diversas cascatas e balneários de interesse para o ecoturismo, e sua foz se dá no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, junto à área urbana de Palmas (BARROS *et al.*, 2011). Esta

bacia hidrográfica é afluente direta do Rio Tocantins. Seus principais contribuintes pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçzinho, o Córrego Machado e o Córrego Buritizal e pela margem direita são os Córregos Macacão e Tiúba (SANTOS, 2000). É interceptada pelas rodovias estaduais TO-050, TO-020 e TO-030 que dão acesso às regiões norte, sul e leste do Estado (SEPLAN, 2004).

No aspecto preservacionista sua área contém uma Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN denominada Bela Vista com 58,11 ha. Além disso, parte do seu território, cerca de 32.817,68 ha, integra a APA Serra do Lajeado e uma pequena porção de 89,68 ha, do Parque Estadual do Lajeado. Essa APA tem como objetivo principal proteger os mananciais que abastecem a cidade de Palmas, bem como ordenar a expansão urbana, próximo à encosta da serra. Aproximadamente 5.185,85 ha consistem em áreas urbanas do município de Palmas e do Distrito de Taquaruçu.

A escolha da bacia do Ribeirão Taquaruçu como unidade de estudo é justificável diante de sua grande importância para o abastecimento público da cidade. Segundo Neto (2011), ela é a principal fonte de captação de água para consumo humano do município de Palmas, sendo responsável por 66% do abastecimento público da cidade, abrangendo os bairros Taquaralto, Jardins Aurenny I, II, III e IV e, parte da região central de Palmas. Ali também está implantada a principal estação de tratamento de água da capital (ETA-06), operada pela Companhia de Saneamento do Tocantins - Saneatins, atendendo aproximadamente 50 mil famílias.

Nos últimos anos, verificou-se um acentuado processo de degradação de suas matas ciliares, principalmente nas regiões de nascentes, devido ao intenso desmembramento de chácaras e fazendas para a instalação de loteamentos peri-urbanos, os quais foram impulsionados pela crescente especulação imobiliária no município, contribuindo para o aumento expressivo da demanda de água. Dessa forma, já é perceptível a redução da disponibilidade hídrica da bacia, principalmente na época de seca da região (junho a novembro), o que tem afetado o abastecimento público dos bairros atendidos pela ETA-06 e, conseqüentemente, estimulado a busca de alternativas por parte da companhia de saneamento (NETO, 2011).

A seguir, são apresentados os aspectos históricos de sua ocupação e seus aspectos ambientais necessários para o desenvolvimento do presente estudo.

4.2.2 Aspectos Históricos da Ocupação

Pelo fato da bacia do Ribeirão Taquaruçu abranger a área do Distrito de Taquaruçu e parte da área urbana do município de Palmas, o histórico de ocupação está relacionado com a criação do distrito, e posteriormente com a instalação da capital do Estado do Tocantins, Palmas.

Santos (1996) e Rios *et al.* (2010) relatam que migrantes agricultores advindos dos Estados do Maranhão e do Piauí deram início ao povoado de Taquaruçuzinho, entre as décadas de 1940 e 1960. Em busca de terras férteis, água para plantar, colher e sobreviver, foram atraídos pelas terras devolutas existentes no interior do ainda norte do Estado de Goiás, futuro Estado do Tocantins. Assim, se dedicaram inicialmente à agricultura de subsistência baseada em cereais como o arroz, milho, feijão e, principalmente a fava; à atividade extrativista do coco babaçu e à criação de animais domésticos, com significado na vida social, econômica e cultural da comunidade.

Ainda na década de 40, a localidade passou a ser denominada de Distrito de Taquaruçu, pertencente ao município de Porto Nacional. Naquela época possuía baixa densidade demográfica e grande deficiência em infraestrutura (UNITINS, 1999 *apud* BRITO, 2012). No decorrer da década de 50, o distrito era considerado um celeiro em extrativismo, no entanto na década seguinte, Taquaruçu perdeu importância econômica regional, em função da criação de várias cidades ao longo da rodovia BR-153 implantada naquela época (SANEATINS, 2007).

Durante o período compreendido entre 1970 e 1988, culminando com a constituição do Estado, a entrada de migrantes permaneceu praticamente estacionária na região. Mas, no decorrer da década de 1990 e primeira década do século XXI, ocorreu aumento dessa entrada devido ao fato do Distrito ter cedido seus direitos político-administrativos para a nova capital, Palmas, atraindo assim "uma nova leva de moradores: pequenos empresários, ecologistas,

produtores culturais, artesãos, artistas, esportistas, profissionais liberais e investidores em ecoturismo" (RUSCHMANN, 2002).

Uma série de acontecimentos resultou no desmembramento do Distrito de Taquaruçu de Porto Nacional para sua incorporação a Palmas. O primeiro evento ocorreu em 1º de janeiro de 1988, quando o Distrito de Taquaruçu foi desmembrado de Porto Nacional e elevado à categoria de município por meio da publicação da Lei Estadual nº 10.419, passando assim, a se denominar Taquaruçu do Porto. Em 18 de dezembro de 1989, foram criados os distritos de Taquaralto e Canela, sendo anexados ao referido município. Mas, após 11 dias, foi publicada a Resolução nº 28, extinguindo o município de Taquaruçu do Porto, passando a chamar-se Palmas. Dessa forma, Taquaruçu do Porto, passou novamente à categoria de Distrito, mas desta vez pertencendo à Capital (PALMAS, 2015).

Desde a criação de Palmas, a bacia do Ribeirão Taquaruçu vem sofrendo um processo de ocupação acentuado. Segundo estimativa, para o ano de 2015 o distrito de Taquaruçu conta com população equivalente a 5.469 habitantes. Se comparado com a região sul de Palmas, compreendendo os bairros de Taquaralto, Jardins Aurenys I, II, III e IV, Morada do Sol I, II e III, Vale do Sol, Setor Santa Fé, Setor Maria Rosa, Irmã Dulce e Bertaville, a população atinge aproximadamente 88.350 habitantes (PALMAS, 2014).

4.2.3 Aspectos Ambientais

4.2.3.1 Pedológico

De acordo com as unidades de mapeamento, sete ordens pedológicas são observadas na bacia: Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico; Gleissolo Háplico + Neossolo Flúvico; Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo + Plintossolo Pétrico; Plintossolo Pétrico; Neossolos Litólicos, como se observa na figura 14.

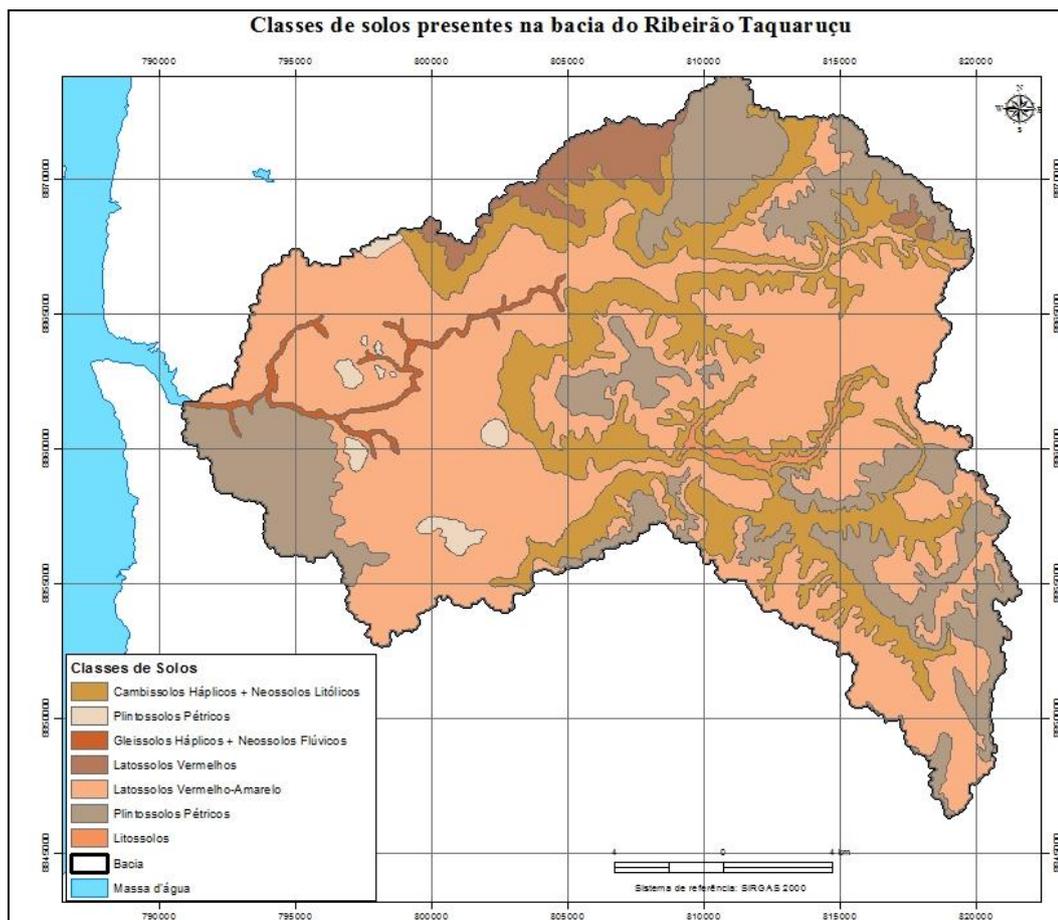


Figura 14: Classes e associações de classes de solos identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Os Plintossolos Pétricos e os Latossolos Vermelhos dominam grande parte da área de estudo. Nos Plintossolos Pétricos observa-se a grande quantidade de concreções lateríticas; são bastante susceptíveis à erosão linear, em sulcos e ravinas, por apresentarem uma grande quantidade de concreções presentes junto à massa do solo, resultado em uma permeabilidade; dominam o topo da chapada (Formação Pimenteiras), e apresentam algumas manchas isoladas na superfície rebaixada, estas últimas relacionadas aos materiais detrito-lateríticos. São solos profundos, bem drenados, com sequência de horizontes Ac, Bc e C. Geralmente ocorrem em superfícies movimentadas e em relevo suave ondulado até forte ondulado, ocupando principalmente posições dos topos de chapadas, sob vegetação de cerrado campo-cerrado.

Os Latossolos estão presentes em 03 principais sub-ordens: Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos Amarelo e Latossolo Amarelo. Esta classe de solos possui boa drenagem, caracterizados por apresentarem um horizonte B latossólico sob vários tipos de horizontes diagnósticos superficiais, boa drenagem interna, condicionada por elevada

porosidade e homogeneidade de características ao longo do perfil e, em razão disto, elevada permeabilidade. Este fato os coloca, quando em condições naturais, como solos de razoável resistência à erosão de superfície (laminar e sulcos). De distribuição esparsa, concentrando-se nos fundos de vale achatados e na superfície rebaixada, e pouca ocorrência nos topos aplainados da bacia. Apresentam textura média em sua maioria, ou argilosa em menores proporções, e estão associados à litologias graníticas. Algumas manchas estão situadas no alto dos relevos de topos tabulares, área dos arenitos da formação pimenteiras. Embora ocorrendo sobre substratos geológicos distintos, apresentam grande homogeneidade de características. Trata-se de solos muito intemperizados, ocorrendo em condições de relevo suave ondulado e plano, e estão cobertos por vegetação de Cerrado tropical sub-perenifólio, embora hoje esta vegetação natural esteja bastante alterada.

Com relação à erosão superficial, têm relativamente boa resistência em condições naturais ou de bom manejo, o que se deve principalmente às suas características físicas que condicionam boa permeabilidade e, por conseguinte, pouca formação de enxurradas na superfície do solo. Entretanto, sob uso intensivo e convencional, pode se tornar susceptível à erosão. Na bacia, sua maior utilização é de pecuária, onde se observa a ocorrência de erosão laminar, não ocorrendo grandes focos erosivos lineares (sulcos ou voçorocas).

Os Cambissolo Háptico + Neossolo Litólico estão presentes em pequenas faixas de relevo ondulado a fortemente ondulado e com declividades superiores a 20%.

Os Gleissolo Háptico + Neossolo Flúvico estão presentes à margem direita do Rio Tocantins, podendo ser considerado como um dos principais canais de drenagem da bacia, com relevo plano e declividade menor que 5%.

Já os Neossolos Litólicos estão presentes em zonas de relevo ondulado a fortemente ondulado e declividades superiores a 20%.

4.2.3.2 Uso e Ocupação do Solo

De acordo com levantamento realizado por Barros (2007), a bacia do Ribeirão Taquaruçu apresenta diferentes classes de uso e ocupação do solo, conforme figura 15.

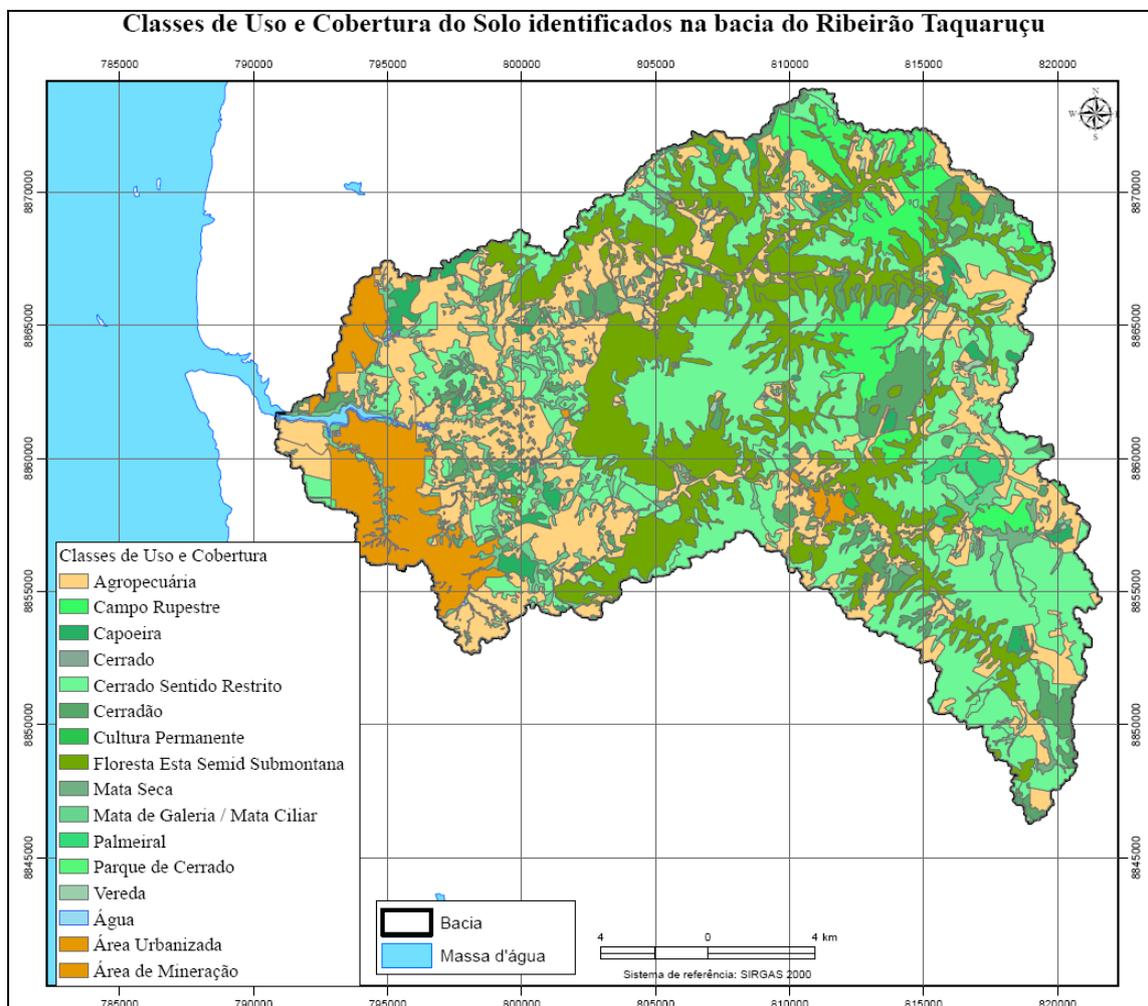


Figura 15: Classes e associações de classes de uso da terra identificados na bacia do ribeirão Taquaruçu.

Apesar de a área da bacia já apresentar considerável perturbação, a vegetação natural ainda ocupa sua maior parcela de área (70,94%). Conforme Unitins (1999) a vegetação predominante na bacia é formada por duas classes: Cerrado, e Cerrado restrito. A primeira classe ocorre em áreas englobadas no Planalto Regional do Tocantins, abrangendo a serrado Lajeado em duas diferentes formas de relevo. Esta formação apresenta-se geralmente revestindo o solo de gramíneas, pequenas arvoretas de aspectos tortuoso, recobertas de casca espessa. A segunda classe ocorre em áreas abrangendo as depressões e vales. A ocorrência de matas de galeria é característica destas áreas, de fisionomia sempre-verde, em decorrência da

umidade permanente e do acúmulo de nutrientes neste solo. As áreas de florestas ocorrem entremeadas pelas tipologias de cerrados e pressionadas pela área urbanizada.

A área urbana, que ocupa 6,64% da bacia, está concentrada na porção oeste, onde se situam os seguintes bairros de Palmas: Taquaralto, Jardins Aurenys I, II, III e IV, Morada do Sol I, II e III, Vale do Sol, Setor Santa Fé, Setor Maria Rosa, Irmã Dulce e Bertaville. Além disso, na região central localiza-se o Distrito de Taquaruçu. Ressalta-se que cerca de 93.819 habitantes residem na bacia, sendo 5.469 no Distrito de Taquaruçu e 88.350 moradores na região sul de Palmas (PALMAS, 2014).

Destaca-se que na última década ocorreu um acentuado processo de degradação das matas ciliares principalmente nas regiões de nascentes, na parte baixa da bacia, região de expansão urbana acelerada, onde novos loteamentos peri-urbanos surgem por meio do micro parcelamento da terra, impulsionados pela crescente especulação imobiliária no município (CARMO, 2014).

As atividades agropecuárias são desenvolvidas nas propriedades rurais de forma extensiva, sendo destinadas ao sustento da família e o pequeno excedente obtido é comercializado nas feiras de Palmas (REIS, 2007).

De acordo com dados da Saneatins (2007), vários fatores têm contribuído para a degradação ambiental da bacia, todavia 3 obras de infraestrutura influenciaram de forma determinante nesse processo: 1) a construção da rodovia TO-030 ocasionando uma forte alteração da paisagem; 2) a instalação e operação da ETA 006 que promoveu o aumento da retirada de água da bacia, devido a grande demanda (49.796 m³/dia) para o abastecimento da capital; 3) a instalação e operação da ETE localizada nas proximidades da foz do ribeirão Taquaruçu responsável pelo tratamento da ordem de 30L/s do esgoto proveniente dos bairros da região.

Outro marco para a bacia foi à formação do reservatório da UHE – Luís Eduardo Magalhães no início do ano de 2001. Segundo Souza (2006) este processo gerou significativos impactos ambientais relativos aos meios físico, biótico e socioeconômico, alterando de forma permanente a paisagem regional. Observa-se que a bacia em questão, após

usos preponderantes, da condição atual dos corpos d'água e da identificação de áreas reguladas por legislação específica (ex: Unidades de Conservação).

4.2.1 Identificação dos Usos Pretendidos dos Corpos d'Água

A identificação dos usos pretendidos dos corpos d'água foi realizada por meio de aplicação de questionários *in loco* contendo informações ambientais. Os usos consultivos identificados foram no setor de saneamento: abastecimento público e rural; no setor agropecuário a dessedentação de animais e irrigação; serviços e uso industrial; os usos não consuntivos: recreação de contato primário ou secundário e piscicultura. Estes usos estão de acordo com a resolução CONAMA (357/05).

4.2.2 Análise da Condição Atual dos Corpos d'Água

São analisados diversos parâmetros, notadamente aqueles que constam da Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005), com vistas a auxiliar na classificação das águas quanto a sua qualidade em termos de Classes de Uso. Para avaliar a qualidade das águas superficiais foram realizadas duas campanhas de amostragem, em 16 pontos de coleta na Bacia do Ribeirão Taquaruçu, conforme tabela 2. As informações resultantes das campanhas de amostragem e análise subsidiam os esforços de classificação das águas superficiais na bacia e é objeto de modelagem específica, para apoio ao processo de enquadramento.

Tabela 2: Localização dos pontos de coleta de água na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Pontos selecionados pela equipe	X	Y	Pontos monitorados pela Saneatins	X	Y
1	807983	8859410	1	809253	8866773
2	798356	8860580	2	797037,5	8860606
3	799225	8863640	3	805945,7	8859043
4	794077	8862070	4	813151	8857598
5	792882	8860720	5	797912	8861442
6	806732	8868620			
7	812093	8858770			
8	813748	8857410			
9	800430	8859750			
10	804373	8865960			
11	814475	8866780			

A coleta para análise da qualidade da água foi realizada nos períodos de Maio/2015 e Agosto/2015. Esse período foi escolhido em função da sazonalidade pluviométrica anual na parametrização da qualidade da água (período seco e chuvoso). Na figura 17 é apresentado o mapa de localização desses pontos de coleta de monitoramento (localização em coordenadas geográficas).

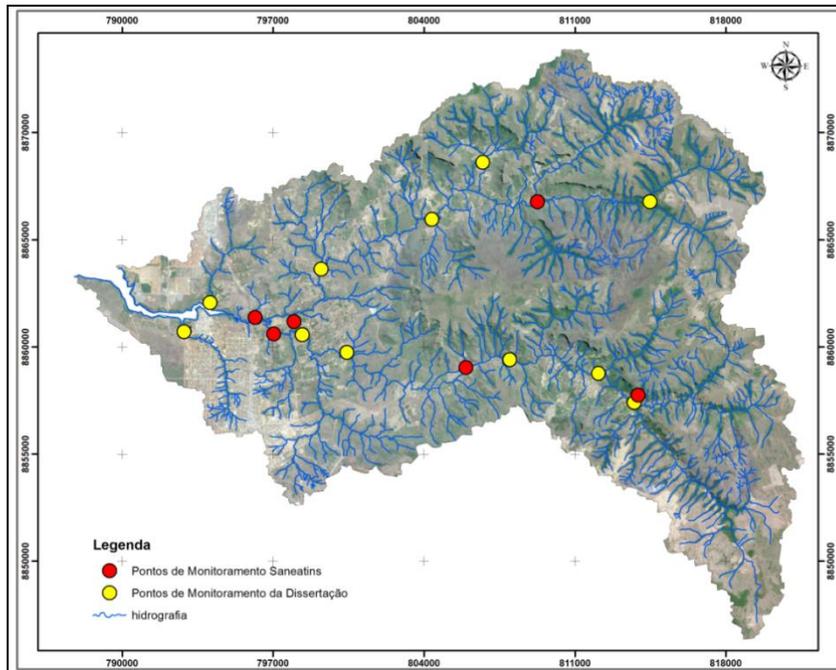


Figura 17: Distribuição espacial da localização dos pontos de coleta de água na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram analisados de acordo com a metodologia proposta no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - APHA (2005), conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros analisados.

PARÂMETROS		TÉCNICA	REFERÊNCIA
Temperatura (°C)		Medida Direta	APHA (2005)
Turbidez (NTU)		Nefelometria	APHA (2005)
pH (Escala)		Medida Direta	APHA (2005)
Condutividade Elétrica (µS/cm)		Medida Direta	APHA (2005)
Oxigênio dissolvido (mg/L)		Medida Direta	APHA (2005)
Sólidos Totais Dissolvidos (PPM)		Medida Direta	APHA (2005)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)		Diferenciação	APHA (2005)
Óleos e Graxas (mg/L)		Extração de Soxhlet	APHA (2005)
Nitrogênio	Amônia (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Nitrito (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Nitrato (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
Sulfato (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Fósforo total (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Cloretos (mg/L)		Titulometria	APHA (2005)
Cloro livre (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Fluoreto (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Clorofila-a (µg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Metais	Ferro (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Manganês (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Alumínio (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
Sólidos Suspensos (mg/L)		Calcinação	APHA (2005)
Coliformes Totais (NMP/100 mL)		Colilert	APHA (2005)
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		Colilert	APHA (2005)

Fonte: Análises realizadas pelo LAMBIO/UFT – Agosto de 2015.

Esse levantamento de dados em campo foi composto da coleta de amostras para análises de qualidade da água e relatório fotográfico do local coletado.

Dos parâmetros analisados foi dado ênfase para: Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Oxigênio dissolvido (mg/L), Nitrogênio Orgânico (mg/L), Nitrogênio Amoniacal (mg/L), Nitrito (mg/L), Nitrato (mg/L), Fósforo Total (mg/L) e Coliformes Totais (NMP/100 mL) selecionados levando em consideração a inserção dos dados de parâmetros físico-químicos que serão analisados no modelo SAD-IPH.

4.2.3 Diagnóstico das Fontes de Poluição

As cargas de poluição identificadas na bacia foram pontuais conforme tabela 4 e difusas conforme tabela 5.

Para a simulação das cargas difusas, os valores dos coeficientes são encontrados na literatura, como exemplo de aplicação (TUCCI *et al.*, 2003, LAURENTIS, 2004; MAYTE, 2014).

Tabela 4:Localização das cargas de poluição pontual.

Localização	Longitude	Latitude
ETE Aureny	-48.3259	-10.2911
Distrito de Taquaruçu	-48.157	-10.317
Chacareiros_1	-48.2579	-10.2646
Chacareiros_2	-48.2781	-10.2956

Tabela 5:Valores calculados de cargas difusas para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Cobertura e Uso do solo	Área Total (km²)	Fósforo Total (Kg/dia)	Nitrogênio Total (Kg/dia)	DBO (kg/dia)	Coliformes termotolerantes (NMP100mL/dia)
Área degradada	10.844526	0.70	2.2	12	100000000
Agricultura	98.391807	0.15	0.8	6	10000
Água	0.548904	0	0	0	0
Área Urbana	27.406311	0.70	2.2	6	100000000
Cerrado	154.659653	0.10	0.8	1	0
Campo rupestre	22.673973	0.10	0.8	1	0
Floresta	123.377438	0.10	0.8	1	0

Valor em % da concentração de saturação;

Concentração em nmp.L⁻¹.

Fonte: Larentis (2004)

4.2.4 Levantamento das Áreas Reguladas por Legislação Específica Existentes na Bacia

O Levantamento das áreas reguladas por legislação específica existentes na bacia identificou uma área de Reserva Particular do Patrimônio Natural- RPPN denomina Bela Vista contendo 58,11ha e, além disso, parte de seu território, cerca de 32.817,68 ha, está inserido na APA Serra do Lajeado e 89,68 ha no Parque Estadual do Lajeado. E ainda Unidades de Conservação Municipal como: Tiúba com uma área de 377,34 ha, Machado 310,38 ha, Santa Fé com 83,58, Entorno do Lago com uma área de 28,76, Santa Barbara 0,35 ha, e Taquari com uma área de 51,54 ha e as próprias Áreas de Preservação Permanentes, conforme figura 18.

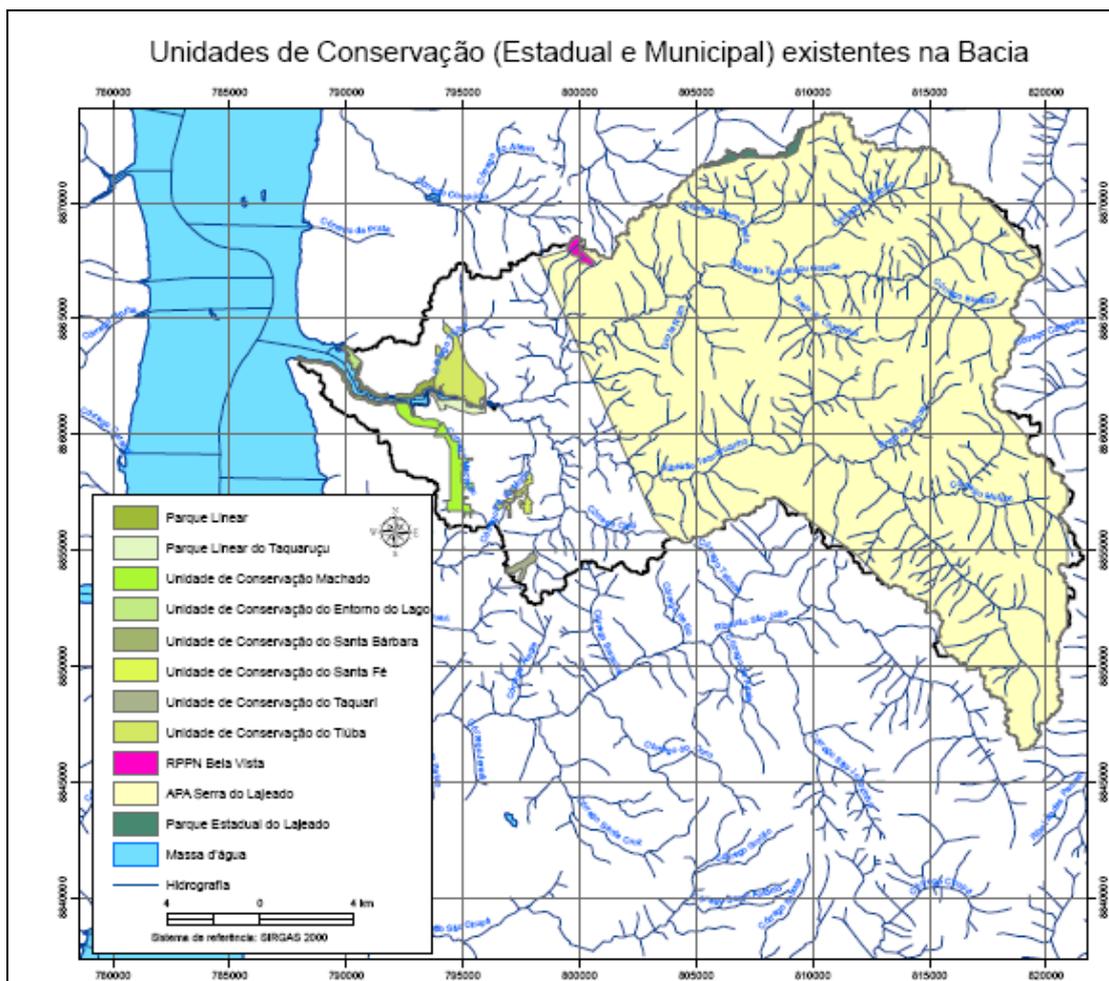


Figura 18: Unidades de conservação existentes na bacia (Estadual e Municipal).

4.2.5 Planos e Programas Previstos para a Bacia

Dentre os planos e programas previstos para a bacia destaca-se o programa “Pra preservar basta começar” instituído pela Prefeitura Municipal de Palmas; a parceria firmada em 2011 entre o Governo do Estado, por meio da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável – SEMADES, a Prefeitura Municipal de Palmas, a Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, o Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil – TNC e a Fundação O Boticário para o desenvolvimento do Projeto denominado “Projeto Taquaruçu: uma fonte de vida”; e o Programa de Pesquisa em Recursos Hídricos, firmado com a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Tocantins – FAPT e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH que apoia financeiramente o projeto intitulado “Proposta de Enquadramento Participativo de Corpos Hídricos em uma Sub-bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica do Comitê de Bacia do

Entorno do Lago da UHE – Luís Eduardo Magalhães – TO”, sendo este trabalho parte integrante desse projeto.

4.3 Etapa 4: Prognóstico dos Recursos Hídricos

Aqui foram determinados os cenários de desenvolvimento e de ocupação da bacia sendo estabelecidos adicionalmente os seguintes itens: escolha dos parâmetros prioritários para o enquadramento; vazão de referência para o enquadramento e definição dos usos preponderantes desejados por trechos.

4.3.1 Escolha dos Parâmetros Prioritários para o Enquadramento

Para obter-se a proposta de referência para o enquadramento dos corpos d'água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes, é necessário a escolha dos parâmetros prioritários qualitativos. Como parâmetros qualitativos têm-se: Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Oxigênio dissolvido (mg/L), Nitrogênio Amônia (mg/L), Nitrito (mg/L), Nitrato (mg/L), Fósforo Total (mg/L) e Coliformes Totais (NMP/100 mL). E como quantitativos tem-se os valores da vazão captada na bacia.

4.3.2 Vazão de Referência

O Estado do Tocantins, pro meio do Decreto 2.432/05, estabelece como vazão de referência a Q_{90} (vazão com permanência de 90%). Este decreto estabelece que 75% da Q_{90} é a vazão de referencia para outorgas e também que cada usuário só poderá retirar 25% de 75% da Q_{90} e que a vazão mínima a ser mantida, caso haja barramento é de 25%.

Para efeito deste trabalho, adota-se a vazão de referência Q_{90} (vazão com permanência de 90%).

Para a parte qualitativa do modelo SAD-IPH, fundamentado em dados temporais de estações de monitoramento da qualidade da água, se utilizou a vazão de referência Q_{90} anual. No modulo quantitativo baseou-se na Q_{90} mensal.

4.3.3 Definição dos Usos Preponderantes Desejados por Trecho

Na bacia em estudo, a identificação dos corpos hídricos selecionados foi realizada por meio da aplicação de questionários, e logo após espacializou-se os dados sobre a rede hidrográfica, identificando-se para cada trecho, áreas homogêneas com relação à qualidade das águas e aos usos preponderantes, conforme figura 19.

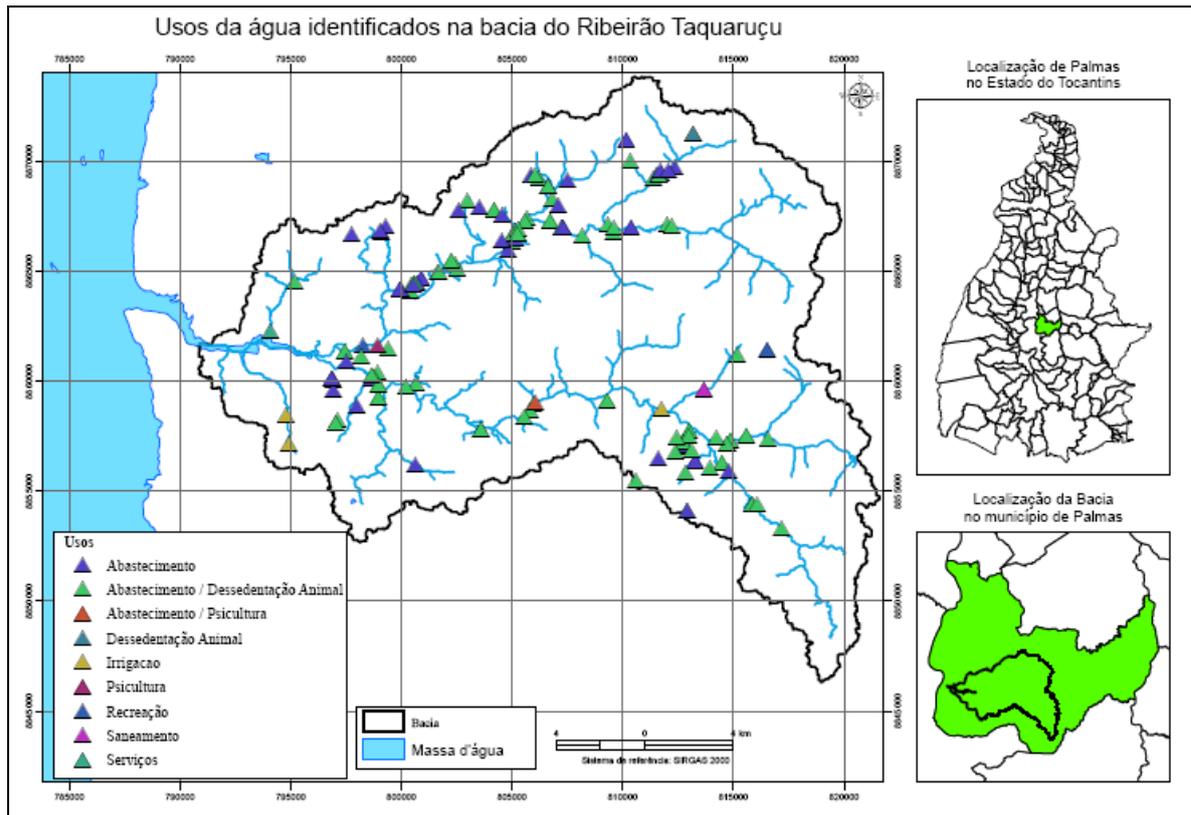


Figura 19: Identificação dos usos preponderantes para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

4.4 Dados de entrada para o MGB-IPH

✓ Dados Meteorológicos

Os dados de interesse para a aplicação do modelo MGB-IPH são: séries de chuva e vazão e séries de dados de variáveis climáticas (precipitação, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, pressão atmosférica).

No Brasil, os dados são disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entidades que operam as redes. No estado, especificamente na bacia utilizamos dados da estação Taquaruçu do Porto, que

convencionamos chama-la de ANA, em função se ter sido monitorada pela mesma, já foi desativada e operou no período de 2002 a 2007, dados esses fornecidos pelo Naturatins. Utilizamos também dados INMET no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP disponibilizados por meio do site <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>, que abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais, a partir de 1961. A série histórica utilizada do INMET com os dados de clima compreende o período de: 83033 – Palmas (1993 a 2015) e Porto Nacional (83064 – 1961 a 2015).

Utilizamos dados de vazão coletados diariamente pelos moradores das chácaras que se situam nas margens dos Ribeirões Taquaruçu e Taquarucussinho. Dados esses validados e verificados por um técnico da companhia de Saneamento Saneatins|Odrebrech, compreendendo os períodos de 2013 a 2015. Abaixo, a distribuição e localização dos postos de monitoramento fluviométricos e pluviométricos existentes e utilizados para a aplicação do modelo MGB-IPH, conforme quadro 6 e 7.

Quadro 6: Postos fluviométricos operados pela Saneatins|Odrebrech na bacia em estudo.

Longitude	Latitude	Postos
-48.177222	-10.238889	ATG
-48.280278	-10.284167	BTG
-48.288056	-10.291667	BTP
-48.155278	-10.305556	MTP
-48.2075	-10.305556	ATP
-48.265	-10.264722	(Taquaruçu do Porto) ANA

Quadro 7: Estações Pluviométricas utilizadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Código	Estação	Latitude	Longitude	Período	Município
1048005	Taquaruçu do Porto	-10°18'48"	-48°09'45"	1993-2015	Palmas
1048002	Porto Nacional	-10°43'0"	-48°25'12"	1969-1985	Porto Nacional
1048003	Palmas	-10°43'0"	-48°25'0"	1949-2015	Porto Nacional
1048001	Paraíso	-10°09'55"	-48°53'26"	1971-2015	Paraíso

✓ **Definição das Unidades de Resposta Hidrológicas – URHs**

Para a criação das unidades de resposta hidrológicas – URHs foi definida a reclassificação a partir dos mapas de solos e uso e cobertura do solo da bacia, com o intuito de identificar as áreas com características semelhantes de solo e cobertura consideradas áreas com comportamento hidrológico similar.

Para a reclassificação do mapa de solos utilizou-se o que está especificado no manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos) do modelo MGB-IPH, acessado por meio do endereço:

<https://drive.google.com/file/d/0B1CDpnDPA5HMbUZCR3N1MEhiN00/view?pli=1>.

São importantes as seguintes características:

- profundidade até a rocha matriz;
- textura ou percentual de areia/argila/silte;
- declividade;
- distância da superfície até o lençol freático.

E ainda conforme o manual, o mapa de solos com diversos tipos de solos podem ser reclassificados em um número menor de classes, considerando o potencial de geração de escoamento superficial e de base.

✓ **Discretização da bacia**

Foram utilizadas as rotinas computacionais do *ArcHydro Tools* ou *Hydro-Tools*, desenvolvido pelo Centro de Pesquisas em Recursos Hídricos, da Universidade do Texas (Maidment, 2002). É uma ferramenta para análise de modelos digitais de elevação para a obtenção de informações úteis em hidrologia de forma integrada ao software *ArcGIS* 10.3.

Após escolha do modelo digital de elevação (ASTER GDEM - Global Digital Elevation Model) com resolução de 30 metros referente à área da bacia são utilizadas técnicas para a discretização da bacia:

- ✓ Preenchimento de depressões
- ✓ Direções de escoamento
- ✓ Área acumulada

- ✓ Rede de drenagem raster
- ✓ Delimitação da bacia (vetorial)
- ✓ Extração de dados na área de interesse
- ✓ Trechos de drenagem raster
- ✓ Definição de mini-bacias raster
- ✓ Definição de mini-bacias vetorial (polígonos)
- ✓ Rede de drenagem (vetorial)
- ✓ Verificação da posição dos postos fluviométricos
- ✓ Delimitação de sub-bacias
- ✓ Combinação de sub-bacias com mini-bacias (rediscretização)
- ✓ Conversão de mini-bacias vetorial para raster.

Tais rotinas servem de preparação de dados para o modelo hidrológico de grandes bacias - MGB-IPH e necessárias também para o SAD-IPH (Collischonn *et al.*, 2007), como descrito em Collischonn *et al.* (2010).

4.4.1 Etapas Necessárias para Aplicação do Modelo MGB-IPH

- ✓ Deverá ser inseridos os arquivos originados da discretização da bacia, onde todos devem ter a mesma resolução espacial e as mesmas coordenadas do retângulo envolvente (área de trabalho) no PrePro para gerar um arquivo de saída mesclado com as informações físicas da bacia e as unidades de resposta hidrológicas URH's chamado de MINI.MGB em formato ASCII (txt);
- ✓ Será necessário formatar um arquivo de blocos ou URH's informando as classes de informações geradas no PrePro;
- ✓ Selecionar os postos pluviométricos e fluviométricos e as séries de dados: selecionado todos os postos de chuva e vazão, existentes dentro da bacia, em formato ASCII ressaltando que o período de observações deve ser coincidente. As fontes de informação serão: Saneatins|Odrebrech, ANA e INMET;
- ✓ Carregar os dados referentes aos parâmetros fixos (Albedo, Índice de área Foliar, Altura média das arvores e resistência superficial) e calibráveis (Wm, b, Kbas, Kint, CAP, Wc, CS, CI, CB e QB) indicando a forma de calibração;

- ✓ Gerar uma rotina de projeto com toda a informação anteriormente descrita a qual será seguida na calibração pelo modelo MGB-IPH;
- ✓ Calibrar o período escolhido, levando em conta período e qualidade dos dados;
- ✓ Na calibração do modelo será feita várias tentativas considerando os postos e as séries disponíveis. Sendo analisados os parâmetros do ajuste (R^2 e R^2_{\log});
- ✓ Ao encontrar a melhor representação dos postos, começar a intervir nos parâmetros calibráveis de forma sistemática e repetitiva até a melhora na relação entre as vazões observadas e calculadas;
- ✓ Analisar as séries de vazões (observadas e calculadas) e as curvas de permanência (observada e calculada).

Neste estudo, foi utilizada a calibração manual para se chegar a um melhor amoldamento dos parâmetros, considerando os coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (R^2), o mesmo coeficiente para os logaritmos das vazões (R_{\log}), e após passou-se a calibração automática.

4.4.2 Calibração do Modelo MGB-IPH

A calibração do modelo foi realizada em três etapas:

1. Foi realizada a avaliação de melhores valores para os parâmetros fixos e calibráveis. Os parâmetros fixos foram ajustados por blocos e por sub-bacias, seus valores foram obtidos da bibliografia e não foram alterados no processo de calibração. Os parâmetros calibráveis que serão considerados são: calibração da propagação sub-superficial (CS) e calibração da propagação superficial (CI); quantidade de água que escoia sub-superficialmente (KINT); taxa de percolação para aquífero (KBAS); capacidade de armazenamento no solo (W_m) e relação entre armazenamento e saturação (b).
2. A segunda etapa consiste em uma calibração manual, essa escolha se deu em função de conhecer o comportamento da ferramenta com relação aos poucos dados existentes. Os valores dos parâmetros calibráveis são alterados e os resultados comparados por meio de hidrogramas observados nos postos fluviométricos. Esse procedimento é aplicado recursivamente, para se obter um melhor ajuste entre os hidrogramas.

3. Para a terceira etapa será aplicado um algoritmo automático de otimização, o MOCOM-UA, que busca os melhores valores de três funções, que avaliam a qualidade do ajuste, chamadas funções objetivo. Para a bacia do Ribeirão Taquaruçu foram utilizadas as seguintes funções objetivo:

- o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (R2);

$$R2 = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{obs})^2} \quad (\text{coeficiente de Nash}) \quad (1)$$

- mesmo coeficiente para os logaritmos das vazões (Rlog)

$$Rlog = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{cal}(t)))^2}{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{obs}(Q_{obs})))^2} \quad (\text{coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões}) \quad (2)$$

- e a diferença entre volumes calculados e observados (ΔV)

$$\Delta V = \frac{\sum(Q_{cal}(t)) - \sum(Q_{obs}(t))}{\sum(Q_{obs}(t))} \quad (\text{erro dos volumes}) \quad (3)$$

Onde:

- t é o intervalo de tempo;
- $Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no posto fluviométrico;
- $Q_{cal}(t)$ é a vazão calculada pelo modelo;
- \sum indica o somatório para todos os intervalos de tempo t.
- ΔV é o erro relativo adimensional deste volume;

Estas funções objetivo não foram consideradas prioritárias em função da necessidade de gerar boas estimativas de disponibilidade hídrica, que é dado pelas curvas de permanência. Elas foram utilizadas mais como ajuste do modelo onde se estabeleceu como critério de disponibilidade hídrica, uma vazão que é excedida 90% do tempo na condição natural, sem significativas retiradas de vazão do rio. A calibração do modelo será realizada utilizando os parâmetros fixos iguais para todas as bacias e o conjunto de parâmetros calibráveis diferenciados para cada bacia.

4.5 Etapas necessárias para Aplicação do Sistema de Apoio a Decisão SAD-IPH

Para o modelo foram utilizados os parâmetros do diagnóstico, prognóstico e os dados de vazão obtidos a partir do MGB-IPH, obtendo-se os cálculos de balanço hídrico entre demanda e oferta, para o desenvolvimento dos cenários e as alternativas de enquadramento. Faz-se necessário que os trechos de rio associados a cada mini-bacias na modelagem no MGB-IPH e no SAD-IPH coincidam exatamente em número, posicionamento e em codificação.

Etapas necessárias para a importação dos dados gerados no modelo MGB-IPH, que serão utilizadas no SAD-IPH:

- ✓ A junção do arquivo “Mini.MGB” gerado no PrePro-MGB com o arquivo da rede de drenagem por um atributo em comum (*CatID* para o arquivo Mini.MGB e *MiniID* para o arquivo da rede de drenagem);
- ✓ A junção do arquivo de saída de vazões com o arquivo da rede de drenagem, pelo atributo que agora passam a ter em comum, que é o código Mini;
- ✓ Inserção dos arquivos: rede de drenagem agora com os dados da mini.MGB, uma tabela com extensão *.csv* levantados em campo com os tipos de usos identificados e a quantidade por m³/s de água utilizada por cada morador, um outro arquivo com a extensão *.csv* com os lançamentos difusos identificados por meio da cobertura e uso do solo identificados na bacia e as mini-bacias;
- ✓ Inserção dos dados referentes às vazões provenientes da etapa do modelo MGB-IPH, associando as colunas de vazões do MGB com as colunas da rede de drenagem onde deverão ser salvos os dados de disponibilidade;
- ✓ Para realizar a simulação de qualidade da água se faz necessário:
 - Atribuir valores aos parâmetros hidráulicos;
 - Parâmetros físico-químicos serão definidos após os parâmetros hidráulicos;
 - Adicionar os parâmetros das cabeceiras: DBO, OD, fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes os valores utilizados devem ser ajustados de acordo com os valores dos parâmetros dos postos de monitoramento localizados nas cabeceiras dos rios. O modelo apresenta os valores médios dos parâmetros como default, para o caso de bacias sem postos de monitoramento nas cabeceiras;

- Dados de monitoramento de qualidade da água: DBO, Oxigênio Dissolvido, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Fósforo total e Coliformes totais, será realizado mediante a inserção de planilhas contendo o nome, as coordenadas, o código identificador do trecho de drenagem e as informações concentrações de poluentes resultantes das campanhas de monitoramento nos postos.
- ✓ Escolher o tipo de simulação desejado, quantitativo ou qualitativo, visualizando as classes conforme Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005).

4.6 Etapa 5: Elaboração das Propostas de Enquadramento

Nas propostas de enquadramento serão elaborados três cenários:

1. Cenário de referência (o rio que temos) apresenta a atual condição de qualidade da água, considerando os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005).
2. O cenário tendencial (o rio que podemos ter) apresenta a projeção futura do cenário atual (referencia) sem as intervenções necessárias para garantir a condição atual de qualidade da água.
3. O cenário conservacionista (o rio que queremos ter) apresenta a projeção futura do cenário atual (referencia) com as intervenções necessárias para garantir a condição atual de qualidade da água.

O cenário atual foi modelado por meio do SAD-IPH, os outros dois cenários tiveram como base o uso e cobertura do solo para gerar suas projeções.

As propostas de enquadramento terão por base as informações obtidas por meio das avaliações feitas nas etapas de diagnóstico e prognóstico. E a escolha das alternativas de enquadramento será sempre realizada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica.

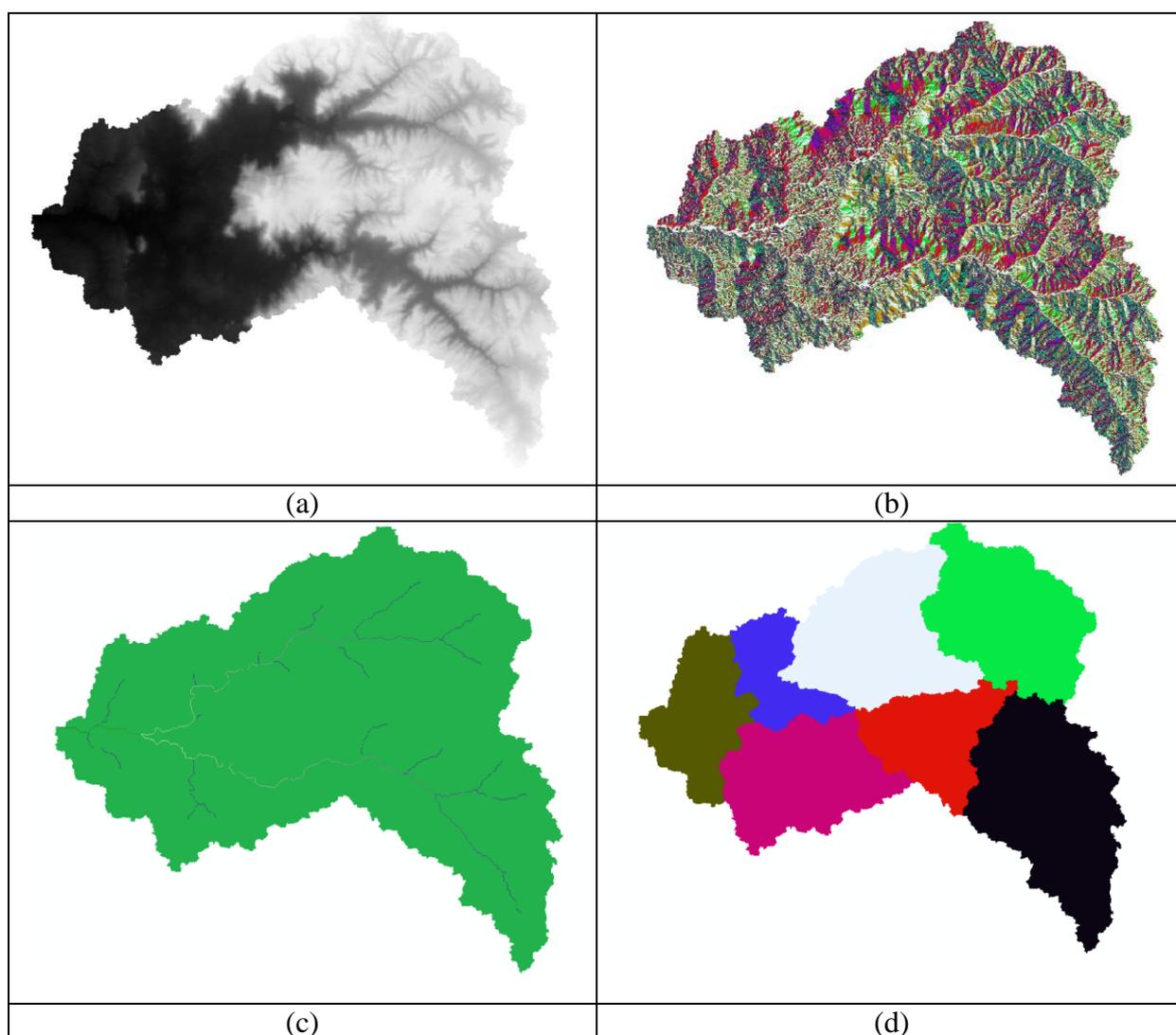
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, são apresentados e discutidos, conforme metodologia adotada, os resultados obtidos no presente estudo.

5.1 Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu

A bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu totalizou uma área de drenagem de 438,15 km². Discretizada em 205 minibacias, com áreas entre 0,0 e 12,28 km².

A figura 20 apresenta os resultados de cada passo aplicado na discretização, o que resultou em um mapa das sub-bacias consideradas na calibração do modelo MGB-IPH.



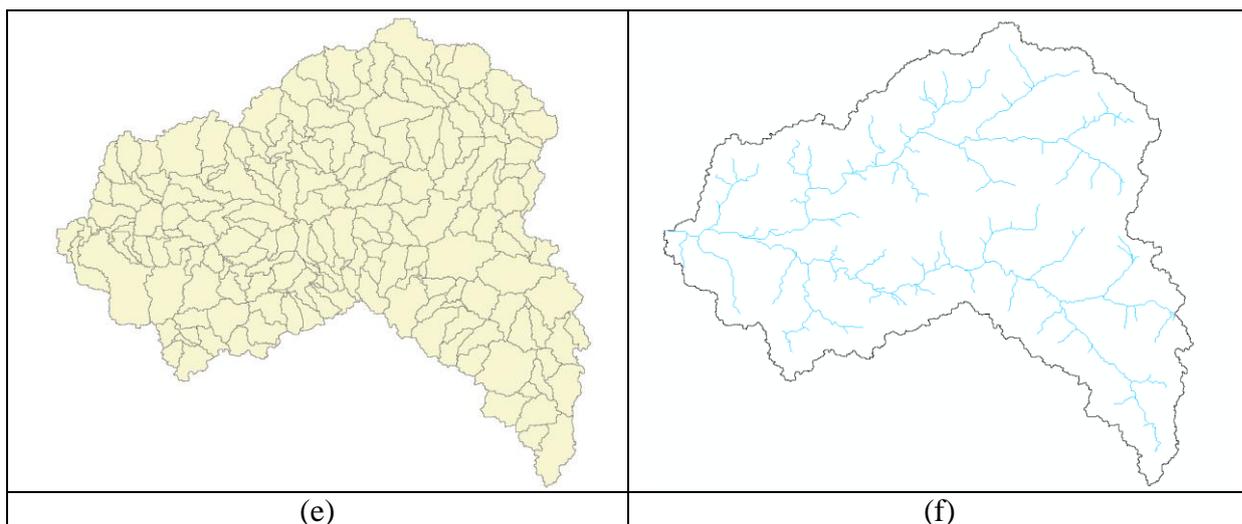


Figura 20: Sequência de passos para a geração de uma rede de drenagem com informações topológicas no *ArcGis* usando ferramentas *ArcHydro*: (a) Modelo de elevação (remoção de depressão); (b) Direções de escoamento; (c) Área de drenagem acumulada; (d) Sub-bacias formato *raster*; (e) Mini-bacias formato vetorial; (f) Rede de drenagem final.

5.2 Unidades de Resposta Hidrológica – URH

Os mapas de usos da terra podem ter um número muito grande de classes ([tópico 3.10.2](#)), sugere-se que antes de realizar a combinação com os tipos de solos para obter as URHs, é recomendável reclassificar os tipos de vegetação em um número menor de classes.

O mapa de cobertura e uso do solo foi simplificado para apenas quatro classes, a saber: vegetação, agropecuária, área urbana e água. O resultado deste agrupamento, obtido a partir de observações locais e semelhanças entre classes, está apresentado na figura 21.

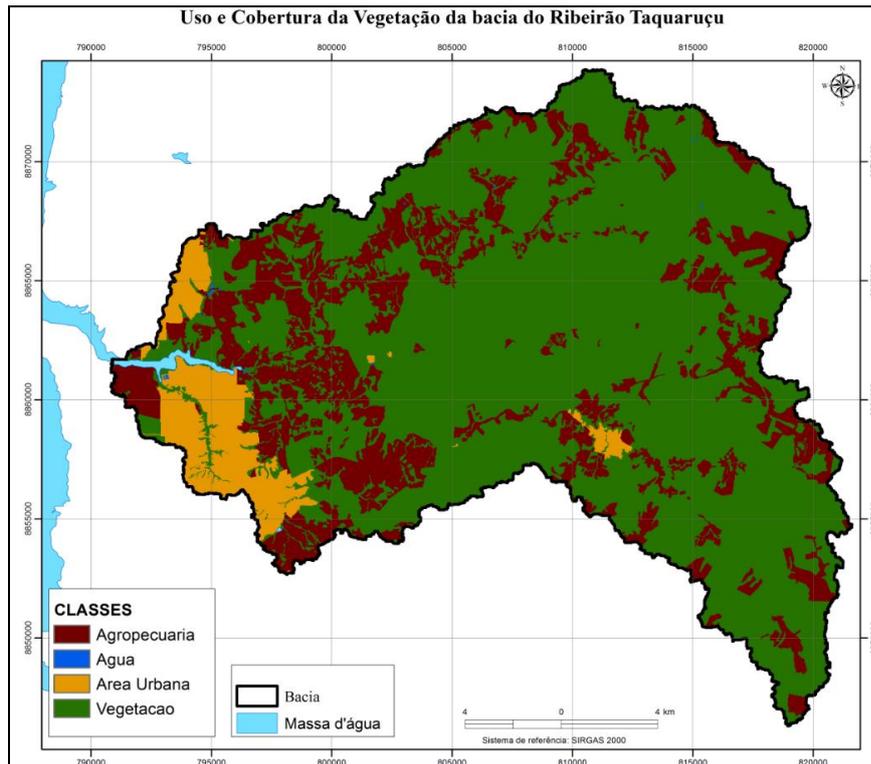


Figura 21: Classes e associações de classes de uso da terra reclassificados para 4 classes na bacia do ribeirão Taquaruçu.

Na bacia em estudo foram identificadas sete classes e ou associações de classes ([tópico 3.10.1](#)). Para a aplicação no modelo, os tipos de solos foram reagrupados em duas classes, de acordo com o comportamento hidrológico esperado: solos rasos e solos profundos, conforme figura 22.

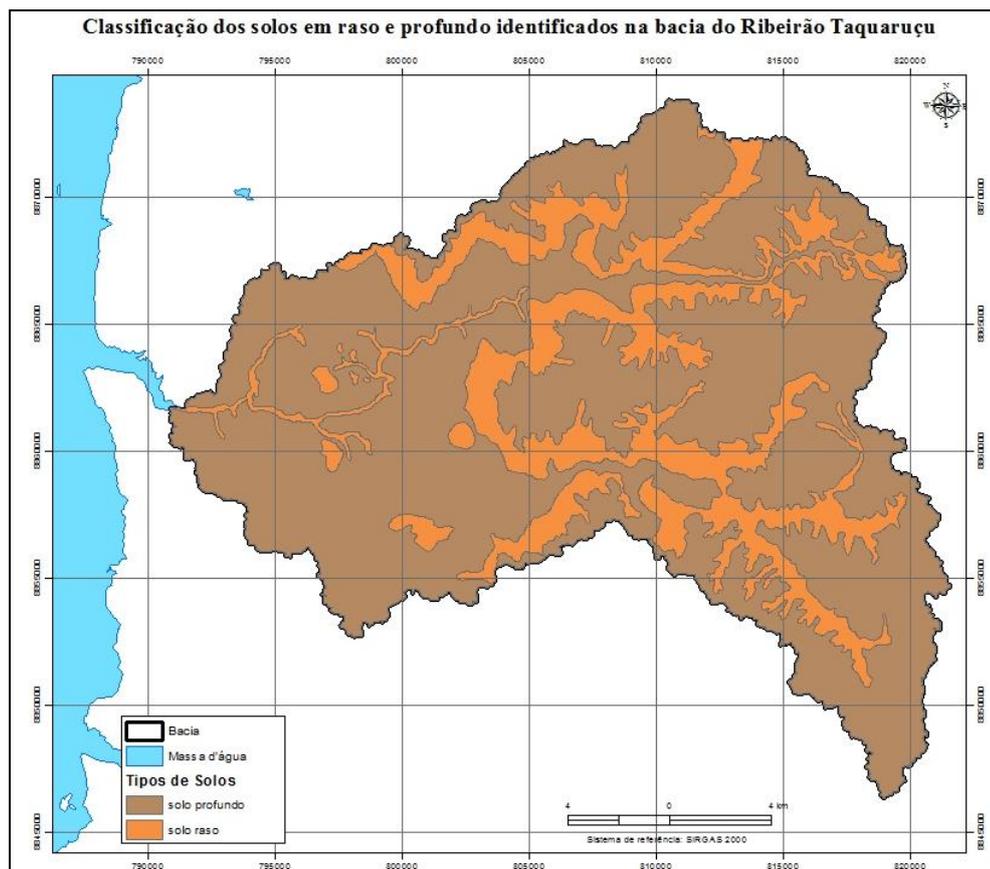


Figura 22: Classes e associações de classes reclassificadas para solos raso e profundo da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu.

A combinação dos mapas de solos e cobertura e uso da terra gerou seis unidades de resposta hidrológica (URH), com características físicas relacionadas aos solos (capacidade de armazenamento d'água, profundidade, porosidade, condutividade hidráulica) e a cobertura vegetal (índice de área foliar, interceptação, profundidade das raízes, albedo) que são áreas de comportamento hidrológico similar, também denominado bloco. Na figura 23 são apresentadas as URH's. Esse mapa serve como entrada no modelo MGB-IPH.

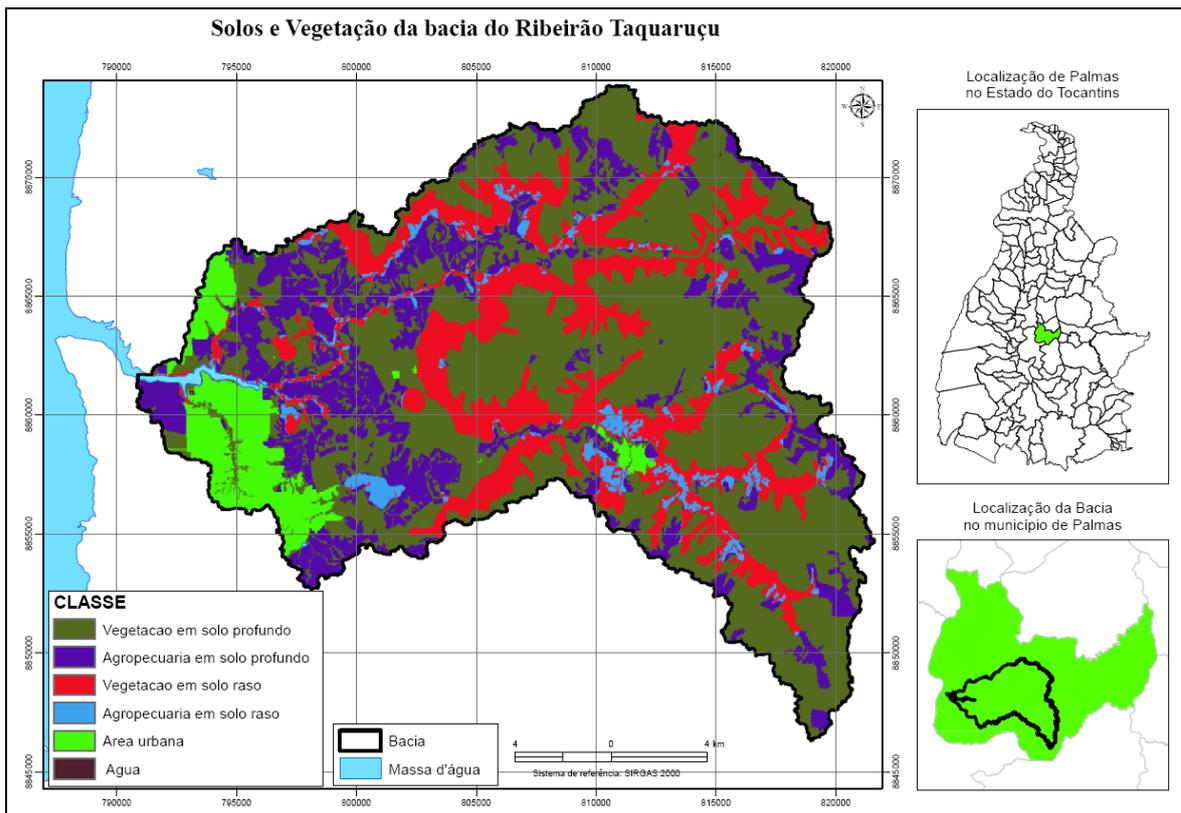


Figura 23: Classes e associações de classes de uso da terra reclassificadas com as classes de solos.

5.3 Aplicabilidade do PrePro-MGB-IPH

Os dados resultantes da discretização como o MDE, Direções de fluxo, Mini-bacias, Rede de drenagem, URH's e as Sub-bacias, em formato ASCII são inseridas no PrePro e algumas informações necessárias são gravadas no arquivo de saída com o nome de MINI.txt, devendo ser renomeado para MINI.MGB, figura 24.

catID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km ²)	AreaM_(km ²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	LrL_(km)	SrL_(m/km)
1	1	-48.15947	-10.18939	1	6.15054	6.15054	3.00250	34.63775	5.16963	33.07778
2	2	-48.17464	-10.20028	2	3.06155	3.06155	1.75766	43.23922	3.98584	35.62610
3	3	-48.12781	-10.20036	1	4.93221	4.93221	2.16761	17.06949	4.35126	24.36076
4	4	-48.19404	-10.20319	2	4.59493	4.59493	2.20292	122.56454	4.26140	81.42866
5	5	-48.14038	-10.19523	1	1.37711	1.37711	0.18400	38.04348	2.62116	40.82158
7	6	-48.18298	-10.20032	2	1.66339	1.66339	0.61459	66.71114	2.69250	45.68252
8	7	-48.15973	-10.20261	1	1.52462	1.52462	0.70036	102.80489	2.97249	55.84541
12	8	-48.11006	-10.21281	1	3.56553	3.56553	1.57631	32.35413	3.61897	32.32968
13	9	-48.16675	-10.20991	1	1.87499	1.87499	1.02666	80.84495	3.15406	58.97166
14	10	-48.20802	-10.20406	2	3.00707	3.00707	1.92257	100.90674	4.45829	78.95408
15	11	-48.21375	-10.21261	2	3.25903	3.25903	1.17455	15.32503	3.79486	89.06761
20	12	-48.09719	-10.21918	1	1.75726	1.75726	0.42921	46.59694	2.66889	40.84087
23	13	-48.23592	-10.22532	2	4.49801	4.49801	2.46989	13.36092	4.57974	85.15773
24	14	-48.12648	-10.22057	1	1.58776	1.58776	0.79302	39.09128	2.93948	49.66862
25	15	-48.12032	-10.21720	1	1.42356	1.42356	0.26464	11.33601	2.75686	51.50781
26	16	-48.10106	-10.23569	1	1.60701	1.60701	0.62708	36.67798	3.58325	36.55899
28	17	-48.09145	-10.23143	1	3.26763	3.26763	1.37430	14.55283	3.63712	37.94210
30	18	-48.21925	-10.22583	2	2.29467	2.29467	1.31490	20.53381	3.46133	112.67360
39	19	-48.27868	-10.24436	3	6.84321	6.84321	3.68333	7.05883	6.41842	53.28412
42	20	-48.15601	-10.24859	1	1.34878	1.34878	0.19375	0.01000	2.39843	97.52316
43	21	-48.14452	-10.25139	1	1.56653	1.56653	0.73599	100.54466	2.82023	75.17108
44	22	-48.22829	-10.23322	2	1.43490	1.43490	0.27623	10.86063	2.60435	49.53252
45	23	-48.26204	-10.24016	3	4.42580	4.42580	2.09630	10.49469	4.54906	80.45626
49	24	-48.20624	-10.24640	2	2.28223	2.28223	1.00162	13.97738	3.19387	118.35179
50	25	-48.13464	-10.25960	1	3.33495	3.33495	2.72335	36.71950	4.39230	38.93174
51	26	-48.18822	-10.25901	2	1.38474	1.38474	0.25305	209.44175	2.69598	93.10155
53	27	-48.30680	-10.24672	4	2.73972	2.73972	1.46085	21.22057	3.27537	18.31853
55	28	-48.24829	-10.24213	2	2.17512	2.17512	0.85695	9.33543	3.39221	108.77867
56	29	-48.23894	-10.24201	2	1.38920	1.38920	0.32721	3.05610	3.09237	86.66492
58	30	-48.11934	-10.26564	1	2.77907	2.77907	1.88074	34.02917	4.32322	32.38329
61	31	-48.29578	-10.24950	4	2.44729	2.44729	1.40480	17.08424	3.79829	14.21692
62	32	-48.22222	-10.26705	2	2.67633	2.67633	1.39781	39.34730	4.32224	89.53691

Figura 24: Arquivo MINI MGB-IPH

Legenda: CatID:Código; Mini:Número de identificação em ordem topológica; Xcen:Coordenada X; Ycen: Coordenadas Y; Sub:A subacia a que pertence; Area(km²):Área de drenagem; AreaM(km²):Área de drenagem total a montante; Ltr_(km):Comprimento do rio principal;

Str_(m/km):Declividade do rio principal; LrL_(km):Comprimento do afluente mais longo que atravessa a minibacia; Srl_(m/km):Declividade do afluente mais longo que atravessa a minibacia.

Dentro do *Mapwindows*, no MGB-IPH é gerado um *Shapefile* contendo os centroides da bacia conforme mostrado na figura 25. Onde todos os dados de saída do MGB-IPH podem ser visualizados de forma interativa, pelo centroide da minibacia desejada.

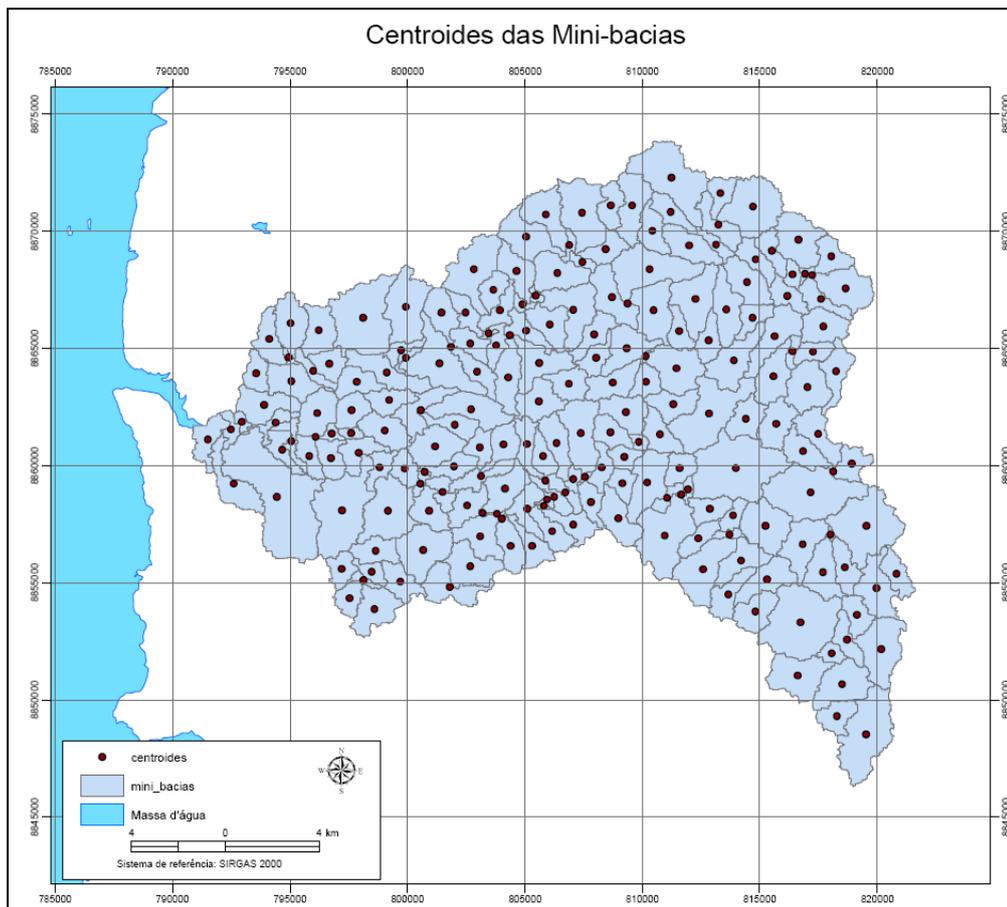


Figura 25: Centroides da bacia do Ribeirão Taquaruçu.

5.4 Parâmetros Utilizados para a Calibração do Modelo Hidrológico – MGB-IPH

Uma das ferramentas usadas para a interpretação dos dados de entrada e saída consiste em um filtro para a determinação do escoamento de base a partir dos dados de postos fluviométricos e os filtros de vazão que determinaram os valores utilizados para retardo do reservatório subterrâneo (C_b), que são pré-calibrados a partir dos dados de recessão, acessados via interface SIG.

Ainda para a calibração do modelo faz-se necessário um conjunto de dados de entrada referentes ao projeto da bacia do Ribeirão Taquaruçu que são blocos, precipitação, vazão, clima e os parâmetros fixos e calibráveis.

Os parâmetros fixos como os que controlam a evapotranspiração (Albedo, índice de área foliar, altura média das árvores e resistência superficial) estão apresentados, respectivamente, na figura 26 e são os valores adotados para o modelo. Esses valores são diferentes para cada bloco e se baseiam na variação dos parâmetros de acordo com a estação do ano – seca e chuvosa, uma vez que esses parâmetros estão diretamente relacionados a fatores climáticos.

albedo												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.14	0.13
Agro_prof	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15
Veg_raso	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.14	0.13
Agro_raso	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15
Area_urb	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Agua	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
IAF !índice de area foliar												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.90
Agro_prof	1.50	2.00	2.45	1.50	1.00	0.66	0.66	0.66	0.66	0.90	1.00	1.20
Veg_raso	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.90
Agro_raso	1.50	2.00	2.45	1.50	1.00	0.66	0.66	0.66	0.66	0.90	1.00	1.20
Area_urb	0.50	0.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.35	0.40	0.45
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
z !altura das arvores												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Agro_prof	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Veg_raso	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Agro_raso	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Area_urb	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RS !resistência superficial												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Agro_prof	50.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	80.0	80.0	90.0	80.0	70.0	60.0
Veg_raso	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Agro_raso	50.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	80.0	80.0	90.0	80.0	70.0	60.0
Area_urb	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 26: Parâmetros fixos estabelecidos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Legenda: Veg_prof: Vegetação em solo profundo; Agro_prof: Agropecuária em solo profundo; Veg_raso: Vegetação em solo raso; Agro_raso: Agropecuária em solo raso; Area_urb: Área urbana.

Os parâmetros calibráveis no modelo foram: capacidade de armazenamento no solo (W_m), relação entre armazenamento e saturação (b), taxa de percolação para aquífero (K_{bas}), quantidade de água que escoar sub-superficialmente (K_{int}), forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL), fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP), armazenamento residual (W_c), calibração da propagação sub-superficial (CS), calibração da propagação superficial (CI), retardo do reservatório subterrâneo (C_b) e a vazão de base Q_B , valores que podem ser observado na figura 27. Observa-se que os valores dos

parâmetros foram de acordo com as características dos blocos hidrológicos. Entre as variáveis ajustadas o armazenamento (Wm) e forma (b) apresentaram uma maior sensibilidade na amplitude das correções em comparação com as demais. O índice de porosidade do solo (XL) é considerado um parâmetro fixo porque exerce pouca influência sobre os resultados.

Bacia 1								Bacia 2							
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Veg_prof	1000.0	0.12	1.46	27.40	0.89	0.00	0.10	Veg_prof	1463.0	0.14	1.22	20.64	0.36	0.00	0.30
Agro_prof	381.4	0.12	4.49	5.89	0.43	0.00	0.10	Agro_prof	900.3	0.22	1.23	33.66	0.88	0.00	0.28
Veg_raso	506.9	0.12	4.06	28.89	0.34	0.00	0.20	Veg_raso	436.0	0.09	2.01	26.72	0.96	0.00	0.10
Agro_raso	202.7	0.13	2.71	33.46	0.36	0.00	0.10	Agro_raso	304.8	0.14	6.51	11.60	0.32	0.00	0.20
Area_urb	127.9	0.15	2.07	18.25	0.50	0.00	0.10	Area_urb	82.1	0.24	5.39	26.84	0.89	0.00	0.21
Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.01							CS	24.00						
CI	151.97							CI	142.00						
CB	1212.00							CB	1200.00						
QB_M3/SKM2	0.0100							QB_M3/SKM2	0.0100						
(a)								(b)							
Bacia 3								Bacia 4							
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Veg_prof	1980.0	0.25	2.46	27.52	0.89	0.00	0.10	Veg_prof	2230.2	0.12	2.11	16.01	0.38	0.00	0.15
Agro_prof	1281.7	0.30	4.49	10.03	0.46	0.00	0.10	Agro_prof	936.0	0.15	2.34	22.34	0.88	0.00	0.14
Veg_raso	806.9	0.31	4.06	28.59	0.34	0.00	0.20	Veg_raso	462.2	0.04	2.09	18.08	0.96	0.00	0.05
Agro_raso	602.7	0.28	2.71	33.35	0.36	0.00	0.10	Agro_raso	363.9	0.06	5.07	10.53	0.28	0.00	0.10
Area_urb	227.9	0.33	3.07	19.41	0.50	0.00	0.10	Area_urb	120.3	0.13	3.38	12.01	0.51	0.00	0.10
Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.16							CS	24.00						
CI	111.69							CI	140.62						
CB	1703.00							CB	1211.00						
QB_M3/SKM2	0.0100							QB_M3/SKM2	0.0100						
(c)								(d)							
Bacia 5								Bacia 6							
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Veg_prof	2291.8	0.01	0.01	13.66	0.29	0.00	0.16	Veg_prof	663.0	0.19	0.01	30.14	0.36	0.00	0.15
Agro_prof	999.5	0.02	0.02	16.66	0.09	0.00	0.03	Agro_prof	529.0	0.26	0.02	36.34	0.88	0.00	0.14
Veg_raso	1983.7	0.03	0.02	19.24	0.25	0.00	0.16	Veg_raso	333.9	0.18	0.03	39.70	0.67	0.00	0.10
Agro_raso	912.9	0.03	0.02	21.63	0.24	0.00	0.15	Agro_raso	219.2	0.27	0.04	30.70	0.67	0.00	0.10
Area_urb	115.1	0.04	0.03	31.57	0.44	0.00	0.06	Area_urb	118.5	0.57	0.05	29.38	0.67	0.00	0.10
Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	60.59							CS	24.15						
CI	113.83							CI	113.20						
CB	961.94							CB	1200.00						
QB_M3/SKM2	0.0100							QB_M3/SKM2	0.0100						
(e)								(f)							

Figura 27: Valores dos dados calibráveis para as bacias do Ribeirão Taquaruçu: (a) Médio Taquaruçu Pequeno – MTP; (b) Alto Taquaruçu Grande - ATG; (c) Alto Taquaruçu Pequeno – ATP; (d) Taquaruçu do Porto – “ANA”; (e) Baixo Taquaruçu Grande – BTG; (f) Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP.

5.5 Resultados da Calibração do Modelo Hidrológico – MGB-IPH

A bacia hidrográfica foi subdividida em sete subacias (MTP, ATG, BTG, BTP, ATP e Foz), selecionadas em função da proximidade dos seus exutórios junto aos postos fluviométricos selecionados, ou em confluências de afluentes com o rio principal e apenas cinco foram calibradas pelo modelo hidrológico (MTP, ATG, ANA, BTG e BTP). A foz não foi calibrada por não dispor de dados necessários para a sua calibração e a ATP por existir em sua área uma barragem ela foi calibrada como vazão substituída o que não gera as funções objetivo, os hidrogramas e as curvas de permanência, conforme figura 28.

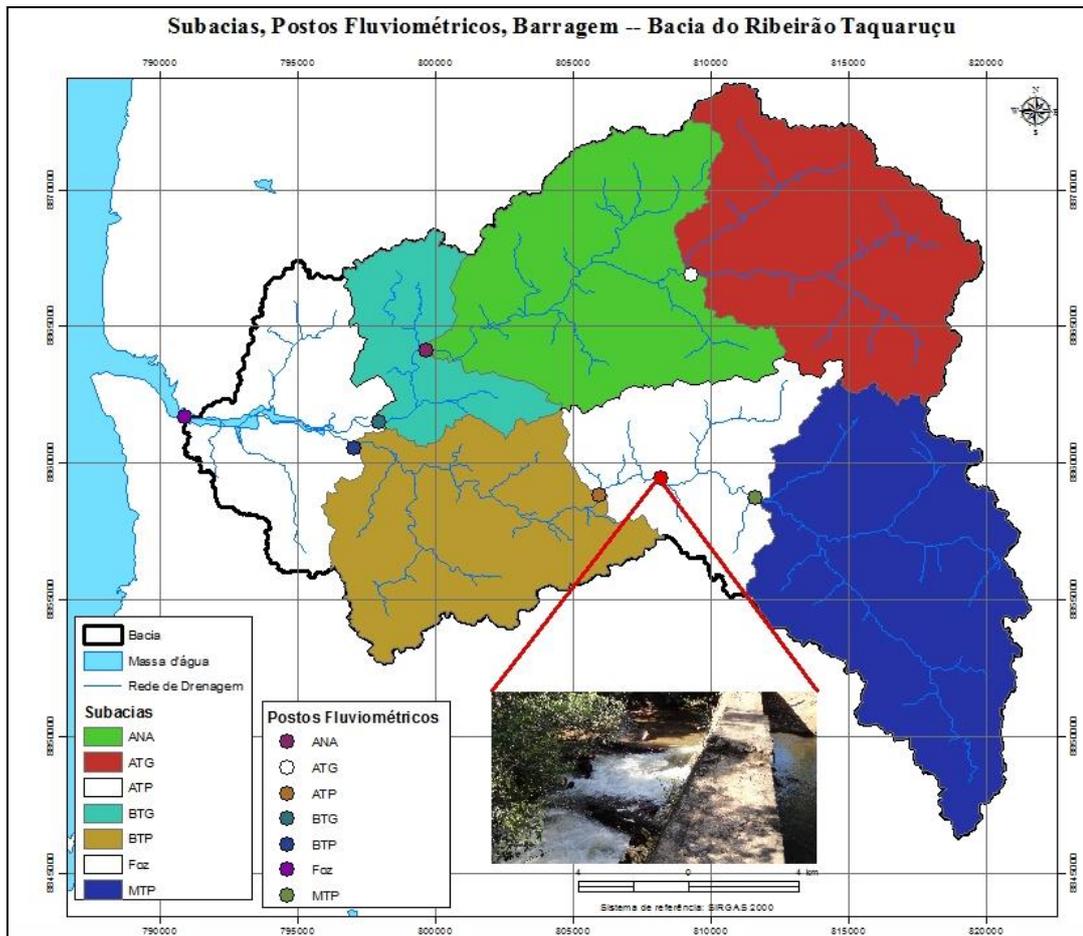


Figura 28: Subacias definidas em função dos postos fluviométricos e a barragem identificada na bacia.

O período de dados utilizados na calibração foi de 10/02/2002 a 31/08/2015, e a calibração foi independente para cada bacia. A escolha do período se deve à disponibilidade de dados de vazão observados. A qualidade dessa calibração é avaliada comparando as vazões calculadas com as vazões observadas e é realizada de forma visual, utilizando os gráficos com os hidrogramas observados e calculados, ou usando avaliações estatísticas, que normalmente são mais objetivas. No caso específico da bacia do Ribeirão Taquaruçu, a calibração foi avaliada utilizando métodos visuais e análises estatísticas. Já para as análises estatísticas as funções objetivo utilizadas foram os coeficientes dados pelas equações 1 a 4, muito utilizados na avaliação de modelos hidrológicos, objetivando aprimorar a representação das variáveis.

O valor de R^2 é influenciado por diferenças nas vazões calculadas e observadas, principalmente as máximas, razão pelo qual, quando R^2 é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e

bom se o valor de R2 supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de R2 ficar entre 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

Conforme o quadro 8 a simulação apresentou para a bacia MTP valor superior a 0.75 considerado adequado e bom, o que quer dizer que esta bacia apresentou um bom ajuste para as cheias, na estimativa de vazões de pico, enquanto que as outras 4 bacias (ATG, ANA, BTG, BTP) apresentaram valores variando entre 0.36 e 0.75, o que é considerado aceitável, já a bacia (ATP) apresentou R2 com valor negativo mesmo após várias tentativas de calibração. Esta bacia possui uma barragem em sua área o que contribui para uma representação ruim da vazão simulada. Segundo Collischonn (2001) sugere nesses casos, que seja utilizado a vazão substituída que é a opção de sobrescrever os arquivos existentes. Com isso as vazões lidas terão prioridade sobre as vazões previamente gravadas no arquivo de vazões observadas, e vão substituir os valores existentes. No caso das outras bacias simuladas as vazões lidas apenas complementam os dados já existentes.

Quadro 8: Resultados das funções objetivo para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Posto Fluviométrico	R2	Rlog	ErroVol	Q90 observadas (m3/s)	Q90 calculada (m3/s)	Área da Bacia (Km ²)
MTP	0.806	0.932	2.576	0.2950000	0.3335837	97.3787
ATG	0.652	0.696	-6.606	0.5469000	0.7037263	77.6063
ANA	0.422	0.477	-34.569	0.3071000	0.2732191	78.1247
BTG	0.616	0.621	18.650	0.2540000	0.2583948	28.3725
BTP	0.551	0.657	-32.972	0.7408030	0.4524091	65.8517
ATP*	-	-	-	-	-	45.1155
FOZ**	-	-	-	-	-	46.3856

*Bacia que aplicou a vazão substituída;

**não representa um posto fluviométrico, é apenas o exutório da bacia.

De forma a refletir adequadamente a disponibilidade de água em períodos relativamente críticos, onde o suprimento de água às demandas fica mais comprometido o modelo distribuído foi calibrado utilizando dados de vazão de postos fluviométricos dando ênfase ao ajuste nas vazões mais baixas, como a Q₉₀.

De acordo Collischonn (2001) o valor de Rlog é mais influenciado pelas vazões mínimas, ocorrendo que os valores próximos da unidade que tem valor máximo igual 1, significam que o modelo está simulando adequadamente os períodos de recessão do

hidrograma e as estiagens. Pela calibração todas as bacias apresentaram um Rlog variando entre 0.47 a 0.93.

Quanto ao erro no volume (Erro Vol) não tem valor máximo nem mínimo, quanto mais próximo de zero melhor e também não é influenciado de forma diferenciada por períodos de cheias ou de estiagens. Esse valor apenas expressa a diferença relativa entre a soma de todas as vazões, calculadas e observadas, sem considerar sua sequência temporal.

Com base nas estatísticas calculadas, como o coeficiente de Nash-Sutcliffe e os erros de volume, e com base na análise dos gráficos dos hidrogramas, a calibração pode ser considerada satisfatória. Tentar melhorar esses coeficientes significa dar muita importância aos picos de vazão e como o modelo não foi utilizado para previsão de cheias, não foi necessário um bom ajuste destes coeficientes.

Faz-se necessário observar que os valores das funções objetivo (R2 e Rlog) são bons em todos os postos fluviométricos. De acordo com os valores obtidos por Rlog em relação a R2 verificou-se que as estiagens foram melhores representadas que os períodos de cheia. Quanto aos elevados erros no volume total (ErroVol), parte dos baixos valores encontrados para R2 e Rlog nas bacias ANA e BTP se deve a esses elevados erros o que está associado aos erros nos dados de precipitação ou na estimativa da evapotranspiração.

Os hidrogramas calculados pelo modelo se ajustam relativamente bem aos hidrogramas observados, especialmente nos períodos de vazões mais baixas. As figuras 29 a 33 ilustram o desempenho do modelo em representar as vazões observadas no período de calibração.

É importante ressaltar que esses resultados devem ser analisados considerando a escassez de dados existente na região e que as variações dos hidrogramas foram bem representadas e outros picos de cheia menores bem ajustados. Pelos hidrogramas é possível observar que o modelo hidrológico superestimou as vazões de pico principalmente nas bacias ANA e BTP.

É provável que um aumento no número de postos pluviométricos na bacia permita reduzir os erros de simulações. Assim, considerou-se que o modelo conseguiu representar

muito bem os picos das maiores cheias, além das cheias menores que acontecem no começo e no final do período chuvoso.

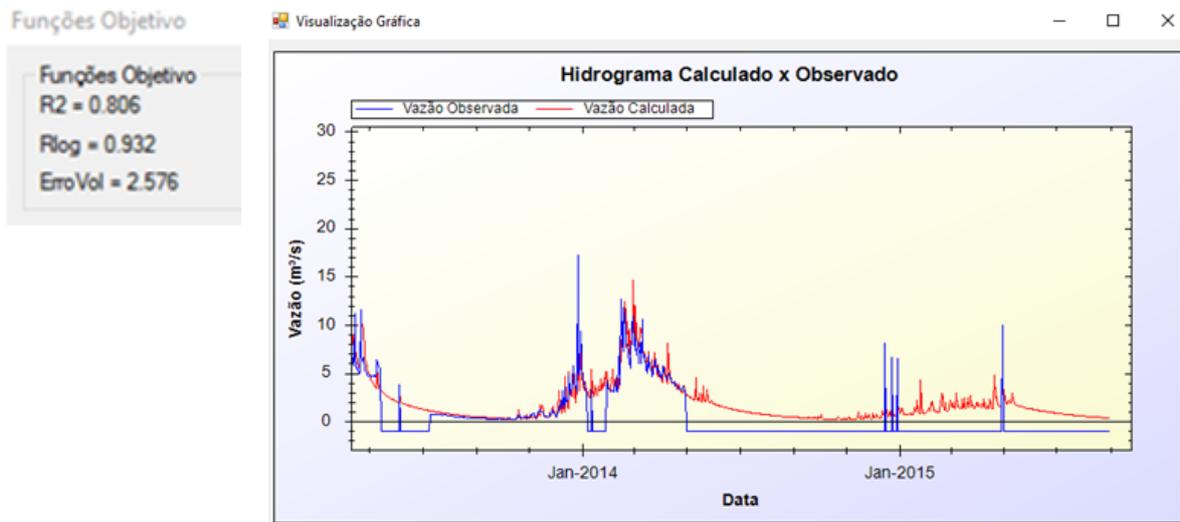


Figura 29: Hidrograma calculado e observado para a bacia 1 – Médio Taquaruçu Pequeno – MTP.

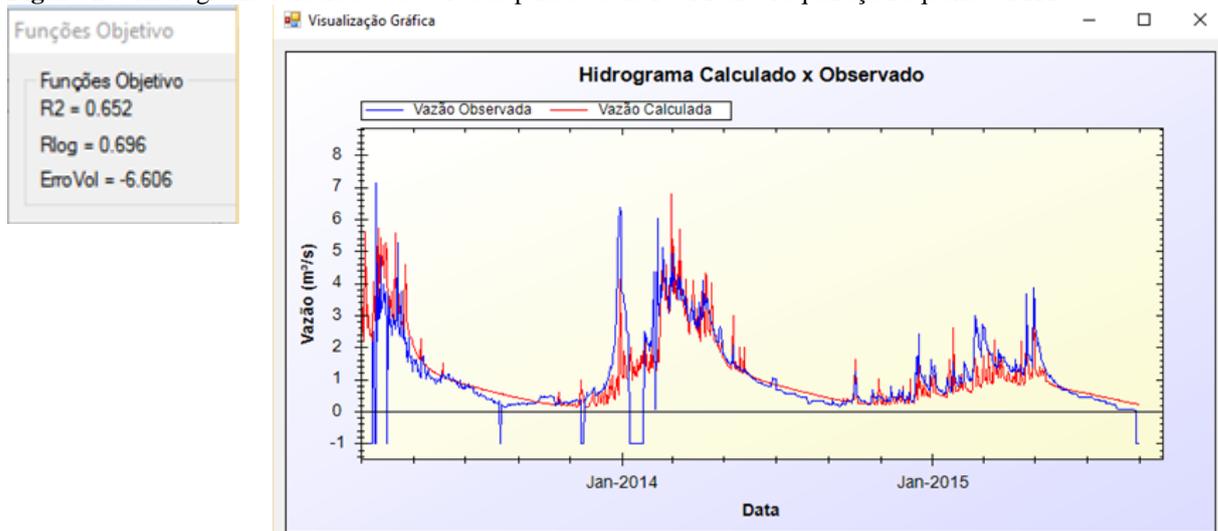


Figura 30: Hidrograma calculado e observado para a bacia 2 – Alto Taquaruçu Grande – ATG.

Funções Objetivo

Funções Objetivo
R2 = 0.422
Rlog = 0.477
ErroVol = -34.569

Visualização Gráfica

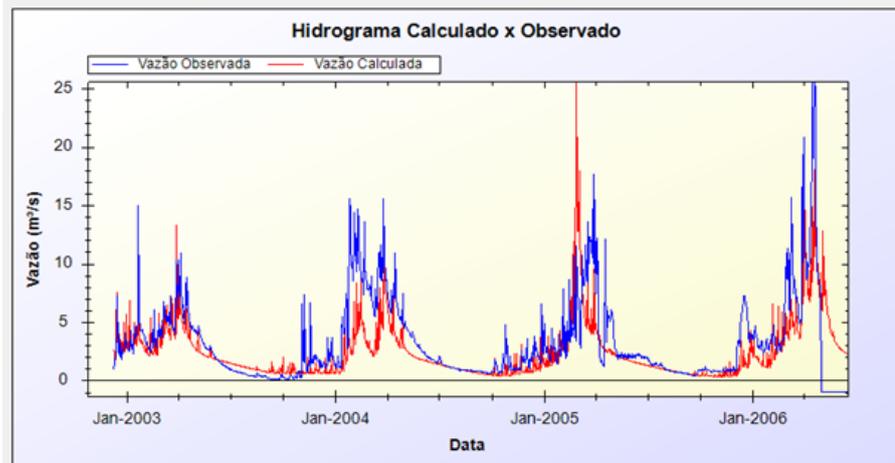


Figura 31: Hidrograma calculado e observado para a bacia 4 – Agência Nacional de Águas - ANA.

Funções Objetivo

Funções Objetivo
R2 = 0.616
Rlog = 0.621
ErroVol = 18.65

Visualização Gráfica

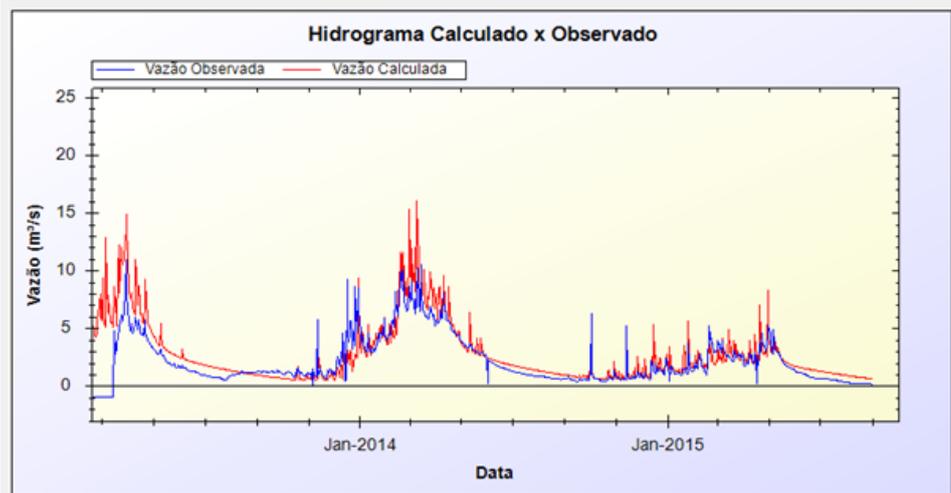


Figura 32: Hidrograma calculado e observado para a bacia 5 – Baixo Taquaruçu Grande - BTG.

Funções Objetivo

Funções Objetivo
R2 = 0.551
Rlog = 0.657
ErroVol = -32.972

Visualização Gráfica

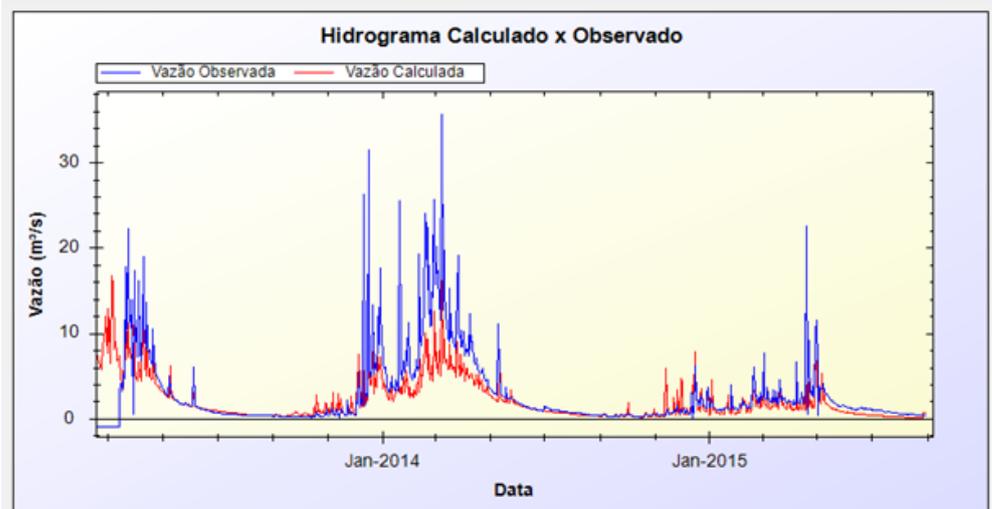


Figura 33: Hidrograma calculado e observado para a bacia 6 – Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP.

Os hidrogramas simulados representam a alternância de períodos de cheia e estiagem devido a forte sazonalidade da precipitação, comportamento característico da região. Vários postos pluviométricos possuem séries de dados curtas e com muitas falhas, nesse caso o máximo que se pode esperar é que os valores simulados e observados não sejam exatamente iguais.

Segundo Collischonn (2001) como o uso dos resultados do modelo está associado à avaliação de disponibilidade hídrica, a solução que melhor representa são as curvas de permanência que vão relacionar o valor de vazão com a porcentagem de tempo em que é igualado ou ultrapassado, identificando a probabilidade de cheia e de estiagem e permitindo uma estimativa da disponibilidade.

As curvas de permanência das vazões calculadas e observadas pelo modelo hidrológico para as bacias, conforme figura 34 a 38 mostram um ajuste bom (ATG, ANA) razoável (MTP, BTG e BTP).

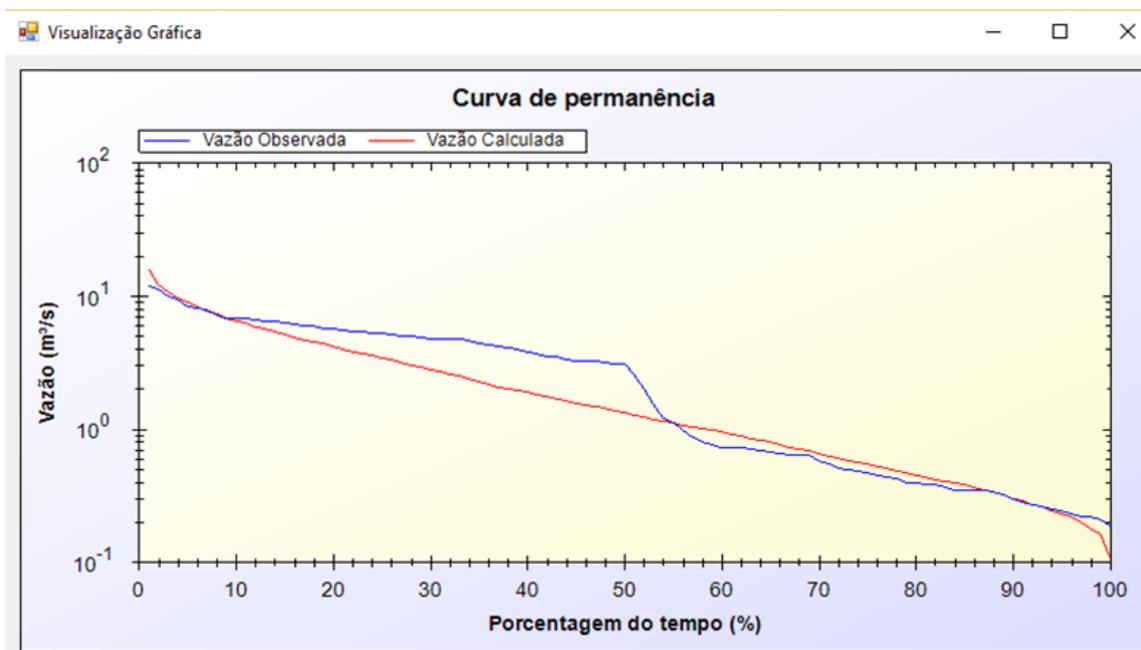


Figura 34: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 1– MTP.

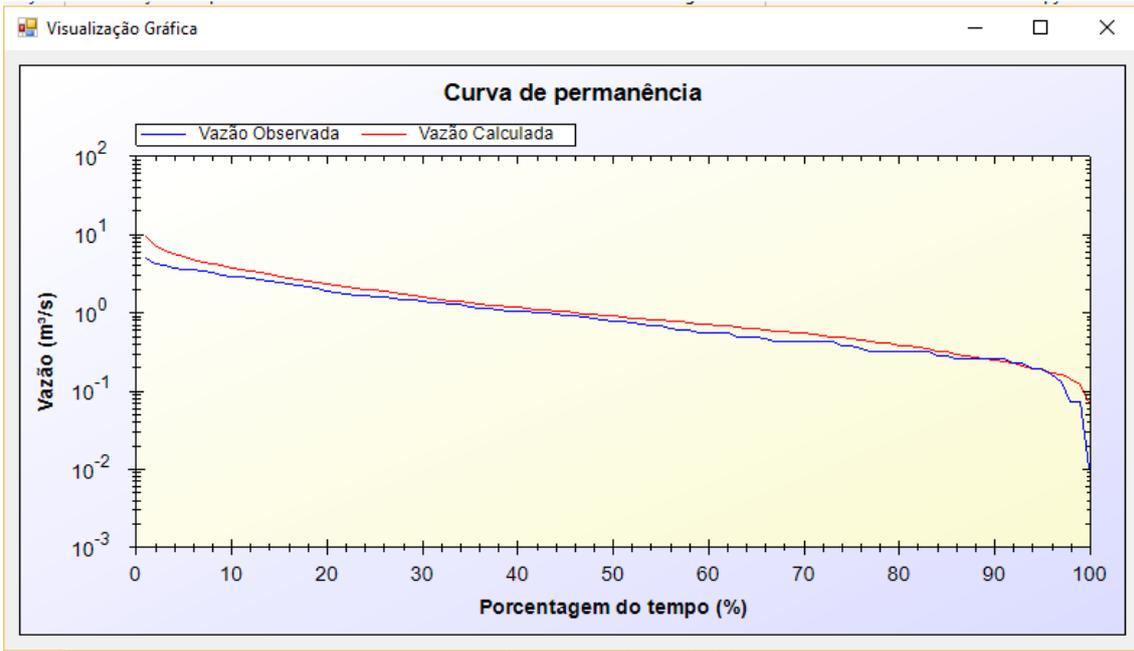


Figura 35: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 2 – ATG.

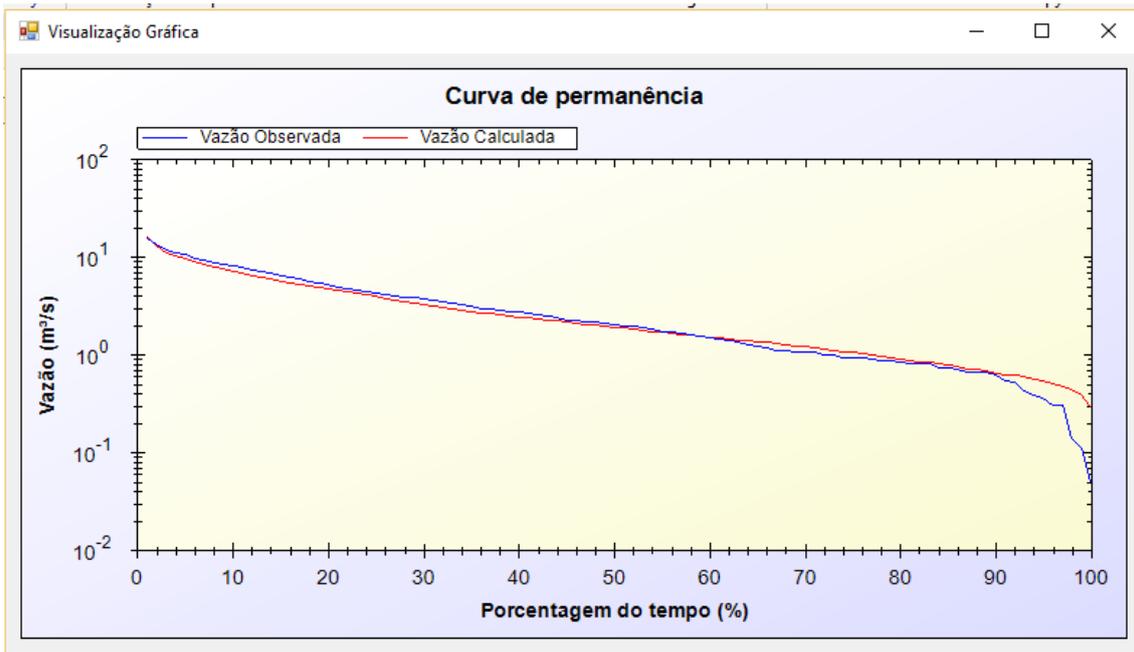


Figura 36: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 4 – ANA.

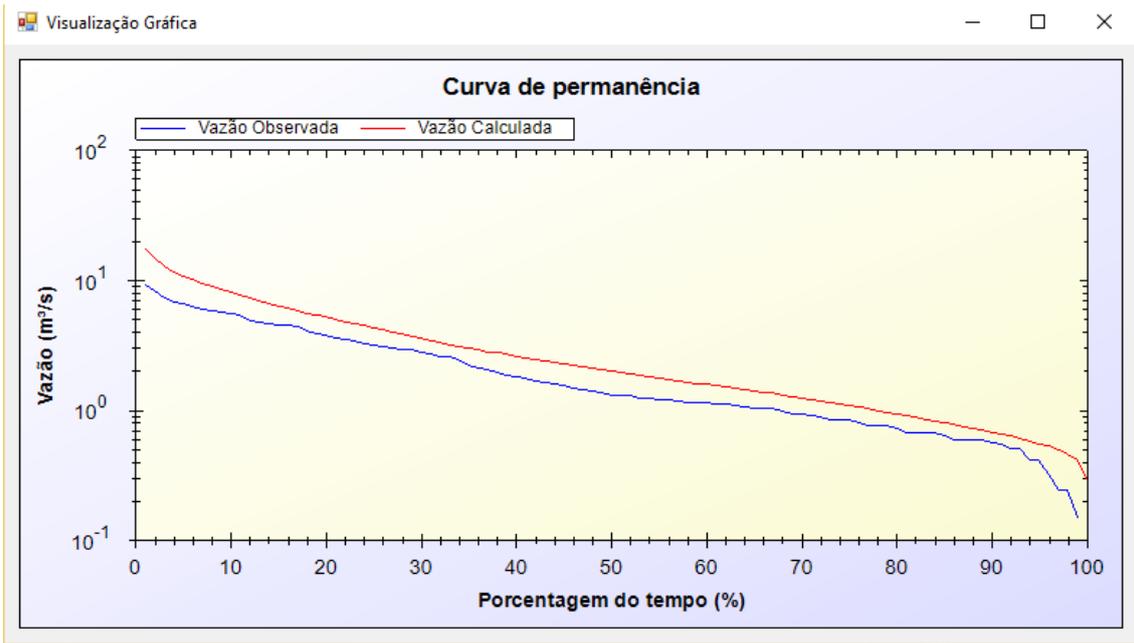


Figura 37: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 5 – BTG.

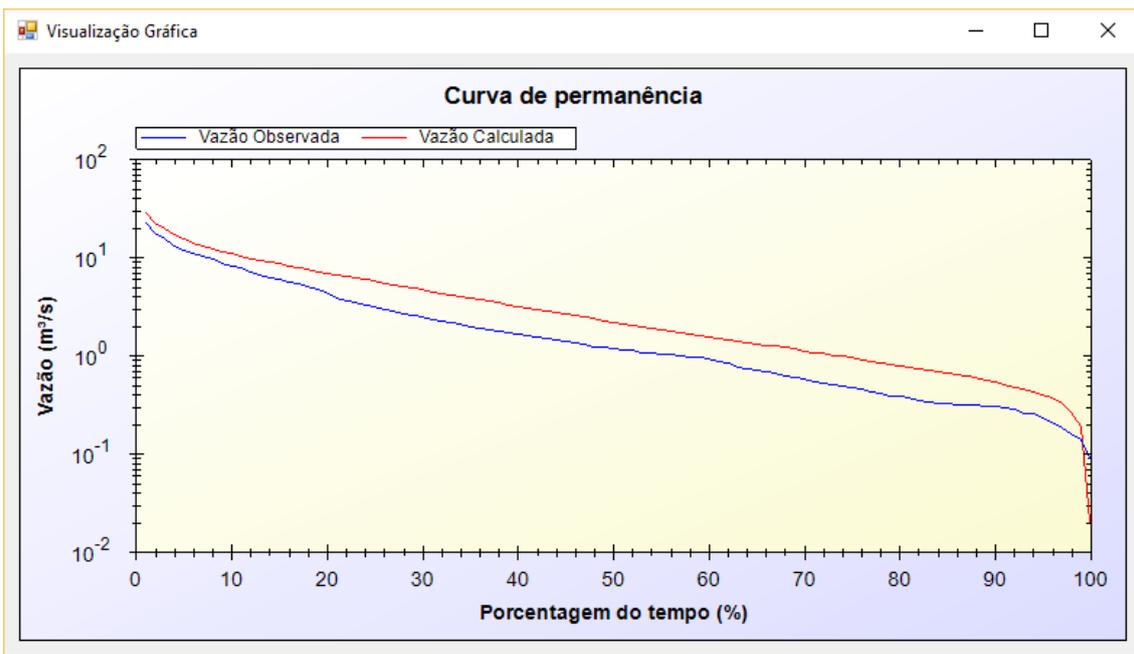


Figura 38: Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 6 – BTP.

Observa-se que nas curvas de permanência as vazões de cheia ficaram bem representadas, nas vazões mais frequentes e nos períodos de estiagem ocorreram variações e os erros são pequenos, o que mostra um desempenho considerado bom por meio do ajuste entre as vazões observadas e simuladas.

Ressalta-se que a dificuldade do modelo em simular as vazões não pode ser atribuída única e exclusivamente a sua concepção, pois a área da bacia é pequena levando em consideração que a ferramenta representa grandes bacias, contudo os resultados obtidos indicaram que a parametrização do modelo mostrou-se adequada para a bacia do Ribeirão Taquaruçu, onde se obteve resultados satisfatórios ao se avaliar a potencialidade do modelo na geração de informações de vazão em pontos monitorados da bacia. Esses valores corroboram com estudos anteriores em outras bacias (Collischonn, 2001; Ribeiro Neto, 2006) mostrando que os resultados obtidos nesses estudos não foram melhores que os obtidos na bacia analisada.

5.5 Resultados e Aplicação do Sistema de Suporte a Decisão - SAD-IPH

5.5.1 Modelagem Quantitativa

Para essa modelagem configurou-se o ambiente no *Mapwindow* inserindo a rede de drenagem com a demanda acumulada de montante para jusante em toda a bacia e os resultados da disponibilidade hídrica em cada trecho, cujos valores foram obtidos por meio do modelo MGB-IPH, e as minibacias. A identificação das demandas hídricas por usuários foi desenvolvida, explicitando as vazões/volumes captados e suas localizações, bem como os regimes de demanda. O aplicativo cria *layers* para as retiradas onde são inseridos os valores previamente organizados em planilhas das demandas identificadas por meio de questionários aplicados em campo.

Os valores de demandas hídricas contemplam tanto as retiradas consideradas pontuais no modelo, como o abastecimento público urbano, piscicultura, recreação, serviços, uso industrial, como também as retiradas difusas, onde não há uma referência exata do ponto de captação, porém sabe-se da delimitação onde a mesma ocorre, como é o caso do uso de água para irrigação, pecuária e abastecimento rural.

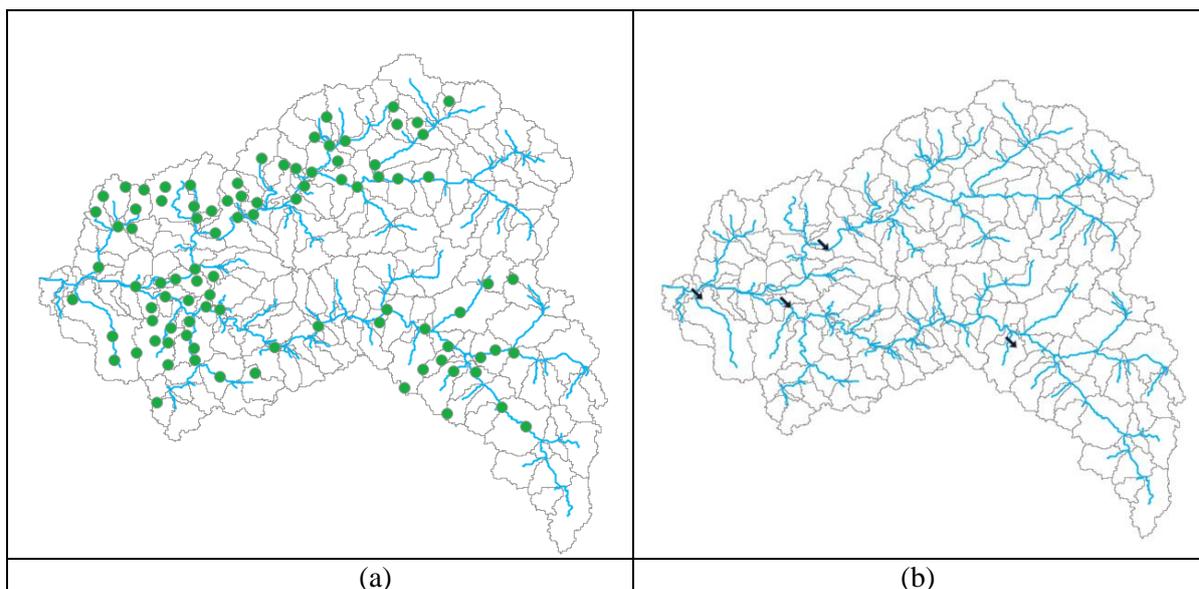
Em uma tabela foram inseridos os valores de demandas hídricas por captação direta de água onde cada um desses usos representam um cenário totalizando 9 cenários, conforme figura 39.

Nome	long	lat	tipo	fonte	abast_rur	abast_urb	des_anl	psi	recrea	serv	indust	irrig	total
1	-48,155	-10,214,722	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-48,122,888	-10,289,277	1	1	0.000014	0	0.00002	0	0	0	0	0	0.000034
3	-48,305,555	-10,260,833	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
4	-48,238,611	-10,254,722	1	1	0.000024	0	0	0	0	0	0	0	0.000025
5	-4,816,777	-10,209,722	1	1	0	0	0.000005	0	0	0	0	0	0.000005
6	-48,116,111	-10,350,555	1	1	0.000017	0	0.000028	0	0	0	0	0	0.000045
7	-48,145,638	-10,327,194	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
8	-48,152,222	-10,235,833	1	1	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0.00001
9	-48,213,611	-10,240,555	1	1	0.00001	0	0.000001	0	0	0	0	0	0.000011
10	-48,270,972	-10,297,472	1	1	0.000035	0	0.000019	0	0	0	0	0	0.000054
11	-48,201,388	-10,220,555	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	-48,199,722	-10,225,833	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-48,156,944	-10,215,833	1	1	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0.00001
14	-48,315,389	-10,280,907	1	1	0	0	0	0	0.000003	0	0	0	0.000003
15	-4,813,644	-10,303,458	1	1	0	0.014	0	0	0	0	0	0	0.014
16	-48,297,052	-10,290,678	1	1	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.7
17	-48,143,638	-10,326,555	1	1	0.000003	0	0	0	0	0	0	0	0.000003
18	-48,109,861	-1,032,375	1	1	0.000017	0	0.000097	0	0	0	0	0	0.000115
19	-48,205,277	-102,175	1	1	0.00001	0	0.000007	0	0	0	0	0	0.000017
20	-48,158,055	-10,216,944	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
21	-48,228,333	-10,320,833	1	1	0.000014	0	0.000072	0	0	0	0	0	0.000086
22	-48,126,527	-10,326	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	-481,425	-10,320,388	1	1	0.000024	0	0.000001	0	0	0	0	0	0.000025
24	-48,246,666	-10,256,111	1	1	0.000017	0	0.000004	0	0	0	0	0	0.000022
25	-48,208,611	-10,216,111	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014

Figura 39: Dados dos usuários de água da bacia inseridos no modelo.

Legenda: abast_rur: Abastecimento rural; abast_urb: Abastecimento urbano; psi: Piscicultura; recrea: Recreação; Serv: Serviço; indust: Indústria; irrig: Irrigação.

Após essa configuração, na aba simular no modelo quantitativo é visualizado os resultados por meio de mapas, onde (a) os pontos verdes são usuários que retiram água dos rios e (b) as setas na cor preta representam os lançamentos pontuais, (c) os pontos de monitoramento. As cores representam a relação entre demanda e oferta de água, denominado comprometimento da vazão (azul: baixíssimo comprometimento; amarelo: baixo comprometimento; laranja: médio comprometimento; vermelho: alto comprometimento; preto: demanda acumulada é maior do que a oferta) (d), conforme figura 40.



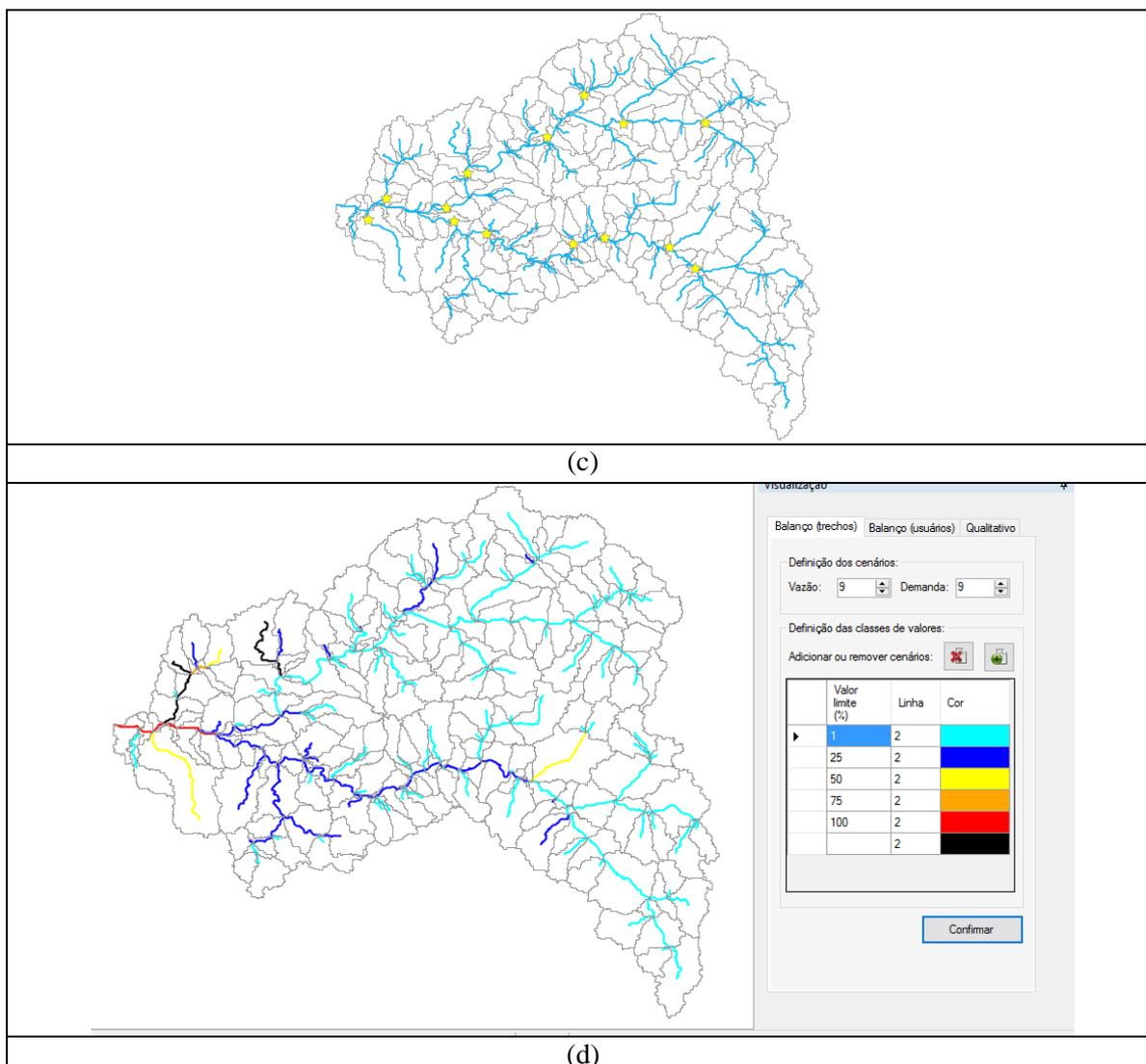


Figura 40: Forma de representação de: (a) usuários que retiram água da bacia; (b) pontos de lançamento de carga pontual; (c) pontos de monitoramento; (d) representação da relação entre demanda e oferta de água, denominado comprometimento da vazão.

A possibilidade de gerar mapas ilustrativos do comprometimento da disponibilidade de água existente sobre a rede de drenagem é uma das principais potencialidades do SAD-IPH, onde para cada trecho de rio é realizada uma comparação entre a vazão disponível e a vazão total de demanda dos usos.

Para o estabelecimento do balanço entre disponibilidades e demandas, simulou-se os meses de Janeiro, Agosto e Novembro, definindo como cenário de vazão a Q_{90} e o somatório das demandas identificadas na bacia. Nos meses de Janeiro e Novembro (simulação em período chuvoso) e Agosto em condição de estiagem, verificou-se trechos de

comprometimento de disponibilidades de hídricas, bastante significativos, principalmente nas áreas urbanas da bacia, conforme figuras 41 a 43.

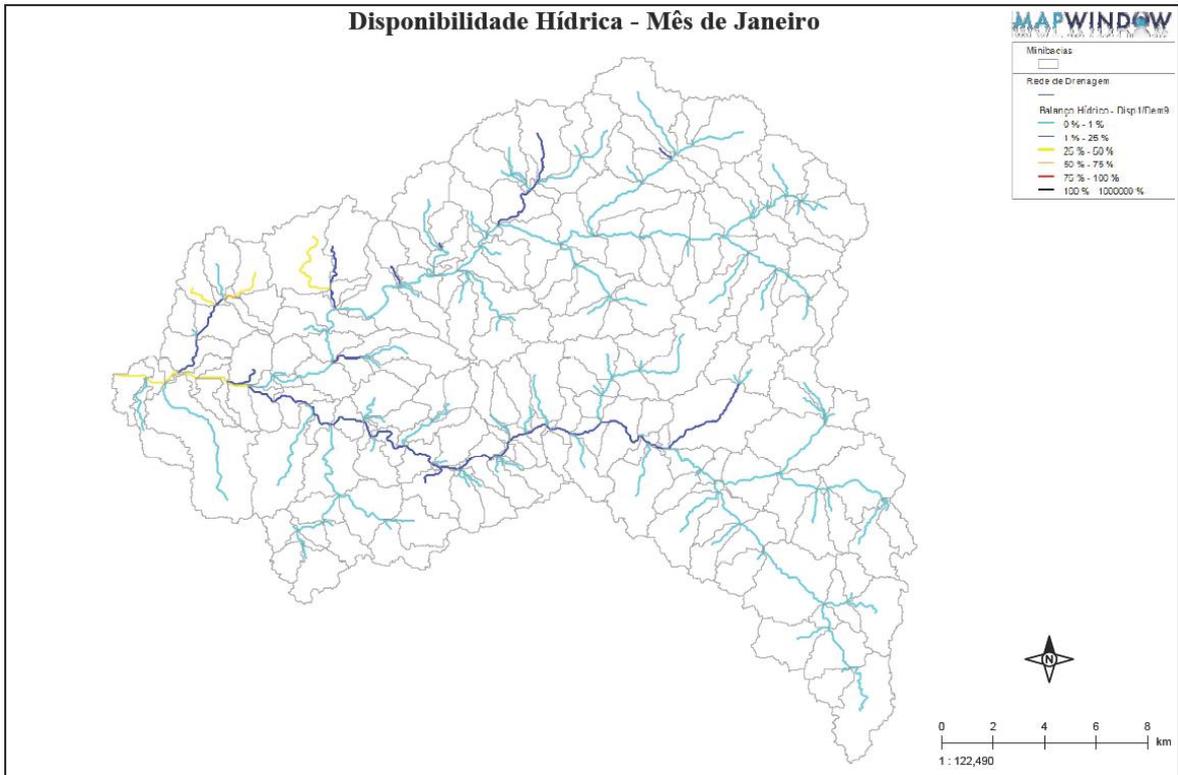


Figura 41: Disponibilidade hídrica do mês de Janeiro com relação ao somatório das demanda (total).

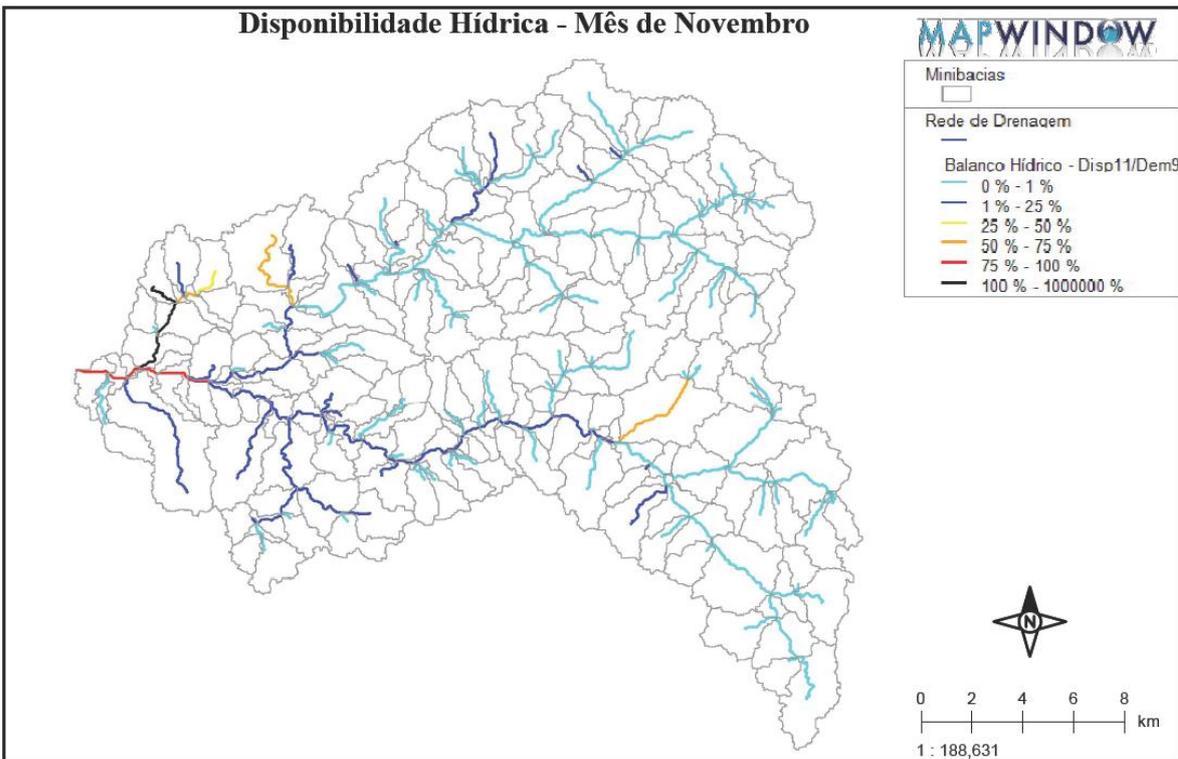


Figura 42: Disponibilidade hídrica do mês de Novembro com relação ao somatório das demanda (total).

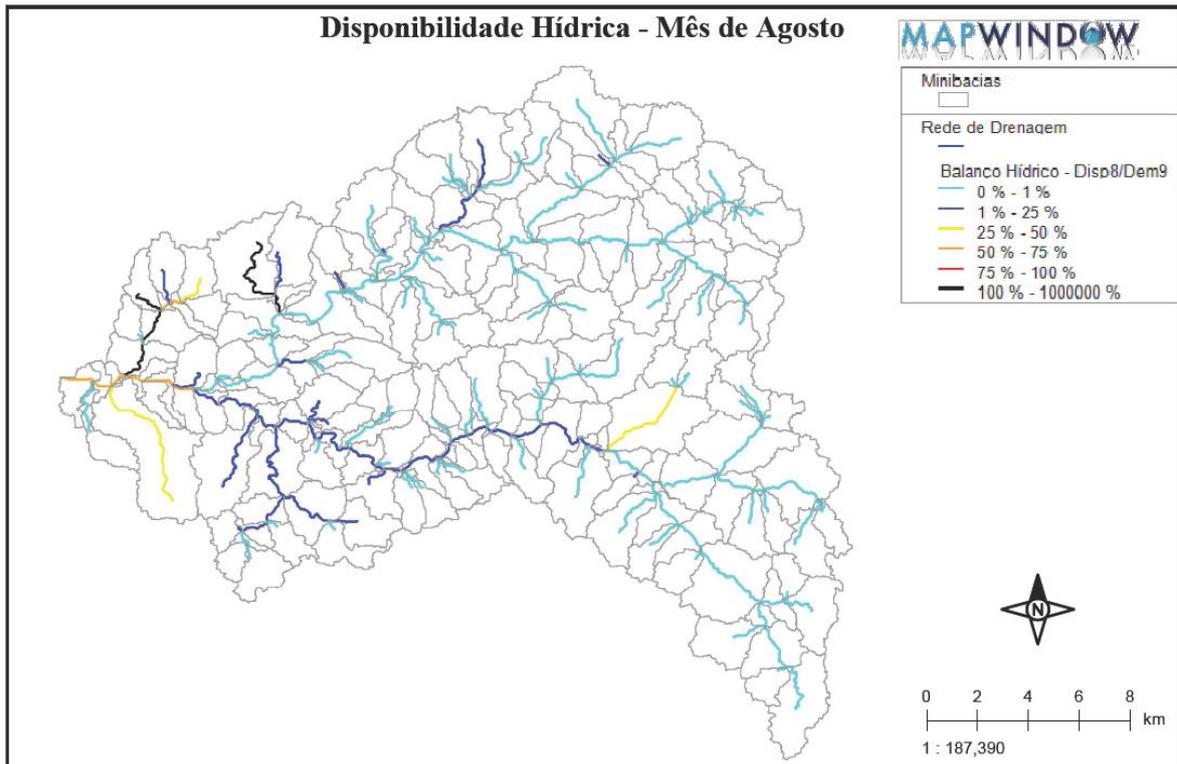


Figura 43: Disponibilidade hídrica do mês de Agosto com relação ao somatório das demanda (total).

As comparações entre as disponibilidades hídricas e as demandas de água, ao longo do ano (em termos mensais) permite avaliar o grau de comprometimento dos recursos hídricos em termos de atendimento às necessidades pretendidas identificando situações reais, potenciais de escassez e falha no atendimento para essas demandas.

O que se observou é que os resultados mostram certa folga de disponibilidade, embora já sejam evidenciados trechos em que a criticidade hídrica apresenta-se alta, principalmente como já foi identificado na parte urbana da bacia.

As análises dos mapas apontam um aumento considerável na criticidade hídrica em certos pontos, demonstrando que o modelo pode ser uma ferramenta bastante útil para a proposição de alternativas de acréscimo da disponibilidade hídrica nesses locais. O balanço hídrico da bacia serve de subsidio para a definição de critérios de repartição das águas para a emissão das outorgas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

5.5.2 Modelagem Qualitativa

Na caracterização da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica foram classificados todos os parâmetros monitorados cuja Resolução CONAMA nº 357/05(CONAMA 2005) apresenta padrões de classificação.

Para o modelo de qualidade a coleta de amostras possui caráter pontual, não possibilitando a distribuição dos padrões de qualidade pela rede hidrográfica da bacia. As análises foram realizadas considerando o cenário atual de lançamentos de efluentes.

Foram fornecidos os lançamentos pontuais e difusos onde o modelo cria um arquivo vetorial para os lançamentos pontuais e difusos sendo inseridos os valores previamente organizados em planilha, das cargas identificadas por meio de questionários aplicados em campo, conforme figura 44 e 45.

NOME	x	y	Q	DBO	OD	N ORG	NH3	NO2	NO3	Pt	Coli (NMP/100ml)
Distrito de Taquaruçu	-48.157	-10.317	0.004983	15	0	17.85	3.6	0	0	1.77	300000
Chacareiros_1	-48.2579	-10.2646	0.001886	15	0	17.85	3.6	0	0	1.77	300000
Chacareiros_2	-48.2781	-10.2956	0.001886	15	0	17.85	3.6	0	0	1.77	300000
ETE Aurenny	-48.3259	-10.2911	0.03	14.375	0	0	48.11	0.274	3.2375	1.2497	71849.75

Figura 44: Valores das cargas pontuais identificados na bacia e inseridos no modelo.

Inserção de cargas distribuídas

Inserir shapefiles

Inserir shapefile de caracterização do solo: C:\Quali_SAD-26-02-16\Cob_Usos_Bacia\cob_uso_sa ...

Nome da coluna de classe de uso: Classe

Nome da coluna de área do polígono: Area_SAD

Nome da coluna de código da mini-bacia: Mini_ID

OK

Cargas unitárias de poluentes (Kg/ha*ano): *máximo: oito classes de uso do solo

	Red. DBO(%)	Carga Nit.	Red. Nit. (%)	Carga Fosf.	Red. Fosf. (%)	Carga Coli.	Red. Coli. (%)
0	2.2	0	0.7	0	0	0	100000000
0	0.8	0	0.15	0	0	0	10000
0	0	0	0	0	0	0	0
0	2.2	0	0.7	0	0	0	100000000
0	0.8	0	0.1	0	0	0	0
0	0.8	0	0.1	0	0	0	0

Uso do solo por mini-bacia (km²):

	Código	Ad	Ag	Ar
1	1	0	0.44	0
2	2	0.22	0.17	0
3	3	0	0.88	0
101	101	0.09	0.67	0
4	4	0	0.91	0
5	5	0	0.27	0
102	102	0	0	0
125	125	0	1.25	0
163	163	0	0.07	0
161	161	0	0.41	0
6	6	0	0.17	0
159	159	0	0.13	0

Cargas de poluentes por mini-bacia (Kg/dia): Calcular

	Código	DBO	Nit. total	Fr
1	1	1.28	1.51	0.0
2	2	1.47	1.09	0.0
3	3	1.86	1.06	0.0
101	101	3.54	8.9	0.0
4	4	1.82	1.99	0.0
5	5	0.82	0.36	0.0
102	102	0.01	0.04	0.0
125	125	3.63	7.65	0.0
163	163	0.41	0.56	0.0
161	161	1.34	2.15	0.0
6	6	0.62	0.35	0.0
159	159	0.45	1.38	0.0

Cancelar Salvar dados

Figura 45: Arquivo do modelo para inserção das cargas de poluição difusas identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Com relação às cargas difusas, não há uma referência exata do ponto de captação, faz-se uma delimitação onde a mesma ocorre, como é o caso do uso da água para irrigação, pecuária e abastecimento rural. Para os cálculos das cargas difusas são avaliados as áreas de uso e cobertura da terra, conforme figura 48, onde para cada minibacias uma determinada carga é gerada e calculada pelo coeficiente de exportação, conforme figura 46, de modo a alcançar uma carga poluente única na minibacias referente a cada um dos seguintes parâmetros de qualidade: DBO, OD, fósforo total, séries de nitrogênios e coliformes.

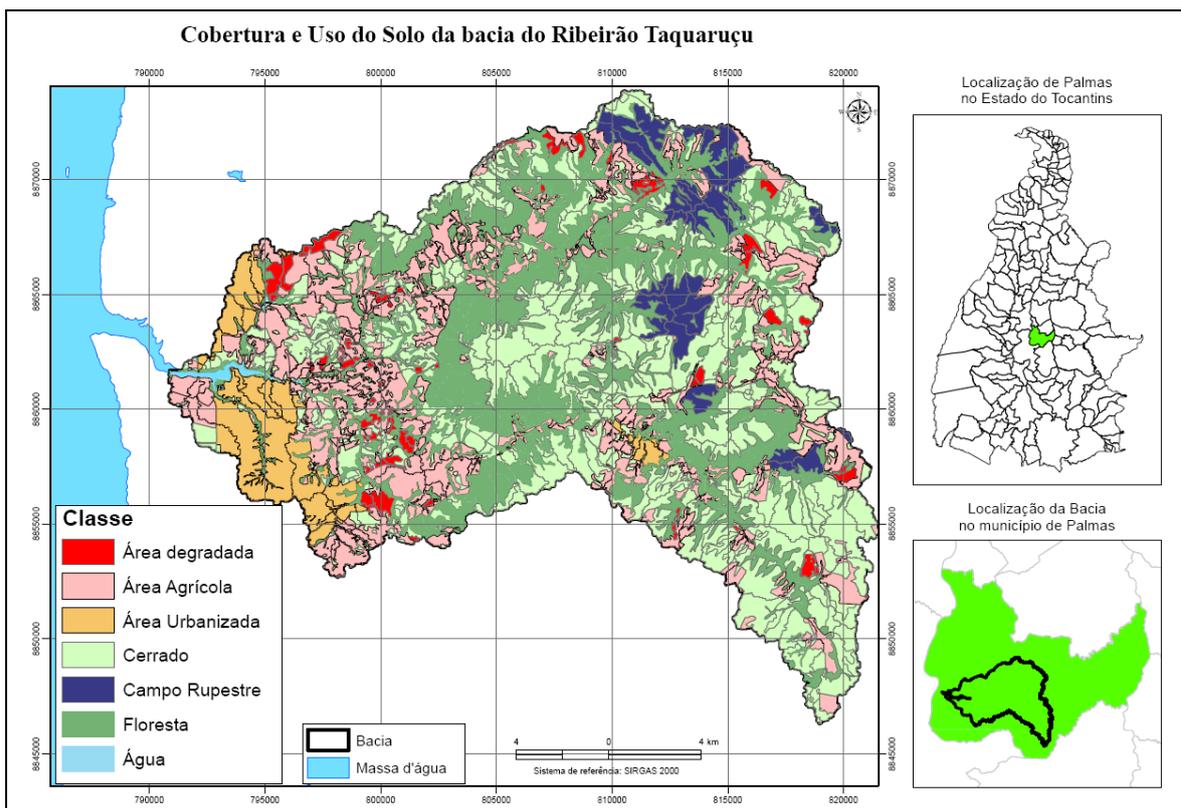


Figura 46: Classes inseridas no modelo SAD-IPH para atribuição das cargas difusas.

Os valores definidos das cargas DBO, Nitrogênio, Fósforo, Coliformes e seus respectivos valores de redução, foram baseados em Larentis (2004) conforme quadro 9.

Quadro 9: Cargas unitárias de poluentes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) por tipo de uso (valores entre parêntesis são médios).

Uso do Solo	DBO	OD*	NT	PT	Coliformes F. *
Urbano	12,0	10	2,2	0,70	10^7
Agrícola	6,0	80	0,8	0,15	10^3
Pastagem	3,0	80	0,8	0,10	10^3
Floresta	1,0	80	0,0	0,0	0,0
Água	0,0	80	0,0	0,0	0,0

Fonte: Larentis (2004)

(*) Valor em % da concentração de saturação;
Concentração em $\text{nmp} \cdot \text{L}^{-1}$.

Exemplos de utilização de coeficientes de exportação podem ser encontrados em modelos aplicados na bacia do Taquari-Antas no Rio Grande do Sul (Tucci *et al*, 2003) e Larentis (2004).

A avaliação da eficiência das ações na remoção de poluentes realizou-se de acordo com informações existentes em literatura específica relacionada ao tema.

No sistema de suporte a decisão - SAD-IPH devem ser informados os coeficientes de decaimento de DBO, OD, Coliformes totais, Nitrogênio Orgânico, Nitrito, Nitrato e Fósforo Total, para todos os constituintes que se deseja simular.

Esses coeficientes de decaimento são atribuídos a cada trecho de rio, mas usualmente considera-se o mesmo valor para todos os trechos. Esse valor deve ser informado ao sistema e pode ser modificado, buscando uma melhor reprodução das condições medidas no campo, no que poderia ser chamado de calibração do modelo.

O Modelo de qualidade de água simula, por meio de equações matemáticas, o comportamento (decaimento) das concentrações dos parâmetros ao longo da rede hidrográfica. Com as concentrações resultantes nos segmentos, pode-se verificar a qualidade da água e a correspondente Classe de Uso.

Para essa modelagem é necessário à definição dos parâmetros hidráulicos (declividade, largura, profundidade, velocidade.) e temperatura que são os que regem os processos de depuração das cargas lançadas na bacia e são pré-requisitos para a definição dos parâmetros físico-químicos, os parâmetros de qualidade nas cabeceiras dos rios e os dados das campanhas de monitoramento de qualidade das águas. Os dados de declividade são gerados pelo *ArcHydro* na etapa de discretização da bacia. Os parâmetros das cabeceiras utilizam os valores médios (*default*) apresentados pelo modelo para o caso de bacias sem postos de monitoramento nas cabeceiras como é o caso da bacia em estudo, figura 47.

Informe os valores iniciais dos parâmetros da simulação qualitativa:

Parâmetro	Unidade	Valor
DBO5	mg/L	<input type="text" value="2"/>
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Oxigênio Dissolvido de Saturação
Nitrogênio Orgânico	mg/L	<input type="text" value="0.1"/>
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<input type="text" value="0.07"/>
Nitrito	mg/L	<input type="text" value="0.007"/>
Nitrato	mg/L	<input type="text" value="0.12"/>
Fósforo Total	mg/L	<input type="text" value="0.035"/>
Coliformes Fecais	MNP/100mL	<input type="text" value="50"/>

Percentual da vazão inicial no trecho (%):	<input type="text" value="50"/>
--	---------------------------------

Figura 47: Valores default para os parâmetros de cabeceira, calibrados pelo modelo.

Os dados das duas campanhas de monitoramento foram inseridos mediante a inserção de: (a) planilhas contendo o nome, as coordenadas, o código identificador do trecho de drenagem e as informações temporais das concentrações de poluentes resultantes das campanhas de monitoramento nos postos e (b) o modelo espacializa essas informações, conforme figuras 48.

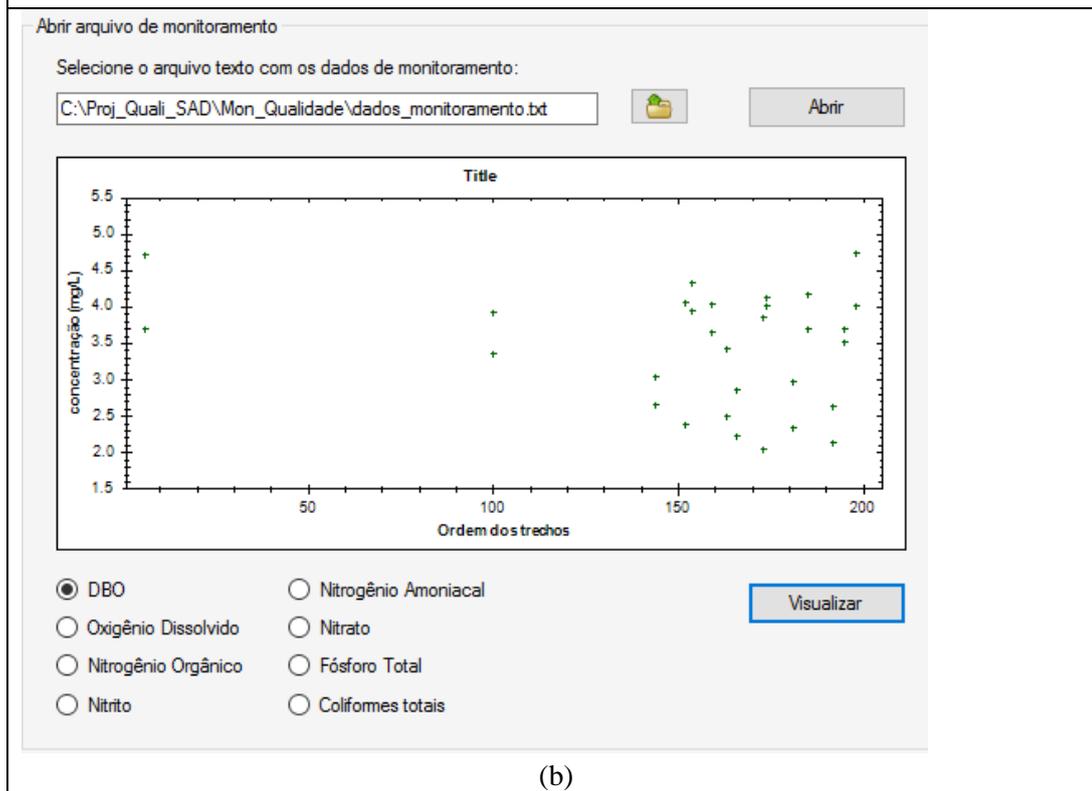
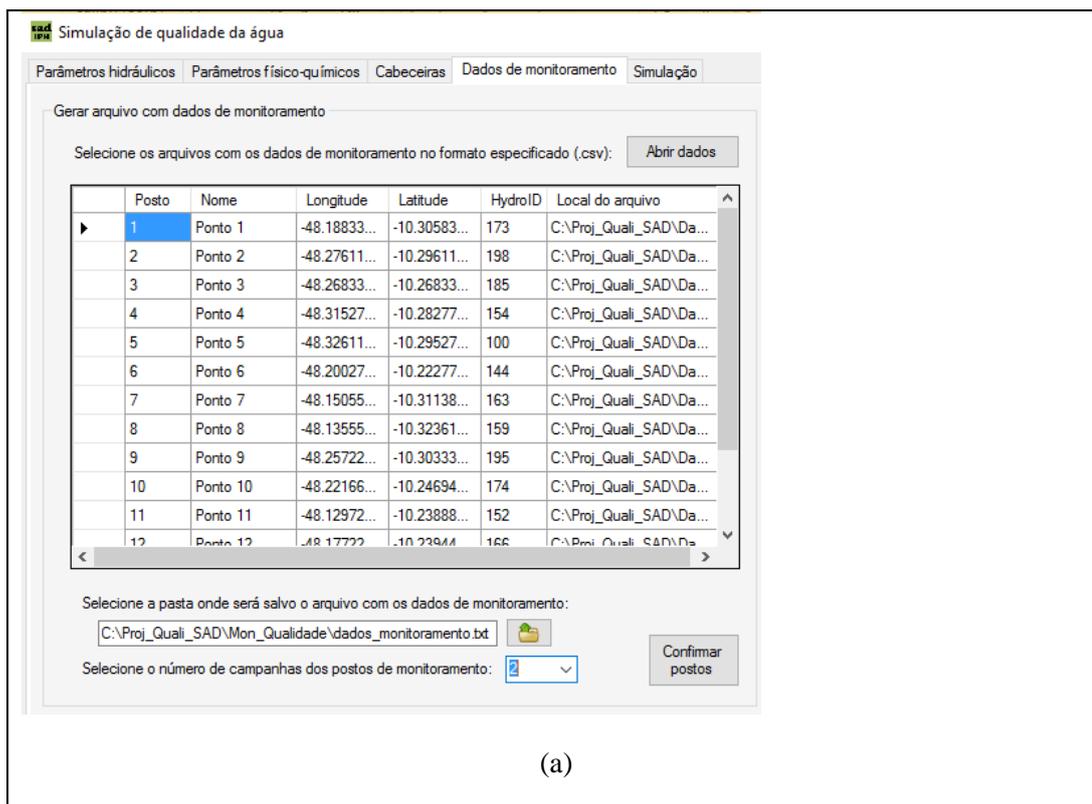


Figura 48: Inserção dos dados de monitoramento levantados em campo (a) e o arquivo vetorial (b) gerado pelo modelo.

Na aba dos parâmetros hidráulicos os valores utilizados para a largura e profundidade foram valores *default* do modelo. Quanto à velocidade utilizou-se valor fixo e para a temperatura retirou-se uma média dos valores obtidos dos 16 pontos analisados nas campanhas de monitoramento, conforme tabela 6.

Tabela 6: Valores utilizados para a calibração dos parâmetros hidráulicos e de temperatura na modelo qualitativo.

Parâmetros	Variáveis	Valores
Largura	Variável x	3,24
	Variável y	0,41
Profundidade	Coefficiente de rugosidade e Manning (n)	0,035
	Vazão	Q ₉₀
Velocidade		0.6
Temperatura		24,27°C

Os parâmetros físico-químicos utilizados para a calibração estão apresentados na tabela 7 e os gráficos de decaimento apresentados na figura 50. Para o parâmetro de OD Saturação utilizou-se um valor com base na média das temperaturas amostradas nos dados de monitoramento.

Tabela 7: Valores utilizados para a calibração dos parâmetros físico-químicos do modelo.

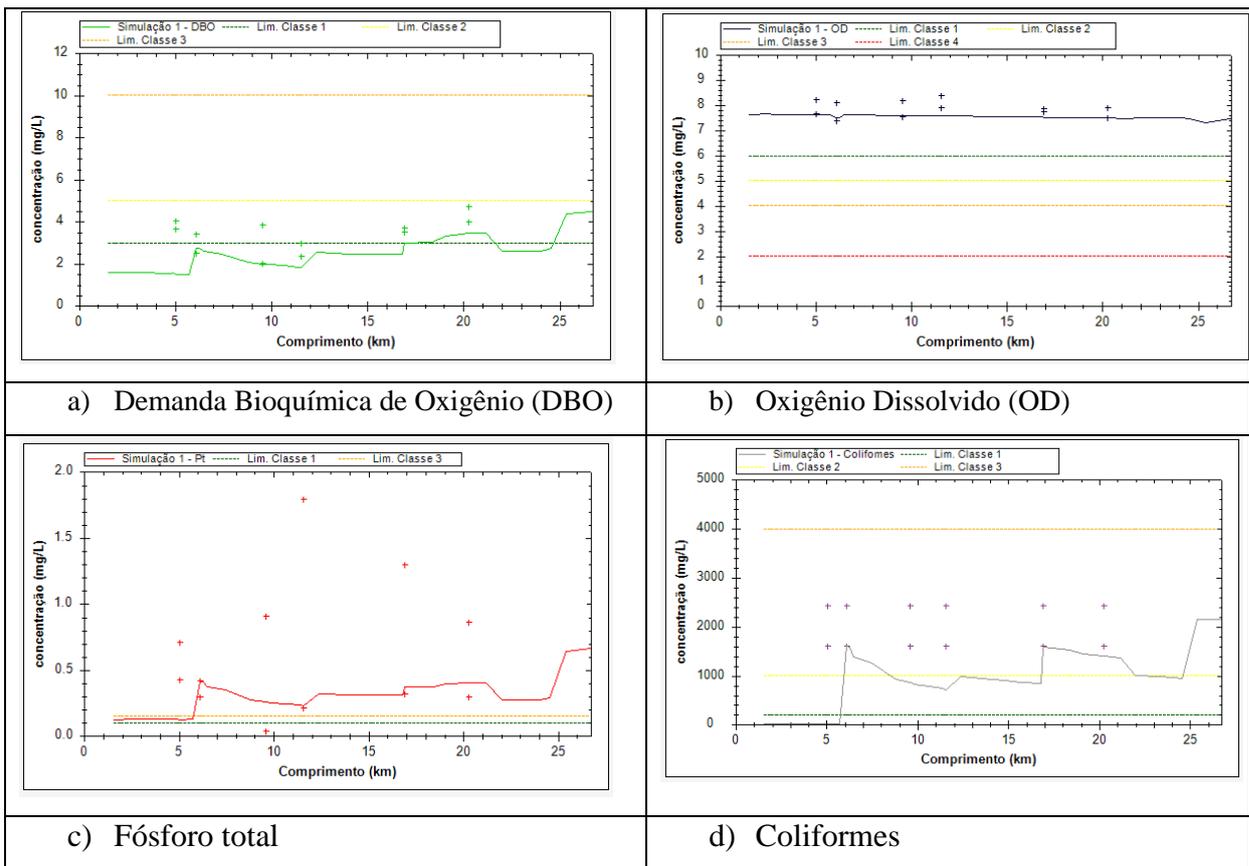
Parâmetro	Símbolo	Metodologia	Valores adotados
OD Saturação (mg/L)			7.68
Coefficiente de reaeração OD (1/d)	Ka	0,1 a 50**	1.78
Coefficiente de remoção DBO (1/d)	Kr	0,1 a 5,0**	0.3
Coefficiente de decaimento bacteriano (1/d)	Kcol	0,5 e 1,5/dia*	1.0
Coefficiente de decaimento fósforo total (1/d)	Kp	0,1 a 10**	0.2
Coefficiente de hidrólise nitrogênio orgânico (1/d)	Koa	0,20 a 0,25*	0,5
Coefficiente nitrificação NH ₃ (1/d)	kai	0,15 a 0,25*	0,25
Coefficiente nitrificação NO ₂ (1/d)	Kin	0,10 a 1,00*	0,65

Fonte: *(VON SPERLING, 2007)

**Bowie *et al.* (1985)

Para o cálculo dos parâmetros hidráulicos, físico-químicos é possível definir um valor fixo ou valores mínimo e máximo para cada um dos trechos da rede de drenagem, no caso da bacia em estudo adotou-se valores fixos para quase todos os parâmetros.

A calibração de cada variável simulada foi obtida a partir do ajuste da curva de resposta do modelo aos dados levantados em campo. Essa calibração se deu de forma visual, conforme figura 49. Para o perfil de DBO, os picos de concentração, observados, devem-se as baixas vazões no local, ficando classificados entre as classes 1 e 2. Quanto ao OD, observou-se que está contido na classe 1. Para o perfil de fósforo total observa-se a ocorrência de trechos em classes 3 e 4. Os coliformes mostram acréscimo na concentração sob influencia das cargas de poluição, ficando majorados acima do limite da classe 2. Os perfis de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato não apresentam incompatibilidade com os limites da classe do, o CONAMA 357/05 (CONAMA 2005) o qual estabelece que a partir de 10 mg/L o trecho seria enquadrado em classe 4 do enquadramento.



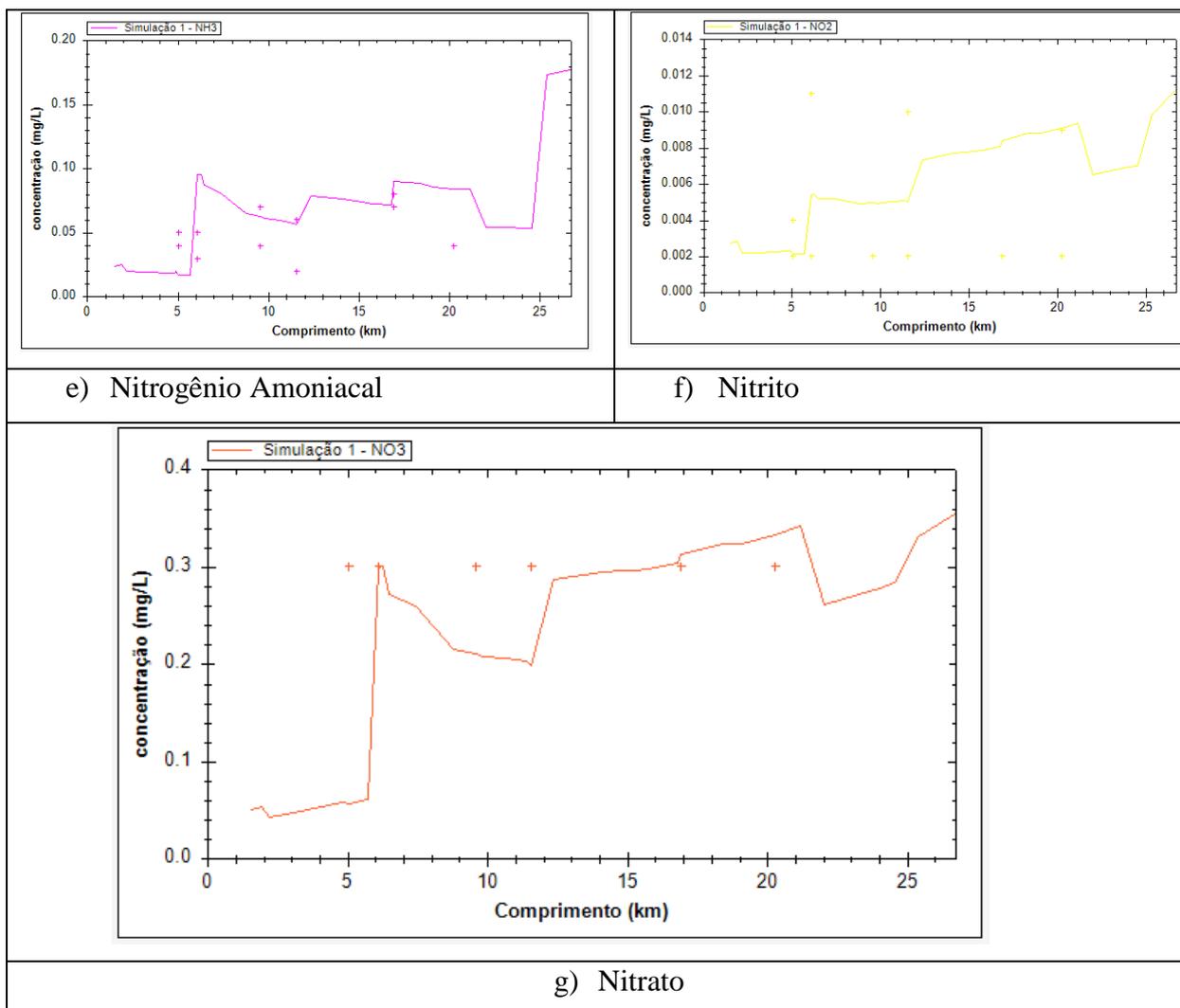


Figura 49: Resultado da calibração dos coeficientes com os pontos monitorados na bacia: a) DBO; b) OD; c) Fosforo; d) Coliformes; e) Nitrogênio Amoniacal; f) Nitrito; g) Nitrato.

Após essa calibração verificou-se a situação atual que se encontra a bacia, onde os trechos foram classificados de acordo com as classes de enquadramento definidas pela resolução, com valores na faixa de concentração dos parâmetros de interesse. Nas figuras 50 a 56 considerando o cenário da Q_{90} apresentaram o resultados das simulações dos parâmetros: DBO, fósforo total e coliformes apresentando trechos em classes de 1 a 4, enquanto o OD, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato apresentaram todos os seus segmentos com concentrações dentro do limite da classe 1.

Observando individualmente o parâmetro DBO verifica-se que na parte urbana da bacia apresenta segmento na classe 1, alguns trechos na classe 2, 3 e 4 o que representa alta

concentração de matéria orgânica nas águas. O trecho da bacia que fica na APA – Serra do Lajeado apresentam trechos com predominância na classe 1 e classe 2.

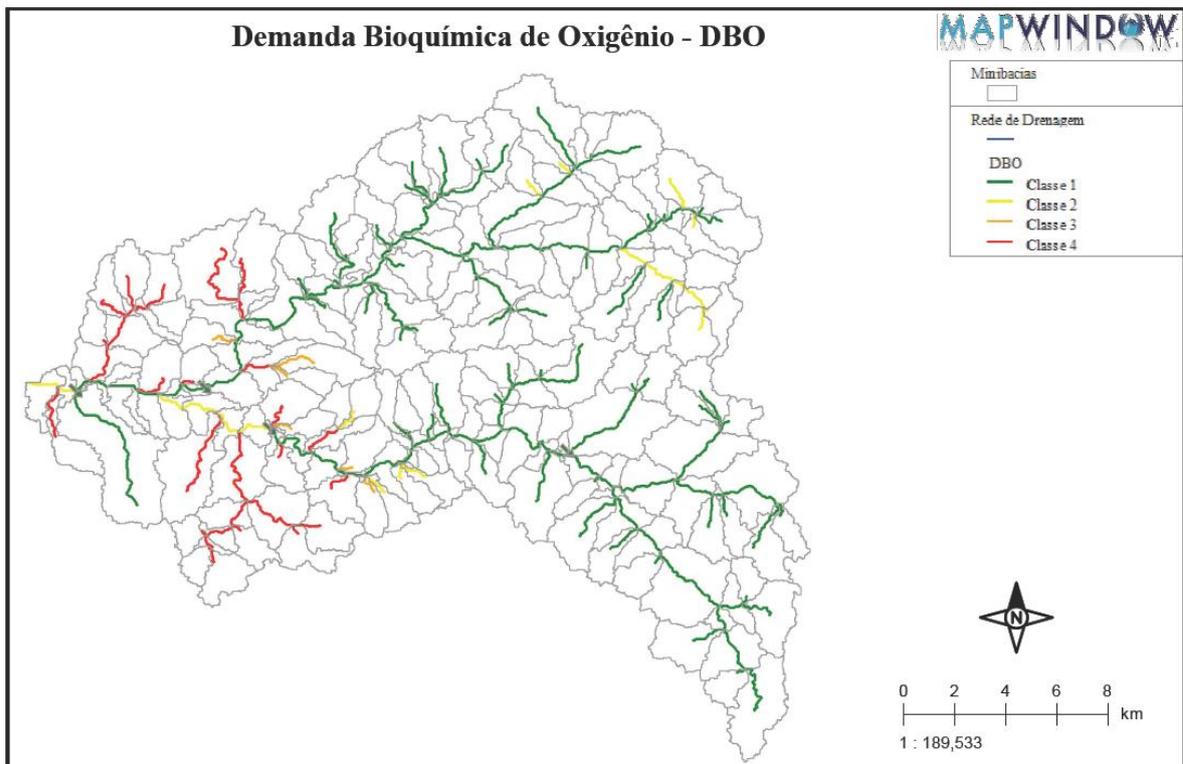


Figura 50: Parâmetros DBO calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

O parâmetro fósforo total, identificou-se como um parâmetro crítico, com altas concentrações e que segundo Reis Pereira (2002) na bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins o uso da terra é basicamente agrícola e os solos são naturalmente ricos em nutrientes, especialmente o fósforo o que corroborou com o resultado encontrado pelo modelo para esse parâmetro. Com isso o enquadramento da bacia fica em sua maioria, nas classes 3 e 4, com alguns trechos na classe 1 e 2. Acredita-se que neste caso, esse parâmetro não deveria ser considerado para um enquadramento.

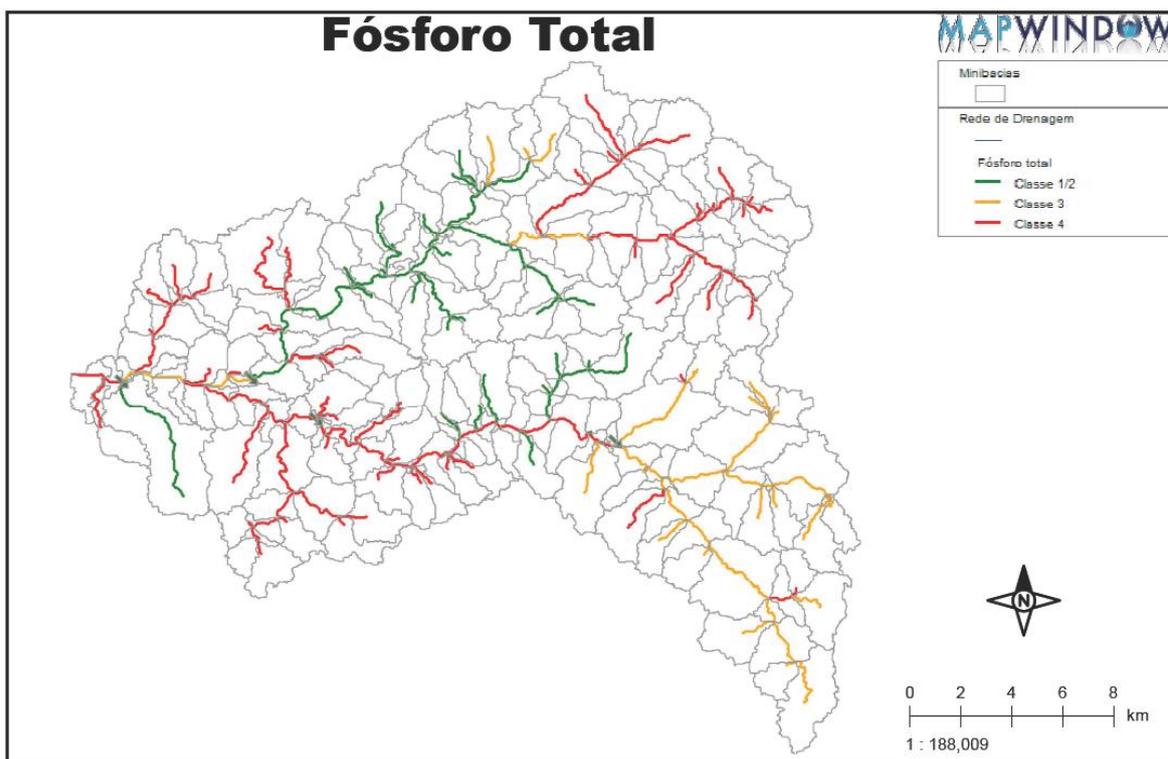


Figura 51: Parâmetro Fósforo total calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Para o parâmetro de coliformes a bacia apresenta predominância das classes 1 e 2, alguns trechos com classe 3, resultado encontrado para a parte a jusante de todos os núcleos populacionais considerados na bacia. Apesar dos ‘coliformes termotolerantes’ serem considerado como um parâmetro importante o para monitoramento do Enquadramento, nem sempre sua desconformidade pode indicar que os usos prioritários estão sendo comprometidos. O ideal seria a avaliação de *Escherichia coli* como análise complementar aos locais onde os coliformes se apresentaram em desacordo. Para coliformes termotolerantes não deverá ser excedido um limite de 2500 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Os resultados das análises para o parâmetro de Coliformes termotolerantes apresentaram valores de 2419.60 NMP/100mL, em cada ponto analisados, para as duas campanhas realizadas na bacia.

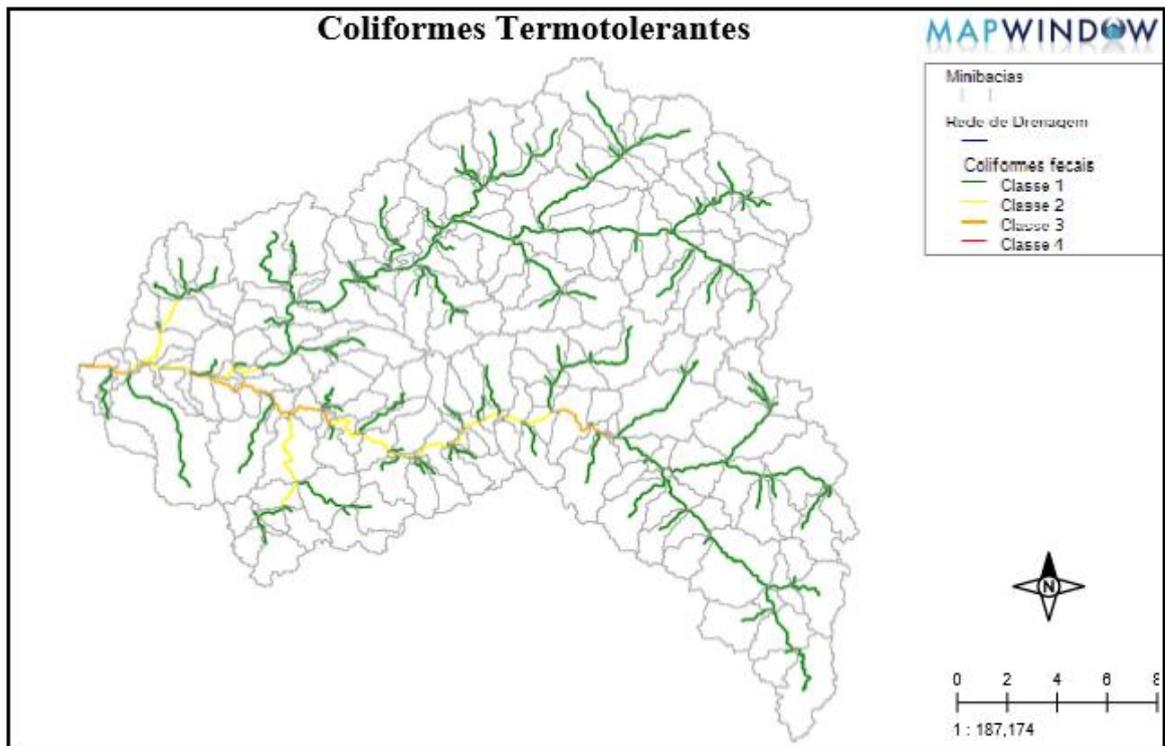


Figura 52: Parâmetro coliforme termotolerantes calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Os parâmetros OD, a série de nitrogênios (amoniaco, nitrito e nitrato), estão predominantemente classificados como classe 1 em toda a bacia conforme as figuras 55 a 58.

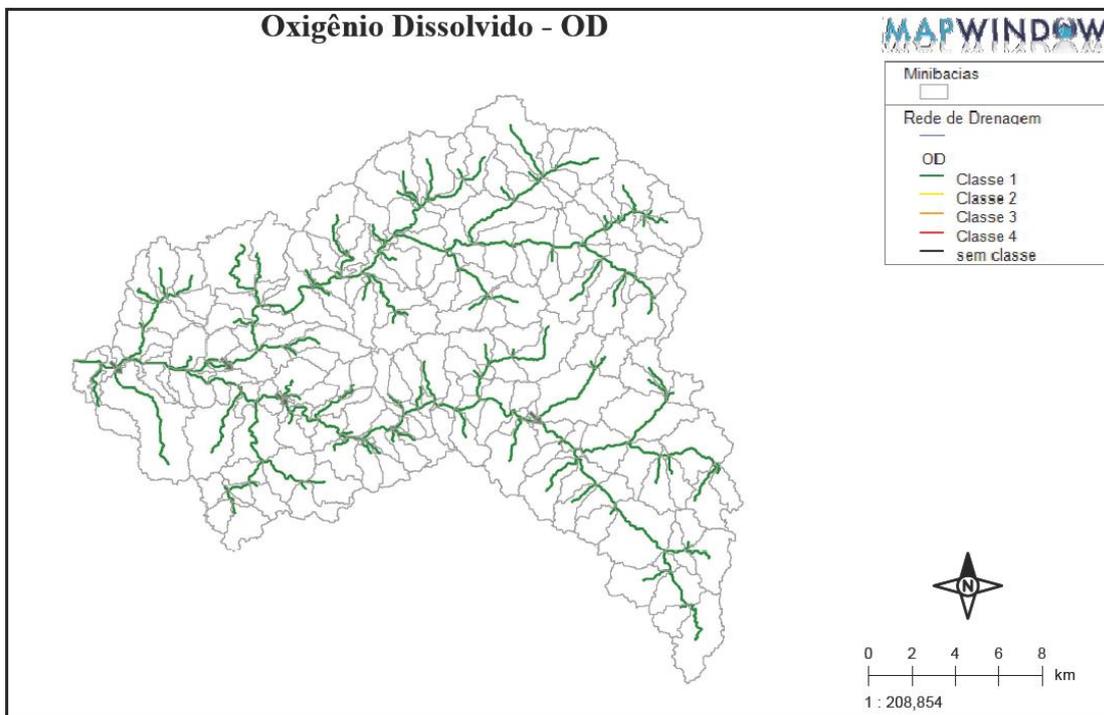


Figura 53: Parâmetro OD calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

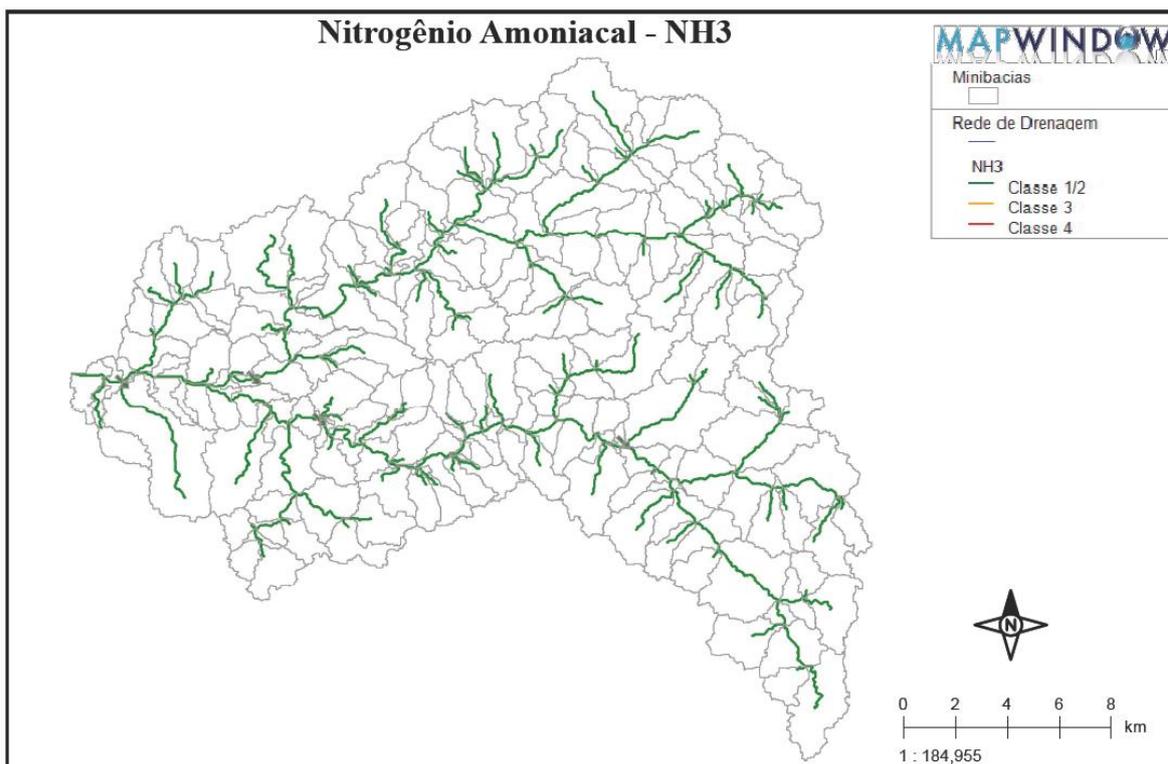


Figura 54: Parâmetro nitrogênio amoniacal calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

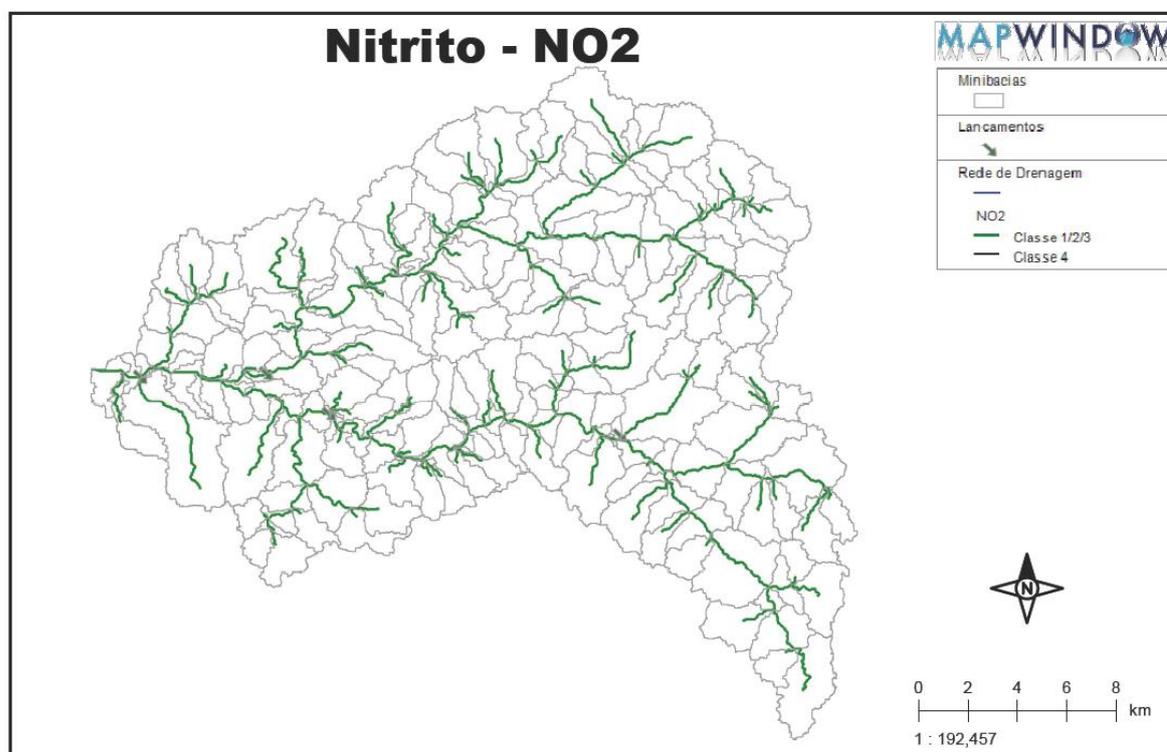


Figura 55: Parâmetro nitrito calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

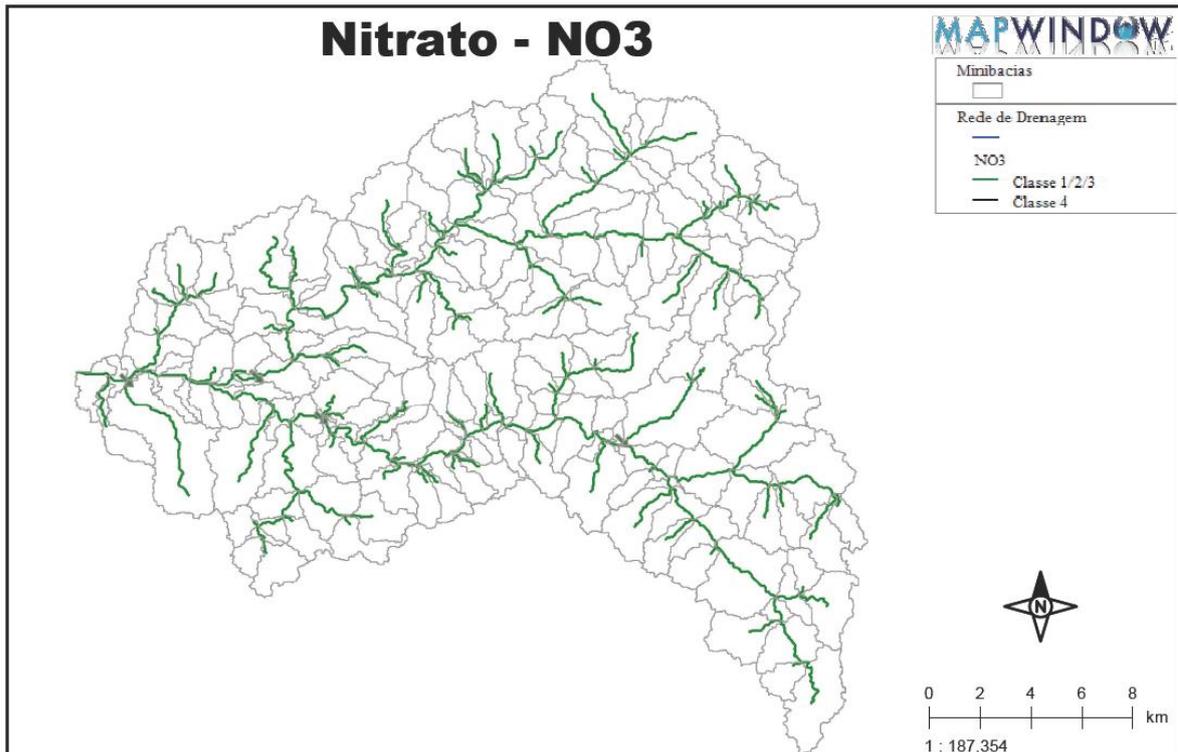


Figura 56: Parâmetro nitrato calibrado para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

O ajuste da qualidade para os rios simulados foi eficiente, conseguindo que o modelo aproximasse seus resultados às condições reais obtidas no levantamento de campo. Os parâmetros de qualidade da água da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu foram determinados por meio de amostras simples coletadas e analisadas em laboratório, conforme citado na metodologia do tópico 4.2.2.

A estimativa da qualidade da água superficial dos mananciais hídricos constitui uma etapa importante na gestão da bacia em estudo tendo em vista que oferecem, juntamente com o levantamento dos usos atuais das águas, disponibilidades quantitativas e as qualitativas de água, subsídios importantes no processo decisório de Enquadramento dos Recursos Hídricos.

5.6 Propostas de Enquadramento para a Bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Para o enquadramento é necessário definir a rede hidrográfica, os cursos de água e os trechos que integrarão esse processo conforme preconiza a Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005). Assim, na bacia em estudo toda a rede de drenagem gerada na parte de

discretização e utilizada como referência para os modelos MGB-IPH e SAD-IPH, foram enquadrados.

Os resultados das análises foram comparados aos padrões de qualidade da Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005) e por meio dessa avaliação foi realizada a caracterização atual das águas superficiais da bacia do Ribeirão Taquaruçu, sendo identificados os principais fatores que interferem na qualidade da água como forma de vincular a relação entre qualidade da água e a cobertura e uso dos solos para a rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Ainda conforme a Resolução no seu Art. 8º (CONAMA, 2005), o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público. Para esse estudo considerou-se os seguintes parâmetros: DBO, OD, Séries Nitrogenadas, Fósforo Total e Coliformes.

A primeira proposta de enquadramento para a bacia em estudo, chamada de atual (o rio que temos), baseou-se nos resultados da calibração do modelo SAD-IPH, simulando por meio de equações matemáticas, o comportamento (decaimento) das concentrações dos parâmetros ao longo da rede de drenagem, verificando a qualidade da água e a correspondente classe de uso. Em termos de qualidade da água, os parâmetros físico-químicos considerados como limitantes, tendo-se como o principal uso da bacia o abastecimento público, indicam que o Ribeirão Taquaruçu atende os padrões e se enquadram na classe 1 onde se localiza a área da APA Serra do Lajeado e em classe 2 a área urbana de Palmas e do Distrito do Taquaruçu.

As classes 1 e 2 são muito próximas em termos de qualidade das águas e usos permitidos. Essa proposta atende aos usos preponderantes e prioriza o abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, a irrigação e a pesca, conforme figura 57.

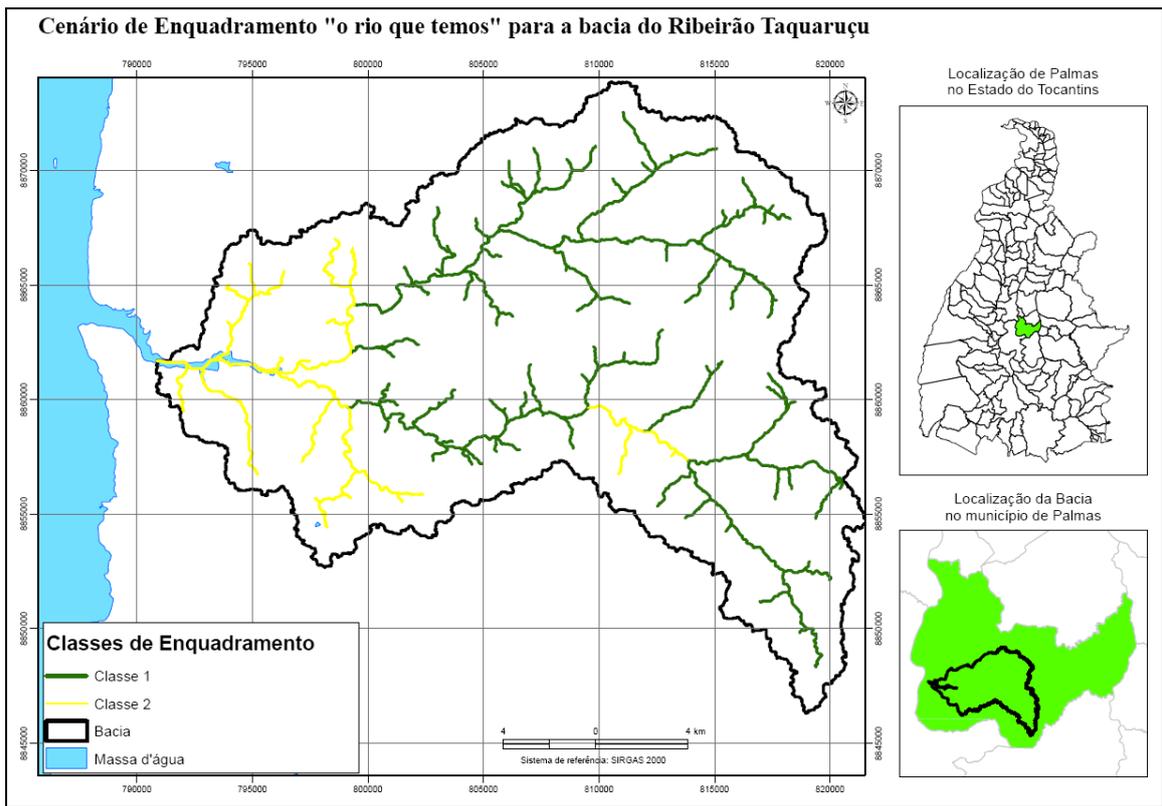


Figura 57: Enquadramento atual baseado nos parâmetros (DBO, OD, Séries de Nitrogênio e Coliformes) analisados e calibrados pelo modelo para a bacia.

O mapa de uso e ocupação do solo serviu como base para essa proposta de enquadramento, observando que ficaram de acordo com a mancha urbana e limites de unidade de conservação, ilustrado na figura 58.

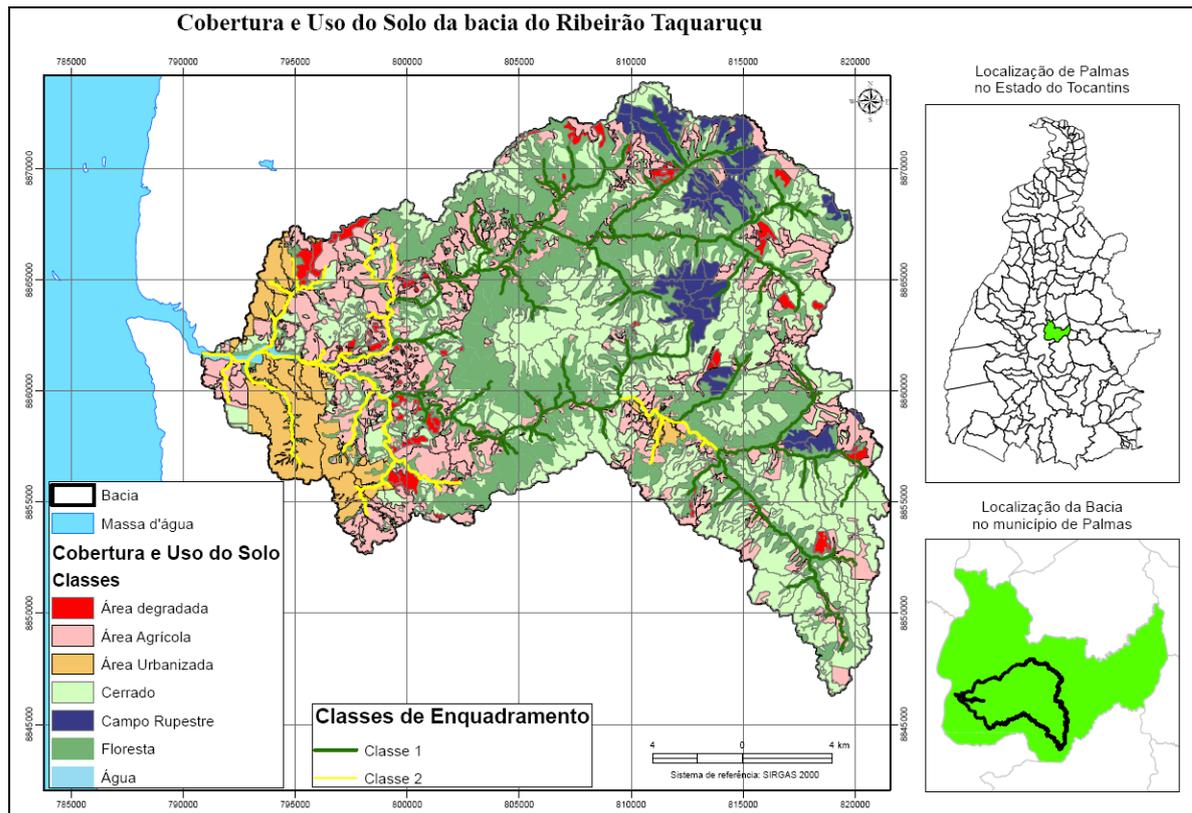


Figura 58: Cobertura e uso do solo identificados na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

A segunda proposta chamada tendencial (o rio que podemos ter) se baseou no uso e da ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, respeitando-se os usos atuais, partiu da proposta atual de enquadramento, acrescentando um incremento significativo das áreas agrícolas que se sobrepôs á vegetação nativa, tornando-se um dos vetores de expansão mais significativos na bacia, conforme figura 59.

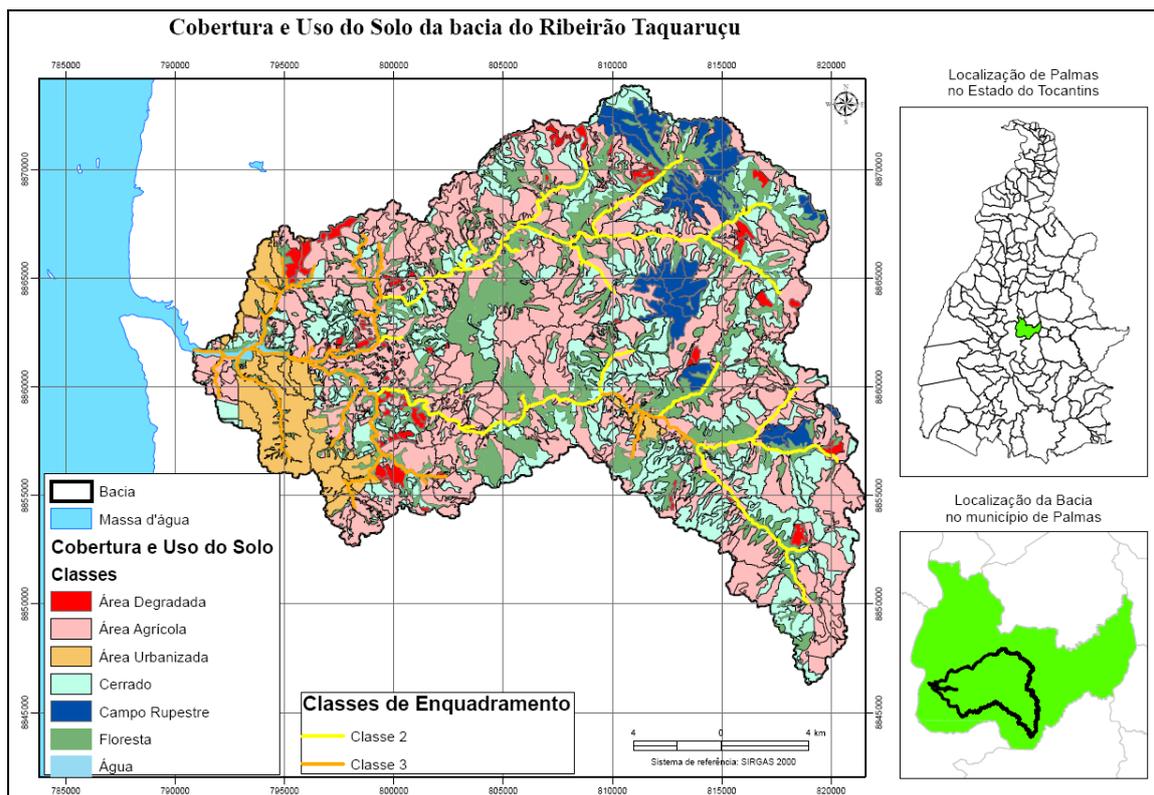


Figura 59: Cobertura e uso do solo após reclassificação da classe área agrícola da bacia do Ribeirão Taquaruçu.

O enquadramento dos cursos d'água nas classes 2 e 3, seria em razão das limitações legais impostas para os parâmetros de qualidade, restringindo-se assim o lançamento indiscriminado de metais e de substâncias orgânicas nos cursos d'água, o que não ocorre para águas de classe 4, que por sua baixa qualidade, apresenta grande restrição ao uso por isso não foi escolhida em função da vocação da bacia que é o abastecimento público, conforme figura 60.

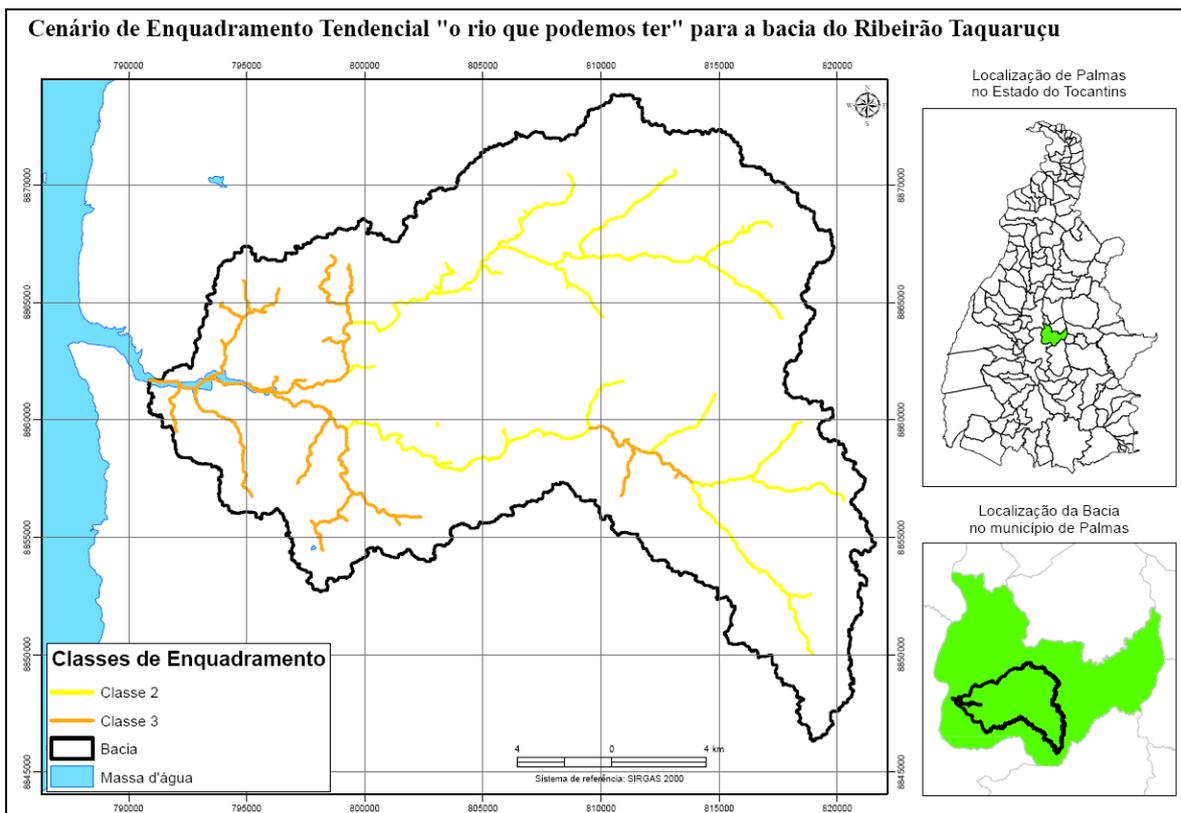


Figura 60: Classes de Enquadramento sugeridas para o cenário tendencial (o rio que podemos ter).

Nessa proposta considerou-se que os programas, ações e projetos ([tópico 4.2.5](#)) direcionados a bacia não foram executados ou foram parcialmente executados o que justificou a expansão das áreas agrícolas no cenário tendencial.

Para o cenário denominado conservacionista (o rio que queremos), alterou-se o uso e cobertura do solo da bacia, reclassificando as classes para se chegar ao nível desejado de recuperação. Essa proposta de enquadramento partiu da atual, minimizando as práticas agrícolas e áreas degradadas na bacia com um incremento das vegetações nativas na área da APA Serra do Lajeado, conforme figura 61.

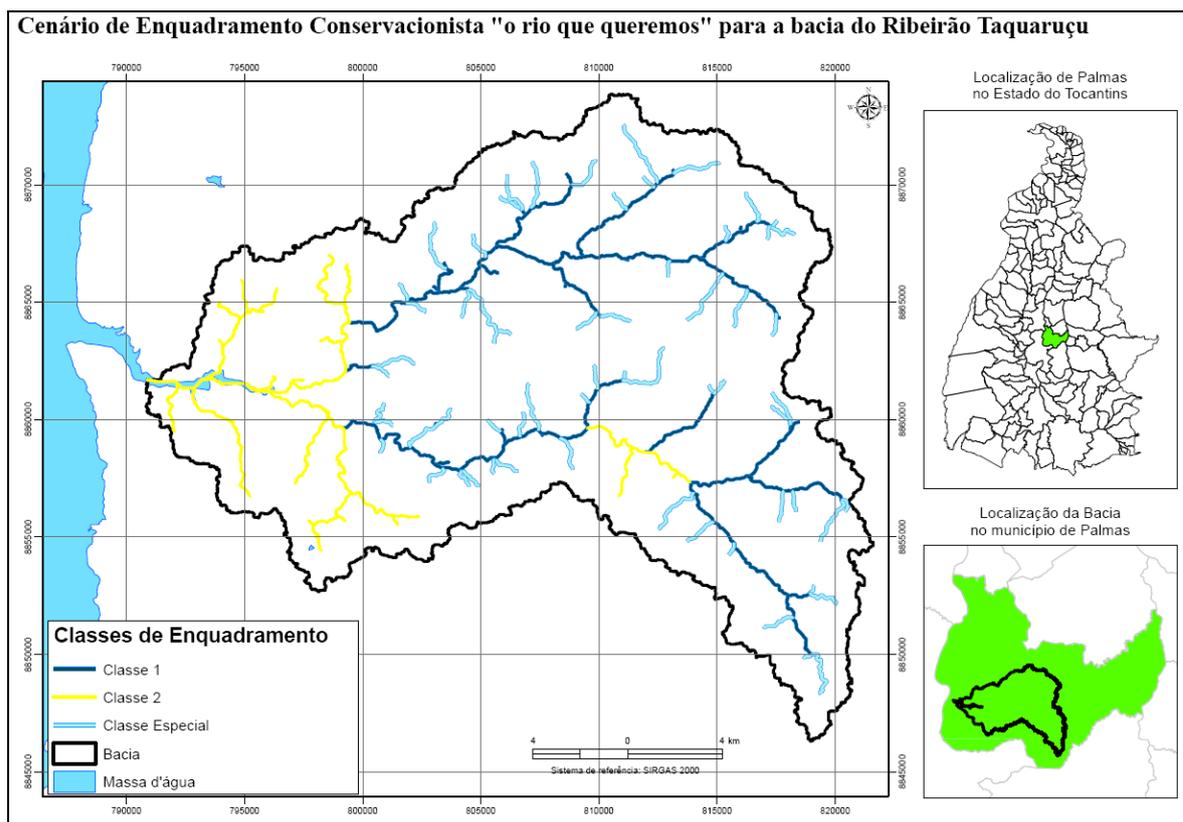


Figura 62: Classes de enquadramento sugeridas para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Com a sua vocação conservacionista e o principal uso destinado ao abastecimento público é de extrema importância à preservação de seus recursos naturais recompondo a vegetação nativa impactada por influencia antrópica. Essa proposta de enquadramento se deu em função de que os usos menos exigentes poderão ser mantidos nessa área desde que não interfiram na qualidade e quantidade de água.

O modelo SAD-IPH, considerou as cargas concentradas (esgotos da cidade) e difusas (cargas das áreas rurais) e os cinco parâmetros simulados (DBO, OD, Coliformes, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Fósforo) todos foram considerados para o enquadramento com exceção do fósforo total que se encontra em condições desfavoráveis e não atenderia a classe desejada e algumas ressalvas com relação ao DBO e aos Coliformes.

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que a maioria dos parâmetros físico-químicos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005), para os corpos hídricos das classes especial, 1 e 2. Com exceção dos parâmetros: DBO que apresentou alguns trechos com alto valor de concentração devido aos lançamentos domésticos localizadas na bacia, dando uma ideia do grau de poluição

orgânica dos corpos hídricos com tendência de aumento em direção à foz do Ribeirão Taquaruçu; os Coliformes apresentaram alguns trechos 2 e 3, mostrando tendência semelhante à DBO de aumento em direção à foz; e o fósforo total apresentou valores variando entre 0.43 a 1.79 (mg/L) na 1ª campanha que aconteceu em Maio de 2015 e entre 0.04 a 0.60 (mg/L) para a 2ª campanha no mês de Agosto de 2015 com todos os valores acima do permitido que é de 0.1 mg/L (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários).

Os usos na bacia permanecem os mesmos e não se diferenciam ao longo do tempo, e sim apenas ocorrem alterações no grau de ocorrência. As definições das classes ocorreram em função dos usos restritivos: consumo humano (até classe 3 – após tratamento convencional ou avançado); e recreação contato primário e proteção das comunidades aquáticas, que exigem padrões de qualidade da água mais restritos (classe 1 e 2).

As classes propostas atendem ao que preconiza a Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA 2005), de promover o aprimoramento da qualidade da água do rio, pleiteando sempre uma classe mais nobre do que da atual condição de qualidade da água.

As propostas de enquadramento representam a primeira abordagem desse instrumento, a qual deverá ter prosseguimento no âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago UHE – Luís Eduardo Magalhães, com a participação de toda a comunidade da bacia sendo que a classe do enquadramento deverá ser definida num pacto acordado com a sociedade, levando em conta suas prioridades de uso.

Ressalta-se que o enquadramento não é uma peça definitiva, ele pode e deve ser alterados com o tempo por meio de mudanças de ocupação, maiores investimentos e novas tecnologias. Reforça-se que a importância da implementação de programas, tais como coleta e tratamento de esgotos domésticos, coleta e disposição adequada de resíduos sólidos domésticos, combate à erosão em estradas vicinais e reflorestamento de nascentes contribuirão para a melhoria da qualidade das águas, de forma que irão favorecer a efetivação do enquadramento.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho centrou esforços em atingir o objetivo geral apresentando os procedimentos para a elaboração de uma proposta de referência para o enquadramento qualitativo dos corpos d'água em classes, em função dos usos dos recursos hídricos preponderantes, para a bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, em Palmas – Tocantins, utilizando modelos matemáticos MGB e SAD-IPH como ferramenta para a gestão desses recursos.

Para tal finalidade foi necessário executar cinco estratégias: levantar as informações para a elaboração do diagnóstico e prognóstico, da Bacia do Ribeirão Taquaruçu – TO como subsídio ao enquadramento; aplicar os modelos matemáticos: MGB-IPH e SAD-IPH para a modelagem da bacia e por fim apresentar a proposta de enquadramento com as análises geradas nas fases de diagnóstico e prognóstico, avaliadas para o estabelecimento das classes de enquadramento. Essas estratégias foram essenciais para o sucesso deste trabalho, demonstrando que é possível estar em sintonia com o que apregoa a Resolução CNRH nº 91/08 (CNRH 2008) quando da definição das fases de enquadramento, e com a Lei n.º 9.433/97 - Lei das Águas (BRASIL, 1997).

Nesse importante cenário de planejamento e inter-relação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, abordando aspectos decisórios relevantes, a proposta de referência para o enquadramento qualitativo pode fornecer as seguintes conclusões:

A elaboração do diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia, a identificação da atual situação do uso e ocupação do solo e uso dos recursos hídricos foi possível. As coletas de material no Ribeirão Taquaruçu e Taquaruçuzinho permitiram obter resultados das análises físicas e químicas necessários para o monitoramento da qualidade da água.

A utilização de softwares livres e bancos de dados geográficos disponíveis podem subsidiar os órgãos públicos e privados, na elaboração de mapas, que aumentem a precisão dos levantamentos de campo, na determinação de pontos de monitoramento de qualidade de água, sem demandar em custos com licenças.

A discretização de bacia hidrográfica fornecida por meio das ferramentas SAD-IPH e MGB-IPH e a modelagem com o *Mapwindows* auxiliou na elaboração das propostas de enquadramento dos cursos de água da bacia em estudo.

Foi possível ajustar e aplicar satisfatoriamente o modelo hidrológico MGB-IPH obtendo resultados bem semelhantes a outras bacias hidrográficas, embora a bacia de estudo seja de porte diferente e com características climáticas globais distintas.

Os resultados dos hidrogramas e curvas de permanência atestaram a aplicabilidade do modelo MGB-IPH como ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

A tomada de decisão por meio de ferramentas de modelagem matemática com o objetivo de enquadramento de cursos de água é possível e satisfatória.

O diagnóstico e identificação do cenário atual e a modelagem de mais dois cenários: o tendencial e o conservacionista são respostas que foram obtidas comprovando a eficácia da metodologia adotada.

Para a condição atual dos corpos d'água o parâmetro fósforo total não atendeu aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA 2005), para rios de classe 1 e 2 em quase toda a área da bacia sendo o que mais contribuiu para a queda da qualidade da água das bacias do Ribeirão Taquaruçu.

A proposta de enquadramento com as análises geradas nas fases de diagnóstico e prognóstico, avaliadas para o estabelecimento das classes de enquadramento, indica que:

- Os usos dos recursos hídricos da bacia estão dentro dos parâmetros usuais de enquadramento;
- Todos os trechos dos cursos d'água da bacia foram enquadrados;
- Esta proposta de enquadramento poderá orientar os licenciamentos, as outorgas e a cobrança pelo uso d'água na bacia.

A escolha das alternativas de enquadramento implicou em estabelecer tipos de intervenções como, por exemplo: programas de recuperação de mata ciliar; execução de

barramentos para abastecimento de água e regularização de vazões; implantação de dispositivos de coleta e armazenamento de águas pluviais na área rural, entre outros para que se possa atuar sobre o uso e ocupação do solo e o aumento da oferta de disponibilidade hídrica.

Os resultados qualitativos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA 2005), quando comparados com os parâmetros adotados permitiram concluir que a avaliação qualitativa proporcionada pela simulação com o modelo de suporte a decisão SAD-IPH mostrou-se muito útil para tomadas de decisão com respeito ao enquadramento, uma vez que, tornou possível visualizar as relações de uso e ocupação levantadas pelo diagnóstico e a resultante qualidade de água, revelando-se muito apropriado.

Percebeu-se que muito pode ser feito para a melhoria da qualidade dos dados utilizados nas simulações e que a boa qualidade dos dados de entrada do modelo é essencial para a obtenção de bons resultados nas simulações.

7 RECOMENDAÇÕES

A Implantação de uma rede de pluviômetros e fluviômetros, de modo a ter informações mínimas acerca da intensidade e distribuição das chuvas é recomendável para se obter uma série histórica de dados.

É recomendável o aperfeiçoamento da fiscalização, controle das fontes de poluição e monitoramento da qualidade das águas na bacia em estudo, bem como o estabelecimento de medidas legais e institucionais de gestão dos recursos hídricos, além de uma permanente avaliação, ordenamento e controle das atividades agrícolas e uso do solo.

REFERENCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. (2002). **Evolução da organização e implementação da gestão de bacias no Brasil**. Brasília: ANA.
- _____(2009). **Implementação do Enquadramento em Bacias Hidrográficas**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH Arquitetura computacional e Sistemática. In: Caderno de Recursos Hídricos. vol. 6. Brasil.
- _____(2011). **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos; v.5. Brasília: SAG.
- _____(2011). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2011**. Brasília - DF.
- _____(2015). **O Portal da Qualidade das Águas**. 2009. Disponível em <<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acessado em: 09 de setembro de 2015.
- BARROS, D. J. *et al.* (2011). **Análise da Ocorrência de Metais em Águas Superficiais e Produção de Sedimentos na Rede Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas - TO**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió.
- BARROS, E. K. E. (2007). **Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação de conflito no uso da terra na bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas – TO**. Monografia. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins. Palmas.
- BRASIL. (1997). Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Lex: Diário Oficial da União. Seção 1, p. 470. Brasília, 09 de janeiro 1997.
- BRASIL. (2005). **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BRASIL. (2008). **Projeto RADAMBRASIL Folha SC 22 Tocantins**. Geologia, Geomorfologia e Vegetação. DNPM, Rio de Janeiro, RJ. 520p. 1981. Brasil. Resolução CNRH n. 91, de 5 de novembro de 2008. Brasília, 2008.
- BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. e TUCCI, C. E. M. (2009). **Verificação da Eficiência e Eficácia de um Algoritmo Evolucionário Multi-objetivo na Calibração Automática do Modelo Hidrológico IPH II**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, p. 37-50.
- BREMICKER, M.(1998). **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells**. 1998. Dissertation (Doktorgrad), Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-LudwigsUniversität. Freiburg. Germany.
- BRITES, A. P. Z. (2010). **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica**. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

BRITO, C. de F. P. (2012). **Avaliação da produção de sedimentos em duas microbacias hidrográficas do Ribeirão Taquaruçu Grande, Município de Palmas, TO.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins, Curso de Pós-graduação em Ciências do Ambiente, 128 f.

BUARQUE, D.C., FAN, F.M., PAZ, A.R., COLLISCHONN, W. (2009). **Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 14, N. 2. ABRH. p. 91-103.

CABRAL, N. R. A. J.; SOUZA, M. P. (2005). **Área de proteção ambiental: planejamento e gestão de paisagens protegidas.** São Carlos: Rima.158p.

CARMO, M. C. do. (2014). **Análise Espacial e Temporal dos Usos da Água: O Caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquarussu Grande, Palmas - TO.** Monografia. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins. Palmas.

CHAPRA, S. C. (1997). *Surface water-quality modeling*. New York: McGraw-Hill.

CHRISTOFIDIS, M; (2006). **O enquadramento participativo de corpos d'água como um instrumento das gestão de recursos hídricos com aplicação na bacia do Rio Cubatão Sul – SC.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental: Florianópolis.

CLAPHAN, W. B. *et al.*, (1999). *Human Activities in the drainage basin as sources of nonpoint pollutants*. In: THORNTON, J. A., RAST, W., HOLLAND, M. M., JOLAKAI, G., RYDING, S. O. (Eds.), *Assessment and Control of Nonpoint Source Pollution of Aquatic Ecosystems*, Ed. UNESCO e Parthenon Publishing, Paris, França.

COLLISCHONN, W. ; Allasia, D. G. ; Silva, B. C. ; Tucci, C. E. M. (2007). **The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling.** *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895.

COLLISCHONN, W. ; BUARQUE, D. C. ; PAZ, A. R. ; MENDES, C. A. B. ; FAN, F. M. (2010). **Impact of pit removal methods on DEM derived drainage lines in flat regions.** In: AWRA Specialty Conference GIS and Water Resources VI, 2010, Orlando. AWRA Specialty Conference GIS and Water Resources VI.

COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. (2001). **Simulação hidrológica de grandes bacias.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, 2001.

COLLISCHONN, W. e TUCCI, C. E. M. (2003). **Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 3, p. 27-39.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias.** (2001). 270 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

CORDEIRO, M. G. dos S. (2011). **O Estado do Tocantins aplicando a mobilização social na implementação dos instrumentos da política de recursos hídricos como uma ferramenta de gestão descentralizada e participativa.** In... XIX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, AL.

FAN, F. M. (2011). **Acoplamento entre SIG e modelos hidrológicos: Integração do modelo MGB-IPH**. Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.

FAN, F. M. (2013). **Simulação dos impactos de lançamento de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica.** 241 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

Fan, F. M. and Collischonn, W. (2012). **Coupling the MGB-IPH hydrological model with MapWindow GIS platform**. MapWindow International Open Source Conference. Velp.

FAN, F.M.; COLLISCHONN, W.; SORRIBAS, M.V.; PONTES, P.R.M. (2013) **Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (no prelo).

FRAGOSO Jr., C. R.; KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W. (2008). **Protótipo de Sistema de Controle de Balanço Hídrico para Apoio à Outorga Integrado a um Sistema de Informações Geográficas**. Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Rio de Janeiro.

GETIRANA, A. C. V. (2009). **Contribuições da altimetria espacial à modelagem hidrológica de grandes bacias na Amazônia**. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) Rio de Janeiro.

GRABHER, C.; BROCHI, D. F.; LAHÓZ, F. C. C. (2003). **A gestão dos recursos hídricos: buscando o caminho para as soluções**. Americana, SP: Consórcio PCJ. 63 p.

KAYSER R. (2009). **Descrição do Sistema Suporte à Decisão interligado a SIG para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. Projeto de Iniciação Científica. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. Porto Alegre.

KAYSER, R. H. B. (2011). **Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos**. 123 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KOUWEN, N., SOULIS E., PIETRONIRO A., Donald J., HARRINGTON R. (1993). *Grouped response units for distributed hydrologic modeling*. J. of Water Res. Plan. and Manag., 119(3), 289-305.

LANNA, A. E. (2000). A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. In: MUÑOZ, H. R. (Org.). **Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997**. 2ª ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, p. 75-108.

LARENTIS, D. G. (2004). **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas – RS**. 177 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

- LEAL, A. C. (2001). **Gestão das águas no Pontal do Paranapanema – SP.** (Tese de Doutorado). Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. & Burges, S. J. (1994). *A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models.* J. Geophys. Res. 99(7), 14415–14428.
- LIMA, L. C. T. M. (1998). **Simulação da Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica: Aplicação a Bacia do Rio Curu (CE).** Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MAGALHÃES JR. A. P. (2007). **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 688p.
- MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. de. (2001). O modelo brasileiro de gerenciamento de recursos hídricos. In: **Gestão Ambiental de bacias hidrográficas.** Rio de Janeiro: UFRJ; Coppe; Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. P. 101-113.
- MAIDMENT D. R. (2002). *Arc Hydro: GIS for Water Resources.* Redlands, USA: ESRI Press.
- NETO, A. R. S. (2011). **Cenário de abastecimento Futuro de Palmas – To com Base na Simulação da Disponibilidade hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande.** Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 91p.
- Nijssen, B., Haddeland, I. & Lettenmaier, D. (1997). *Point evaluation of a surface hydrology model for BOREAS.* J. Geophys. Res., 102(29), 367–378.
- PAIVA, R. C. D. (2009). **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias: estudo de caso: bacia do rio Solimões.** 182 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.
- PALMAS (TO). 2014. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas.** Volume II: Água e Esgoto. Jan.
- PALMAS (TO). Governo do Estado. 2014. Disponível em: <http://portal.to.gov.br>. Acesso em: jan. 2015.
- PEREIRA, M. M. P.; KAYSER, R. H. B. ; FRAGOSO JR., C. R. ; COLLISCHONN, W. (2009). **Protótipo de Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas integrado a um SIG: IPH-SISDEC.** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande: ABRH.
- PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. (2012). **Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e sistemas de informação geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água.** REGA – Vol. 9, no. 2, p. 21-33, jul./dez.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. (1997). Sistemas de suporte a decisões aplicadas a problemas de recursos hídricos. *In*: PORTO, R. L. L.. **Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p.43-95.

PORTO, R.; LANNA, A. E.; BRAGA, B. P.; CIRILO, J. A.; ZAHED, K.; AZEVEDO, L. G. T.; CALVO, L.; DE BARROS, M. T. L.; BARBOSA, P. S. F. (1997). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 420 p.

REIS, P. T. B. (2007). **Caracterização da Demanda por Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquarussu Grande**. Monografia. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins. Palmas.

Reis-Pereira, V. L. 2002. **A Limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães – UHE Lajeado, Tocantins**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

RIBEIRO NETO, A. (2006). **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira [Rio de Janeiro] 2006**. XVII, 178 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2006) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

RIOS, M. V.; MARQUES, S. E.; BARBOSA, E S. L. (2010). **Percepção Ambiental no Distrito de Taquaruçu, Município de Palmas (TO): a relação dos moradores com as transformações da paisagem ao longo da história local**. Caderno Virtual de Turismo, v. 10, n. 1, pp. 1-14. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

RUSCHMANN, Consultores de Turismo S/C Ltda.; SEBRAE/TO, (2002). **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Tocantins**. 2002. Diagnóstico Turístico do Distrito de Taquaruçu. Palmas: SEPLAN.

SANEATINS - Companhia de saneamento do Tocantins. (2007). **Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande**, Palmas. 2007. 53p.

SANTOS, F. L. (2000). **Cartografia Geotécnica Regional do Município de Palmas/TO: área oeste do Meridiano 48 W Gr. 154f**. Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília.

SANTOS, J. E. B. (1996). **O cotidiano e o trabalho em Taquaruçu 1940 – 1960**. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em História de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco.

SEPLAN (2012). **Atlas do Tocantins: subsídio ao planejamento da gestão territorial**. Palmas – TO: SEPLAN. 79p.

SEPLAN. (2004). **Relatório Final – Plano de Entorno do Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães**. Palmas, TO, março, 2014.

SETTI, A. A. *et al.* (2000). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 207 p.

SHUTTLEWORTH, W. J. (1993) *Evaporation In: Maidment*, D. R. Handbook of hydrology McGraw-Hill New York.

SILVA, E.R. (1998). **O curso d'água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**, Tese apresentada para titulação de Doutorado – Pós-Graduação em Saúde Pública. Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. (2004). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. In: Machado, C. J. S. (Org.). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, v.1, p.135-178.

Silva, Maytê Maria Abreu Pires de Melo.(2014). **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba – MG**. 164 p. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte.

SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G.; BARROS, A. M. L.; PAES, R.; FIGUEIREDO, R. C. (2008). **Classificação de corpos d'água segundo a Diretiva-Quadro da Água da União Européia – 2000/60/CE**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n.º 11, pág. 30-39.

SOUZA, M.A.V. (2006). **Dinâmica da paisagem na sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande no município de Palmas – TO**. (Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Stritu Sensu da Universidade Federal do Tocantins – UFT para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente).

THOMANN, R. V. e MUELLER, J. A., (1987). *Principles of Starface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row Publishers, Inc. , NY.

TOCANTINS (2004), Secretária Estadual de Planejamento e Meio Ambiente do Estado. **Plano das Bacias Hidrográficas do Entorno de Palmas**. Palmas: SEPLAN.

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669p.

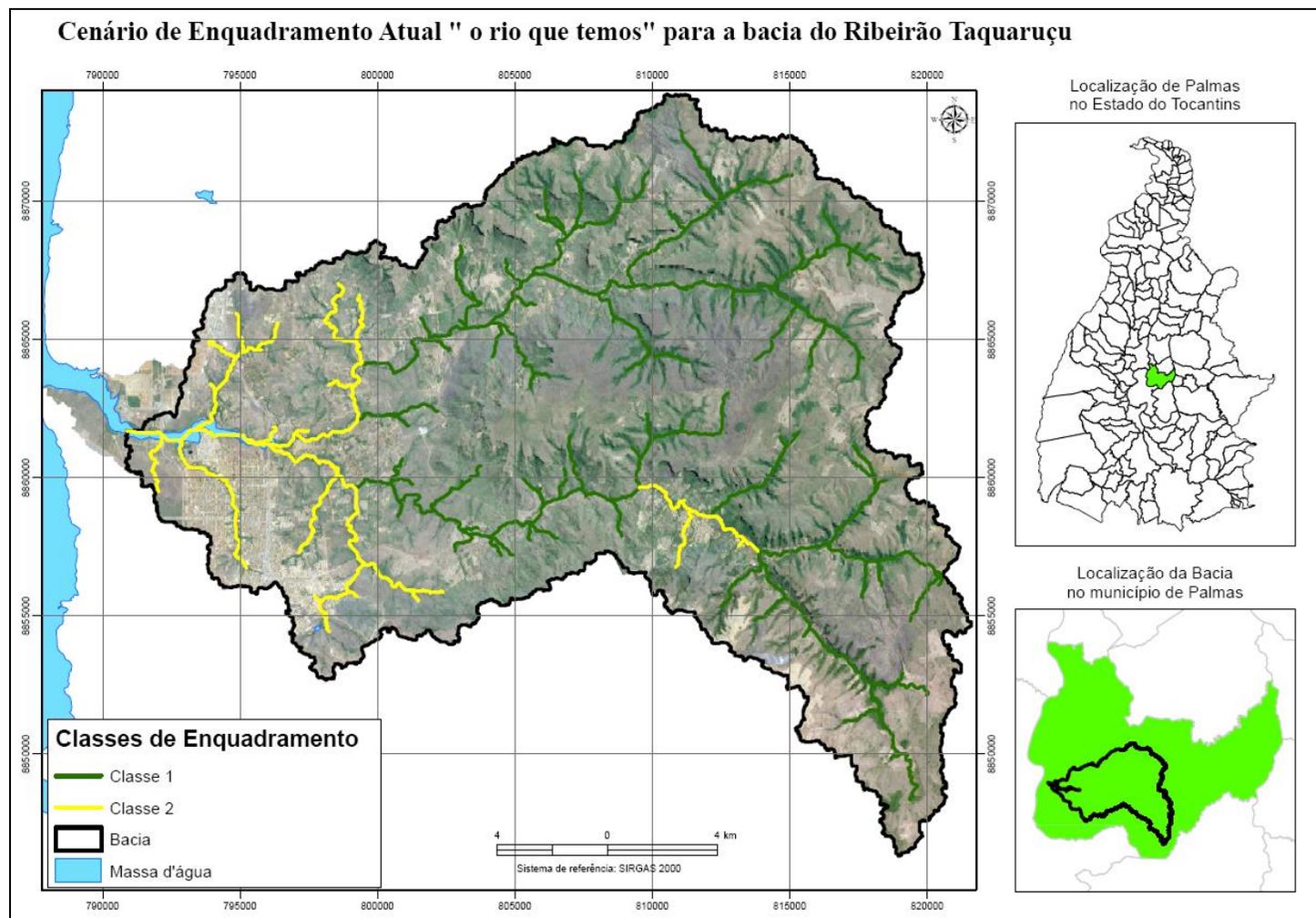
TUCCI, C. E. M.; CORDEIRO, O. M.(2004). **Diretrizes estratégicas para ciência e tecnologia em recursos hídricos no Brasil**. Revista de gestão de água da América Latina – REGA, Porto Alegre, v.1, n.1, p. 21-36, jan./jun.

TUCCI, C.E.M., COLLISCHONN, W. e LARENTINS, D. G., (2003). **Desenvolvimento e Aplicação de Modelo Matemático com Base para gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas**. IPH-UFRGS, rp.2., Porto Alegre, RS.

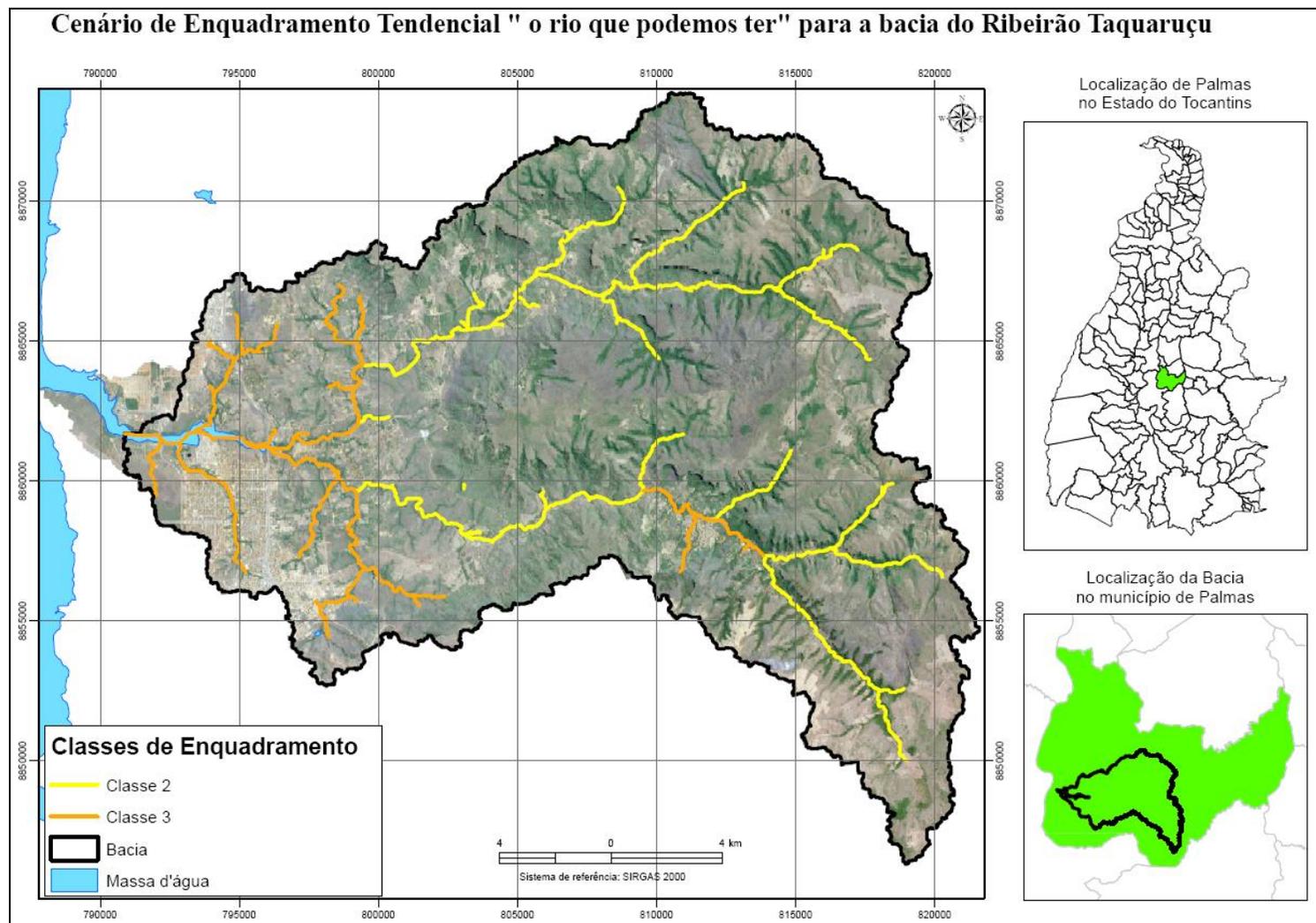
UNITINS (1999). **Plano de Manejo da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – TO (S.O.S. Taquaruçu)**. Relatório Técnico Final. Palmas: FNMA, v.

APÊNDICES

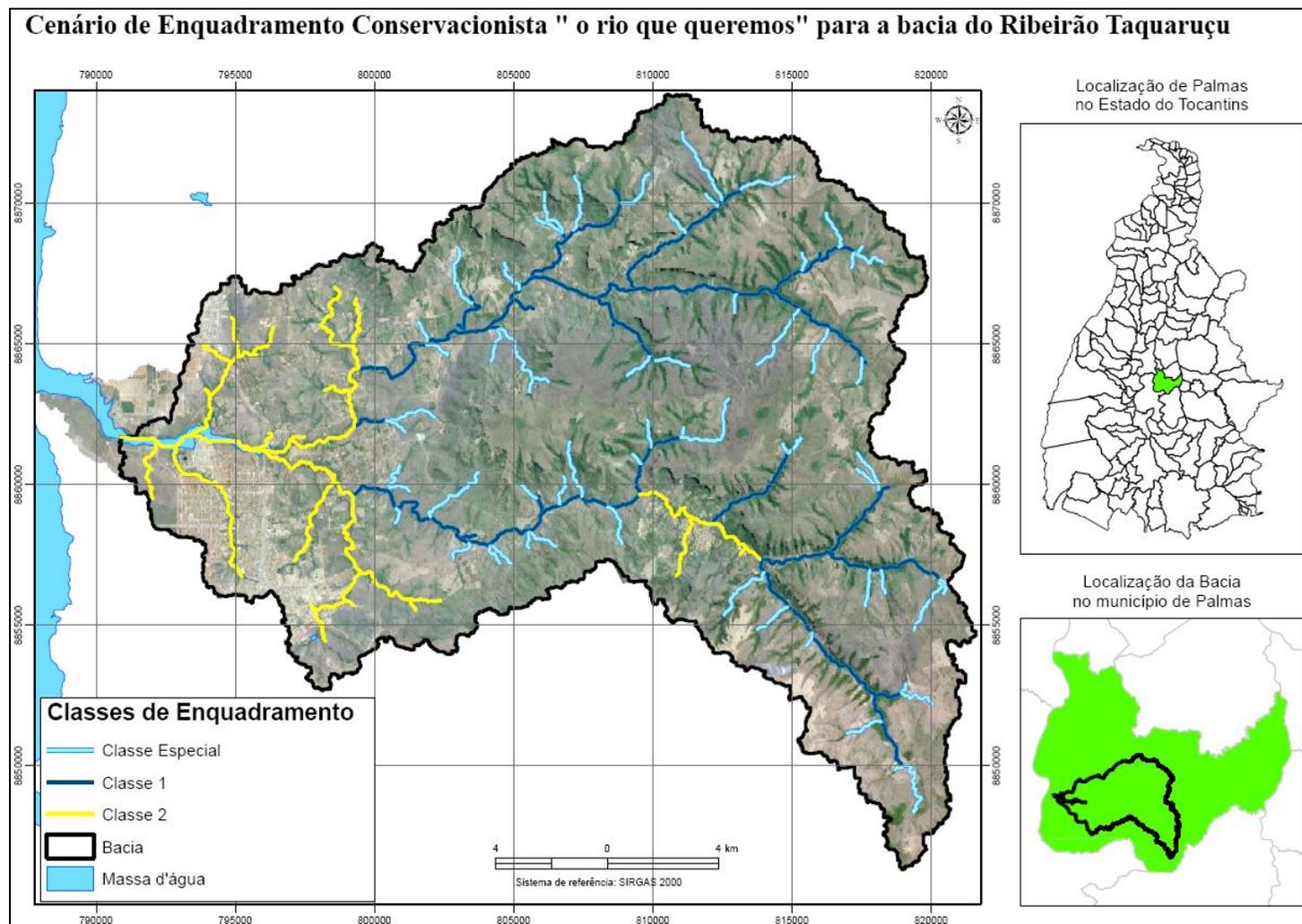
APÊNDICE A – Enquadramento atual (o rio que temos).



APÊNDICE B – Enquadramento tendencial (o rio que podemos ter).

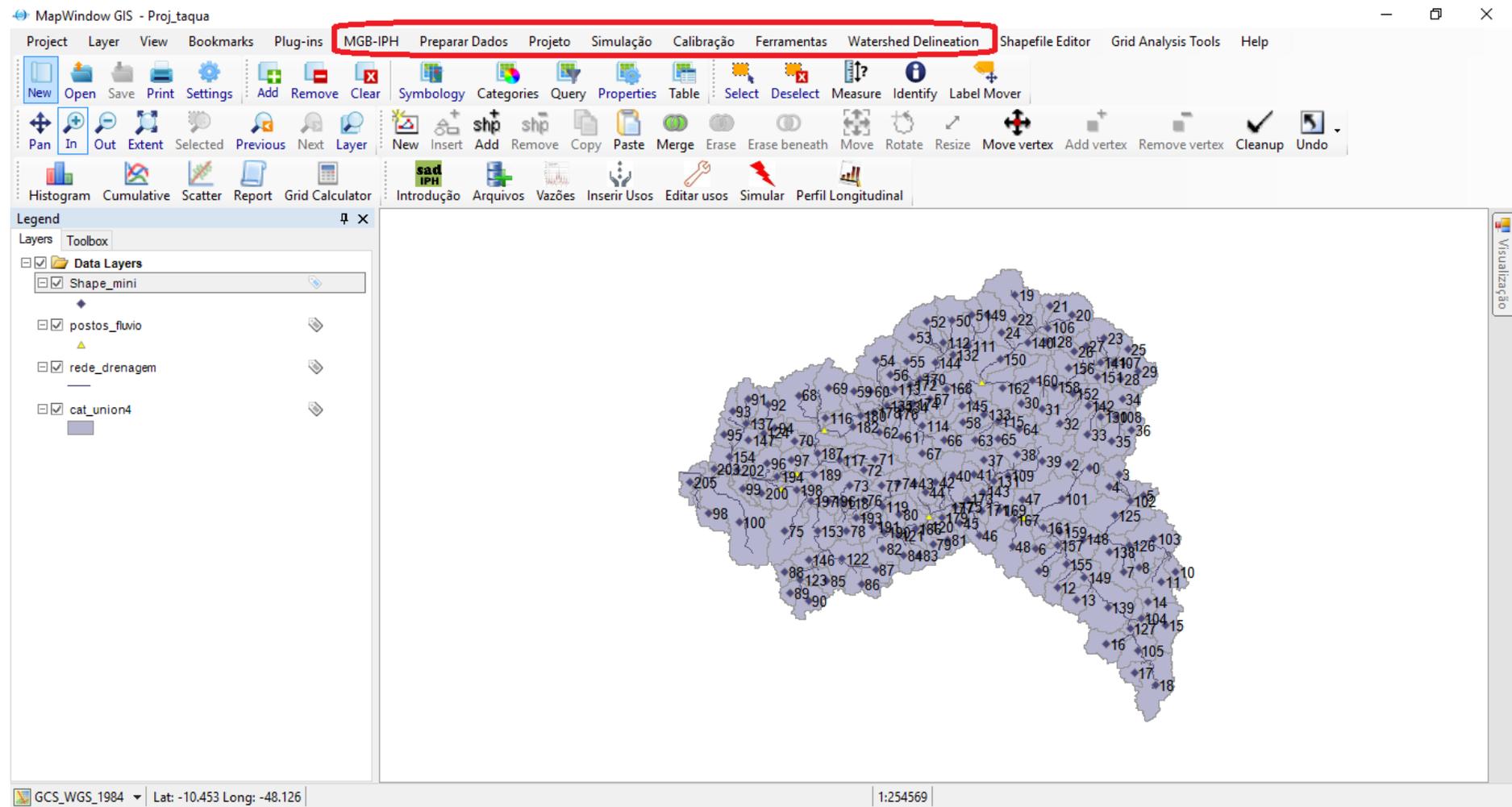


APÊNDICE C – Enquadramento conservacionista (o rio que queremos).

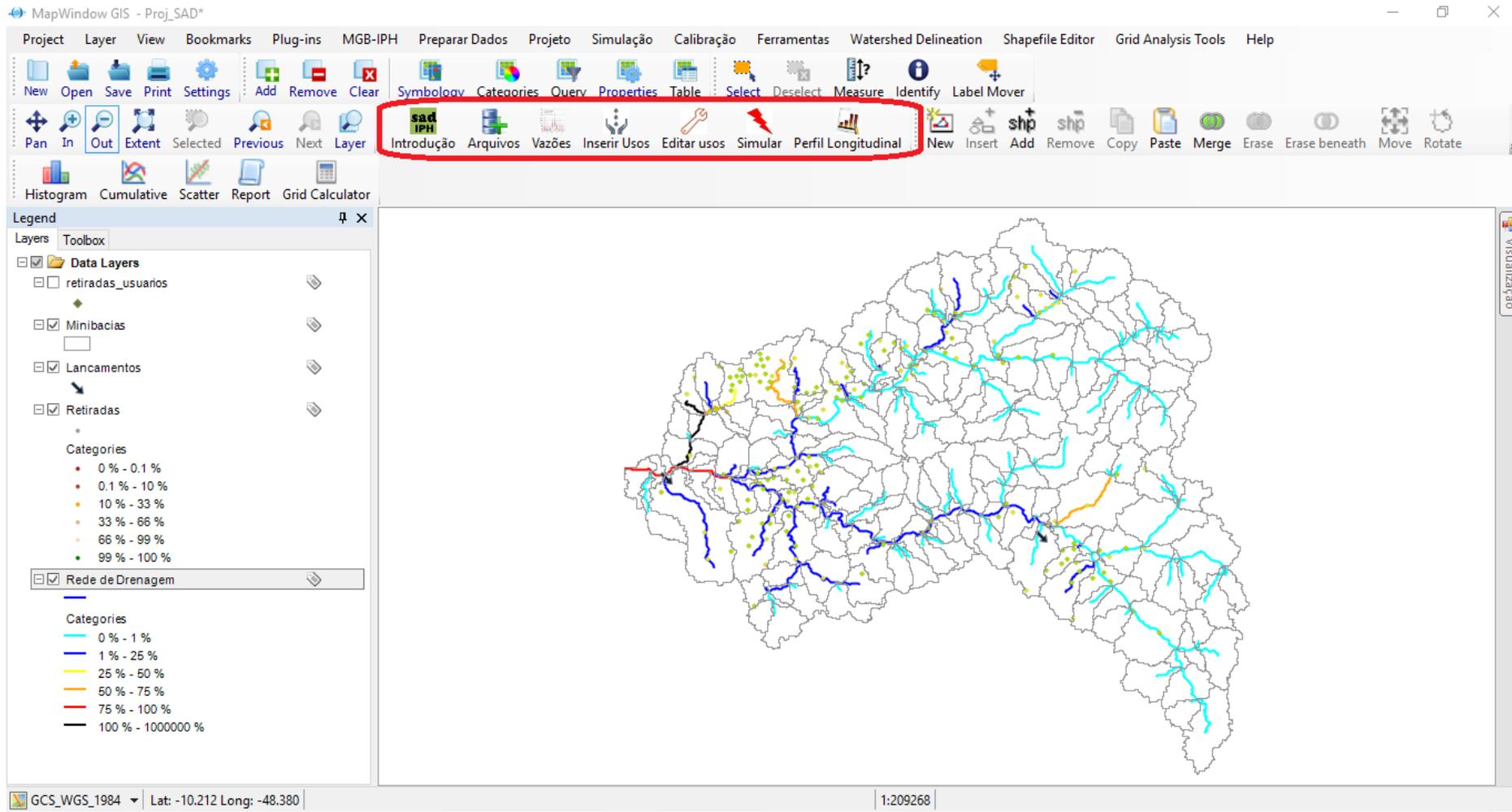


ANEXOS

ANEXO A – Interface do MGB-IPH associado ao software *MapWindow® GIS*.



ANEXO B – Interface do SAD-IPH associado ao software *MapWindow® GIS*.



ANEXO C – Modelo de formulário aplicado aos chacareiros da bacia do Ribeirão Taquaruçu

QUESTIONÁRIO			
EQUIPE:			
DATA DA ENTREVISTA:			
ENTREVISTA REALIZADA COM:			
MORADOR ()	PROPRIETÁRIO ()	OUTRO ()	
1.0 IDENTIFICAÇÃO			
1.1 NOME DA PROPRIEDADE:			
1.2 TAMANHO DA PROPRIEDADE (HA):			
1.3 COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM):			
1.4 MANANCIAL:			
() TAQUARUSSU GRANDE: E () D ()		() TAQUARUSSUZINHO: E () D ()	
))	
AFLUENTE: E () D ()		AFLUENTE: E () D ()	
2.0 RECURSOS HÍDRICOS E SOCIOECONOMIA			
2.1 HÁ QUANTO TEMPO MORAM NO LOCAL:			
2.2 QUANTAS PESSOAS RESIDEM NO LOCAL:			
2.3 QUAL É O PRINCIPAL USO DA PROPRIEDADE:			
() LAZER	() AGRICULTURA	() SUSBISTÊNCIA	() COMÉRCIO
() TURISMO	() AGROPECUÁRIA	() SUSBISTÊNCIA	() COMÉRCIO
() OUTRO:			

2.4 AGRICULTURA			
<input type="checkbox"/> ARROZ	<input type="checkbox"/> MANDIOCA	<input type="checkbox"/> FEIJÃO	<input type="checkbox"/> MILHO
<input type="checkbox"/> SOJA	<input type="checkbox"/> PASTO	<input type="checkbox"/> OUTRO	
2.5 UTILIZA AGROTÓXICOS? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
2.6 PECUÁRIA			
<input type="checkbox"/> BOVINOS		QUANTIDADE:	
<input type="checkbox"/> SUÍNOS		QUANTIDADE:	
<input type="checkbox"/> OVINOS		QUANTIDADE:	
<input type="checkbox"/> APICULTURA		QUANTIDADE:	
<input type="checkbox"/> CAPRINOS		QUANTIDADE:	
<input type="checkbox"/> EQUINOS		QUANTIDADE:	
2.6.1 ONDE JOGA OS DEJETOS DA CRIAÇÃO?			
2.6.2 ACESSO AO RIO? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>			
3.0 MEIO AMBIENTE			
3.1 QUAL A DESTINAÇÃO DO LIXO PRODUZIDO?			
<input type="checkbox"/> ENTERRA	<input type="checkbox"/> QUEIMA	<input type="checkbox"/> JOGA EM QUALQUER LUGAR	
<input type="checkbox"/> OUTRO			
3.2 POSSUI INSTALAÇÃO SANITÁRIA?			
<input type="checkbox"/> SIM		<input type="checkbox"/> NÃO	
3.3 QUAL É O TIPO DE INSTALAÇÃO SANITÁRIA?			
<input type="checkbox"/> FOSSA NEGRA	<input type="checkbox"/> SUMIDOURO	<input type="checkbox"/> PRIVADA	
<input type="checkbox"/> OUTRO			

3.4 PROCEDÊNCIA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO		
<input type="checkbox"/> RIBEIRÃO	<input type="checkbox"/> CISTERNA	
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.5 PROCEDÊNCIA DA ÁGUA PARA AS ATIVIDADES PRODUTIVAS		
<input type="checkbox"/> RIBEIRÃO	<input type="checkbox"/> CISTERNA	<input type="checkbox"/> NASCENTE
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.6 VOLUME ESTIMADO DE ÁGUA UTILIZADO DIARIAMENTE		
<input type="checkbox"/> 0 - 1 M ³	<input type="checkbox"/> 1 - 5 M ³	<input type="checkbox"/> acima 5 M ³
OUTRO:		
3.7 FAZ CAPTAÇÃO/ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.8 SE SIM QUAL É A DESTINAÇÃO?		
<input type="checkbox"/> IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> CONSUMO HUMANO	<input type="checkbox"/> DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.9 NOS ÚLTIMOS ANOS A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA PROPRIEDADE:		
<input type="checkbox"/> AUMENTOU	<input type="checkbox"/> ESTABILIZOU	
<input type="checkbox"/> DIMINUIU	<input type="checkbox"/> NÃO SEI	
3.10 NOS ÚLTIMOS ANOS PERCEBEU QUE O MANANCIAL ESTÁ ASSOREANDO?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.11 SE SIM QUAIS AS CAUSAS DESSE ASSOREAMENTO?		
3.12 HÁ BARRAMENTO NA PROPRIEDADE?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	

3.13 SE HÁ IRRIGAÇÃO QUAL O METODO UTILIZADO?		
<input type="checkbox"/> ASPERSÃO CONVENCIONAL	<input type="checkbox"/> GOTEJAMENTO	<input type="checkbox"/> SULCOS/DECLIVIDADE
<input type="checkbox"/> MANUAL COM MANGUEIRAS/BALDES	<input type="checkbox"/> OUTRO	
4.0 MATA CILIAR		
<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ PROTEGIDO COM MATA CILIAR NATIVA	<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO	
<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO, MAS O PLANTIO COM ESPÉCIES NATIVAS ESTÁ SENDO REALIZADO	<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO E NENHUMA MEDIDA ESTÁ SENDO TOMADA	
<input type="checkbox"/> LARGURA DA MATA:		
4.1 HÁ NASCENTES NA PROPRIEDADE?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
4.2 QUAL A SITUAÇÃO?		
<input type="checkbox"/> PRESERVADA – 50 M DE LARGURA	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE PRESERVADA	
<input type="checkbox"/> DESMATADA	<input type="checkbox"/> HÁ INTERVENÇÕES (BARRAMENTO, ETC)	
4.3 CENÁRIO ANTRÓPICO:		